9. SIMPOZIJ

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

ZAGREB, 24. — 26. STUDENOGA 2020.



Anton Dolenc (1905.–1984.)



Urednik: ZVONKO BENČIĆ

KIKLOS

9 789537 992132

cigre Hrvatska Croatia

Zvonko Benčić, urednik

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

9. simpozij PIFT 2020.

Urednik:
Zvonko Benčić

Recenzenti:
prof. dr. sc. Zvonko Benčić
dr. sc. Branko Hanžek

Grafičke ilustracije:
prof. mr. Miroslav Matasović
emer. prof. dr. sc. Vilko Žiljak

Lektura:
Riječ i slika

Likovna i tehnička oprema:
Luka Gusić

Grafička priprema:
D.S.M. – GRAFIKA d.o.o

Nakladnik:
KIKLOS-krug knjige d.o.o.

ISBN: 978-953-7992-13-2

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem

Tisak:
DENONA d.o.o., Zagreb

POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE

9. simpozij PIFT 2020

Zvonko Benčić
urednik

KIKLOS – KRUG KNJIGE
Zagreb, 2020.

Organizator

Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća
za velike elektroenergetske sustave − HRO CIGRE

Pokrovitelji

Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
Hrvatska sekcija IEEE
Interesna skupina doživotnih članova Hrvatske sekcije IEEE

Programski odbor

Prof. dr. sc. Vanja Ambrožič; Fakultet za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
Doc. dr. sc. Ivan Bahun; Končar – Električna vozila
Prof. dr. sc. Zvonko Benčić; FER, EDZ, HRO CIGRÉ
Dr. sc. Marijana Borić; HAZU
Akad. prof. dr. sc. Leo Budin; FER, HAZU
Prof. dr. sc. Gordan Gledec (pred.); FER
Prof. dr. sc. Franjo Jović; FERIT
Dr. sc. Iva Kurelac; HAZU
Josip Moser, dipl. ing.; EDZ
Prof. dr. sc. Nedjeljko Perić; FER, ICENT
Dr. sc. Goran Slipac; HRO CIGRÉ
Dr. sc. Ivica Toljan; Hrvatska burza električne energije
Prof. dr. sc. Alfredo Višković; FER, Energy Platform Living Lab
Doc. dr. sc. Mladen Zeljko; EI HP

Organizacijski odbor:

Prof. dr. sc. Zdenko Balaž, TVZ, VERN
Prof. dr. sc. Zvonko Benčić; FER, EDZ, HRO CIGRÉ
Davorin Brkić; mag. ing.; HERA
Dr. sc. Božidar Filipović-Grčić; HRO CIGRÉ
Dr. sc. Branko Hanžek; HAZU
Mr. sc. Ernst Mihalek; EDZ
Prof. dr. sc. Viktor Šunde; FER, HRO CIGRÉ
Mr. sc. Želimir Volf; EDZ

Tumač kratica

EDZ	Elektrotehničko društvo Zagreb
EI HP	Energetski institut Hrvoje Požar
FER	Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
FERIT tehnike,	Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektro- računarstva i informacijskih tehnologija
HAZU	Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
HERA	Hrvatska energetska regulatorna agencija
HRO CIGRÉ ske	Hrvatski ogranak Međunarodnog vijeća za velike elektroenerget- sustave
ICENT	Inovacijski centar Nikola Tesla
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineering
TVZ	Tehničko veleučilište u Zagrebu
VERN'	Sveučilište VERN

Autori članaka

Stjepan BADANJAK, oec.
Lošinjska 29
10000 Zagreb
stjepan.b@7539@gmail.com

Prof. dr. sc. Zdenko BALAŽ
Sveučilište VERN
Palmotićeva ul. 82/1
10000 Zagreb
zbalaz@tvz.hr

Prof. dr. sc. Željko BAN
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo
Unska 3
10000 Zagreb
zeljko.ban@fer.hr

Niko BARNJAK, mag. ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Konavoska 2
10000 Zagreb
nbarnjak@dvz.hr

Dr. sc. Reni BANOV, pred.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Avenija Većeslava Holjevca 15
10000 Zagreb
rbanov@tvz.hr

Prof. dr. sc. Zvonko BENČIĆ
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju
Unska 3
10000 Zagreb
zvonko.bencic@fer.hr

Prof. dr. sc. Nikola BOGUNOVIĆ
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave
Unska 3
10000 Zagreb
nikola.bogunovic@fer.hr

Davorin BRKIĆ, mag. ing.
Labinska 15
10000 Zagreb
davorin.brkic@hotmail.com

Slobodan DODEROVIĆ, dipl. inž.
RIZ Profesionalna elektronika
Božidarevićeva 13
10000 Zagreb
slobodan.doderovic@riz-pe.hr

Jasna DRAVEC BRAUN
Savska 155b
10000 Zagreb
jasna.dravecbraun@a1net.hr

Karla DRAŽENOVIĆ, mag. ing.
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju
Unska 3
10000 Zagreb
karla.drazenovic@fer.hr

Ivan DUJNIĆ
Frana Bošnjakovića 3
10000 Zagreb
dujnici@gmail.com

Prof. dr. sc. Siniša FAJT
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroakustiku
Unska 3
10000 Zagreb
sinisa.fajt@fer.hr

Prof. dr. sc. Ivan FLEGAR
Stjepana Ladiše 13
10090 Zagreb
ii.flegar@gmail. com

Prof. dr. sc. Darko FISCHER
Novi Goljak 19
10000 Zagreb
dfischer1938@gmail.com

Dr. sc. Vladimir FRANKI
Sveučilište u Rijeci, Tehnički Fakultet
Energy Platform Living Lab Zagreb
Vukovarska 58
51000 Rijeka
vfranki@riteh.hr

Dario GLUVAČEVIĆ, mag. ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Konavoska 2
10000 Zagreb
dgluvacevic@tvbz.hr

Zoran GROZNICA, mag. ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Konavoska 2
10000 Zagreb
zgroznica@tvz.hr

Prof. dr. sc. Boris HALASZ
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Ivana Lučića 5
10000 Zagreb
boris.halasz@fsb.hr

Dr. sc. Branko HANŽEK
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Zavod za povijest i filozofiju znanosti HAZU
A. Kovačića 5
10000 Zagreb
bhanzek@hazu.hr

Doc. dr. Marko HORVAT
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za primijenjeno računarstvo
Unska 3
10000 Zagreb
marko.horvat3@fer.hr

Prof. dr. sc. Ivan ILIĆ
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju
Unska 3
10000 Zagreb
ivan.ilic@fer.hr

Mr. sc. Želimir IVANOVIĆ
Mareton d.o.o.
Odranska 1
ivanovicz@yahoo.com

Antun JELIĆ, mag. ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Konavoska 2
10000 Zagreb
ajelic@tvz.hr

Izv. prof. dr. sc. Alan JOVIĆ
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave
Unska 3
10000 Zagreb
alan.jovic@fer.hr

Prof. dr. sc. Franjo JOVIĆ
Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija
Kneza Trpimira 2B
31000 Osijek
jovic@etfos.hr

Dr. sc. Denis JUREČIĆ
Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet Getaldićeva 2
10000 Zagreb
denis.jurecic@grf.hr

Marijan KALEA, dipl. ing.
Vijenac I. Meštrovića 6
31000 Osijek
marijan.kalea@os.t-com.hr

Doc. dr. sc. Arijana KOLAK BOŠNJAK
Hrvatski institut za povijest
Opatička 10
10000 Zagreb
akolak@isp.hr

Mr. sc. Želimir KOZLINA
Veleučilište Velika Gorica
Zagrebačka 5
10410 Velika Gorica
zf.kozlina@gmail.com

Dr. sc. Iva KURELAC
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Zavod za povijesne i društvene znanosti
Strossmayerov trg 2
10000 Zagreb
ikurelac@hazu.hr

Doc. dr. sc. Željko KNEZIĆ
Tekstilno-tehnološki fakultet
Prilaz baruna Filipovića 28
10000 Zagreb
5bzknezic@gmail.com

Tatjana KREN, prof.
Jurjevska 31a
10000 Zagreb
tatjanakren@yahoo.com

Tihana LUETIĆ
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Zavod za povijesne i društvene znanosti
Odsjek za povijesne znanosti
Strossmayerov trg 2
10000 Zagreb
tluetic@hazu.hr

Mr. sc. Darko LUKŠA
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Vrbik 8
10000 Zagreb
dluksa2@gmail.com

Branka MARIJANOVIĆ, mag. bibl.
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Središnja knjižnica
Unska 3
10000 Zagreb
branka.marijanović@fer.hr

Mr. sc. Ozana MARTINČIĆ
Leksikografski zavod Miroslav Krleža
Frankopanska 26
10000 Zagreb
ozanamartini28@gmail.com

Prof. mr. sc. Miroslav MATASOVIĆ
Marijanovićev prilaz 2
10000 Zagreb
miroslav.matasovicl@zg.t-com.hr

Ivan MATEJAŠIĆ, dipl. oec.
Spin d.o.o.
Županijska ulica 15
31000 Osijek
ivan@spin.hr

Josip MEDIĆ, mag. ing.
Končar – Električna vozila
Ul. Ante Babaje 1
10090 Zagreb
medic.josip@yhoo.com

Dr.sc. Miroslav MESIĆ, dipl. ing.el.
Stručni konzultant za energetiku
Stručni nadzor d.o.o.
Sokolgradska 59
10000 Zagreb
miro.mesic1708@gmail.com

Dr. sc. Vlatko MIĆKOVIĆ, prof.
Barutanski jarak 83
10000 Zagreb
drmickovic@gmail.com

Mr. sc. Ernst MIHALEK
Elektrotehničko društvo Zagreb
Berislavićeva 6
10000 Zagreb
ernst.mihalek@zg.t-com.hr

Prof. dr. sc. Željka MILIN ŠIPUŠ
Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet
Zavod za geometriju
Horvatovac 102a
10000 Zagreb
milinsipus@gmail.com

Izv. prof. dr. sc. Petar MILJKOVIĆ
Sveučilište Sjever
Trg dr. Žarka Dolinara 1
48000 Koprivnica
Sveučilišni centar Varaždin
Jurja Križanića 31b
42000 Varaždin
petar.miljkovic@unin.hr

Josip MOSER, dipl. ing. (ime staviti u crni okvir, umro)
Elektrotehničko društvo Zagreb
Berislavićeva 6
10000 Zagreb
josip.moser@xnet.hr

Vinko MÜLLER, inž.
RIZ CEI-IETA
Božidarevićeva 13
10000 Zagreb
vmuller1357@gmail.com

Prof. dr. sc. Gojko NIKOLIĆ
Jordanovac 119
10000 Zagreb
gojko.nikolic@ttf.hr

Doc. dr. sc. Marino Marijan NINČEVIĆ
Sveučilište u Zagrebu, Hrvatski studiji
Borongajska cesta 83d
10000 Zagreb
mnincevic@hrstud.hr

Mr. sc. Marijan OŽANIĆ
Svetog Mateja 27
10000 Zagreb
marijan.ozanic@gmail.com

Prof. dr. sc. Snježana PAUŠEK-BAŽDAR
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Antropološki centar HAZU
A. Kovačića 5
10000 Zagreb
spbazdar@hazu.hr

Prof. dr. sc. Nedjeljko PERIĆ
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod a automatiku i računalno inženjerstvo
Unska 3
10000 Zagreb
nedjeljko.peric@fer.hr

Nicole PILAT, mag. ing.
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju
Unska 3
10000 Zagreb
nicole.pilat@fer.hr

Željko PINTURIĆ
RIZ-Odašiljači
Božidarevićeva 13
10000 Zagreb
zeljko.pinturic@riz.hr

Prof. dr. sc. Dragan POLJAK
Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Zavod za elektroniku i računarstvo
Ruđera Boškovića 32
21000 Split
dragan.poljak@fesb.hr

Prof. dr. sc. Dubravko ROGALE
Sutlanska 16
10292 Šenkovec
dubravko.rogale@ttf.hr

Dr. sc. Dragan ROŠA
Zvjezdarnica Zagreb
Opatička 22
10001 Zagreb
drosa@zvjezdarnica.hr.

Akad. prof. dr. sc. Pavao RUDAN
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti
Razred za prirodne znanosti
Trg Nikole Šubića Zrinskog 11
10000 Zagreb
rudan@hazu.hr

Zoran BOBIČ ŠONC, dipl. ing.
Frankopanska 5A
10000 Zagreb

Filip ŠTERC, mag. geogr.
Zvjezdarnica Zagreb
Opatička 22,
10000 Zagreb
fsterc@gmail.com

Prof. dr. sc. Viktor ŠUNDE
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju
Unska 3
10000 Zagreb
viktor.sunde@fer.hr

Dr. sc. Ivica TOLJAN
Hrvatska bura električne energije d.o.o.
Croatian Power Exchange Ltd.
Ulica grada Vukovara 284
10000 Zagreb
ivica.toljan@cropex.hr

Marko TUCAKOVIĆ, mag. bibl.
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
Središnja knjižnica
Unska 3
10000 Zagreb
marko.tucaković@fer.hr

Dr. sc. Anđa VALENT, viši pred.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Elektrotehnički odjel
Konavoska 2
10000 Zagreb
anda.valent@tvz.hr

Franjo VIDAKOVIĆ, dipl. ing.
Hasana Kikića 10
10000 Zagreb
atomartina@gmail.com

Prof. dr. sc. Alfredo VIŠKOVIĆ
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Energy Platform Living Lab
Unska 3
10000 Zagreb
alfredo.viškovic@gmail.com

Mr. sc. Želimir VOLF
Elektrotehničko društvo Zagreb
Berislavićeva 6
10000 Zagreb
zelimir.volf@zg.t-com.hr

Tihomir VUKELJA
Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Fizički odsjek
Bijenička c. 32
10000 Zagreb
tvukelja@phy.hr

Ivica VUKOVIĆ, dipl. ing.
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Konavoska 2
10000 Zagreb
ivica.vukovic@tvz.hr

Dr. sc. Josip ZDENKOVIĆ
Schrack Technik d.o.o.
Zavrtnica 17
10000 Zagreb
josip.zdenkovic@schrack.hr

Prof. dr. sc. Jana ŽILJAK GRŠIĆ
Tehničko veleučilište u Zagrebu
Informatičko-računarski odjel Vrbik 8
10000 Zagreb
jana@tvz.hr

Prof. emeritus Vilko ŽILJAK
Sveučilište u Zagrebu Av. Vukovara 35A
10000 ZAGREB
vilko@ziljak.hr

Prof. dr. sc. Darko ŽUBRINIĆ
Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3
10000 Zagreb
darko.zubrinic@fer.hr

Predgovor[1]

Poštovane kolegice i kolege, evo nekoliko uvodnih riječi.

Ovo je 9. simpozij u godišnjem nizu na temu *Povijest i filozofija tehnike*. Namjeravali smo ga održati početkom lipnja, ali smo ga odgodili za jesen, očekujući nevirusna vremena. Ja jesam pesimist, ali obično stvari ispadnu gore nego što sam pretpostavljao.

Prvi simpozij održan je 2012. godine u organizaciji Elektrotehničkog društva Zagreb – EDZ-a. Zatim, još pet. Sedmi simpozij održan je u zajedničkoj organizaciji EDZ-a i Hrvatskog ogranka CIGRÉ. Osmi 2019. godine i današnji deveti su samo u organizaciji HRO CIGRÉ. Ukupno, na ovih osam simpozija objavljena su 129 rada na 2530 stranica. S ovim devetim simpozijem bit će više od 170 radova na više od 3200 stranica.

Jasno je da većina članaka izvlači od zaborava prošle događaje – povijesne činjenice. Na temelju odabranih povijesnih činjenica stvaraju se modeli. Modeli su nesavršeni, jer modelar-povjesničar odabire samo neke činjenice, neke zanemaruje, a mnoge niti ne zna. Modelar-povjesničar je u mnogo težem položaju od modelara-inženjera jer ne može napraviti fizički model i izmjeriti nepoznate činjenice. Zato, primjerice ima desetak biografija Napoleona koje opisuju Napoleona od velikog prosvjetitelja do velikog zločinca. No, metoda modeliranja u povijesti logički je jednaka metodi modeliranja u tehnici.

Zašto se bavimo poviješću i filozofijom tehnike? Promišljamo prošlost u svrhu promišljanja budućnosti. Vrlo je korisno i pametno neprekidno preispitivati što trebamo očuvati, što trebamo zadržati. Počnimo misliti na ono što imamo, na ono što valja, a ne samo na ono što nam treba novo. Okrenimo se sebi, dok još imamo kome.

Pitamo se kamo nas vodi napredak znanosti i tehnike? Nemojmo misliti da nas napredak nužno vodi u bolji život. Izraelski povjesničar Harari na kraju svoje knjige *Homo Deus* postavio je sljedeća pitanja:

− Jesu li organizmi samo algoritmi i je li život samo obrada podataka?

− Što je vrednije: inteligencija ili svijest?

1 Pozdravna riječ na otvaranju 9. simpozija PiFT2020.

– Što će se dogoditi s društvom, politikom i svakidašnjim životom kad nas ne-svijesni

ali visokointeligentni algoritmi budu poznavali bolje nego što poznajemo sami sebe?

Povijest tehnike propituje što treba sačuvati, a filozofija tehnike sputava ne-propitivani optimizam, tj. upozorava nas da znanstveni i tehnički napredak nužno ne donosi boljitak.

I nekoliko riječi o odvijanju simpozija. Nekada smo imali, poslije uvodnih predavanja, paralelni rad u dvije sekcije. Trajao je dva dopodneva. Ovog puta nema paralelnih sekcija. Trajat će tri dopodneva. Tako je moguće nekome poslušati sva za njega zanimljiva predavanja. Molio bih da se pridržavamo satnice predavanja, time omogućimo pojedincima odabir i slušanje predavanja „na preskok".

Želim autorima svim sudionicima plodonosan simpozij bez tehničkih problema.

Zvonko Benčić

Sadržaj

Znanost i nastava

001
Dragan Poljak:
Ograničenja matematičkih modela u fizici i tehnici s osvrtom na klasični inženjerski elektromagnetizam

002
Ivan Flegar:
O električnoj energiji

003
Dragan Roša, Filip Šterc, Marko Horvat:
Mreža detektora kozmičkog zračenja SEVAN

004
Zdenko Balaž, *Marino Marjan Ninčević, Zoran Groznica*:
Filozofija kognitivne kibernetike za edukacije budućnosti

005
Balaz, Gluvacevic, Barnjak, Jelic
Paradigme-elektromagnetskih-zracenja-u-tehnici-i-medicini

006
Franjo Jović, *Želimir Kozlina*, *Alan Jović*:
Informacija o svrhovitim mehanizmima

007
Stjepan Badanjak, *Franjo Vidović:*
Školovanje jednog naraštaja tehničara u ratnim i poratnim uvjetima Drugog svjetskog rata u Zagrebu

008
Zoran Šonc-Bobić:
Optimalni solverumi Apolloniosovih problema

Znanost i proizvodnja

001
Marijan Ožanić:
Priča o KONČAR-SUS-u, o nastanku, razvoju i propasti Končareve tvornice oružja

002
Ivan Dujnić:
O tvornici poluvodiča RIZ

003
Darko Fischer, Ivan Matejašić:
Računalna tranzicija

004
Denis Jurečić, Petar Miljković, *Vilko Žiljak, Jana Žiljak Gršić:*
Transformacija proizvodnje ambalaže do digitalne integracije 3P *prepress*, *press*,

005
Davor Brkić:
Sustavsko mišljenje i elektroenergetsko tržište u teoriji

006
Martincic:
Razvoj-tekstilne-industrije-u-sjevernoj-Hrvatskoj-od-zanatskih-radionica-do-industrijskih-divova001

007
Želimir Volf:
Moja sjećanja na rad u South African Posts & Telegraphs

008
Josip Zdenković:
Izbor iz dnevnika trgovca elektromotornim pogonima s asinkronim motorima

009
Želimir Ivanović:
Moja priča od analogne, preko digitalne, učinske do *embedded* elektronike

010
Josip Medić, *Dubravko Rogale*:
Zbirka elektronskih cijevi profesora Petra Biljanovića

011
Karla Draženović, Željko Ban, Nicole Pilat, Viktor Šunde
Razvoj spremnika električne energije

Očuvanje hrvatske tehničke baštine

001
Boris Halasz:
Računska pomagala kroz povijest

002
Branko Hanžek, Arijana Kolak Bošnjak:
Milenijska izložba u Budimpešti 1896. godine

003
Tatjana Kren:
Naše nebo, najpopularnija knjiga Otona Kučere u izdanju Matice hrvatske

004
*_Doderovic-Pinturic-Muller-Rogale_*
Tvornice-Profesionalna-elektronika-i-Odasiljaci-iz-RIZ-Zagreb-stanje-i-sudbina

005
Branka Marijanović, *Marko Tucaković*:
Očuvanje arhivske građe i kulturne baštine FER-a

006
Dubravko Rogale; Željko Knezić, *Darko Lukša*, *Siniša Fajt*:
Osciloskopi u fundusu Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme

Hrvatski znanstvenici

001
Gojko Nikolić:
Sličnost genija i vizionara Leonarda da Vincija i Nikole Tesle

002
Nikola Bogunović:
Elektroničar Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.) – znanstvenik i mentor

003
Miroslav Matasović:
Hod ispred vremena – O radu prof. dr. sc. Nenada Josipa Jurja Marinovića

004
Branko Hanžek:
Fizičar Ivo Babić Gjalski – prerano prekinuti uzlet u neslućene visine

005
Iva Kurelac:
John Wilkins and the issue of Faust Vrančić's parachute jump: The analysis of the narrative sources (John Wilkins i pitanje skoka Fausta Vrančića padobranom: analiza narativnih izvora)

006
Tihomir Vukelja, *Tihana Luetić*:
Marija Lukšić − prva asistentica na zagrebačkom sveučilištu

007
Nedjeljko Perić:
Prof. dr. sc. Vladimir Muljević

008
Snježana Paušek-Baždar:
Đuro Baglivi i njegov nauk o genezi minerala

009
Želimir Volf:
Sjećanje na Josipa Mosera

010
Darko Žubrinić, *Zvonko Benčić*:
Matematičari koji su diplomirali na tehničkim fakultetima

011
Ivan Ilić:
Anton Dolenc – stručnjak, znanstvenik i profesor

012
Marijan Kalea:
Primjer sjajne organizacije profesora Antona Dolenca

013
Josip Medić:
Danas najstariji Končarevac −projektant Zvonimir Oštrić

Predstavljanje knjiga

001

Miroslav Mesić (ur.):
Elektroprijenos Hrvatske u Domovinskom ratu (1990. − 1998.), Hrvatski operator prijenosnog sustava (HOPS), Zagreb, 2019.

Znanost i nastava

Dragan Poljak

Ograničenja matematičkih modela u fizici i tehnici s osvrtom na klasični inženjerski elektromagnetizam

Sve što je meni važno je da teorija predvidi rezultate mjerenja.
Stephen W. Hawking

Sažetak: U radu se razmatra karakter matematičkih modela u fizici i tehnici te posljedično njihova ograničenja. Dok se u fizici razmatra priroda i u skladu sa znanstvenom metodom tako dolazi do fizikalnih zakona kojima se opisuju pojave u stvarnom svijetu, uloga tehnike je mijenjanje svijeta u smislu tehnološkog napretka primjenom fizikalnih zakona. Uz eksperimentalne metode, ključnu ulogu u razvoju fizike i tehnike igraju matematički modeli koji uključuju teorijsku podlogu temeljenu na fizikalnim zakonima te matematičku metodu rješavanja jednadžbi modela. Za realistične probleme, pogotovo u tehnici, nužno je približno, odnosno numeričko rješavanje odgovarajućih jednadžbi što implicira implementaciju na računalu. U postupku matematičkog modeliranja nailazi se na ograničenja na nekoliko razina. Temeljna ograničenja leže duboko u osnovi fizikalno-filozofskih postavki promatranja svijeta, a tiču se pitanja granica znanstvene spoznaje o prirodi uopće, na kakve se nailazi u fizici u vidu Heisenbergovih relacija neodređenosti, matematici u formi Gödelova teorema nepotpunosti ili pak u osnovnim postavkama Kantove filozofije o granicama naše spoznaje. Druga klasa ograničenja odnosi se na činjenicu da su modeli pojednostavnjene simulacije razmatranih pojava, odnosno set parametara koje se uzima u obzir uvijek je ograničen. Sljedeći je korak u ograničenjima metoda rješavanja određene operatorske jednadžbe (primjerice diferencijalne jednadžbe), a posljednji je problem implementacija na računalu, tj. pitanje izračunjivosti. Činjenica je da se diferencijalne jednadžbe temelje na kontinuiranim veličinama, a ono što se procesira na računalu jesu konačni skupovi diskretnih podataka.
Nakon uvodnih razmatranja u radu se analiziraju matematičke analogije u modelima iz različitih grana fizike, a potom se razmatra povijesno-filozofski razvoj elektromagnetizma te značajke matematičkih modela u elektro-

magnetizmu. Konačno, izneseni su neki ilustrativni primjeri iz područja elektromagnetske kompatibilnosti i bioelektromagnetizma.

Ključne riječi: elektromagnetski modeli, matematički modeli, metode rješavanja, prirodni zakoni, različite klase ograničenja

Uvodna razmatranja

Jedan je od ključnih koraka u analizi prirodnih pojava razvoj i primjena odgovarajućeg matematičkog modela temeljenog na nekom fizikalnom zakonu, kao jednog od fundamentalnih koncepata znanstvene metode, s pomoću kojeg je moguće predvidjeti ponašanje realnog sustava s određenom (zadovoljavajućom) razinom preciznosti [1]. Nadalje, dok se u [1] problematiziraju značajke fizikalnog modela kao temeljnog koncepta za predočavanje realnih sustava u znanosti, problem ograničenja matematičkih modela u znanosti u smislu postojanja fundamentalnih ograničenja spoznaja o fizičkom svijetu propituje se u [2]. Tako se u okviru fizike, ali i filozofije znanosti, da postaviti pitanje postoji li 'teorija svega' (engl. *theory of everything* − TOE) i je li uopće dostupna u matematičkoj formi te je provjerljiva u eksperimentalnom smislu? Primjerice, veliki problem kod 'teorije struna' (engl. *string theory*) dosadašnja je nemogućnost eksperimentalne provjere [3].

Dostignuća znanosti XX. stoljeća upućuju na ono 'što nije' moguće prekoračiti (brzina svjetlosti u Einsteinovoj specijalnoj teoriji relativnosti) te 'što nije' moguće znati (Heisenbergove relacije neodređenosti u fizici, Gödelov teorem nepotpunosti u matematici).

Drugi set ograničenja u modelima je, može se reći, praktične prirode, s obzirom na to da model predstavlja pojednostavnjenu predodžbu promatrane prirodne pojave, tj. broj varijabli koje se razmatraju uvijek je konačan. Taj set ograničenja sadržan je u formulaciji problema, u vidu dane operatorske jednadžbe (diferencijalne, integralne itd).

Sljedeće je važno pitanje koje su metode na raspolaganju za rješavanje operatorskih jednadžbi kojima je model matematički opisan. Matematički model prirodne pojave u osnovi implicira strukturu kontinuiranog karaktera (beskonačni broj stupnjeva slobode). S druge strane, velik broj problema u fizici, a pogotovo u tehnici (većina realističnih scenarija iz inženjerske prakse) svodi se na približno rješavanje diferencijalnih, integralnih, integro-diferencijalnih ili varijacijskih jednadžbi na računalu, pri čemu se pojava svodi na konačni set podataka. Dakle, svijet kontinuiranog transformira u diskretni set podataka koji obrađuje računalo.

Što se događa pri implementaciji kontinuiranog matematičkog modela implementiranog na računalu s konačnim brojem stanja? Primjerice, kod

rješavanja brojnih praktičnih problema s velikim sustavima linearnih jednadžbi nerijetko se javljaju tzv. loše uvjetovani sustavi, odnosno sustavi nepoznanica kod kojih se zbog nedovoljne preciznosti računanja dobivaju pogrešni, a katkad i potpuno besmisleni rezultati. Općenito se kod matematičkog modeliranja prirodnih pojava često nailazi na niz problema zbog prijelaza s idealiziranih kontinuiranih matematičkih operatora na skup diskretnih vrijednosti računala što se reflektira u točnosti, brzini konvergencije, stabilnosti, pojavi tzv. lažnih rješenja, numeričkih artefakata itd.

U radu se razmatra priroda matematičkih modela koji se koriste u fizici i tehnici te posljedično i nužna ograničenja koja iz toga proizlaze. Prvo su iznesene analogije u matematičkim modelima koji se koriste u različitim granama klasične fizike: mehanici, prijenosu topline, hidromehanici i elektromagnetizmu. Potom je dan sažeti prikaz povijesti razvoja osnovnih ideja u klasičnoj elektrodinamici uz neke konotacije filozofije znanosti. Slijedi poglavlje o nekim općim postavkama modela u elektromagnetizmu te primjeri ograničenja primjene nekih modela u elektromagnetskoj kompatibilnosti i bioelektromagnetizmu. Na kraju su dana neka zaključna razmatranja.

Analogije u matematičkim modelima − mehanika, termodinamika, hidromehanika, elektromagnetizam

Činjenica je da prirodni zakoni u različitim područjima fizike imaju isti matematički zapis, u vidu istih tipova diferencijalnih jednadžbi, Takve analogije nemaju samo teorijski značaj nego su desetljima i temelj nekih važnih inženjerskih disciplina, primjerice temelj automatske regulacije. U nastavku se ukratko navode neke analogije u prijenosu topline, mehanici fluida, akustici i elektromagnetizmu.

Analogije u prijenosu topline, elektromagnetizmu i mehanici fluida

Temelji teorije toplinskih polja nastaju u XIX. stoljeću, klasičnim Fourierovim radovima. Vođenje topline kroz neku sredinu opisuje se Fourierovim zakonom:

$$\vec{q} = -\lambda \nabla T \tag{1}$$

gdje je $\vec{q}$ gustoća toplinskog toka, T temperaturno polje, a λ toplinska vodljivost sredine. Količina topline $\overline{Q}$ koja se prenese kroz infinitezimalni element izotermne plohe $d\vec{S}$ u diferencijalu vremena dt dana je izrazom:

$$\bar{Q} = \int_t \int_S \vec{q} d\vec{S} dt - \int_t \int_S \lambda \nabla T d\vec{S} dt \tag{2}$$

Pritom je veličina Q:

$$Q = \int_S \vec{q} \cdot d\vec{S} = -\int_S \lambda \nabla T d\vec{S} \tag{3}$$

toplinski tok. Iz općeg zakona održanja difuzijskog prijenosa topline da se izvesti jednadžba oblika: [4]

$$C_V \rho \frac{\partial T}{\partial t} = Q_i + \nabla\left(\lambda \nabla T\right), \tag{4}$$

gdje Q_i predstavlja volumnu gustoću unutarnjih toplinskih izvora, C_V je specifični toplinski kapacitet pri konstantnom volumenu po jedinici mase, a ρ gustoća tvari. Jednadžba (4) vrijedi uz pretpostavku homogenog i izotropnog tijela, pri čemu su parametri vremenski konstantni, a zanemaruje se promjena volumena prouzročena promjenom temperature. U slučaju razmatranja stacionarnih procesa jednadžba prijenosa topline (4) prelazi u Poissonovu jednadžbu oblika:

$$\nabla\left(\lambda \nabla T\right) = -Q_i . \tag{5}$$

Ako unutar promatranog volumena nema izvora topline, Poissonova jednadžba prelazi u Laplaceovu jednadžbu:

$$\nabla\left(\lambda \nabla T\right) = 0 . \tag{6}$$

Za rješavanje jednadžbe (4) nužno je poznavati početne i rubne uvjete, dok je za rješavanje jednadžbi (5) i (6) potrebno poznavati rubne uvjete.

Do **analogije toplinskog s električnim tokom** dolazi se razmatrajući konstitutivnu jednadžbu u elektrostatici:

$$\vec{D} = -\varepsilon \nabla \varphi \tag{7}$$

gdje je $\vec{D}$ gustoća električnog toka, ε permitivnost, a j električni skalarni potencijal. Očita je analogija između gustoće toplinskog i električnog toka izraženih preko gradijenta temperature, odnosno skalarnog električnog potencijala. Električni tok ψ_{el} tad je definiran plošnim integralom:

$$\psi_{\text{el}} = \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = -\int_S \varepsilon \nabla \varphi d\vec{S} \tag{8}$$

Poissonova jednadžba u elektrostatici je oblika:

$$\nabla\left(\varepsilon \nabla \varphi\right) = -\rho \tag{9}$$

gdje je ρ gustoća volumnog naboja. Laplaceova jednadžba za elektrostatsko polje u prostoru bez naboja je oblika:

$$\nabla\left(\varepsilon\nabla\varphi\right)=0. \tag{10}$$

Kad se razmatra strujno polje, odnosno električno polje naboja u gibanju, treba istaknuti kako je jedan od temeljnih zakona električnih krugova, Ohmov zakon, povijesno gledano nastao upravo razmatranjem ponašanja temperaturnih polja te povlačenjem određene analogije. Tako se u diferencijalnoj formi zakon može pisati u obliku:

$$\vec{J}=-\sigma\nabla\varphi, \tag{11}$$

gdje je $\vec{J}$ gustoća električne struje, σ specifična vodljivost, a j električni skalarni potencijal. Električna struja tad je definirana plošnim integralom

$$I=\int_S \vec{J}\cdot d\vec{S}=-\int_S \sigma\nabla\varphi d\vec{S}. \tag{12}$$

Integralni oblik Ohmova zakona (11) uključuje integralne veličine: struju, napon i električni otpor, a Laplaceova jednadžba za stacionarno strujno polje je oblika:

$$\nabla\left(\sigma\nabla\varphi\right)=0. \tag{13}$$

Nadalje, brojne su matematičke poveznice u mehanici fluida i elektromagnetizmu. Početkom XX. stoljeća elektromagnetizam, kao najmlađa disciplina klasične fizike, na sveučilištima širom Europe uglavnom se poučavao primjenom analogije iz mehanike fluida u smislu lakše vizualizacije elektromagnetskih pojava. Kao jedna od najčešćih analogija koristi se pojam nestlačivosti fluida, odnosno električnog naboja, a očita matematička analogija onda je dana u vidu jednadžbe kontinuiteta. U mehanici fluida jednadžba kontinuiteta je oblika:

$$\nabla\left(\rho\vec{v}\right)+\frac{\partial\rho}{\partial\tau}=0, \tag{14}$$

gdje je ρ gustoća, a $\vec{v}$ brzina gibanja fluida. U elektrodinamici pak jednadžba kontinuiteta povezuje izvore elektromagnetskog polja u vidu gustoće volumnog naboja ρ i gustoće struje $\vec{J}$:

$$\nabla\cdot\vec{J}+\frac{\partial\rho}{\partial\tau}=0. \tag{15}$$

Tok fluida je oblika:

$$Q = \int_S \rho \vec{v} \cdot d\vec{S} = -\int_S \nabla \phi d\vec{S} \tag{16}$$

gdje ϕ predstavlja potencijal brzine.

Očite su analogije u izrazima za toplinski tok (3), električni tok (8), električnu struju (12) i tok fluida (16).

Analogije u mehanici i elektromagnetizmu

Znanost o elektricitetu kao egzaktna, rigorozna disciplina u smislu matematičkog zapisa uočenih pojava počinje Coulombovim istraživanjima sredinom osamdesetih godina XVIII. stoljeća. Sam izraz za Coulombovu električnu silu između dva naboja:

$$\left|\vec{F}_{\text{el}}\right| = K\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, \tag{17}$$

gdje je K odgovarajuća konstanta proporcionalnosti, q_1 i q_2 dane količine naboja, a r je udaljenost između dva naboja, analogija je na Newtonovu gravitacijsku silu između dva tijela mase m_1, odnosno m_2:

$$\left|\vec{F}_G\right| = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \tag{18}$$

pri čemu je G odgovarajuća konstanta proporcionalnosti, a r udaljenost između tijela. Dok je gravitacijska sila uvijek privlačna, Coulombova sila može biti i privlačna i odbojna, ovisno o polaritetu naboja.

Nadalje, analogija Newtonove gravitacijske i Coulombove elektrostatske sile očituje se u njihovu konzervativnom karakteru, tj. rad tih sila ne ovisi u putanji nego o početnoj i krajnjoj točki. Tako je gravitacijska sila izražena negativnim gradijentom potencijalne energije:

$$\vec{F} = -\nabla W_{\text{pot}} = -m\nabla V, \tag{19}$$

pri čemu je m masa tijela na nekoj visini z iznad zemlje, a V gravitacijski potencijal:

$$V = \frac{W_{\text{pot}}}{m} = g \cdot z, \tag{20}$$

gdje je g gravitacijska konstanta. S druge strane, sila na naboj q koji se nalazi u elektrostatskom polju je oblika:

$$\vec{F} = -\nabla W_{\text{pot}} = -q\nabla\varphi, \tag{21}$$

gdje je φ elektrostatski potencijal:

$$\varphi = \frac{W_{\text{pot}}}{q}. \tag{22}$$

U oba je slučaja rad A koji se izvrši pomicanjem mase m, odnosno naboja q od neke točke r_{A} do točke r_{B} jednak razlici energije u krajnjoj i početnoj točki:

$$A = \int_{r_A}^{r_B} \vec{F} \cdot d\vec{s} = -\int_{r_A}^{r_B} \nabla W_{\text{pot}} \cdot d\vec{s} = W_{\text{pot}}\left(r_A\right) - W_{\text{pot}}\left(r_B\right). \tag{23}$$

Nadalje, po Newtonovim zakonima klasične mehanike sila $\vec{F}$ mora biti jednaka promjeni količine gibanja materije:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{G}_{meh}}{dt} = \frac{d}{dt}\left(m\vec{v}\right) = \frac{d}{dt}\int_V \rho_m \vec{v} dV, \tag{24}$$

gdje je $\vec{G}_{meh}$ u mehanici impuls ili količina gibanja, ρ_m gustoća mase, a $\vec{v}$ brzina gibanja.

Elektromagnetski impuls po analogiji na mehaniku je [5]

$$\vec{G}_{EM} = \int_V \left(\vec{D} \times \vec{B}\right) dV = \int_V \left(\frac{1}{c^2}\vec{E} \times \vec{H}\right) dV \tag{25}$$

pa je onda zakon očuvanja količine gibanja, koji uključuje i elektromagnetsku količinu gibanja oblika:

$$\frac{d}{dt}\left(\vec{G}_{meh} + \vec{G}_{EM}\right) = 0. \tag{26}$$

Odnosno, slijedi

$$\vec{G}_{meh} + \vec{G}_{EM} = const. \tag{27}$$

Vrijedi istaknuti da je postojanje naprezanja u elektromagnetskom polju te elektromagnetske količine gibanja upozorilo na fizički realitet elektromagnetskog polja. Jedna od značajnih analogija u mehanici i elektromagnetizmu tiče se pitanja energije u sustavu koji se razmatra što vodi na varijacijski račun. S druge strane, velik broj numeričkih metoda za rješavanje problema u matematičkoj fizici i inženjerstvu ima korijene u varijacijskom računu, odnosno problemu minimizacije funkcionala energije. Zahtjev za ponašanje sustava u skladu s principom minimuma energije prema računu varijacija svodi se na minimizaciju funkcionala:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} (W_{kin} - W_{\text{pot}})dt = \min \tag{28}$$

odnosno izraza:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{1}{2} mv^2 - W_{\text{pot}} \right) dt = \min, \tag{29}$$

gdje je m masa, a W_{pot} odgovarajuća potencijalna energija tijela u određenom položaju. S druge strane, funkcional elektromagnetske energije F koji odgovara jednadžbi (29) je oblika:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \left(W_{mag} - W_{el} \right) dt = \min. \tag{30}$$

Za slučaj slobodnog prostora, ako područje od interesa ne sadrži izvore, funkcional (30) je oblika:

$$F = \int_{t_1}^{t_2} \int_{V} \frac{1}{2} \left(\vec{B} \cdot \vec{H} - \cdot \vec{D} \cdot \vec{E} \right) dV dt = \min. \tag{31}$$

Uspoređujući izraze (29) i (31) jasna je analogija potencijalne energije i energije pohranjene u električnom polju, odnosno kinetičke energije i energije pohranjene u magnetskom polju. Prema računu varijacija funkcionali (29), odnosno (31) poprimaju minimalnu vrijednost kad njegova varijacija iščezava:

$$\delta F = 0, \tag{32}$$

tj. može se pisati:

$$\delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0 \tag{33}$$

pri čemu je L odgovarajući lagranžijan u mehanici, odnosno elektromagnetizmu. Jednadžba (33) implicira zahtjev za pronalaženje funkcija koje će integral (29), odnosno (31), tj. pripadni funkcional minimizirati.

Sljedeća značajna analogija odnosi se na mehaničke i električne titraje. Mehanički titraji mase m obješene o oprugu u slobodnom prostoru daju se opisati preko diferencijalne jednadžbe oblika:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega^2 x = 0, \tag{34}$$

gdje je x pomak mase m od ravnotežnog položaja, a ω frekvencija titranja

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \tag{35}$$

Električni titraji naboja q u strujnom krugu s kondenzatorom i zavojnicom (idealni titrajni krug bez gubitaka) daju se opisati preko istog tipa diferencijalne jednadžbe:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0 \tag{36}$$

pri čemu je ω kružna frekvencija:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \tag{37}$$

gdje je L induktivitet zavojnice, a C kapacitet kondenzatora. Očite su analogije između mase i naboja, ali i mase i induktiviteta u smislu mjere tromosti sustava.

Vrijedi napomenuti da su općenito u razvoju klasične fizike analogije s pojavama u mehanici išle toliko daleko da se od svake nove grane fizike očekivalo da se uklopi u koncept Newtonove mehanike. Ponekad je takav, donekle ipak radikalan pristup, imao i negativne posljedice u prihvaćanju novih ideja, kao što je to bio slučaj s Faradayevom idejom postojanja fizičkog polja i odbacivanjem njutnovskog koncepta djelovanja na daljinu.

Analogije u akustici i elektromagnetizmu

Val se općenito poima kao prijenos deformacije kroz prostor određenom brzinom, a u fizici se zapravo razlikuju tri vrste vala: mehanički valovi (poput valova zvuka), koji putuju samo unutar medija, elektromagnetski valovi koji predstavljaju samoodržavajuća titranja u vakuumu i valovi materije, koji također mogu postojati u vakuumu, a proučavaju se u kvantnoj fizici.

Jednadžba akustičnog vala je oblika:

$$\nabla^2 p = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}, \tag{38}$$

gdje je p tlak, a v brzina širenja vala.

U slobodnom prostoru valna jednadžba za magnetsko polje je oblika:

$$\nabla^2 \vec{H} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}, \tag{39}$$

pri čemu je brzina širenja vala jednaka brzini svjetlosti c:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}. \tag{40}$$

Vektorsku jednadžbu (39) moguće je raspisati po komponentana i prikazati preko tri skalarne jednadžbe, od kojih je svaka u matematičkom smislu analogna relaciji (38).

Spregnuti matematički modeli u multifizici

Vrijedi razmotriti neke modele koji objedinjuju različita polja fizike, poput gibanja čestice u elektromagnetskom polju, očuvanja konfiguracije plazme u magnetohidrodinamici ili porasta temperature u tkivu zbog elektromagnetskog zračenja (u okviru elektromagnetsko toplinske dozimetrije).

Na nabijenu česticu količine naboja q koja se nalazi u električnom polju $\vec{E}$ djeluje sila:

$$\vec{F} = q\ \vec{E}\ . \tag{41}$$

Prema drugom Newtonovu zakonu gibanje čestice mase m određeno je jednadžbom:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}. \tag{42}$$

Izjednačavanjem jednadžbi za silu (41) i (42) proizlazi:

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = q\ \vec{E}\,. \tag{43}$$

Rješenje diferencijalne jednadžbe (43) je oblika:

$$\vec{r}(t) = \frac{q\vec{E}}{2m}t^2 + \vec{v}_0 t + \vec{r}_0\,, \tag{44}$$

pri čemu je $\vec{v}_0$ početna brzina, a $\vec{r}_0$ početni položaj čestice.

Brzina gibanja čestice dana je jednadžbom:

$$\vec{v}(t) = \frac{d\vec{r}\,(t)}{dt} = \frac{q\vec{E}}{m}t + \vec{v}_0\,. \tag{45}$$

Električno polje da se izraziti preko skalarnog potencijala φ:

$$\vec{E} = -\nabla\varphi\,, \tag{46}$$

pa je sila tad:

$$\vec{F} = -q\ \nabla\varphi \tag{47}$$

a jednadžba (47) postaje:

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -q\nabla\varphi. \tag{48}$$

U pravokutnom koordinatnom sustavu jednadžba (48) razlaže se na tri skalarne jednadžbe:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -q\frac{\partial\varphi}{\partial x} \tag{49}$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -q\frac{\partial\varphi}{\partial y} \tag{50}$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = -q\frac{\partial\varphi}{\partial z}. \tag{51}$$

U slučaju da potencijal ovisi o sve tri prostorne koordinate, sustav jednadžbi (49) − (51) analitički je nerješiv te ga je potrebno riješiti numerički.

U fizici plazme, u okviru modela magnetohidrodinamike tlak vruće plazme da se uravnotežiti izjednačavanjem gustoće sile (vektorski produkt gustoće struje $\vec{J}$ i magnetske indukcije $\vec{B}$) i gradijenta tlaka na plazmu koji proizlazi iz mehanike fluida:

$$\vec{J}\times\vec{B} = -\nabla p\,. \tag{52}$$

U elektromagnetsko-toplinskoj dozimetriji porast temperature zbog izloženosti elektromagnetskom zračenju da se izraziti preko poopćene Pennesove jednadžbe:

$$\nabla\left(\lambda\nabla T\right) + Q_b + Q_m + Q_{EM} = C_V\rho\frac{\partial T}{\partial t} \tag{53}$$

gdje je Q_{m} volumna gustoća toplinskih izvora zbog metaboličkih procesa, Q_{b} volumna prokrvljenost tkiva:

$$Q_{\mathrm{b}} = W_{\mathrm{b}}C_{\mathrm{pb}}(T_{\mathrm{a}} - T), \tag{54}$$

pri čemu je W_{b} volumetrijski stupanj prokrvljenosti, C_{pb} je specifični toplinski kapacitet krvi, a T_{a} je arterijska temperatura. Gustoća toplinskih izvora zbog zračenja tkiva vanjskim poljem Q_{EM} je oblika:

$$Q_{\mathrm{EM}} = \frac{\sigma}{2}\left|E\right|^2 = \rho\cdot SAR, \tag{55}$$

gdje je SAR specifična gustoća apsorbirane snage (engl. *specific absorption rate*). Za stacionarne procese član s desne strane (53) jednak je nuli.

Vrijedi istaknuti da je u inženjerstvu i fizici sve više u uzletu disciplina koja se obično naziva multifizikom (engl. *multiphysics*), u okviru koje se razmatraju problemi koji uključuju spregnute grane fizike, poput elektromagnetsko-toplinske dozimetrije [6].

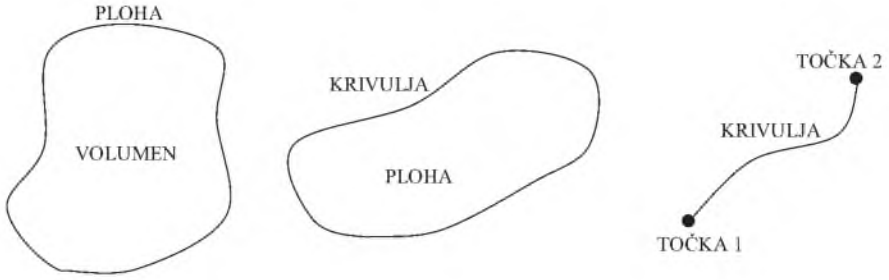
Simulacije u multifizici, koje obuhvaćaju različite fizikalne fenomene, igraju vrlo značajnu ulogu u brojnim poljima fizike i inženjerstva. Naime, multifizikalni procesi uključuju spregu različitih fizikalnih fenomena, tj. razmatranje različitih vrsta fizičkih makrokopskih polja koja međusobno do neke mjere utječu jedna na druge. Ako međudjelovanje tih polja nije značajnijeg opsega, onda se problemi mogu razmatrati odvojeno, ali ako se međudjelovanja tih fizičkih polja događaju u okviru iste vremenske skale uz pojavu jake nelinearne sprege, tad je nužno istodobno simuliranje tih veličina u realnom vremenu, odnosno oba polja potrebno je računati istodobno, ili kroz iterativne procedure. Tipičan je problem takvog tipa modeliranje plazme u okviru magnetohidrodinamike kod fuzijskih istraživanja u projektiranju nuklearnog reaktora.

Neke poveznice matematike i fizike

Cjeloviti matematički aparat vektorske analize uvelike je prilagođen pojmovima matematičke fizike, a njihova definicija usko je povezana s fizikalnim pojmovima iz mehanike fluida, mehanike, topline i elektromagnetizma. Operatori vektorske analize gradijent, divergencija i rotor imaju jasan fizikalni smisao u vidu prirode potencijalnih polja, postojanja monopolnih izvora i vrtložnih polja. Uz operator divergencije, rotora i gradijenta vezana su tri već spomentuta integralna teorema vektorske analize čijom je primjenom moguće sniziti dimenzionalnost problema, što je zorno prikazano na slici 1. [7]

Primjenom tih teorema razmatranje se s domene proračuna pomiče na granicu područja. Tako Gaussov teorem omogućava zamjenu operacija po volumenu odgovarajućim matematičkim operacijama po površini koja taj volumen zatvara. Stokesovim teoremom operacije po plohi zamjenjuju se odgovarajućim proračunima po krivulji koja tu površinu zatvara. Konačno, teorem o gradijentu integraciju po krivulji zamjenjuje razlikom vrijednosti neke skalarne funkcije u početnoj i krajnjoj točki krivulje. Očito, u sva tri slučaja integral više dimenzionalnosti sadrži određeni operator vektorske analize koji djeluje na vektorsku ili skalarnu funkciju, dok je s desne strane izraz niže dimenzionalnosti koji sadrži vektorsku ili skalarnu funkciju bez tog operatora. Vektorska polja složenija su od skalarnih polja, a jednoznačno su definirana ako su poznati i rotor i divergencija dane vektorske funkcije, što vrlo često stvara probleme u numeričkim postupcima rješavanja.

Analogije su očite, a pitanje je samo ima li analogni matematički zapis dublju konotaciju, ili mi različite pojave samo opisujemo istim matematičkim



Gaussov teorem Stokesov teorem teorem o gradijentu

$$\int_V \nabla \vec{A} dV = \oint_S \vec{A} \mathrm{d}\vec{S} \quad \int_S \nabla \times \vec{A} d\vec{S} = \oint_s \vec{A} \mathrm{d}\vec{s} \quad \int_{s_1}^{s_2} \nabla U \mathrm{d}\vec{s} = U(s_1) - U(s_2)$$

Sl. 1.: Integralni teoremi vektorske analize

alatima koje smo razvili. Odnos matematike i fizike na fundamentalnoj razini, odnosno dubinska povezanost tih dviju dsciplina nije kao ideja novijeg datuma i, s različitog stanovišta razmatrali su je brojni filozofi znanosti, fizičari i matematičari. Na to se pitanje referiraju i brojni suvremeni teorijski fizičari, poput Maxa Tegmarka, koji u knjizi *Matehmatical Universe* iz 2014. iznosi prilično radikalnu ideju da realni svijet nije samo opisan matematikom nego da 'jest' matematika [8]. Drugi teorijski fizičar, Roland Omnès, kroz razmišljanja u svojoj knjizi *Converging Realities* [9] iz 2000. iznosi poveznice između prirodnih zakona i matematike te ide prema zajedničkom filozofskom pogledu na fiziku i matematiku. Polazeći od, na prvi pogled, "čudesne" efikasnosti u primjenjivosti matematike u prirodnim znanostima, Omnès zastupa stanovište da su same matematičke strukture zapravo destilat zakona prirode. Za Emmy Noether, pak, zakoni očuvanja rezultat su simetrija u prirodi.

Kako bilo, činjenica je da se, za razliku od fizike (u smislu Popperove ili Kuhnove filozofije o razvoju znanosti) zakoni matematike, jednom postavljeni (izumljeni ili otkriveni … ?) ne mijenjaju niti nadopunjuju.

Povijesno-filozofski razvoj klasičnog elektromagnetizma

Značajniji razvoj znanosti o elektricitetu počinje s Benjaminom Franklinom, koji je 1747. godine dao osnovne ideje o korpuskularnoj teoriji elektriciteta. Također je uveo pojmove pozitivnog i negativnog naboja te zaključio kako se uvijek pojavljuju istodobno u istim količinama. Franklin je uveo i princip očuvanja električnog naboja i tako zaista postavio temelje znanosti o elektricitetu.

Početak rigoroznije matematičke analize elektromagnetskih pojava seže u sredinu osamdesetih godina XVIII. stoljeća i rad Charles-Augustina Coulomba koji pokazuje kako je električna sila na površini metalnog tijela proporcionalna "debljini električnog fluida" vezanog za površinu. Coulomb je smatrao kako su elektricitet i magnetizam dva odvojena fenomena što je vrlo vjerojatno usporilo istraživanje poveznica među tim pojavama u idućim desetljećima.

U XIX. stoljeću općenito se istraživanja elektromagnetizma razdvajaju u dva smjera: kontinentalni i britanski elektromagnetizam. Prvi, kontinentalni elektromagnetizam, ipak dijelom počiva na britanskim korijenima, odnosno Newtonovu konceptu djelovanja na daljinu (lat. *actio in distans*) i francuskoj matematičkoj školi, dok se britanski elektromagnetizam temelji na Faradayevu konceptu fizičkog polja. Kontinentalni je elektromagnetizam vrhunac doživio u Weberovu zakonu sile u okviru kojeg su ujedinjeni Coulombov, Ampèreov i Faradayev zakon. S druge strane, britanski elektromagnetizam u vidu Faradayevih ideja, Maxwellove teorije i Hertzove eksperimentalne potvrde te teorije uvelike je obilježio završnu fazu razvoja klasične elektromagnetske teorije.

Nakon formuliranja Coulombova zakona 1785., čija sličnost s Newtonovim zakonom gravitacije inspirira brojne istraživače, na značajnije doprinose u kontinentalnom elektromagnetizmu nailazi se u radovima Simon-Denisa Poissona, koji 1812. formulira prvu ozbiljnu matematičku teoriju elektrostatike te magnetostatike 1824. godine. Generalizaciju Poissonove teorije provodi britanski samouki matematički genij George Green u radu objavljenom u privatnom aranžmanu 1828. godine, uvodeći današnji pojam Greenove funkcije i Greenov teorem.

Poveznicu između elektriciteta i magnetizma prvi eksperimentalno postavlja danski fizičar Hans-Christian Oersted 1820., a iste godine André-Marie Ampère formulira svoj zakon sile. Ampère također definira elektrodinamiku kao znanost o silama koje nastaju zbog naboja u gibanju. Nešto kasnije, 1827. godine, Georg Simon Ohm razmatra električnu struju prema analogiji na protok topline, po uzoru na Fouriera koji je nešto ranije proučavao širenje topline u vodljivom mediju.

Britanska struja elektromagnetizma počinje Faradayevim otkrićem elektromagnetske indukcije 1831. godine, ali i, što je možda još važnije, idejom fizičkog polja, uvelike nadahnutog prirodnom filozofijom Ruđera Boškovića. Faradayev eksperimentalni zakon elektromagnetske indukcije matematički je oblikovao njemački fizičar Franz Ernst Neumann s pomoću matematičke veličine koju je nazvao vektorski potencijal. Zakon samoindukcije djelo je pak američkog fizičara Josepha Henryja, a otkriven je samo godinu nakon Faradayeva.

Wilhelm Eduard Weber šezdesetih godina XIX. stoljeća unificira Coulombov, Ampèreov i Faradayev zakon u (Weberov) jedinstveni zakon sile. Weberov zakon bio je varijanta Coulombova zakona poopćenog na točkaste naboje u

gibanju. Da bi se iz Weberova zakona sile dobio Ampèreov zakon, elementi struja pretpostavljeni su u vidu pozitivnih i negativnih naboja koji se gibaju simetrično u suprotnim smjerovima tako da se Coulombova sila poništava. Iako se iz Weberove fomule mogao izvesti i Faradayev zakon, ubrzo su se pojavile ozbiljne kritike Weberova zakona u smislu ispuštanja zakona konzervacije energije. To je pokušao demantirati Weber osobno, izvođenjem poopćenja Coulombovih potencijalnih funkcija. U svakom slučaju, iz Weberova zakona proizlazila je formulacija trenutačnog djelovanja na daljinu za temeljnu elektromagnetsku silu pa je Weberov zakon označio vrhunac kontinentalnog elektromagnetizma. Kašnjenje zbog konačne brzine sile uveo je 1858. godine Bernhard Riemann i 1867. godine Ludwig Lorenz. U međuvremenu je 1864./1865. već bila objavljena Maxwellova teorija temeljena na Faradeyevu konceptu polja pa je povijesno koncept djelovanja na daljinu izgubio bitku s Faraday-Maxwellovim konceptom polja.

James Clerk Maxwell, velikan britanskog elektromagnetizma, ali i jedan od najvećih fizičara svih vremena, razmatrao je 1856. analogiju elektriciteta s hidromehanikom, a pet godina poslije pokušava konstruirati mehanički model predočavanja elektromagnetskih pojava. Sredinom šezdesetih godina XIX. stoljeća Maxwell dovršava potpunu teoriju elektromagnetskog polja. Iz čisto matematičkih rezultata vlastite teorije Maxwell anticipira postojanje elektromagnetskih valova te ostvaruje veliko ujedinjenje u klasičnoj fizici povezujući elektricitet, magnetizam i svjetlost. Maxwell tako upućuje na elektromagnetsku prirodu svjetlosti, tj. zaključuje da je svjetlost elektromagnetski val u vidljivom dijelu spektra koji se prostorom širi u skladu sa zakonima elektromagnetizma. U izvornoj formi, Maxwellova teorija sadržavala je dvadeset skalarnih jednadžbi koje je 1886. genijalni samouki fizičar viktorijanske ere Oliver Heaviside, više od dvadeset godina nakon Maxwellova izvornika i sedam godina nakon njegove smrti, reducirao na četiri vektorske jednadžbe koje sadrže samo polja i gustoće njihovih izvora.

U tom su smislu zakoni klasične elektrodinamike kojima se opisuje ponašanje makroskopskih elektromagnetskih polja izraženi skupom od četiri prostorno-vremenski ovisne parcijalne diferencijalne jednadžbe koje se danas nazivaju Maxwellovim jednadžbama.

Uz diferencijalni, postoji i integralni oblik tih jednadžbi. Ovisno o tome miruje li promatrani elektromagnetski sustav ili se relativno giba u odnosu na dani referentni koordinatni sustav, u Maxwellovim jednadžbama razmatra se djelomična ili ukupna promjena u vremenu. Ako se razmatra ukupna promjena u vremenu, onda se skup Maxwellovih jednadžbi za mirujuće sustave može dobiti kao specijalni slučaj skupa jednadžbi za pokretne sredine ako je brzina gibanja jednaka nuli. Skup Maxwellovih jednadžbi za gibajuće sustave prikazan je u dodatku A.

Interesantno je napomenuti kako je nešto kasnije, neovisno o Heavisideu, do iste četiri vektorske jednadžbe došao i Hertz, ali povijest znanosti primat daje Heavisideu. Vrijedi također istaknuti da je Heaviside favorizirao potencijale kao veličine u odnosu na polja.

Krajem osamdesetih godina XIX. stoljeća, desetljeće nakon Maxwellove smrti, sjajni njemački eksperimentalni fizičar Heinrich Rudolf Hertz, doktorski student velikog Helmholtza (koji je matematički formulirao zakon očuvanja energije), služeći se oscilatorom i rezonatorom, eksperimentalno dokazuje postojanje elektromagnetskih valova.

Između Maxwellovih jednadžbi u kojima se pojavljuju veličine fizike kontinuuma u vidu polja te volumnih gustoća njihovih izvora izraženih preko gustoća naboja i struja te relativističke elektrodinamike stoji Lorentzova elektrodinamika nabijene čestice koja tako povezuje svijet mikroskopskih efekata s makroskopskim pristupom u fizici. Naime, ontologija standardne mikroskopske klasične elektrodinamike počiva na dva temeljna entiteta: na mikroskopski nabijenim česticama točkastog karaktera i elektromagnetskim poljima, s jedne strane, te pripadne teorije koja opisuje način na koji pojavnosti čestica i polja međusobno determiniraju jedno drugo. Osnovni zakoni teorije kojom se opisuju interakcije između nabijene čestice i polja četiri su Maxwellove jednadžbe i jednadžba za Lorentzovu silu:

$$\vec{F} = q\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right). \tag{56}$$

Sustav od četiri Maxwellove jednadžbe proširen Lorentzovom silom u dijelu literature naziva se skupom Maxwell-Lorentzovih jednadžbi.

Nužno je istaknuti da je ta teorija mikroskopskog karaktera, a može se smatrati direktim nasljednikom teorije koju je razvijao ponajprije Lorentz, ali i neki drugi fizičari koji su na prijelazu iz XIX. u XX. stoljeće pokušali postaviti mikroskopske temelje Maxwellove elektrodinamike razvijene u XIX. stoljeću, koja izvorno predstavlja makroskopsku teoriju. Standardni suvremeni udžbenici elektromagnetizma općenito uvode i obrađuju oba pristupa: mikroskopsku teoriju te jednu suvremenu verziju makroskopske teorije.

Prema Maxwell-Lorentzovu sustavu jedndadžbi utjecaj vanjskog, narinutog elektromagnetskog polja na nabijene čestice, definiran Lorentzovim zakonom, tretira se kao Newtonov zakon sile, s tim da ubrzanje naboja ovisi o lokalnom elektromagnetskom polju. Dakle, gibanje čestice u polju i dalje je determinirano Newtonovim zakonima.

Godine 1873. škotski fizičar James Clerk Maxwell objavljuje knjigu naslovljenu *Rasprava o elektricitetu i magnetizmu*, u kojoj obuvaća sve dotad poznato iz elektromagnetizma zastupajući gledište Michaela Faradaya. Ime Jamesa Clerka Maxwella sinonim je za modernu fiziku, a tek u Maxwellovim rukama elektricitet je postao istinski egzaktna znanost.

Vrijedi posebno istaknuti i utjecaj Ruđera Boškovića na razvoj koncepta polja u klasičnom elektromagnetizmu. Faraday je proučavao opću Boškovićevu ideju o jednom zakonu sila u prirodi, izloženom u njegovoj *Teoriji prirodne filozofije*, postulirao postojanje fizičkog entiteta koji djeluje između permanentnog (trajnog) magneta i vodiča i nazvao ga poljem. Može se reći kako se Boškovićeve sile između točaka kod Faradaya poimaju kao električna, odnosno magnetska polja. Bošković sile smatra primarnom realnosti, a atome uporištima ili izvorima sila, dok su prema Faradayu naboji točke iz kojih izlaze ili ulaze električne silnice. Mirujući naboji tako su izvori električnog polja, dok su naboji u gibanju izvori magnetskih polja. Polje je, dakle, prostorna manifestacija svojeg izvora. Za Faradaya silnica je fizička realnost čime sa stanovišta filozofije znanosti on zapravo zastupa Boškovićev atomistički dinamizam.

Elektromagnetska teorija jedna je od tek nekoliko teorija u fizici u kojoj se jednadžbe gotovo uopće nisu mijenjale u odnosu na prvotni koncept. Maxwell je identificirao svjetlost kao elektromagnetski val i uveo koncept etera kao temeljni medij za elektromagnetsko polje kako bi zadržao mogućnost mehaničke interpretacije s obzirom na to da se u klasičnoj fizici dugo slijedilo načelo kako je prirodnu pojavu u biti moguće pojmiti jedino ako je se opiše jezikom klasične mehanike.

Maxwell se obično smatra jednom od najvećih figura u povijesti znanosti, uz bok Einsteinu i Newtonu. Kao Newton prije, i Einstein poslije njega, uveo je nov način gledanja na pojave u fizici, otvarajući potpuno nove konceptualne i praktične horizonte, ali i modificirajući građu prihvaćenih teorija i fizikalne (metafizikalne) koncepcije, tako mijenjajući, naime, ono što je Thomas Samuel Kuhn, jedan od vodećih filozofa znanosti XX. stoljeća nazivao paradigmama i uvodeći revolucionarnu znanost, odnosno prekidajući period normalne znanosti [10].

U skladu s, u kuhnovskom duhu rečeno, revolucionarnim karakterom Maxwellova djela, može se reći kako konstitutivni elementi današnje predodžbe vizije fizikalnog svijeta, koji se sastoji od čestica čije se međudjelovanje odvija preko polja, svoju konceptualnu podlogu temelje na dvama Maxwellovim doprinosima: kinetičkoj teoriji plinova i teoriji elektromagnetskog polja. Razvoj obiju teorija nije bio motiviran eksperimentalnim rezultatima koji se nisu uklapali u postojeću paradigmu (Kuhn), kao što je to, primjerice, slučaj s teorijom relativnosti i kvantnom mehanikom. Naprotiv, u slučaju elektromagnetizma sve činjenice poznate u Maxwellovo vrijeme bile su zadovoljavajuće interpretirane unutar Newtonove paradigme i inkorporirane u teorijski okvir zadovoljavajuće moći predviđanja koja se intenzivno koristila i kontinuirano razvijala sve do Hertzova eksperimentalnog dokaza postojanja elektromagnetskih valova, tj. konačne verifikacije Maxwellove teorije.

Za razliku od Galileija i Newtona koji su matematiku smatrali samo alatom fizike, apstraktni matematički koncepti naveli su Maxwella na anticipiranje

fizičkih entiteta. Temeljna motivacija u pozadini Maxwellovih istraživanja bila je filozofske, točnije metafizičke prirode, odnosno posljedica njegove predanosti alternativnom pogledu na svijet, koji je uveo Michael Faraday proučavanjem elektromagnetske indukcije i polarizacije u odnosu na postojeći dominantni teorijski okvir djelovanja na daljinu.

Izgradnja koherentne i zadovoljavajuće teorije zahtijevala je desetljeće Maxwellovih iznimnih intelektualnih napora koji su rezultirali elektromagnetskom teorijom svjetlosti, ali i formulacijom jednadžbi koje se i danas koriste u opisu elektromagnetskih pojava na makroskopskoj razini. Svjetlost, tj. elektromagnetski val vidljiv ljudskom oku, razlikuje se od valova koji se šire na vodi ili se, primjerice, stvaraju prilikom ljudskog govora u vidu kompresije zraka. (Takvi se valovi propagiraju u nekom materijalnom mediju.) Val je općenito poremećaj koji prenosi energiju kroz prostor, a za propagaciju svjetlosti nije potreban materijalni medij jer se svjetlost širi i u slobodnom prostoru u vidu titraja električnih i magnetskih polja. Električni naboj, dakle, stvara oko sebe polje pa drugi naboji u blizini osjećaju prisutnost tog polja.

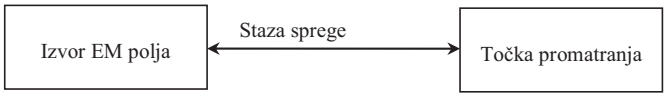
Polje, dakle, označava prostornu manifestaciju svojeg izvora pa tako, primjerice, zagrijani objekt stvara oko sebe temperaturno polje, a titranje naboja u prostoru stvara magnetsko polje. U skladu s Faradayevim otkrićem vrijedi i obratno, odnosno vremenski promjenjiva magnetska polja stvaraju električno polje. Tako je Maxwellov koncept matematički apstraktnog pojma polja proširio gledišta u fizici te omogućio ključni iskorak izvan okvira Newtonove mehanike i tako pripremio prostor za Einsteinovu specijalnu teoriju relativnosti i fiziku XX. stoljeća.

Općenito o matematičkim modelima u elektromagnetizmu

Rapidni napredak u razvoju digitalnih računala zadnjih pola stoljeća omogućio je velik napredak elektromagnetskih računalnih modela u svrhu predviđanja elektromagnetskih pojava sa zadovoljavajućom preciznošću.

Numeričko modeliranje omogućava simulaciju elektromagnetskog ponašanja razmatranog električnog sustava (u vidu odziva veličina od interesa) za široki raspon parametara od interesa, uz poznatu pobudu te poznate početne i rubne uvjete. Računalna simulacija u pravilu se odvija unutar znatno kraćeg vremena nego što bi bilo potrebno za izradu i testiranje određenog prototipa te primjenu odgovarajućih eksperimentalnih postupaka. Temeljna je svrha računalnog modela da se predvidi odziv u određenoj točki promatranja na danu pobudu u točki izvora.

Osnovni računalni elektromagnetski model, slika 2., uključuje izvor elektromagnetskog polja, stazu sprege koja se odnosi na elektromagnetska polja koja se propagiraju u slobodnom prostoru, materijalu ili vodiču i točku promatranja.



Sl. 2.: Osnovni računalni model

U osnovi svi elektromagnetski modeli opisani odgovarajućim diferencijalnim, integralnim ili varijacijskim jednadžbama proizlaze iz Maxwellovih jednadžbi. Operatorske jednadžbe na kojima se razmatrani model temelji mogu se, općenito gledano, riješiti primjenom analitičkih ili numeričkih metoda. Primjena analitičkih modela ograničena je gotovo isključivo na probleme koji se daju opisati kanonskim geometrijama s visokim stupnjem simetrije.

S druge strane, simulacija velikog broja realističnih problema u fizici i tehnici sa zadovoljavajućom preciznošću moguća je isključivo primjenom numeričkih metoda. Ograničenja u točnosti numeričkih modela, odnosno jednadžbi na kojima se ti modeli temelje, odnose se na ograničenja formulacije te primijenjene numeričke metode kojom se dane jednadžbe rješavaju.

Sa stanovišta stupnja aproksimacije koji se koristi unutar odgovarajuće teorijske podloge, elektromagnetski modeli mogu se općenito podijeliti u tri osnovne skupine:

- modeli teorije krugova temeljeni na konceptu koncentriranih električnih parametara
- modeli prijenosnih linija kod kojih se koriste distribuirani parametri koji vrijede za spregu s poljima nižih frekvencija
- modeli temeljeni na teoriji antena (engl. antenna theory models, full-wave models), kod kojih se uzimaju u obzir učinci zračenja, a koriste se na visokim frekvencijama za rješavanje problema propagacije elektromagnetskih valova.

Nadalje, ako se uzmu u obzir različiti karakteri izvora elektromagnetskih polja u smislu vremenske ovisnosti, problemi u klasičnom elektromagnetizmu [5, 7] mogu se specificirati kao:

- harmonijski ovisni problemi (engl. *continuous wave* (CW) *problems*)
- prijelazne pojave (engl. *transients*).

Međutim, čak i kad su u pitanju nesinusne vremenske promjene, iako se fizikalne pojave odvijaju u vremenu, određivanje odziva na neku pobudu ne samo u elektromagnetizmu nego i u inženjerstvu općenito, može se provesti u frekvencijskom ili vremenskom području. Ako se problem razmatra u frekvencijskom području, u svrhu dobivanja rezultata u vremenskoj domeni nužno je koristiti inverznu Fourierovu transformaciju. Nadalje, poznato je da se u frekvencijskom području dobivaju rezultati neovisni o izvoru na jednoj frekvenciji pa je nužno izvršiti niz proračuna u širokom pojasu frekvencija i potom

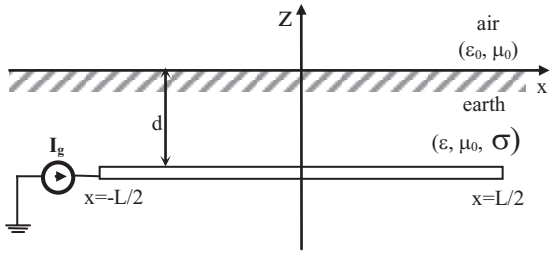
transformirati u vremensko područje kako bi se odredio vremenski odziv od interesa.

S druge strane, modeliranjem direktno u vremenskom području dobivaju se rezultati koji ovise o karakteru izvora, ali ekvivalentni su nizu proračuna u cijelom frekvencijskom pojasu. Simulaciju u vremenu nužno je izvršiti posebno za svaki različiti izvor. Stoga, izbor modeliranja u frekvencijskom, odnosno vremenskom području definitivno ovisi o posebnosti konkretnog problema koji se razmatra. Općenito gledano, analiza u vremenskom području traži dosta zahtjevniju formulaciju problema i znatno složenije postupke računanja u odnosu na analizu u frekvencijskoj domeni. Štoviše, u numeričkom smislu proračuni u vremenskom području podložni su nestabilnostima, što dodatno usložnjava problem jer je vrlo često nužno implementiranje procedura usrednjavanja i numeričkog filtriranja. Međutim, modeliranje u vremenskom području nudi jasnije razumijevanje procesa u smislu fizike problema, elegantnije uključivanje nelinearnih pojava u formulaciju te u brojnim situacijama također nudi određene računalne prednosti u smislu brzine i efikasnosti proračuna.

Među najčešće korištenim numeričkim metodama u elektromagnetizmu jesu metoda konačnih elemenata, metoda rubnih elemenata, metoda momenata te metoda konačnih diferencija u vremenskom području (engl. *finite difference time domain*). Jedno od najznačajnih pitanja u tom smislu odnosi se na točnost koju se može postići u okviru danog modela. Osnovna ograničenja elektromagnetskih modela proizlaze iz fizikalne kompleksnosti razmatranog problema. Ponekad je pretežak zadatak odrediti električna svojstva sustava ili je broj neovisnih parametara nužnih za razvoj modela prevelik za izvršenje računalnog koda za praktični program. Općenito, elektromagnetski računalni modeli mogu se testirati putem mjerenja ili teorijski, odnosno usporedbom rezultata s etabliranim numeričkim modelima. Novi model također je moguće testirati na nekom standardnom testnom problemu na kojem se verificiraju različite numeričke metode ili na nekim kanonskim problemima za koje postoji analitičko rješenje.

Primjeri ograničenja nekih modela u elektromagnetizmu

Primjer elektromagnetskih modela s određenim ograničenjima u ovom odjeljku prvo se odnosi na uvijek standardni problem elektromagnetske kompatibilnosti – određivanje tranzijentnog odziva uzemljivačke elektrode. Horizontalna uzemljivačka elektroda predstavljena je idealno vodljivom ravnom žicom konačne duljine L radijusa a, pobuđenom strujnim izvorom koji predstavlja struju munje, ukopanom na dubini d u konačno vodljivom poluprostoru permitivnosti ε i vodljivosti σ, kako prikazuje slika 3.



Sl. 3.: Horizontalna uzemljivačka elektroda pobuđena strujnim izvorom I_g

U primjeru se analizira tranzijentna impedancija horizontalne uzemljivačke elektrode primjenom teorije prijenosnih linija i teorije antena. Tranzijentna impedancija, parametar od iznimnog značaja u projektiranju uzemljivačkih sustava, definira se kao omjer vremenski promjenjivog napona $u(0, t)$ i $i(0, t)$ struje u točki napajanja: [11]

$$z(0.t) = \frac{u(0,t)}{i(0,t)}. \tag{57}$$

Pobudna struja $i(t)$, odnosno struja injektirana na jednom kraju uzemljivačke elektrode, kako je prikazano na slici 1., da se izraziti dvostrukom eksponencijalnom funkcijom oblika:

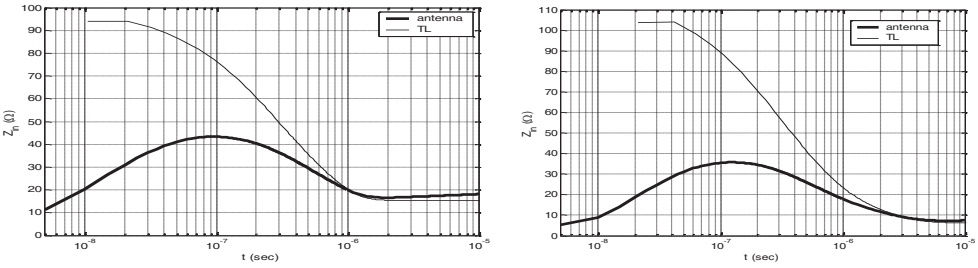
$$i(t) = I_0 \cdot (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad t \geq 0, \tag{58}$$

pri čemu je vrijeme porasta impulsa određeno parametrima α i β, dok I_0 označava amplitudu.

U svrhu proračuna tranzijentne impedancije (57) nužno je odrediti napon $u(0, t)$, što je iznimno složena zadaća, a matematičke detalje moguće je pronaći u različitim referencijama, primjerice u [5, 11]. Znatno jednostavniji pristup temelji se na pristupu preko prijenosnih linija, dok rigorozni pristup zahtijeva primjenu teorije antena. Oba su pristupa vrlo kratko skicirana u dodatku B, a puno detaljniji opis dostupan je u radovima i knjigama autora, npr. u [5, 11].

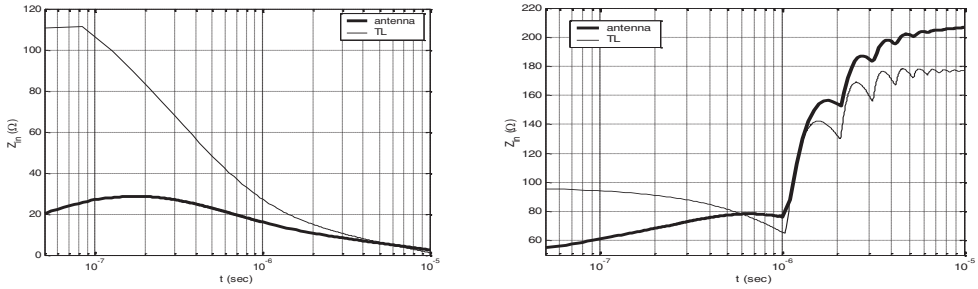
Slijede neki numerički rezultati za tranzijentnu impedanciju koji ilustriraju svojstva primijenjenih modela. Na slikama od 4. do 6. prikazana je tranzijentna impedancija u funkciji vremena primjenom antenskog modela (engl. *antenna model* − AM) i modela prijenosne linije (engl. *transmission line model* − TLM). Analizirane su tri duljine elektrode za dvije vrijednosti vodljivosti na fiksnoj dubini ukopa.

Uvidom u dobivene rezultate očito je da se ponašanje prijelazne pojave u ranim vremenskim trenucima znatno razlikuje kod modela antene i modela prijenosne linije. Dakle, teorija prijenosnih linija ne daje valjane rezultate sve do vremena oko 1 μs pa i za kasnije vremenske trenutke. Odgovor je jasan. Naime,



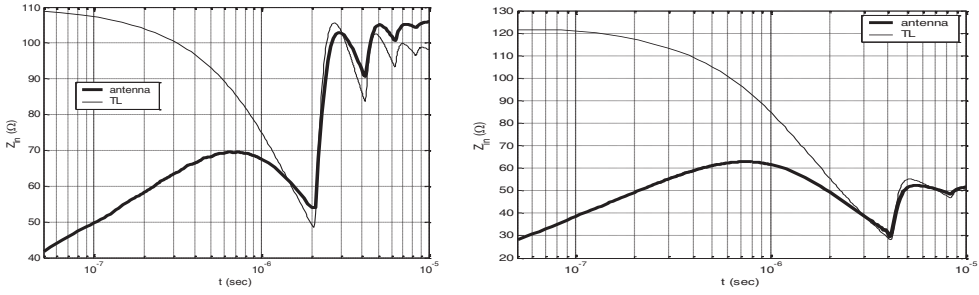
a) L = 50 m b) L = 100 m

Sl. 4.: Usporedba tranzijentnih impedancija dobivenih različitim modelima (d = 5 m, σ = 1 mS/m)



a) L = 200 m, σ = 1 mS/m b) L = 50 m, σ = 0,1 mS/m

Sl. 5.: Usporedba tranzijentnih impedancija dobivenih različitim modelima (d = 5 m)



a) L = 100 m, σ = 0,1 mS/m b) L = 200m, σ = 0,1 mS/m

Sl. 6.: Usporedba tranzijentnih impedancija dobivenih različitim modelima (d = 5 m)

raniji vremenski trenuci u frekvencijskom području odgovaraju visokofrekvencijskom dijelu spektra koji se ne može adekvatno uzeti u obzir metodom prijenosnih linija koja je upotrebljiva za spektralni sadržaj na nižim i srednje visokim frekvencijama te se njom ne mogu uzeti u obzir gubici energije u sustavu zbog zračenja.

U ovom konkretnom slučaju iznimno niskih vrijednosti vodljivosti, $\sigma = 1$ mS/m i $\sigma = 0{,}1$ mS/m primjena metode prijenosnih linija daje značajan prebačaj u vrijednostima tranzijentne impedancije i praktički je neupotrebljiva. S druge strane, u kasnijim vremenskim trenucima opaža se vrlo dobro slaganje obaju modela. Što je elektroda dulja, slaganje je bolje. Takvo je ponašanje modela također očekivano jer kasniji vremenski trenuci odgovaraju nižem dijelu frekvencijskog spektra, odnosno upućuju na ponašanje elektrode u nekom stacionarnom stanju. Dakle, analizirajući izložene numeričke rezultate može se zaključiti sljedeće:

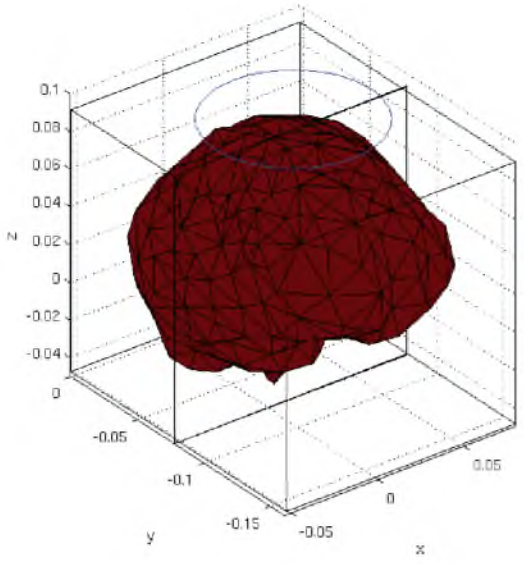
- upotrebom TLM modela nije moguće predvidjeti ispravne rezultate u ranim vremenima tranzijentne impedancije (do reda vrijednosti mikrosekunde)
- što je veća duljina elektrode postiže se bolje slaganje rezultata za antenski model i model prijenosne linije.

Drugi je primjer vezan uz biomedicinske primjene, odnosno terapijske učinke elektromagnetskih polja. Razmatra se homogeni model mozga uz realističnu geometriju u sklopu proračuna induciranog polja u mozgu zbog zračenja zavojnicom kroz koju protječe struja visoke jakosti, slika 7.

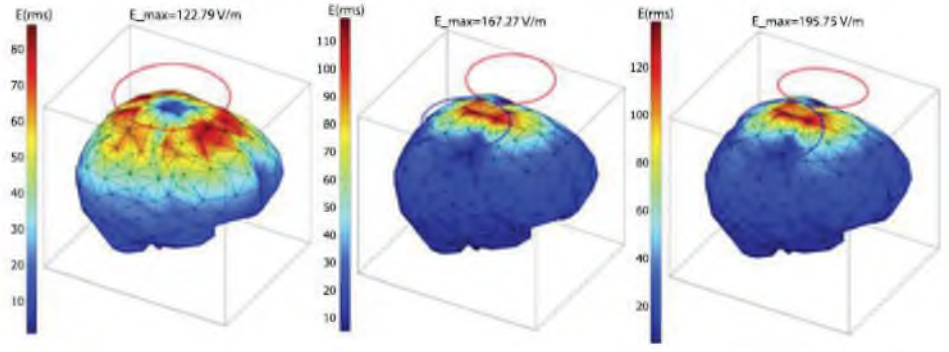
Taj problem razmatrao se u okviru Radne grupe 2 u okviru Pododbora za proučavanje dozimetrijskih metoda u okviru zaštite od elektromagnetskih polja [12]. Svrha Radne grupe 2 bila je analiza i kvantificiranje numeričkog šuma u dozimetriji polja niskih frekvencija. Posebna misija grupe odnosila se na istraživanje tzv. stepeničaste pogreške (engl. *stair-casing error*) tipične za metodu konačnih diferencija u vremenskom području (engl. *finite difference time domain* − FDTD). Također je od interesa bilo i testiranje drugih sofisticiranijih pristupa za rješavanje tog problema poput metode momenata (engl. *method of moments* − MoM) ili metode konačnih elemenata (engl. *finite element methods* − FEM).

Problem čija je geometrija prikazana na slici 8. u sklopu Radne grupe za detekciju uzroka numeričkih artefakata rješava se primjenom nekoliko različitih formulacija/numeričkih metoda. U ovom radu navode se rezultati dobiveni primjenom metode momenata, metode rubnih elemenata i metode konačnih elemenata. Detaljnija analiza tih metoda i analiza dobivenih rezultata dostupna je u [11], a u dodatku B dan je kratki osvrt na primijenjene metode rješavanja.

Prvi pristup počiva je formulaciji temeljenoj na spregnutim jednadžbama za električno polje (engl. *set of surface integral equations* − SIE), koje su riješene primjenom metode momenata (MoM). Drugi pristup temelji se na metodi rubnih elemenata (engl. *boundary element method* − BEM), a treći je hibridna metoda konačnih/rubnih elementa (engl. *hybrid finite element/boundary element*). Osim u [12], usporedba tih metoda s ilustrativnim primjerima dana je u [13].



Sl. 7.: Realistični homogeni model mozga



a) Kružna zavojnica b) zavojnica u obliku osmice c) leptirasta zavojnica

Sl. 8.: Inducirano električno polje po površini mozga za različite zavojnice

Na slici 8. prikazani su rezultati za inducirano električno polje po površini mozga za različite tipove zavojnica uz primjenu različitih numeričkih metoda. Rezultati na slici 8. dobiveni su rješavanjem spregnutih površinskih integralnih jednadžbi metodom momenata primjenom metodom momenata (SIE/MoM) za mrežu od 1224 trokuta. Maksimalni iznosi polja dobiveni primjenom metode momenata, metode rubnih elemenata i hibridne metode konačnih/rubnih elemenata prikazani su u tablici 1. Uočavaju se znatna odstupanja u maksimalnim vrijednostima polja što proizlazi iz različite prirode primijenjenih numeričkih metoda u smislu aproksimacije rješenja na element te algoritama diskretizacije.

Tablica 1: Usporedba rezultata za maksimalnu vrijednost induciranog električnog polja primjenom različitih numeričkih metoda

Metoda rješavanja	SIE/MoM	BEM	FEM/BEM
Maks. iznos polja, V/m	122,8	117,1	93,6

Zaključna razmatranja

U radu se razmatraju općenita svojstva matematičkih modela koji se koriste u fizici i tehnici te propituju različite klase ograničenja koja u tim modelima postoje. Dok se u fizici razmatra priroda i u skladu sa znanstvenom metodom tako dolazi do fizikalnih zakona koji reflektiraju pojave u stvarnom svijetu, uloga tehnike jest mijenjanje svijeta u smislu tehnološkog napretka primjenom fizikalnih zakona, matematičkog modeliranja i inženjerske intuicije. Raspravljena su ograničenja na nekoliko razina: temeljna ograničenja koja leže u osnovi fizikalno-filozofskih postavki promatranja svijeta, a tiču se pitanja granica znanstvene spoznaje o prirodi uopće, o kojima govore Heisenbergove relacije neodređenosti u fizici, u matematici u formi Gödelova teorema nepotpunosti ili pak osnovne postavke Kantove filozofije o granicama naše spoznaje. Druga klasa ograničenja odnosi se na činjenicu da su modeli pojednostavnjene simulacije pojava koje razmatramo, tj. set parametara koji se uzima u obzir uvijek je ograničen. Sljedeća je stepenica u ograničenjima tehnika rješavanja određene operatorske jednadžbe (primjerice diferencijalne jednadžbe), a zadnji problem na koji se nailazi implementacija je na računalu, odnosno pitanje izračunjivosti. Činjenica je da se diferencijalne jednadžbe temelje na kontinuiranim veličinama, a ono što se procesira na računalu konačni su skupovi diskretnih podataka.

Potom je razmatrana priroda analogija koje u smislu matematičkog zapisa postoje u različitim disciplinama klasične fizike, poput mehanike, prijenosa topline, akustike, hidromehanike i elektromagnetizma.

Poseban fokus stavljen je na povijesno-filozofski razvoj elektromagnetizma i nekih ograničenja u modelima koji se javljaju u elektromagnetizmu.

U radu su dani neki ilustrativni primjeri iz područja elektromagnetske kompatibilnosti bioelektromagnetizma.

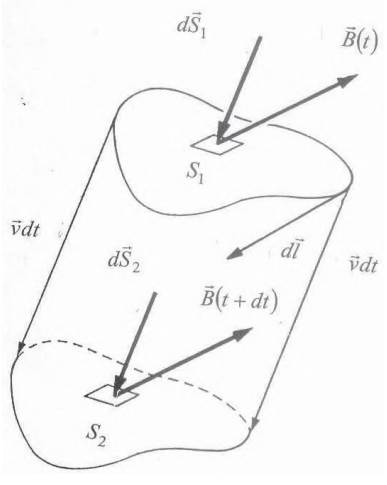
Svatko uzima granice svoje vlastite predodžbe za granice svijeta.
Arthur Schopenhauer

Dodatak A: Maxwellove jednadžbe za sustave u gibanju

Maxwellove jednadžbe modificirane su nekoliko puta [14] u zadnjih 150 godina otkad ih je prvi put formulirao Maxwell [15], a prve značajnije modifikacije Maxwellovih jednadžbi proveli su Poynting, Fitzgerald i Heaviside. Pod tim modifikacijama podrazumijeva se fizikalna interpretacija, matematički zapis te opći pristup metodama rješavanja za različite pobude. Povijesno gledano, postavljanjem Maxwellovih jednadžbi prvi je put osigurana rigorozna osnova za potpuni opis elektromagnetskih pojava na makroskopskoj razini za nerelativističke brzine. Štoviše, pojava Maxwellovih jednadžbi omogućila je pomak paradigme od koncepta *actio in distans* (djelovanje na daljinu) na pristup preko polja.

Maxwellove jednadžbe doživljavaju značajne promjene u dva navrata [16], prvi put kad su Heaviside i Hertz reducirali 20 skalarnih jednadžbi na četiri vektorske jednadžbe, dok je sljedeća modfikacija bila inicirana otkrićem elektrona. Treba posebno istaknuti ulogu Lorentza u razvoju mikroskopske, nerelativističke elektrodinamike temeljene na Maxwellovim jednadžbama, odnosno na uključenje sile koja djeluje na nabijenu česticu ako se ona nalazi u elektromagnetskom polju.

U tom smislu zakoni klasične elektrodinamike kojima se opisuje ponašanje makroskopskih elektromagnetskih polja izraženi su skupom od četiri prostorno-vremenski ovisne parcijalne diferencijalne jednadžbe koje se danas nazivaju Maxwellovim jednadžbama iako su ih na temelju Maxwellove teorije koja je sadržavala 20 skalarnih jednadžbi neovisno postavili Oliver Heaviside i Heinrich Hertz.



Sl. A.1. Geometrija pokretne sredine

Uz diferencijalni postoji i integralni oblik tih jednadžbi. Premda se diferencijalni oblik Maxwellovih jednadžbi najčešće koristi kod većine metoda za rješavanje elektromagnetskih problema, integralni oblik jednadžbi vrlo je značajan jer se njim jasnije izražavaju osnovni fizikalni zakoni koji stoje u pozadini Maxwellovih jednadžbi.

U nastavku je dan prikaz Maxwellovih jednadžbi za sustave koji se gibaju nerelativističkom brzinom v u odnosu na mirujućeg promatrača. Kod sustava koji se giba u odnosu na mirujućeg promatrača nerelativističkim brzinama, slika A.1., za razliku od Maxwellovih jednadžbi za mirujuće sredine, kod prvih dviju (rotorske) Maxwellove jednadžbe nužno je razmatrati ukupnu promjenu po vremenu.

Tako **prva Maxwellova jednadžba** mora sadržavati ukupnu promjenu magnetskog toka po vremenu:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}. \tag{A.1}$$

Ukupna vremenska promjena toka po površini kad se površina po kojoj se tok računa giba brzinom $\vec{v}$, slika A.1. može se pisati u obliku:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}\int_S \vec{B}d\vec{S}, \tag{A.2}$$

gdje je vremenska promjena magnetskog toka u pravokutnom koordinatnom sustavu:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial z}\frac{dz}{dt} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}. \tag{A.3}$$

Jednadžba (A.3) može se skraćeno pisati u obliku:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \left(\vec{v}\cdot\nabla\right)\vec{B} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \tag{A.4}$$

a kako za prvi član s desne strane (A.4) vrijedi:

$$\left(\vec{v}\cdot\nabla\right)\cdot\vec{B} = -\nabla\times\left(\vec{v}\times\vec{B}\right), \tag{A.5}$$

proizlazi:

$$\nabla\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} + \nabla\times\left(\vec{v}\times\vec{B}\right), \tag{A.6}$$

pa prva Maxwellova jednadžba postaje:

$$\nabla\times\left(\vec{E} - \vec{v}\times\vec{B}\right) = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} \tag{A.7}$$

i predstavlja diferencijalni oblik Faradayeva zakona za pokretne sredine.

Integralni oblik Faradayeva zakona za pokretnu sredinu dobiva se integracijom jednadžbe (A.7) po površini:

$$\int_S \nabla \times \vec{E} d\vec{S} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} + \int_S \nabla \times \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) d\vec{S} , \tag{A.8}$$

a primjenom Stokesova teorema slijedi:

$$\oint_c \vec{E} d\vec{s} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S} + \oint_c \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) d\vec{s} , \tag{A.9}$$

što uz definiciju magnetskog toka:

$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \tag{A.10}$$

konačno daje:

$$e = -\frac{\partial \phi}{\partial t} + \oint_c \left(\vec{v} \times \vec{B} \right) d\vec{s} \tag{A.11}$$

pri čemu oba člana na desnoj strani (A.11) predstavljaju poznate izraze za inducirani napon *e*. Drugi član s desne strane (A.11) postoji samo u slučaju relativnog gibanja sustava u odnosu na mirujućeg promatrača.

Sličnim se postupkom dobiva i **druga Maxwellova jednadžba** za pokretne sredine, koja mora sadržavati ukupnu vremensku promjenu gustoće električnog toka

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt} \tag{A.12}$$

pri čemu je ukupna promjena vektora $\vec{D}$ u pravokutnom koordinatnom sustavu:

$$\frac{d\vec{D}}{dt} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial x}\frac{dx}{dt} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial y}\frac{dy}{dt} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial z}\frac{dz}{dt} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \tag{A.13}$$

odnosno:

$$\frac{d\vec{D}}{dt} = \left(\vec{v} \cdot \nabla \right) \cdot \vec{D} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} . \tag{A.14}$$

Kako se prvi član na desnoj strani izraza (A.14) može pisati na način:

$$\left(\vec{v} \cdot \nabla \right) \cdot \vec{D} = -\nabla \times \left(\vec{v} \times \vec{D} \right) + \rho \vec{v} \tag{A.15}$$

slijedi:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} - \nabla \times \left(\vec{v} \times \vec{D} \right) + \rho \vec{v} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} . \tag{A.16}$$

Druga Maxwellova jednadžba za pokretne sredine može se pisati u obliku:

$$\nabla \times \left(\vec{H} + \vec{v} \times \vec{D} \right) = \vec{J} + \rho \vec{v} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}. \tag{A.17}$$

Jednadžba (A.17) sadrži, uz gustoće konduktivnih i pomačnih struja, i članove za struju konvekcije $\rho\vec{v}$ zbog gibanja volumne gustoće naboja i član zbog gibanja polariziranog medija $\vec{v}x\vec{D}$.

Integralni oblik druge Maxwellove jednadžbe za pokretni polarizirani medij dobiva se integriranjem jednadžbe (A.17)

$$\int_S \nabla \times \left(\vec{H} + \vec{v} \times \vec{D} \right) d\vec{S} = -\int_S \vec{J} d\vec{S} + \int_S \rho \vec{v} d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S} \tag{A.18}$$

a uz primjenu Stokesova teorema na jednadžbu (A.18) slijedi:

$$\oint_c \vec{H} d\vec{s} = -\oint_c \left(\vec{v} \times \vec{D} \right) d\vec{s} + \int_S \vec{J} d\vec{S} + + \int_S \rho \vec{v} d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} d\vec{S}. \tag{A.19}$$

Članovi na desnoj strani jednadžbe (A.19) predstavljaju ukupnu struju koja je onda izvor magnetskog polja, a sastoji se od vodljivih struja, konvekcijskih struja i struja generiranih zbog vremenske promjene polarizacije te gibanja polariziranog medija.

Zadnje dvije Maxwellove jednadžbe, koje sadrže operator divergencije, govore o postojanju / nepostojanju električnih/magnetskih monopola i istog su oblika za sustave u mirovanju, odnosno u gibanju. Tako **treća Maxwellova jednadžba** upozorava na postojanje električnih monopola, odnosno vrijedi:

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \tag{A.20}$$

tj. volumne gustoće naboja ρ predstavljaju monopolne izvore električnog polja. Integrirajući (A.20) po nekom volumenu V:

$$\int_V \nabla \cdot \vec{D} dV = \int_V \rho dV \tag{A.21}$$

a, uz primjenu Gaussova teorema o divergenciji slijedi integralni oblik treće Maxwellove jednadžbe:

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q, \tag{A.22}$$

gdje Q označava ukupan električni naboj sadržan unutar volumena V, tj.

$$Q = \int_V \rho dV. \tag{A.23}$$

Jednadžba (A.22) predstavlja Gaussov zakon za električno polje koji kaže da je tok vektora $\vec{D}$ brojčano jednak izvorima unutar promatranog volumena, odnosno obuhvaćenom električnom naboju unutar tog volumena.

Konačno, **četvrta Maxwelova jednadžba** isključuje postojanje magnetskih monopola, odnosno, oblika je:

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \tag{A.24}$$

tj. magnetsko polje uvijek je solenoidalno, odnosno bezizvorno u smislu monopolnih izvora.

Integralni oblik Gaussova zakona magnetskog polja dobiva se integriranjem jednadžbe (A.23) po volumenu:

$$\int_V \nabla \cdot \vec{B} dV = 0 \tag{A.25}$$

i primjenom Gaussova teorema o divergenciji slijedi:

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0. \tag{A.26}$$

Jednadžba (A.26) upozorava da je tok magnetskog polja $\vec{B}$ kroz bilo koju zatvorenu površinu S uvijek jednak nuli, odnosno silnice magnetskog polja zatvorene su same u sebe.

Dodatak B: Modeliranje primjenom teorije prijenosnih linija i teorije žičanih antena

Jednadžbe prijenosnih linija za horizontalnu uzemljivačku elektrodu u vremenskom području dane su u vidu sustava spregnutih parcijalnih diferencijalnih jednadžbi po naponu i struji (telegrafske jednadžbe) uzduž vodiča: [11]

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} + L\frac{\partial i(x,t)}{\partial t} + Ri(x,t) = 0 \tag{B.1}$$

$$\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} + C\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} + Gu(x,t) = 0 \tag{B.2}$$

gdje su $u(x, t)$ i $i(x, t)$ prostorno-vremenski napon i struja koji se induciraju uzduž linije (u ovom slučaju uzemljivačke elektrode).

Raspodijeljeni parameteri R, L, C, G za geometriju sa slike 3. određuju se u skladu s procedurom opisanom u [11]. Sustav telegrafskih jednadžbi (B.1) i (B.2) riješen je metodom konačnih elemenata, a matematički detalji dostupni su

u brojnim referencijama, primjerice u [11]. Primjenom metode težinskih odstupanja (engl. *weighted residual approach*) u okviru prostorne diskretizacije za segment žice Δl_i slijedi:

$$\int_{\Delta l_j}\left[\frac{\partial u^s(x,t)}{\partial x}+L\frac{\partial i(x,t)}{\partial x}+Ri(x,t)\right]W_j dx=0 \tag{B.3}$$

$$\int_{\Delta l}\left[\frac{\partial i(x,t)}{\partial x}+C\frac{\partial u^s(x,t)}{\partial x}\right]W_j dx=0. \tag{B.4}$$

Primjenom odgovarajuće vremenske diskretizacije dobivaju se tranzijentni napon i raspodjela struje uzduž žice.

Antenski model uzemljivačke elektrode temelji se na prostorno-frekvencijski ovisnoj Pocklingtonovoj integro-diferencijalnoj jednadžbi koja se izvodi iz Maxwellovih jednadžbi uz zadovoljenje odgovarajućih uvjeta kontinuiteta za tangencijalne komponente električnog polja na površini elektrode [11]. Pocklingtonova jednadžba može se pisati u obliku:

$$E_x^{exc,H}=-\frac{1}{j4\pi\omega\varepsilon_{eff}}\begin{Bmatrix}\int_{-L/2}^{L/2}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left[g_0^H(x,x')-g_i^H(x,x')+k_1^2V_{11}\right]I(x')dx'+\\ k_1^2\int_{-L72}^{L/2}\left[g_0^H(x,x')-g_i^H(x,x')+U_{11}\right]I(x')dx'\end{Bmatrix} \tag{B.5}$$

gdje je $I(x')$ raspodjela struje duž žice, a $g_0^H(x,x',z)$ Greenova funkcija u neograničenom prostoru s gubicima:

$$g_0^H(x,x',z)=\frac{e^{-jk_1R_{1h}}}{R_{1h}} \tag{B.6}$$

dok $g_i^H(x,x',z)$ proizlazi iz teorije preslikavanja:

$$g_i^H(x,x',z)=\frac{e^{-k_2R_{2h}}}{R_{2h}}, \tag{B.7}$$

gdje su R_{1h} i R_{2h} udaljenosti od horizontalne žice u poluprostoru s gubicima i njezine slike u zraku do točke promatranja.

Utjecaj konačno vodljivog poluprostora uzima se u obzir preko prigušnih članova u vidu Sommerfeldovih integrala U_{11} i V_{11} [11]:

$$U_{11}=2\int_0^\infty\frac{e^{-\mu_1(d-z)}}{\mu_1+\mu_2}J_0(\lambda\rho)\lambda d\lambda \tag{B.8}$$

$$V_{11}=2\int_0^\infty\frac{e^{-\mu_1(h-z)}}{k_2^2\mu_1+k_1^2\mu_2}J_0(\lambda\rho)\lambda d\lambda \tag{B.9}$$

gdje je $J_0(\lambda\rho)$ Besselova funkcija prve vrste nultog reda, a μ_1, μ_2 i ρ su:

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \left(\lambda^2 - k_1^2\right)^{1/2},\\ \mu_2 &= \left(\lambda^2 - k_2^2\right)^{1/2}, \rho = |x - x'|\end{aligned} \tag{B.10}$$

Rješavanjem integro-diferencijalne jednadžbe (B.5) dobiva se raspodjela struje po horizontalnoj elektrodi. Na temelju poznavanja raspodjele struje moguće je odrediti električno polje, a potom i napon u točki napajanja u funkciji frekvencije. Konačno, odgovarajući tranzijentni napon dobiva se primjenom inverzne Fourierove transformacije. Integro-diferencijalna jednadžba (B.5) riješena je Galerkin-Bubnovljevom inačicom indirektne metode rubnih elemenata (engl. *Galerkin-Bubnov variant of the indirect boundary element method* − GB-IBEM), (kao i ostale numeričke procedure nužne za proračun tranzijentne impedancije), a matematički detalji dostupni su u brojnim referencijama, primjerice u [5, 11].

Dodatak C: Modeliranje induciranog polja u mozgu primjenom različitih numeričkih metoda

Prvi pristup modeliranju homogenog modela mozga temelji se na formulaciji izraženoj preko spregnutih površinskih integralnih jednadžbi (engl. *set of surface integral equations* − SIE), koje su riješene primjenom metode momenata (engl. m*ethod of moments* − MoM). Izloženost homogenog modela mozga polju zavojnice može se opisati preko sustava integralnih jednadžbi električnog polja: [4]

$$\begin{aligned}&j\omega\mu_n \iint_S \vec{J}(\vec{r}\,')G_n(\vec{r},\vec{r}\,')\,\mathrm{d}S' -\\ &-\frac{j}{\omega\varepsilon_n}\iint_S \nabla'_S\cdot\vec{J}(\vec{r}\,')\nabla G_n(\vec{r},\vec{r}\,')\,\mathrm{d}S' +\\ &+\iint_S \vec{M}(\vec{r}\,')\times\nabla' G_n(\vec{r},\vec{r}\,')\,\mathrm{d}S' = \begin{cases}\vec{E}^{inc}, & n=1\\ 0, & n=2\end{cases}\end{aligned} \tag{C.1}$$

gdje su $\vec{J}$ i $\vec{M}$ ekvivalentne gustoće električnih i magnetskih struja, k_n je valni broj n-te sredine (n = 1, 2), dok je G_n Greenova funkcija za unutarnji / vanjski homogeni medij: [4]

$$G_n(\vec{r},\vec{r}\,') = \frac{e^{-jk_nR}}{4\pi R};\quad R = |\vec{r}-\vec{r}\,'| \tag{C.2}$$

a R je udaljenost od točke izvora do točke promatranja.

Postupak rješavanja sustava integralnih jednadžbi (C.1) metodom momenata počinje tako da se ekvivalentne gustoće električnih struja $\vec{J}$ i magnetskih struja $\vec{M}$ izraze preko linearne kombinacije baznih funkcija $\vec{f}_n$ i $\vec{g}_n$:

$$\vec{J}(\vec{r}) = \sum_{n=1}^{N} J_n \vec{f}_n(\vec{r}) \tag{C.3}$$

$$\vec{M}(\vec{r}) = \sum_{n=1}^{N} M_n \vec{g}_n(\vec{r}) \tag{C.4}$$

gdje su J_n i M_n nepoznati koeficijenti, dok je N ukupan broj trokutnih elemenata.

Primjenom metode težinskih odstupanja (engl. *weighted residual approach*), tj. množenjem izraza (C.1) sa skupom test funkcija $\vec{f}_m$ te integrirajući po površini S, nakon određenih matematičkih postupaka dobije se:

$$\begin{aligned}
&j\omega\mu_i \sum_{n=1}^{N} J_n \iint_S \vec{f}_m(\vec{r}) \cdot \iint_{S'} \vec{f}_n(\vec{r}\,')G_i \, dS' \, dS + \\
&+\frac{j}{\omega\varepsilon_i} \sum_{n=1}^{N} J_n \iint_S \nabla_S \cdot \vec{f}_m(\vec{r}) \iint_{S'} \nabla'_S \cdot \vec{f}_n(\vec{r}\,')G_i \, dS' \, dS + \\
&\pm \sum_{n=1}^{N} M_n \iint_S \vec{f}_m(\vec{r}) \cdot [\hat{n} \times \vec{g}_n(\vec{r}\,')] \, dS + \\
&+ \sum_{n=1}^{N} M_n \iint_S \vec{f}_m(\vec{r}) \cdot \iint_{S'} \vec{g}_n(\vec{r}\,') \times \nabla' G_i \, dS' \, dS = \\
&= \begin{cases} \iint_S \vec{f}_m(\vec{r}) \cdot \vec{E}^{inc} \, dS & , i = 1 \\ 0 & , i = 2 \end{cases}
\end{aligned} \tag{C.5}$$

pri čemu indeks *i* označava danu sredinu. Detalji postupka mogu se pronaći u više referencija, npr. u [4].

Drugi pristup temelji se na metodi rubnih elemenata (engl. *boundary element method* − BEM) [11]. Domena proračuna Ω mozak je uz granicu $\partial\Omega$ definiranu vanjskom normalom $\hat{n}$, dok se u slobodnom prostoru nalaze izvori Ω_s u vidu gustoće struje $\vec{J}_s$. Primjenom Greenova teorema na odgovarajuće Helmholtzove jednadžbe dobiva se integralna jednadžba električnog polja (engl. *electric field integral equation* − EFIE): [12]

$$\begin{aligned}
\xi\vec{E} = &- \int_{\partial\Omega_i} (\hat{n} \times \vec{E}) \times \nabla\Psi ds - \int_{\partial\Omega_i} (\hat{n} \cdot \vec{E}) \nabla\Psi ds + \\
&+ j\omega\mu_0 \int_{\partial\Omega_i} (\hat{n} \times \vec{H})\Psi ds - \int_{\Omega_s} j\omega\mu_0 \Psi \vec{J}_s dv
\end{aligned} \tag{C.6}$$

i integralna jednadžba magnetskog polja (engl. *magnetic field integral equation* − MFIE):

$$\begin{aligned}\xi\vec{H} = &-\int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\times\vec{H})\times\nabla\Psi ds - \int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\cdot\vec{H})\nabla\Psi ds + \\ &+ j\omega\tilde{\varepsilon}\int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\times\vec{E})\Psi ds - \int_{\Omega_s}\vec{J}_s\times\nabla\Psi dv\end{aligned} \tag{C.7}$$

gdje je $\vec{E}$ električno polje, a $\vec{H}$ magnetsko polje unutar homogenog volumnog elementa Ω_i, s odgovarajućim rubom $\partial\Omega_i$, vodljivosti σ, permitivnosti ε uz permeabilnost μ_0. Pritom je ξ faktor singularnosti (ξ = 0,5 na površini, a ξ = 1 u ostalim točkama), $\hat{n}$ je vektor vanjske normale na Ω_i, ω je narinuta kružna frekvencija, a Ψ je Greenova funkcija za Helmholtzovu jednadžbu.

U skladu s algoritmom metode rubnih elemenata ukupna se površina $\partial\Omega$ diskretizira na elementarne površine (rubne elemente), pri čemu se pretpostavlja konstantna vrijednost polja po svakom elementu. Uz pretpostavku da inducirane struje u tkivu značajnije ne remete konstelaciju magnetskog polja izvora, može se dobiti pojednostavnjena formulacija u okviru koje se magnetsko polje $\vec{H}$ može izračunati primjenom Biot-Savartova zakona: [12]

$$\vec{H} = \int_{\Omega_s}(\vec{J}_s\times\nabla\Psi)dv \tag{C.8}$$

gdje je Ψ Greenova funkcija za Laplaceov problem.

Rješavanje problema polja onda se odnosi samo na određivanje električnog polja preko EFIE: [12]

$$\begin{aligned}\xi\vec{E} = &-\int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\times\vec{E})\times\nabla\Psi ds - \int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\cdot\vec{E})\nabla\Psi ds + \\ &+ j\omega\mu_0\int_{\partial\Omega_i}(\hat{n}\times\vec{H})\Psi ds - j\omega\mu_0\int_{\Omega_s}\Psi\vec{J}_s dv\end{aligned} \tag{C.9}$$

pri čemu, za razliku od potpune formulacije, magnetsko polje više nije nepoznato, nego je izraženo preko (C.8).

Treći se pristup temelji na primjeni hibridne metode (engl. *hybrid finite element-boundary element method* − FEM-BEM) [12]. Model mozga opisan je trodimenzionalnom domenom Ω, segmentiranom na konačne elemente, što omogućuje analizu domena visokog stupnja heterogenosti. Okolni prostor (Ω_{ext}) te izvori polja (zavojnice s narinutom gustoćom struje) nije vodljiv.

Ukupno magnetsko polje da se napisati na način:

$$\vec{H} = \vec{H}_s + \vec{H}_i \tag{C.10}$$

odnosno, sastoji se od polja izvora $\vec{H}_s$ (koje se računa preko Biot-Savartova zakona) i induciranog polja $\vec{H}_i$ koje generira ukupna gustoća struje $\vec{J}_i$ koja se inducira na Ω.

Vektorski potencijal $\vec{T}$ na Ω definira se na način:

$$\vec{J} = \nabla \times \vec{T} \tag{C.11}$$

dok je inducirano polje dano izrazom:

$$\vec{H}_i = \vec{T} + \nabla \phi \,, \tag{C.12}$$

gdje je *f* skalarni potencijal. Potencijali su povezani na sljedeći način na Ω:

$$\nabla \cdot \vec{T} + \nabla \cdot \nabla \phi = 0 \tag{C.13}$$

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\tilde{\sigma}} \nabla \times \vec{T} \right) + j\omega\mu_0 \vec{T} + j\omega\mu_0 \nabla \phi = -j\omega\mu_0 \vec{H}_s \tag{C.14}$$

pri čemu je zadovoljen rubni uvjet:

$$\hat{n} \times \vec{T} = 0 \tag{C.15}$$

na površini tijela $\partial\Omega$, kojim se implicitno zahtijeva da inducirane struje teku unutar tijela. Što se tiče vanjske (otvorene) domene Ω_{ext}, vrijedi sljedeći integralni izraz:

$$\xi\phi \int_{\partial\Omega} (\nabla\phi \cdot \hat{n})^{(e)} \, \Psi ds - \int_{\partial\Omega} \phi \, (\nabla\Psi \cdot \hat{n}) \, ds = 0 \tag{C.16}$$

gdje je ξ faktor singularnosti, Ψ Greenova funkcija, a $\hat{n}$ vanjska normala na domenu.

Primjenom metode težinskih odstupanja nakon određenih matematičkih manipulacija slijedi formulacija izraza (C.13) i (C.14)

$$\int_\Omega \nabla\phi \cdot \nabla w \, dv - \int_{\partial\Omega} w \, (\nabla\phi \cdot \hat{n})^{(i)} \, ds + \int_\Omega \vec{T} \cdot \nabla w \, dv = 0 \tag{C.17}$$

$$\begin{aligned} &\int_\Omega \frac{1}{\tilde{\sigma}} \nabla \times \vec{T} \cdot \nabla \times \vec{v} \, dv + \\ &+ j\omega\mu_0 \left(\int_\Omega \vec{T} \cdot \vec{v} \, dv + \int_\Omega \nabla\phi \cdot \vec{v} \, dv \right) = -j\omega\mu_0 \int_\Omega \vec{H}_s \cdot \vec{v} \, dv \end{aligned} \tag{C.18}$$

gdje su ω i $\vec{v}$ odgovarajuće test funkcije.

Iz uvjeta kontinuiteta za magnetsku indukciju proizlazi veza između unutarnjih *i* i vanjskih *e* veličina na rubu $\partial\Omega$:

$$(\nabla\phi \cdot \hat{n})^{(i)} = (\nabla\phi \cdot \hat{n})^{(e)} \,. \tag{C.19}$$

Integralni izraz (C.16) diskretizira se primjenom kolokacijske tehnike.

Literatura

[1] D. Poljak, M. Jakić: A Note on the Character of Physical Models Representing Natural Phenomena *Int. Journ. of Design & Nature and Ecodynamics*, Vol. 12, No 2, 2017., pp. 254-263.

[2] D. Poljak, M. Jakić: O granicama znanstvene spoznaje, Mediteranski korijeni filozofije, Split, 2014.

[3] L. Smolin: *The Trouble with Physics, The Rise of String Theory, The Fall of a Science and What Comes Next*, Penguin Books, New York, 2006.

[4] D. Poljak, M. Cvetković: *Human Interaction with electromagnetic Fields, Computational Methods in Dosimetry*, Elsevier, Eastbourne, UK, 2019.

[5] D. Poljak, K. El Khamlichi Drissi: *Computational Methods in Electromagnetic Compatibility; Antenna Theory Approach versus Transmission Line Models*, John Wiley & Sons, New York, 2018.

[6] D. Poljak et al.: On some Multiphysics Models in Electromagnetic-Thermal-Hydrodynamics (ETHD) Analysis, ICECom 2019., Dubrovnik, 2019.

[7] D. Poljak: *Teorija elektromagnetskih polja s primjenama u inženjerstvu*, Školska knjiga, Zagreb 2014.

[8] M. Tegmark: *Mathematical Universe*, Penguin: New York, 2014.

[9] R. Omnès: *Converging Realities: Toward a Common Philosphy of Physics and Mathematics*, Princeton University Press, 2004.

[10] D. Poljak, F. Sokolić, M. Jakić: *Propitivanje odnosa filozofije i znanosti s osvrtom na teze Thomasa S. Kuhna*, Filozofija u dijalogu sa znanostima, Institut za filozofiju, Zagreb 2013.

[11] Poljak, D.: *Advanced Modeling in Computational Electromagnetic Compatibility*, New Jersey: Wiley-Interscience, 2007.

[12] D. Poljak et al.: IEEE/ICES TC95 Subcommittee 6 EMF Dosimetry Modeling, Working Group 2: Numerical Artifacts, Progress Report, May 2016.

[13] D. Poljak et al.: On the Use of Conformal Models and Methods in Dosimetry for Nonuniform Field Exposure, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 60 (2018), 2, pp. 328-337, 2018.

[14] J. W. Arthur: The Evolution of Maxwell's Equations from 1862 to the Present Day, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 55, 3, 2013, pp. 61-81.

[15] J. C. Maxwell: A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field, *Phil. Trans.,* 166, 1865, pp. 459-512.

[16] T. K. Sarkar, M. Salazar-Palma, D. L. Sengupta: Who Was James Clerk Maxwell and What Was and Is His Electromagnetic Theory?, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 51, 4, August 2009, pp. 97-116.

Limitations of Mathematical Models in Physics and Technical Sciences

Dragan Poljak

Abstract: The paper deals with the nature of mathematical models in physics and technology and, consequently, related limitations. While physics considers nature and related physical laws, arising from the application of scientific method, and thus leads to physical laws reflecting phenomena in real world the role of technical sciences is to change the world in terms of technological progress by means of physical laws. In addition to experimental methods mathematical models play a crucial role in a development of physics and technical scienecs. Mathematical models are based on fundamental physical laws usually referred to as a theoretical background and a related mathematical solution method. For realistic problems, in particular in technology, it is necessary to approximately, i.e. numericaly solve corresponding equations which requires implementation on computer. Through mathematical modeling limitations arise on several levels. Basic limitations are incorporated deeply in fundamentals of physical-philosophical concepts of observing the world, and are related to issues of limits of scientific insight on nature in general, what one finds in physics in the frame of *Heisenberg uncertainty relations*, in mathematics in form of *Gödel incompleteness theorem,* or in some basic concepts of Kant philosophy on limits of our insight. Second class of limitations is related to the fact that models are simplified simulations of phenomena of interest. In other words, a set of parameters one takes into account is always limited. Next step in limitations is a solution technique for solving given operator equation (e.g. differential equation), and the last problem one face with is computer implementation, i.e. the problem of computability. Basically, while differential equations deal with continuous quantities, computers operate with finite data sets.

After introductory considerations the paper analyzes mathematical analogies from different physics disciplines and then historical and philosophical development of electromagnetics and, in particular, properties of electromagnetic models are considered.

Finally, a number of illustrative examples pertaining to electromagnetic compatibility and bioelectromagnetics is carried out.

Keywords: laws of nature, mathematical models, solution methods, different classes of limitations, electromagnetic models

Ivan Flegar

O električnoj energiji

Sažetak: Svaka električka mreža prenosi energiju elektromagnetskim poljem stvorenim posmičnim gibanjem električno nabijenih čestica (naboja) u vodičima i napravama električke mreže. Ta se energija u elektrotehnici naziva električna energija. U članku je, koristeći zakon o lokalnom očuvanju energije u elektromagnetskom polju, pokazano da se u svakoj električkoj mreži pojavljuje električna energija – prijenos energije elektromagnetskim poljem – na svakom mjestu u prostoru oko električke mreže u kojem istodobno postoje vektori jakosti električnog polja i magnetske indukcije i nisu međusobno paralelni. Na primjeru istosmjernog električkog kruga sastavljenog od baterije, vodiča i otpornika pokazano je da je stvarno razumijevanje načina prijenosa energije, čak i u tako jednostavnom električkom krugu, nemoguće ako se ne uzme u obzir postojanje površinskih naboja na vodičima i otporniku.

Ključne riječi: električna energija, elektromagnetsko polje, površinski naboji, Poyntingov teorem

Uvod

Jedna od osnovnih karakteristika dobrog tehničkog stila nekog teksta pisanog stručnim jezikom jest da autor za stručne pojmove upotrebljava nazive (termine) o čijem značenju postoji konsenzus unutar stručne zajednice. Čitatelj – stručna osoba – možda i neće razumjeti neke rečenice u tekstu, ali mu se ne bi smjelo dogoditi da ne zna značenje pojedinih naziva. U dvojbi potražit će pomoć u stručnom rječniku ili odgovarajućoj literaturi, gdje bi tim nazivima trebala biti pridijeljena točno određena značenja.

Za jedan od najvažnijih elektrotehničkih pojmova, pojam električne energije, ta će pomoć izostati. To i nije tako iznenađujuće s obzirom na to da se i nadređeni mu pojam energije u stručnoj literaturi uglavnom ili definira netočno ili se bez ikakva objašnjenja uopće ne definira. To se prenosi i na pojam električne energije pa se taj pojam u elektrotehničkoj literaturi obično uvodi bez

ikakva objašnjenja kao da se radi o nečemu što je očigledno. Eventualna pomoć udžbenika fizike samo će zbuniti znatiželjnika jer se naziv električna energija u fizici upotrebljava u drugačijem značenju nego u elektrotehnici. Također, u elektrotehničkom stručnom jeziku stalno su u upotrebi pojmovi proizvodnje i potrošnje električne energije koji mogu, uzimajući u obzir opću valjanost zakona o očuvanju energije, bez dodatnih objašnjenja samo unijeti zbrku i nejasnoću.

Zbog toga je važno znati što je električna energija te odgovore na s tim povezana pitanja kao što su, primjerice: o kojim parametrima ovisi električna energija, je li moguće lokalizirati električnu energiju, kako odrediti električnu energiju u električki malenim mrežama, na koji se način prenosi energija u električkim mrežama. U nastavku teksta na ta i slična pitanja pokušat će se odgovoriti sa stajališta teorije elektromagnetskog polja te sve ilustrirati na jednom samo naizgled jednostavnom primjeru prijenosa energije u istosmjernim električkim mrežama.

Što je električna energija

Različita značenja

Odgovor na to pitanje ovisi o tome je li upućeno laiku, fizičaru ili elektrotehničaru. Za laika električna energija je roba – potrošno dobro – koje se koristi i plaća i najčešće se poistovjećuje s električnom strujom. Izjave kao što su "Cijelo jutro nije bilo struje" ili "Račun za struju je previsok" uobičajene su u svakodnevnom životu.

Za fizičara je električna energija jednaka energiji električnog polja. Razlikuje ju od magnetske energije koja je jednaka energiji magnetskog polja i od energije električnog prijenosa [14, str. 213]. Energija električnog prijenosa je energija koja se prenosi elektromagnetskim poljem, tj. prostorom u kojem istodobno postoje električno polje i magnetsko polje, s tim da su ta polja stvorena posmičnim gibanjem električno nabijenih čestica (naboja) u vodljivoj materiji – električnom strujom.

Za elektrotehničara je električna energija oblik energije čija je osnovna odlika istodobnost njezine proizvodnje i potrošnje. Preciznije rečeno, pod istodobnošću se smatra da se energija iz nekog neelektričnog oblika pretvara u električnu energiju, prenosi do korisnika brzinom kojom se šire elektromagnetske pojave i zatim se pretvara u neki drugi, za ljude koristan oblik. Promatrano iz ljudske perspektive, i za najveće udaljenosti na Zemlji na koje se električna energija prenosi može se bez veće pogreške reći da je prijenos energije trenutačan. Za elektrotehničara je električna energija ono što je za fizičara energija električnog prijenosa.

Nazivi za oblike energije koji se upotrebljavaju u fizici bolje su pojmovno odabrani od onih koji se upotrebljavaju u elektrotehnici. No, praksa je pokazala da je vrlo teško postići da neka stručna ili znanstvena zajednica prihvati promjenu naziva, čak i ako je predloženo novo nazivlje pojmovno ili jezično bolje odabrano. U ovom je tekstu zadržano nazivlje uobičajeno u elektrotehnici. Tako se umjesto naziva 'energija električnog prijenosa', uobičajenog u fizici, upotrebljava naziv 'električna energija', a umjesto naziva 'električna energija' i 'magnetska energija', uobičajenih u fizici, nazivi 'energija električnog polja' i 'energija magnetskog polja'.

Električna energija – pojam iz teorije elektromagnetskog polja

Energija je jedno od svojstava svakog fizičkog sustava, ne i mehanizam kojim se može objasniti kako se ili zašto neki proces odvija niti je sama po sebi uzrok ičemu. Tako je i električna energija jedno od svojstava svakog sustava u kojem se očituju elektromagnetske pojave. Od svih takvih sustava za praksu su najvažnije električke mreže.

Sve električke mreže prenose energiju bilo da im je to primarna zadaća, bilo da im je to sporedna zadaća, kao što je to slučaj kod audiopojačala, TV-prijamnika, osobnih računala i sličnih proizvoda čija je primarna zadaća prijenos informacije. No, zapita li se znatiželjnik, a kako se to prenosi energija električkom mrežom ili o kojim parametrima ovisi prijenos energije, u većini stručne literature (udžbenicima, monografijama, člancima) na ta pitanja neće dobiti odgovor. Možda je najvažniji razlog što u elektrotehničkoj praksi dominiraju električke mreže za koje se zadovoljavajuća objašnjenja važnih praktičnih pitanja, posebno u projektiranju električkih uređaja, mogu dati s pomoću teorije električkih mreža[1], elektrotehničke discipline koja vrijedi za električki malene mreže[2] i temelji se na primitivnim pojmovima napona i struje elemenata mreže i Kirchhoffovim zakonima.

Zbog svoje jednostavnosti i primjenjivosti na najveći broj (električkih) mreža u praksi, teorija električkih mreža danas je standardni alat u rukama inženjera projektanata električkih uređaja i mreža. Rješavanje jednadžbi mreže

[1] Teorija električkih mreža poseban je slučaj teorije elektromagnetskog polja. U sličnom je odnosu prema teoriji elektromagnetskog polja kao i Newtonova mehanika u odnosu na Einsteinovu mehaniku.

[2] Električki malena mreža svaka je mreža za koju vrijedi da je $d \ll c / 2\pi f_{\text{M}}$, gdje je d najmanji dijametar zamišljene zatvorene sferne plohe koja obuhvaća mrežu, f_{M} je najviša frekvencija bitna za rad mreže, dok je c brzina svjetlosti u zraku. Veliku većinu mreža koje se koriste u praksi čine električki malene mreže. Karakteristični primjeri mreža koje nisu električki malene valovodi su i antene. Visokonaponski vodovi za prijenos energije, telefonski i telegrafski vodovi granični su primjeri mreža koje se još mogu analizirati metodama teorije električkih mreža modelirajući ih s pomoću tzv. mreža s raspodijeljenim parametrima.

teorija električkih mreža omogućuje da se za svaku električki malenu mrežu dobiju valni oblici napona i struja svih modela naprava mreže, dimenzioniranje naprava mreže i pouzdano predviđanje ponašanja analiziranih mreža.

No, ono što se zbog dugotrajne i uspješne primjene metoda teorije električkih mreža često u praksi zaboravlja, ili se čak ne zna, jest da model bilo koje mreže kako ga vidi teorija električkih mreža ne zauzima realan prostor. Pojmovi koji su vezani uz prostornu protežnost elektromagnetskih pojava, kao što su električno polje, magnetsko polje, interakcija polja s materijom, ne postoje u teoriji električkih mreža. Električna energija, u elektrotehnici poistovjećena s energijom električnog prijenosa u fizici, dakle, kao "nešto" što prolazi granicom fizičkog sustava nije objašnjiva bez uzimanja u obzir dimenzija analiziranog sustava, što posljedično znači da nije objašnjiva u terminima teorije električkih mreža. Krajnji domet teorije električkih mreža u analizi energetskih odnosa u mrežama jest Tellegenov teorem, koji je inačica zakona o očuvanju energije iskazanog s pomoću trenutačnih snaga elemenata mreže, tj. trenutačnih vrijednosti jakosti toka energije elemenata mreže [5].

Objašnjenje pojma električne energije treba tražiti u fizici, u teoriji elektromagnetskog polja. Ta teorija omogućuje analizu i objašnjenje elektromagnetskih pojava u bilo kojoj električkoj mreži. Temelji se na Maxwellovim jednadžbama, čijim se rješavanjem dobivaju, uz uzimanje u obzir rubnih i početnih uvjeta, vrijednosti varijabla elektromagnetskog polja u prostoru u kojem se nalazi analizirana mreža. Varijable elektromagnetskog polja vektorske su veličine, što znači da se u analizi mora uzeti u obzir razmještaj komponenata mreže, njihove dimenzije te prostorna orijentacija u stvarnoj mreži.

Istaknimo bitnu razliku između teorije električkih mreža i teorije elektromagnetskog polja. U teoriji električkih mreža stvarna mreža koja se analizira mora biti električki malena, varijable njezina modela skalarne su veličine napona i struje, model ne zauzima realan prostor, tako da je odgovor na pitanje "Što je električna energija?" u terminima teorije električkih mreža i načelno nemoguć. U teoriji elektromagnetskog polja stvarna mreža koja se analizira može biti po volji, varijable njezina modela vektorske su veličine, model zauzima realan prostor, tako da je odgovor na pitanje "Što je električna energija?" načelno moguć.

Energija elektromagnetskog polja

Eksperimentalna je činjenica da se elektromagnetska sila i impuls šire prostorom, uključujući i vakuum, konačnom brzinom od jednog fizičkog objekta (sustava) do drugog fizičkog objekta (sustava). Prema načelu lokalnosti, ako djelovanje nekog fizičkog objekta utječe na djelovanje nekog drugog fizičkog objekta, koji je prostorno udaljen od prvog objekta, tad u međuprostoru mora

postojati posrednik – fizički sustav – kojim se to djelovanje prenosi[3]. Posrednik kojim se prenosi elektromagnetska sila i impuls, kao i energija kroz prostor između međusobno djelujućih fizičkih objekata jest elektromagnetsko polje. To polje ima sve atribute fizičkog sustava (masu, energiju, impuls, moment impulsa).

Prema teoriji elektromagnetskog polja svojstva elektromagnetskog polja proizlaze iz analize Maxwellovih jednadžbi i izraza za elektromagnetsku silu, tj. za silu koja djeluje na električno nabijenu česticu (naboj) u mirovanju kao i u gibanju. Zbog toga se problem prijenosa energije s pomoću elektromagnetskog polja, tj. objašnjenje što je električna energija, može razumjeti jedino ako se krene od Maxwellovih jednadžbi i izraza za elektromagnetsku silu. Taj su put, nezavisno jedan od drugog, prošli engleski fizičari John Henry Poynting i Oliver Heaviside. Dobili su matematički izraz zakona o lokalnom očuvanju energije za bilo koji fizički sustav u kojem postoje električni naboji i električne struje iskazan s pomoću snaga, tj. jakosti tokova energije, i objavili ga 1884. godine. Taj se izraz danas uobičajeno naziva Poyntingovim teoremom.

Promatrajmo dio prostora volumena V kao fizički sustav odvojen od okoline zamišljenom ili stvarnom zatvorenom plohom površine S. U sustavu se nalazi električka mreža sastavljena od skupa mirujućih naprava (materijalnih objekata), a vodičima koji prolaze kroz zatvorenu plohu – granicu sustava – spojena je s okolinom. Mirujući naboji kao i električne struje u toj konfiguraciji materijalnih objekata prouzročuju da u svakom trenutku i u svakoj točki prostora izvan polarizirane, magnetizirane i vodljive materije sustava[4] postoji elektromagnetsko polje definirano u svakoj točki prostora i u svakom trenutku dvama vektorskim poljima: električnim poljem opisanim vektorom jakosti polja $\boldsymbol{E}$ i magnetskim poljem opisanim vektorom magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$.

Važno je naglasiti da je elektromagnetsko polje jedinstveno vektorsko polje i da predstavnici električnog i magnetskog polja, vektori $\boldsymbol{E}$ i $\boldsymbol{B}$, ne postoje nezavisno jedan od drugog. Granični slučajevi elektromagnetskog polja, elektrostatičko polje ($\boldsymbol{B} = 0$) ili magnetostatičko polje ($\boldsymbol{E} = 0$), za promatrača u jednom referentnom sustavu pojavljuju se za promatrača u nekom drugom referentnom sustavu kao mješavina električnog i magnetskog polja [6, str. 553].

[3] Američki fizičar David Griffiths slikovito je iskazao načelo lokalnosti ovim riječima [6, str. 356]: "Tigar se ne može jednostavno rematerijalizirati izvan kaveza. Ako je uspio izići, to znači da se provukao kroz neku rupu u kavezu."

[4] Interakciju materije s elektromagnetskim poljem opisuje za vodljivu materiju parametar vodljivosti σ, za polariziranu materiju parametar permitivnosti ε, a za magnetiziranu materiju parametar permeabilnosti μ. Karakterističan je primjer vodljive materije vodič ($\sigma > 0$), polarizirane materije dielektrik između ploča kondenzatora($\varepsilon \neq \varepsilon_0$), dok su karakteristični primjeri magnetizirane materije feromagnetske jezgre prigušnica i transformatora ($\mu \neq \mu_0$). Sa ε_0 i μ_0 označene su konstantne vrijednosti permitivnosti i permeabilnosti vakuuma, dok je vodljivost vakuuma $\sigma_0 = 0$. Vrijednosti konstanata σ, ε i μ za zrak pod normalnim uvjetima približno su jednake odgovarajućim vrijednostima za vakuum.

Za opis elektromagnetskog polja u polariziranoj odnosno magnetiziranoj materiji potrebno je poznavati još i vektor električnog pomaka $\boldsymbol{D}$ odnosno vektor jakosti magnetskog polja $\boldsymbol{H}$. Za opis elektromagnetskog polja u homogenoj vodljivoj materiji (sredini), npr. u vodičima, potrebno je poznavati još i vektor gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$.

Istaknimo da električno polje jakosti $\boldsymbol{E}$ može biti stvoreno ili istodobno s vremenskom promjenom magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ ili razdvajanjem naboja. U nekim za praksu važnim fizikalno i kemijski nehomogenim vodljivim sredinama (elektrolitima) dolazi do spontanog razdvajanja električnih naboja i pojave elektrodnog potencijala, tj. održavanja razlike električnih potencijala između materijala različitog kemijskog sastava (primarni galvanski članci, akumulatorske baterije) te se takve sredine ponašaju kao izvori energije[5]. Zbog toga je za opis elektromagnetskog polja u takvim sredinama potrebno osim vektora gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$ poznavati i vektor tzv. ekvivalentnog stranog električnog polja jakosti $\boldsymbol{E}_i$. To strano električno polje djeluje na sve naboje u sustavu na isti način kao i električno polje jakosti $\boldsymbol{E}$ te će pretpostavljajući konstantnu vodljivost σ u svim dijelovima sustava vrijediti Ohmov zakon, tj. da je

$$\boldsymbol{J} = \sigma \boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}} = \sigma\left(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}_i\right) = \mathrm{A}/\mathrm{m}^2 \tag{1}$$

gdje je $\boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}}$ vektor jakosti rezultantnog električkog polja sustava.

Jedno od svojstava elektromagnetskog polja jest da je u njemu uskladištena energija. Maxwellova hipoteza da je ukupna energija elektromagnetskog polja u općem slučaju jednaka zbroju energije električnog polja i magnetskog polja i da se računa prema izrazima koji vrijede za energiju elektrostatičkog polja i magnetostatičkog polja, pokazala se u primjeni točnom. Ukupnu energiju elektromagnetskog polja svedenu na jedinicu volumena Maxwell je nazvao gustoćom energije elektromagnetskog polja G_{em} za koju, uz pretpostavku konstantnih vrijednosti permitivnosti ε i permeabilnosti μ u pojedinim dijelovima sustava, vrijedi da je

$$G_{em} = \frac{1}{2}\varepsilon \boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{E} + \frac{1}{2\mu}\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{B},\ \frac{\mathrm{Ws}}{\mathrm{m}^3} \tag{2}$$

[5] Energetski gledano to je najvažniji način razdvajanja naboja. Drugi načini razdvajanja naboja su trenjem, deformacijom nekih kristala, zagrijavanjem spojnog mjesta dvaju različitih metala i osvjetljavanjem nekih poluvodičkih materijala.

Poyntingov teorem

Energija elektromagnetskog polja nije očuvana veličina. To proizlazi iz činjenice da u elektromagnetskom polju djeluje elektromagnetska sila i da rad koji ta sila vrši pomičući naboje u vodljivim dijelovima sustava može biti obavljen jedino na račun smanjenja gustoće energije elektromagnetskog polja. U skladu s izrazom za elektromagnetsku silu[6] proizlazi da je u općem slučaju, uzimajući u obzir prema izrazu (1) i djelovanje izvora energije unutar sustava, rad dW koji ta sila vrši na svim nabojima u sustavu unutar volumena V u intervalu dt jednak, [6, str. 357]

$$\frac{\mathrm{d}W}{\mathrm{d}t} = \int_V (\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{J})\,\mathrm{d}v = \int_V \frac{1}{\sigma}(\boldsymbol{J}\cdot\boldsymbol{J})\,\mathrm{d}v - \int_V (\boldsymbol{E}_i\cdot\boldsymbol{J})\,\mathrm{d}v\ ,\quad \mathrm{W}$$

Prvi član na desnoj strani jednadžbe pokazuje koliko je smanjenje energije elektromagnetskog polja u jedinici vremena zbog interakcije s vodljivom materijom sustava. Zbog mirovanja naprava unutar sustava ta se komponenta rada W koji je izvršila elektromagnetska sila iskazuje kao toplinska energija, odnosno iskazano u terminima snage[7] kao gustoća snage gubitaka sustava $P = \boldsymbol{J}\cdot\boldsymbol{J}/\sigma$, W/m^3. Drugi član pokazuje koliki je doprinos izvora energije povećanju energije elektromagnetskog polja. Time su otkrivena dva razloga zbog kojih dolazi do promjene energije elektromagnetskog polja.

Treći razlog otkriva Poyntingov teorem izveden iz Maxwellovih jednadžbi i izraza za elektromagnetsku silu. Poyntingov teorem je u terminima snage iskazan zakon o lokalnom očuvanju energije[8] za svaki skup mirujućih naprava unutar volumena V omeđenog zatvorenom plohom površine S i "uronjenog" u elektromagnetsko polje [6, 7, 9]:

$$\int_V (\boldsymbol{E}\cdot\boldsymbol{J})\,\mathrm{d}v = \frac{\partial}{\partial}\int_V G_{em}\,\mathrm{d}v + \int_V P\,\mathrm{d}v + \oint \frac{}{\mu}(\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B})\cdot\boldsymbol{n}\,\mathrm{d}s,\ \mathrm{W} \qquad (3)$$

[6] Sila kojom elektromagnetsko polje djeluje na naboj q jednaka je zbroju električne sile $q\boldsymbol{E}$ i magnetske sile $q(\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{B})$, gdje je $\boldsymbol{v}$ vektor posmične brzine naboja, Budući da magnetska sila djeluje okomito na smjer gibanja naboja, rad vrši samo električna sila.

[7] Snaga se definira kao količina prenesene ili transformirane (pretvorene) energije u jedinici vremena. Umjesto naziva 'snaga', pojmovno je bitno bolji naziv 'jakost toka (struje) energije' ili kraće 'tok energije'.

[8] Zakon o lokalnom očuvanju energije navodi da ako se ukupna količina energije nekog sustava promijeni u nekom intervalu za određeni iznos, tad točno ta ista količina energije mora u tom istom intervalu proći kroz granicu koja dijeli taj sustav od okoline, tj. mora biti prenesena okolini ili unesena u sustav iz okoline nekim mehanizmom (načinom) ili načinima prijenosa energije karakterističnim za taj sustav.

Član na lijevoj strani jednadžbe (3) predstavlja snagu, tj. jakost toka energije, koju izvori energije unutar sustava predaju elektromagnetskom polju u promatranom volumenu V, dok članovi na desnoj strani jednadžbe pokazuju kako se taj tok energije raspodjeljuje. Prvi član predstavlja jakost toka energije kojom se povećava gustoća energije elektromagnetskog polja u volumenu V, dok drugi član predstavlja snagu gubitaka sustava, tj. jakost toka energije koja se u volumenu V pretvara u toplinsku energiju. Treći član predstavlja jakost toka energije koja, ovisno o predznaku člana, prolazi kroz zatvorenu plohu S u okolinu ili obratno.

Vektor

$$\boldsymbol{N} = \frac{1}{\mu_0}\left(\boldsymbol{E} \times \boldsymbol{B}\right), \ \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2} \tag{4}$$

naziva se Poyntingov vektor, dok je vektor $\boldsymbol{n}$ jedinični vektor okomit na diferencijal plohe ds i uzima se dogovorno da je pozitivan ako je usmjeren prema okolini. Količina energije koja u jedinici vremena prolazi granicom sustava naziva se električna snaga sustava i jednaka je

$$P_{el}\left(t\right) = \oint_S \boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{n} \mathrm{d}s \tag{5}$$

odakle proizlazi da je količina energije električnog prijenosa, odnosno u terminima elektrotehnike, količina električne energije koja je protekla sustavom u intervalu $[t_0, t_0+t]$ jednaka

$$T_{el}\left(t\right) = \int_{t_0}^{t_0+t} P_{el}\left(\tau\right) \mathrm{d}\tau \tag{6}$$

Prema izrazu (4) zaključujemo da će tok električne energije postojati u svakoj točki prostora u kojoj postoji elektromagnetsko polje, dakle, u kojoj istodobno postoje električno i magnetsko polje a njihovi predstavnici vektori $\boldsymbol{E}$ i $\boldsymbol{B}$ nisu međusobno paralelni.

Tok električne energije kroz neku točku u prostoru može se vizualizirati tako da se zamisli da ta točka leži u ravnini koju "razapinju" vektori $\boldsymbol{E}$ i $\boldsymbol{B}$ u toj točki. Tad je tok električne energije okomit na tu ravninu, smjera određenog pravilom desnog vijka i iznosa jednakog $(\mathrm{E} \cdot \mathrm{B} \cdot \sin\varphi)/\mu_0$, gdje su E i B moduli vektora $\boldsymbol{E}$ i $\boldsymbol{B}$, a φ je kut između tih vektora.

Smjer toka električne energije u trenutku t ovisi o predznaku električne snage sustava u tom trenutku. Naime, u općem slučaju Poyntingov vektor $\boldsymbol{N}$ u trenutku t može u nekim područjima zatvorene plohe S biti pozitivan, dakle usmjeren prema okolini, a u ostalim područjima negativan, dakle usmjeren prema sustavu, dok se za jedinični vektor $\boldsymbol{n}$ uzima da je na cijeloj zatvorenoj

plohi S pozitivan, dakle da je usmjeren prema okolini. Prema izrazu (5) proizlazi da električna energija u trenutku t struji iz sustava u okolinu ako je $P_{el}(t) > 0$, a ako je $P_{el}(t) < 0$, električna energija u tom trenutku struji iz okoline u sustav.

Interpretacija Poyntingova teorema

Točnost Poyntingova teorema ovisi o točnosti Maxwellovih jednadžbi i izraza za elektromagnetsku silu, koji su se u nebrojenim primjerima pokazali točnim, tako da ni točnost Poyntingova teorema nije upitna. No, za mnoge elektrotehničare pa i za neke fizičare upitna je njegova interpretacija.

Tako se, prema Poyntingovu teoremu, električna snaga sustava $P_{el}(t)$ definira na granici sustava u prostoru bez materijalnih objekata, što znači da električna energija, predstavljena Poyntingovim vektorom $\boldsymbol{N}$, struji prostorom mimo naprava sustava. Njezin je uzrok odnosno nosač naboj u posmičnom gibanju, no električna energija i njezin nosač ne struje istom brzinom niti zauzimaju isti prostor. Tako, primjerice, posmična brzina naboja u bakrenom vodiču pri toku električne struje od 1,5 A/mm^2 iznosi oko 0,1 mm/s, dok je brzina strujanja električne energije jednaka brzini širenja elektromagnetskog polja, tj. jednaka je brzini svjetlosti od $3 \cdot 10^{11}$ mm/s. Budući da naboj struji vodičima, a električna energija prostorom oko vodiča, proizlazi da je najbolji vodič električne energije vakuum odnosno zrak, tj. idealan nevodič električne struje. Vrijedi i obratno: vodiči električne struje nevodiči su električne energije [15, str. 130]. Proizlazi da se električna energija prenosi posvuda, samo ne vodičem!

Ta je predodžba prijenosa električne energije[9] toliko protuintuitivna da nije neobično da su mnogi elektrotehničari pa i neki fizičari pokušali zadržati predodžbu o električnoj energiji kao fluidu koji teče vodičem i pronaći za to logičko i fizikalno opravdanje. Tu je predodžbu podržalo i otkriće elektrona kao fizičkog nosioca naboja[10], a dobru osnovu za kritiku Poyntingove i Heavisideove interpretacije Poyntingova teorema dao im je izraz za trenutačnu električnu snagu sustava.

Naime, prema (5) trenutačna električna snaga sustava definirana je samo za *zatvorenu* plohu S koja omeđuje sustav. To znači da se iz integrala $\int_{\Delta S} \boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{n} \mathrm{d}s$

[9] Pojam 'prijenos električne energije' pleonazam je uobičajen u elektrotehničkoj praksi, komunikacijski je svrhovit i dobar je primjer da se katkad ne može izbjeći ponavljanje značenja u nazivu.

[10] Možda je Poyntingovo i Heavisideovo otkriće zakona o lokalnom očuvanju energije u elektromagnetskom polju – Poyntingova teorema – bilo znatno olakšano time što se u njihovo vrijeme nije uopće znalo za postojanje elektrona, pa su se usredotočili na pokušaje objašnjenja prijenosa energije isključivo u duhu Faradayevih i Maxwellovih ideja o elektromagnetskom polju.

izračunatog za bilo koju *otvorenu* plohu ΔS, koja je dio zatvorene plohe S, ne može zaključiti na trenutačnu električnu snagu, tj. na jakost toka električne energije koja prolazi tim dijelom zatvorene plohe S. Očigledno, isti zaključak vrijedi i za po volji malenu plohu ds. Proizlazi da se iz poznavanja Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}$ u nekoj točki prostora ne može zaključiti na trenutačnu električnu snagu (jakost toka električne energije) u toj točki prostora. Naime, Poyntingovu vektoru $\boldsymbol{N}$ može se dodati bilo koji vektor $\boldsymbol{M}$ koji integriran preko zatvorene plohe S daje vrijednost nula, što znači da se njegovim dodavanjem ne mijenja trenutačna električna snaga sustava. No, ako dva različita vektora $\boldsymbol{N}$ i $\boldsymbol{N} + \boldsymbol{M}$ daju istu trenutačnu električnu snagu sustava, proizlazi da ni Poyntingov vektor $\boldsymbol{N}$ u nekoj točki prostora ne daje jednoznačnu vrijednost jakosti toka električne energije u toj točki prostora ni po iznosu ni po smjeru, što znači da distribucija električne energije u elektromagnetskom polju ostaje nepoznata.

Neodređenost Poyntingova vektora kao mjere za jakost toka električne energije u nekoj točki prostora potaknula je veći broj fizičara i elektrotehničara da pokušaju pronaći takve oblike vektora $\boldsymbol{M}$ koji će Poyntingov vektor, a time i trenutačnu električnu snagu sustava opisati s pomoću 'intuitivno prihvatljivih' varijabli gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$ i potencijala.

Unatoč tomu što je među tim pokušajima bilo vrlo domišljatih rješenja, ni jedno nije ponudilo uvjerljiviju argumentaciju ili jednostavniju primjenu od originalnog Poyntingova teorema[11]. Odabir najjednostavnijeg rješenja, $\boldsymbol{M} = 0$, kako su pretpostavili Poynting i Heaviside, izdržao je do danas sve kritike. Poyntingov teorem djelić je teorije elektromagnetskog polja koja kao i svaka prirodoznanstvena teorija nije apsolutna istina nego samo jedan koherentan skup interpretiranih matematičkih relacija koji daje dovoljno točne odgovore na mnoga pitanja iz elektromagnetizma. Eventualnu reviziju Poyntingova teorema valja očekivati tek kad će se nekom novom teorijom moći objasniti i oni problemi pred kojima je Poyntingov teorem nemoćan, primjerice, kakva je distribucija električne energije u elektromagnetskom polju.

Električna snaga u električki malenim mrežama

Kao što je uvodno istaknuto, većinu za praksu važnih električkih mreža čine električki malene mreže. Kriterij električke malenosti mreža, dan u bilješci 2, može se u svakom slučaju lako provjeriti. Taj kriterij proizlazi iz Maxwellovih jednadžbi ako se pretpostavi da su na zatvorenoj plohi S koja obuhvaća analiziranu mrežu vektor jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ i vektor magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ međusobno nezavisne veličine. To je moguće ako na toj plohi na vrijednost vektora magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ ne utječe brzina promjene električnog polja

[11] Dobar pregled varijanata Poyntingova teorema s vrlo opsežnom literaturom dan je u [10].

$\partial \boldsymbol{E}/\partial t$, tj. ako je zanemarena pomačna struja kroz plohu, i ako na vrijednost vektora jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ ne utječe brzina promjene magnetskog polja $\partial \boldsymbol{B}/\partial t$.

Podsjetimo se da električno polje može biti stvoreno ili istodobno s vremenskom promjenom magnetske indukcije ili razdvajanjem naboja. U istosmjernim električkim mrežama izvor električnog polja može biti jedino razdvajanje naboja, što znači da je $\partial \boldsymbol{B}/\partial t = 0$. Tako stvoreno vremenski nepromjenjivo polje automatski zadovoljava i drugi kriterij električke malenosti mreža, tj. da je $\partial \boldsymbol{E}/\partial t = 0$. Proizlazi da je svaka istosmjerna električka mreža ujedno i električki malena mreža.

Sa stanovišta teorije elektromagnetskog polja svaka električki malena mreža shvaća se kao kvazistatički sustav. Naglasak je na prefiksu kvazi-, jer statičnost u takvim sustavima ne implicira da izvori polja (distribucija naboja, električne struje), a time i polja ne mogu biti vremenski promjenjive veličine. To samo znači da ako se znaju izvori polja u nekom trenutku t, polja su u tom trenutku jednoznačno određena bez obzira na to koji su i kakvi izvori polja djelovali neposredno prije tog trenutka t.

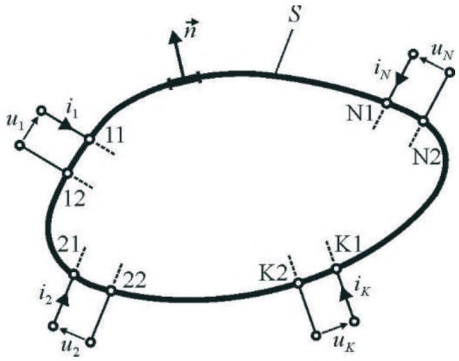
Za električnu snagu koja ulazi u kvazistatički sustav (električki malenu mrežu), vrijedi da je [7]:

$$-\oint_S \frac{1}{\mu_0}\left(\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B}\right)\cdot\boldsymbol{n}\mathrm{d}s = -\oint_S \Phi\cdot\boldsymbol{J}\cdot\boldsymbol{n}\mathrm{d}s \tag{3}$$

gdje je Φ skalarni potencijal električnog polja. Integral na desnoj strani jednadžbe ima nenultu vrijednost samo tamo gdje zatvorena ploha S presijeca vodiče. Svaki par vodiča koji presijeca zatvorenu plohu S u točkama K1 i K2, (K = 1, 2,...., N), i za koji je $\boldsymbol{J}_{\mathbf{K1}} + \boldsymbol{J}_{\mathbf{K2}} = 0$ naziva se prilaz. Uz jednak presjek vodiča prilaza vrijedit će za trenutačne vrijednosti struja prilaza da je $i_{\mathrm{K1}} + i_{\mathrm{K2}} = 0$. Razlika potencijala između točaka K1 i K2 jednaka je trenutačnoj vrijednosti napona prilaza u_{K}, tako da je električna snaga, tj. jakost toka električne energije, koja ulazi u kvazistatički sustav prema slici 1 jednaka[12]

$$-\oint_S \frac{1}{\mu_0}\left(\boldsymbol{E}\times\boldsymbol{B}\right)\cdot\boldsymbol{n}\mathrm{d}s = \sum_{\mathrm{K}=1}^{\mathrm{N}} u_{\mathrm{K}}\cdot i_{\mathrm{K}} \tag{3}$$

[12] Izraz (7) vrijedi i za električki malene mreže s neparnim brojem priključaka. Naime, takve se mreže mogu uvijek prikazati kao mreže s parnim brojem priključaka ako se jedan od priključaka shvati kao zajednički za dva prilaza.



Slika 1: Kvazistatički sustav povezan s okolinom preko N prilaza

Primjer prijenosa električne energije u istosmjernom električkom krugu

Usporedimo uobičajeno objašnjenje prijenosa električne energije s objašnjenjem prijenosa električne energije elektromagnetskim poljem na jednom vrlo jednostavnom primjeru. Pritom pod uobičajenim objašnjenjem smatramo objašnjenje koje se može naći u srednjoškolskim udžbenicima i visokoškolskim udžbenicima iz osnova elektrotehnike u kojima se Poyntingov teorem, ako se uopće i spominje, spominje ponajprije u vezi sa širenjem elektromagnetskih valova.

Uobičajeno objašnjenje prijenosa električne energije

Analizirajmo najjednostavniji mogući električki krug koji čine (akumulatorska) baterija, vodiči, sklopka i otpornik. Nakon uklopa sklopke krugom teče stalna električna struja, tj. postoji stalan tok slobodnih naboja (elektrona) od negativnog pola baterije, vodičem do otpornika, kroz otpornik te zatvorenom sklopkom i povratnim vodičem do pozitivnog pola baterije. Zašto se otpornik grije? Uobičajeni je odgovor jednostavan. Otpornik se grije zato jer kroz njega prolazi električna struja koju daje baterija, tj. u tom se procesu (kemijska) energija uskladištena u bateriji smanjuje, električna struja prenosi tu energiju do otpornika gdje se pretvara u toplinsku energiju.

Tim se objašnjenjem implicira da je energija vrsta fluida koji teče vodičima, a njezin je fizički nosač pokretljiva električno nabijena čestica – elektron. Ta predodžba dobro odgovara svakodnevnom iskustvu u naizgled analognim situacijama strujanja materije. No, posmična brzina elektrona je malena pa bi početak zagrijavanja otpornika nakon uklopa sklopke jako ovisio o duljini

vodiča. To, pak, ne odgovara iskustvenoj činjenici da početak zagrijavanja otpornika nakon uklopa sklopke, u svim slučajevima u praksi, uopće ne ovisi o duljini spojnih vodiča, tj. praktički je trenutačan. Dodatna je činjenica da se otpornik može priključiti na izmjeničnu mrežu, učinak ostaje nepromijenjen, dok elektroni ostaju približno na istim mjestima u vodiču i vibriraju u ritmu frekvencije izmjenične mreže.

Moguće bi objašnjenje moglo biti i sljedeće: elektroni su pokretljivi nosači negativnog naboja te će jedan elektron gibajući se u jednom smjeru posmičnom brzinom trebati prevaliti zanemariv put da svojim električnim poljem, tj. odbojnom elektromagnetskom silom, "gurne" susjedni elektron u istom smjeru. Taj se proces u vodiču širi brzinom širenja djelovanja elektromagnetske sile, tj. brzinom svjetlosti, što bi otklonilo prethodni prigovor. No, unutar vodiča nema suviška naboja, tj. broj pokretljivih elektrona mora biti jednak broju fiksiranih pozitivnih jezgara atoma, pa je odbijanje između susjednih elektrona poništeno zbog privlačne sile između elektrona i pozitivnih jezgara atoma. Ukupna sila na jedan elektron zbog drugih pokretljivih elektrona i fiksiranih pozitivnih jezgara atoma jednaka je nuli tako da predloženo objašnjenje nije točno.

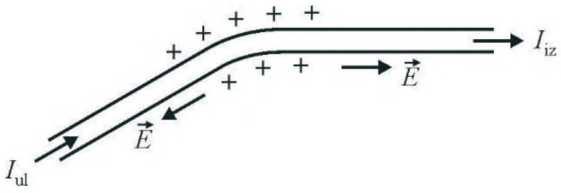
Uloga površinskih naboja

Eksperimentalna je činjenica da se u analiziranom električkom krugu nakon uklopa sklopke praktički trenutačno uspostavlja električna struja, tj. tok pokretljivih nosača negativnog naboja, konstantne jakosti duž cijelog kruga. To znači da se naboji u vodičima i otporniku pomiču i smjenjuju, ali tako da gustoća naboja na svakom mjestu u krugu ostaje nepromijenjena. Zbog toga mora u vodičima i otporniku postojati aksijalno električno polje koje će svojom silom održavati naboje u vodičima i otporniku u jednolikom posmičnom gibanju. Budući da su vodiči i otpornik električno neutralne naprave, ali samo u smislu da unutar njih nema ni suviška ni manjka naboja, to aksijalno polje mogu stvoriti jedino naboji na površini vodiča i otpornika – površinski naboji[13] – čija se

[13] Njemački fizičari Gustav Kirchhoff i Wilhelm Weber su sredinom XIX. stoljeća, nezavisno jedan od drugoga, analizirajući pojave u istosmjernim električkim krugovima zaključili da na svakom istosmjernom strujom protjecanom vodiču moraju postojati površinski naboji. Većina fizičara tog doba smatrala je taj zaključak netočnim, tako da su Kirchhoffove i Weberove ideje pale u zaborav. Tek sredinom XX. stoljeća njemački fizičar i nobelovac Arnold Sommerfeld spominje površinske naboje na primjeru analize istosmjernom strujom protjecanog koaksijalnog kabela [15]. Shvaćanje važnosti površinskih naboja, a posebno kao spone između elektrostatike i teorije električkih krugova, širi se vrlo sporo. Zadnjih šezdesetak godina površinski se naboji spominju vrlo rijetko u udžbenicima fizike [6, 9, 13], dok im u udžbenicima elektrotehnike nema ni traga. Zasad, koliko je autoru poznato, postoji samo jedan udžbenik fizike [3, str. 716 – 764] u kojem je detaljno opisana uloga površinskih naboja u analizi istosmjernih električkih krugova, te monografija [1] u kojoj su opisani proračuni raspodjele površinskih naboja za različite konfiguracije vodiča, a posebno je interesantan komentar Kirchhoffovih i Weberovih radova o površinskim nabojima.

gustoća mijenja duž vodiča i otpornika. Očito je da površinski naboji stvaraju i električno polje izvan naprava (vodiča i otpornika) tako da električno polje površinskih naboja ima u odnosu na osi naprava radijalnu i aksijalnu komponentu izvan naprava te samo aksijalnu komponentu unutar naprava. U površinske naboje ubrajaju se i međuspojni (granični) naboji. To su naboji koji se, u skladu s Gaussovim zakonom za električno polje, gomilaju na spojnim mjestima vodiča i otpornika zbog protjecanja električne struje kroz materijale različitih vodljivosti.

Površinski naboji omogućuju u svakom nerazgranatom električkom krugu istu jakost električne struje. Pokažimo to na primjeru prikazanom na slici 2. Pretpostavimo da je struja (jakost električne struje) na ulazu u luk vodiča veća od struje na izlazu.[14] Zbog toga će se na "koljenu" vodiča skupljati naboj čije će se električno polje suprotstavljati struji koja ulazi (usporavajući tok naboja) i potpomagati struji koja izlazi (ubrzavajući tok naboja) sve dok se te struje ne izjednače. Na djelu je jaka negativna povratna veza koja jamči da će se za nekoliko nanosekunda uspostaviti ustaljeno stanje, tj. ista jakost struje (tok naboja) u svim dijelovima nerazgranatog električkog kruga i prisiliti naboj da se kreće unutar vodiča ma kako bio vodič savijen ili zapetljan [3, str. 734 – 735][15].



Slika 2: Primjer djelovanja površinskih naboja

Površinski naboji omogućuju i da se u svakom razgranatom električkom krugu, tj. krugu s više od jedne petlje, djelovanjem negativne povratne veze uspostavi ustaljeno stanje s jakostima struja u skladu s Kirchhoffovim zakonom struje. Također, u ustaljenom je stanju raspored površinskih naboja u električkom krugu takav da je električno polje površinskih naboja konzervativno, tj. ponaša se kao da je elektrostatičko. To znači da je rad tog polja duž bilo kojeg zatvorenog puta (petlje) u električkom krugu jednak nuli, što je samo drugi način iskaza Kirchhoffova zakona napona [11].

[14] Na slici je naznačen tehnički smjer električne struje koji odgovara smjeru "gibanja" pozitivnih nosilaca naboja u vodiču, a koje je ekvivalentno stvarnom gibanju negativnih nosilaca naboja (elektrona) u suprotnom smjeru.

[15] Zbog ekstremno kratkog vremena uspostave ustaljenog stanja postići će se ista jakost struje u svim dijelovima nerazgranatog električkog kruga i u izmjeničnim električkim krugovima protjecanim strujama frekvencija do u megahercno područje [6, str. 303].

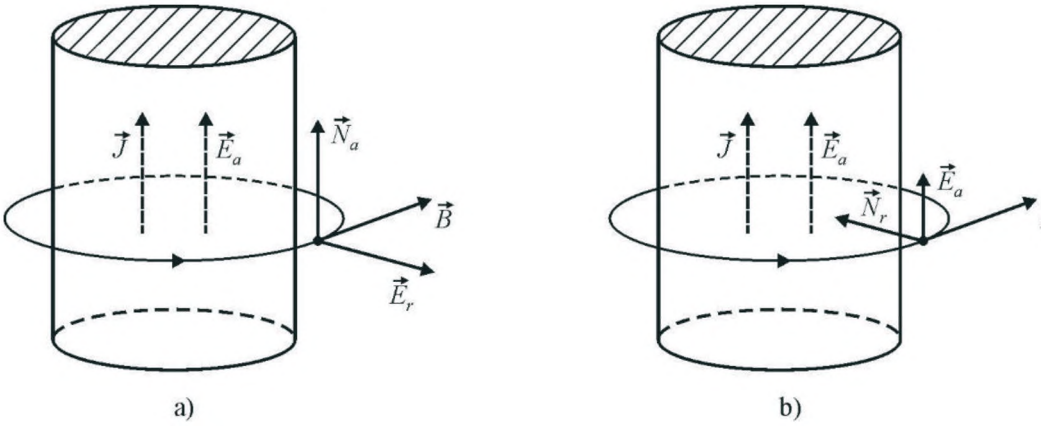
Količine površinskog naboja potrebne da se proizvedu zamjetljivi učinci u električkim krugovima zapanjujuće su malene. Primjerice, da bi struja jakosti 1 A, što je jednako toku naboja od 10^{19} elektrona u sekundi, skrenula pod pravim kutom u bakrenom vodiču dovoljno je da na "koljenu" vodiča bude samo jedan elektron viška (manjka), dok su samo tri elektrona viška (manjka) potrebna na spojnom mjestu bakrenog vodiča i otporne žice od nikla jednakih presjeka za promjenu jakosti električnog polja u vodiču i otpornoj žici kad vodičem i otpornom žicom teče struja jakosti 1 A [13, str. 401 – 402]. Ili, da se u bakrenom vodiču od 1,5 mm^2 održi struja jakosti 10 A, dovoljan je gradijent od nekoliko stotina elektrona po milimetru duljine vodiča [12, str. 177]. Razlog je, naravno, u enormnoj Coulombovoj sili i velikoj pokretljivosti elektrona u bakru. Zbog toga ni detekcija površinskih naboja nije jednostavna osim u visokonaponskim električkim krugovima [3, str. 747 – 749].

Električno polje površinskih naboja izvan vodiča već je u najjednostavnijim konfiguracijama vodiča i naprava električkih krugova iznimno zamršena oblika i može se izračunati jedino numeričkim metodama [8]. Nasuprot tomu, jakost aksijalne komponente električnog polja površinskih naboja unutar vodiča $\boldsymbol{E}_a$ može se, zbog djelovanja negativne povratne veze površinskih naboja, i u najzamršenijim konfiguracijama vodiča i naprava električkih krugova uvijek jednostavno izračunati prema Ohmovu zakonu $\boldsymbol{E}_a = \boldsymbol{J}/\sigma$.

Uloga vodiča

Prema Poyntingu i Heavisideu vodiči, prijenosne linije i komponente slične namjene ne služe za prijenos električne energije nego samo za oblikovanje takvog elektromagnetskog polja koje omogućuje da se prostorom oko vodiča i u smjeru pružanja vodiča prenosi električna energija. Slika 3a prikazuje vodič s naznačenim jednim od dvaju mogućih smjerova vektora gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$ kao i smjer vektora pripadnog solenoidalnog polja magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ u jednoj točki prostora izvan vodiča. Na slici je prikazan i smjer koji bi trebala imati komponenta Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}$ da bi se električna energija mogla prenijeti elektromagnetskim poljem mimo vodiča. Da bi se to ostvarilo mora, prema izrazu (4), u prostoru oko vodiča postojati električno polje jakosti $\boldsymbol{E}_r$ radijalno usmjereno u odnosu na vodič. No, takvo radijalno polje upravo i stvaraju površinski naboji na vodiču, što u općem slučaju znači da je postojanje površinskih naboja nužan uvjet prijenosa električne energije, tj. prijenosa energije elektromagnetskim poljem.

Električno polje izvan vodiča nema samo radijalnu komponentu $\boldsymbol{E}_r$ nego i aksijalnu komponentu $\boldsymbol{E}_a$. Naime, za svaki vodič vrijedi Ohmov zakon $\boldsymbol{J} = \sigma\boldsymbol{E}_a$, što znači da su vektori gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$i jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}_a$ u vodiču, a time i na granici vodič – okolina, kolinearni. Unutar vodiča i na



Slika 3: Strujom protjecani vodič u elektromagnetskom polju

a) Radijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja $\boldsymbol{E}_r$ i solenoidalno polje magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ omogućuju prijenos električne energije. Vektor $\boldsymbol{N}_a$ paralelan je s osi vodiča i predstavlja aksijalnu komponentu Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}$.

b) Aksijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja $\boldsymbol{E}_a$ i solenoidalno polje magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ prouzročuju pretvorbu energije elektromagnetskog polja u toplinsku energiju vodiča. Vektor $\boldsymbol{N}_r$ okomit je na os vodiča i predstavlja radijalnu komponentu Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}$.

površini vodiča polje vektora $\boldsymbol{E}_a$ po intenzitetu je uniformno dok se izvan vodiča s povećanjem udaljenosti od vodiča smanjuje. Slika 3b prikazuje vodič s naznačenim smjerovima vektora gustoće provodne struje $\boldsymbol{J}$, vektora aksijalne komponente jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}_a$, vektora magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ i pripadnog Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}_r$ u jednoj točki prostora izvan vodiča. Prema (4) proizlazi da je Poyntingov vektor $\boldsymbol{N}_r$ usmjeren prema središtu vodiča, što znači da energija ulazi u vodič iz elektromagnetskog polja i tu se, uz pretpostavku da vodič miruje, može pretvoriti samo u toplinsku energiju.

Uloga baterije

U ustaljenom stanju i za fiksiranu konfiguraciju naprava analiziranog električkog kruga gustoća naboja na svakom mjestu u električkom krugu se ne mijenja, što znači da je električno polje površinskih naboja identično električnom polju fiksiranih naboja koji bi bili raspoređeni na isti način u prostoru. Dakle, električno polje površinskih naboja je konzervativno polje, tj. ponaša se kao svako elektrostatičko polje. No za razliku od "pravog" elektrostatičkog polja u kojem se rad izvršen za uspostavu polja transformira u potencijalnu energiju elektrostatičkog polja i za njegovo održavanje ne treba izvor energije, električno

polje površinskih naboja, pomičući naboje, stalno vrši rad te je za njegovo održavanje potreban izvor energije.

Proizlazi da u električkom krugu moraju postojati dva izvora sile koji mogu pokrenuti i zatim održavati naboje u gibanju. Jedan je izvor sile električno polje površinskih naboja, čija radijalna komponenta djeluje u prostoru izvan naprava, dok aksijalna komponenta zbog promjenjive gustoće površinskog naboja duž naprava kruga prouzročuje u njima protjecanje električne struje u krugu. Drugi je izvor sile baterija koja mora održavati električno polje površinskih naboja razdvajajući na svojim priključnicama negativni naboj od pozitivnog naboja[16]. Baterija vrši rad jer silom difuzije, prouzročenom različitom pokretljivošću pozitivnih i negativnih iona (naboja) te postojanjem koncentracijskog gradijenta iona između pozitivne i negativne elektrode, pomiče ione (naboje) u smjeru suprotnom od smjera električnog polja koje djeluje između priključnica baterije[17].

Rad koji sila difuzije, predočena ekvivalentnim vektorom sile $\boldsymbol{F}$ i svedena na jedinicu naboja, vrši na nabojima u električkom krugu usmjerena je skalarna veličina

$$\oint_L \frac{\boldsymbol{F}}{q} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \oint_L \boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \oint_L (\boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}_i) \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \oint_L \boldsymbol{E}_i \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_b^a \boldsymbol{E}_i \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \mathcal{E}, \ \mathrm{V} \qquad (8)$$

i naziva se elektromotorna sila. Pritom je $\boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}}$ jakost rezultantnog električnog polja, $\boldsymbol{E}$ jakost električnog polja površinskih naboja, $\boldsymbol{E}_i$ je jakost ekvivalentnog stranog električnog polja koje postoji samo unutar baterije, L je zatvoreni put duž električkog kruga, dok su sa a i b označene priključnice baterije, slika 4. Električno polje $\boldsymbol{E}$ je statičko pa je rad tog polja obavljen duž zatvorenog puta L jednak nuli.

Pretpostavi li se da je baterija idealna, tj. ako je unutar baterije vodljivost beskonačna ($\sigma = \infty$), dobiva se, prema izrazu (1), da je jakost rezultantnog električnog polja u bateriji $\boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}}$, a time i sila na naboje u bateriji jednaka nuli, odnosno da je $\boldsymbol{E} = \overline{\ } \ \&\&\&\&\&\boldsymbol{E}_i$. U stvarnosti vodljivost baterije je konačna, što znači da u bateriji mora postojati nenulta vrijednost jakosti rezultantnog polja $\boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}} = \boldsymbol{E} + \boldsymbol{E}_i \neq \mathbf{0}$. U tom je slučaju razlika potencijala između priključnica baterije a i b (napon baterije) jednaka

$$\Phi_a - \Phi_b = U_{ab} = -\int_b^a \boldsymbol{E} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} = \int_b^a \boldsymbol{E}_i \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} - \int_b^a \boldsymbol{E}_{\mathbf{rez}} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \qquad (9)$$

[16] Princip rada baterije na vrlo zoran i jednostavan način dan je u literaturi [4, str. 22–7].

[17] Tok naboja (električna struja) podsjeća na tok vode u zatvorenom sustavu cijevi, gdje gravitacijsko polje igra ulogu električnog polja površinskih naboja, a crpka koja diže vodu suprotstavljajući se gravitacijskom polju igra ulogu baterije. Visini na koju crpka diže vodu odgovara napon (razlika potencijala) baterije [6, str. 304].

Prvi član na desnoj strani jednadžbe jednak je, prema (8), elektromotornoj sili baterije $\mathcal{E}$, dok drugi član predstavlja rad na jedinicu naboja koji je obavilo rezultantno električno polje u bateriji jakosti $\boldsymbol{E}_{\text{rez}}$ pomičući naboje kroz bateriju od priključnice *b* do priključnice *a*. U terminima teorije električkih mreža taj je član jednak padu naponu na unutarnjem otporu baterije.

Ukratko, baterija djeluje kao crpka naboja kojom se uspostavlja i održava razlika potencijala (približno) jednaka elektromotornoj sili baterije $\mathcal{E}$, čime se održava električno polje površinskih naboja koje prouzročuje električnu struju duž električkog kruga.

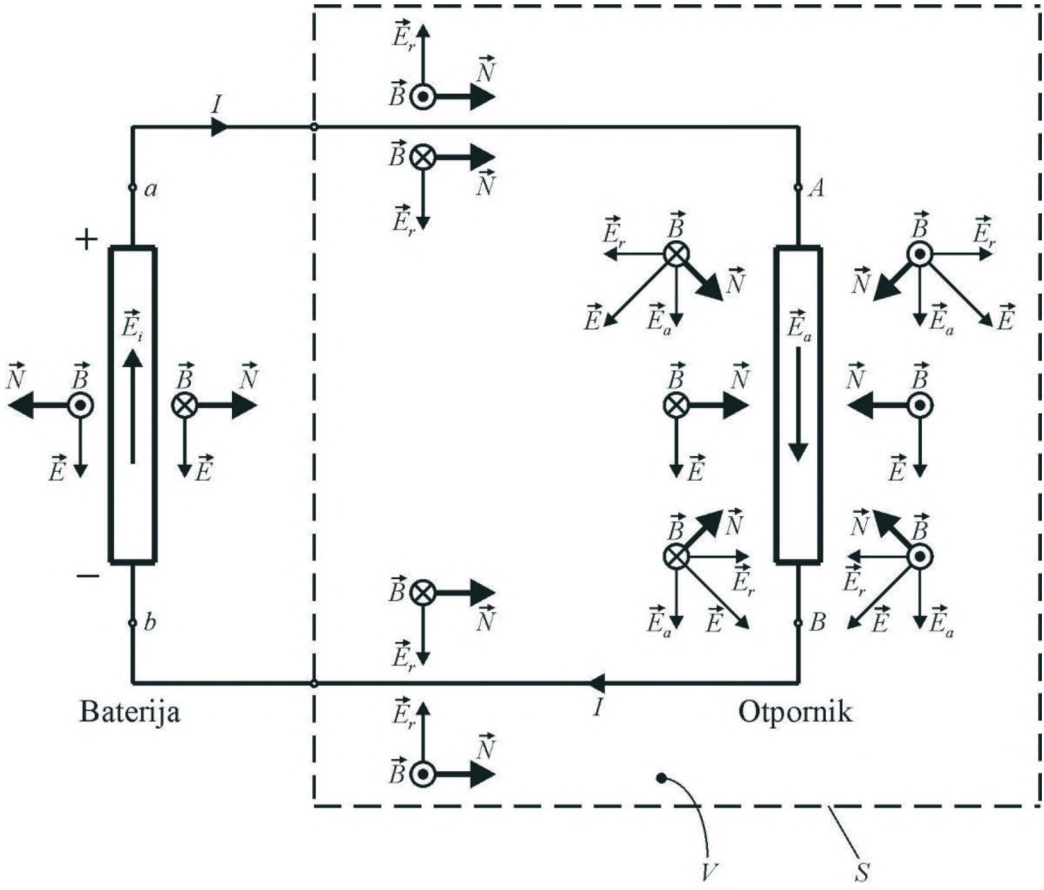
Objašnjenje prijenosa električne energije elektromagnetskim poljem

Do trenutka uklopa sklopke baterija je razdvajanjem naboja omogućila da na dijelu električkog kruga od negativne priključnice baterije do jednog kontakta sklopke postoji višak elektrona, zbog čega na dijelu električkog kruga od pozitivne priključnice baterije do drugog kontakta sklopke postoji manjak elektrona odnosno višak pozitivnog naboja. Polje površinskih naboja je elektrostatičko, dok je električno polje u vodiču jednako nuli.

U trenutku uklopa sklopke pojavljuje se u vodiču na mjestu spoja sklopke i vodiča električno polje koje prouzročuje pomicanje dotad nepokretnih naboja. Time se mijenja raspodjela površinskih naboja na cijelom električkom krugu tako da se nakon vrlo kratke prijelazne pojave (trajanja nekoliko nanosekunda!) uspostavlja stacionarno električno polje površinskih naboja koje svojom aksijalnom komponentom u cijelom električkom krugu održava istu jakost električne struje [3, str. 732 – 733]. Radijalna i aksijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja $\boldsymbol{E}$ zajedno sa solenoidalnim poljem magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ tvore stacionarno elektromagnetsko polje.

U kvalitativnoj analizi energetskih odnosa u ustaljenom stanju pretpostavit ćemo, jednostavnosti radi, da su baterija i vodiči idealni te da je otpornik po cijeloj duljini homogene strukture. Aksijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja $\boldsymbol{E}_a$ u idealnom vodiču jednaka je nuli. Duž obaju vodiča postojat će samo radijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja $\boldsymbol{E}_r$, koja zajedno s vektorom magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ određuje smjer Poyntingova vektora. Poyntingov vektor u prostoru oko vodiča ima samo aksijalnu komponentu $\boldsymbol{N}_a$, što znači da energija struji elektromagnetskim poljem oko vodiča od baterije prema otporniku, kako je prikazano na slici 4.

U prostoru oko otpornika postoje i aksijalna i radijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja. Na površini otpornika je apsolutna vrijednost aksijalne komponente jakosti električnog polja $|\boldsymbol{E}_a| = |\boldsymbol{J}|/\sigma = \mathcal{E}/L_{\text{AB}}$, gdje je L_{AB} dio zatvorenog puta L kroz otpornik od priključnice A do priključnice B, i



Slika 4: Smjerovi vektora jakosti električnog polja $\boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_r + \boldsymbol{E}_a$, vektora magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$ i Poyntingova vektora $\boldsymbol{N}$ na različitim mjestima u prostoru oko baterije, vodiča i otpornika

zatim se s povećavanjem udaljenosti od otpornika smanjuje. Zbog pretpostavljene homogene strukture otpornika količina površinskog naboja linearno se mijenja duž otpornika od najveće pozitivne vrijednosti, tj. od mjesta s najvećim manjkom elektrona, u spojnoj točki A otpornika i vodiča, vrijednosti nula u sredini otpornika do najveće negativne vrijednosti, tj. do mjesta s najvećim viškom elektrona, u spojnoj točki B. Zbog toga se na isti način mijenja i vrijednost radijalne komponente jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}_r$, slika 4. Na slici se vidi da je Poyntingov vektor $\boldsymbol{N}$, određen vektorima jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ i magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$, na svakom mjestu u prostoru oko otpornika usmjeren prema otporniku, što znači da se energija elektromagnetskog polja predaje otporniku.

U kvantitativnoj analizi energetskih odnosa uzimamo u obzir da je svaka istosmjerna mreža električki malena mreža, tako da za dio promatranog električkog kruga, prikazanog na slici 4, obuhvaćenog zatvorenom plohom *S* vrijedi izraz (7), odnosno da je

$$\mathcal{E}I = -\oint_S \boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{n} \mathrm{d}s$$

S druge strane, primijeni li se Poyntingov teorem, izraz (3), na isti dio električkog kruga te uzimajući u obzir da je $\int_V P \mathrm{d}v = RI^2$, gdje je *R* otpornost otpornika, dobivamo da je

$$-\oint_S \boldsymbol{N} \cdot \boldsymbol{n} \mathrm{d}s = RI^2$$

Uočimo da se smjer jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ u otporniku i okolnom prostoru podudara sa smjerom struje *I* u otporniku, što znači da se energija elektromagnetskog polja predaje gibajućim nabojima u otporniku s jakošću toka energije od RI^2, Ws/s. Smjer jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ u bateriji i okolnom prostoru suprotan je smjeru struje, što znači da se energija predaje elektromagnetskom polju unutar plohe *S*. Tu energiju dobavlja baterija s jakošću toka energije jednakom umnošku elektromotorne sile baterije i struje kroz bateriju $\mathcal{E} \cdot I$, Ws/s.

Zaključimo: baterija predaje energiju elektromagnetskom polju i njim se kao posrednikom električna energija prenosi prostorom mimo vodiča iz baterije u otpornik gdje se pretvara u toplinsku energiju.

Zaključna razmatranja

S energetskog stanovišta svako elektromagnetsko polje odlikuju dva svojstva: skladištenje energije u električnom polju i u magnetskom polju, izraz (2), i prijenos energije, tj. pojava električne energije, koja se, prema Poyntingovu teoremu, događa u svakoj točki prostora gdje postoji elektromagnetsko polje, a vektori tog polja, vektor jakosti električnog polja $\boldsymbol{E}$ i vektor magnetske indukcije $\boldsymbol{B}$, nisu međusobno paralelni, izrazi (4 – 6).

Izvori polja su električno nabijene čestice (naboji). Mirujući naboji mogu stvoriti jedino električno polje, koje ostaje statično ako su naboji zadržani na svojim položajima nekulonovskim silama. Počnu li se, zbog ma kojeg razloga, naboji gibati, stvara se magnetsko polje, koje u zajednici s električnim poljem tvori elektromagnetsko polje i omogućuje prijenos (električne) energije. Pritom je, za u elektrotehničkoj praksi najvažnijoj primjeni – električkim mrežama

električkih uređaja – elektromagnetsko polje, a time i prijenos električne energije, ostvareno posmičnim gibanjem naboja u vodičima.

Ključnu ulogu tijekom prijenosa električne energije u električkim mrežama igraju površinski naboji na vodičima i napravama mreže. Površinski naboji izvor su aksijalne i radijalne komponente jakosti električnog polja. Unutar vodiča (i naprava) djeluje samo aksijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja prouzročujući posmično gibanje naboja, tj. električnu struju i posljedično magnetsko polje unutar i izvan vodiča. Izvan vodiča djeluje osim aksijalne komponente i radijalna komponenta jakosti električnog polja površinskih naboja koja zajedno s magnetskim poljem omogućuje prijenos električne energije. Vodiči služe samo da usmjere električnu energiju od izvora energije prema trošilima kako je to pokazano i na analiziranom primjeru jednostavnog istosmjernog električkog kruga.

Električki krug prikazan na slici 4. po strukturi je najjednostavniji mogući električki krug. To, međutim, ne znači i da je objašnjenje načina njegova rada jednostavno. Tako je uobičajeni odgovor na pitanje: "Zašto se otpornik nakon uklopa sklopke grije?", ako se uopće i može naći u elektrotehničkim udžbenicima, pogrešan. Uobičajeni odgovor, naime, pretpostavlja da je energija koja struji od baterije (izvora energije) prema otporniku (trošilu) neka vrsta nevidljivog bestežinskog fluida koji teče vodičima i napravama kruga, što je, naravno, samo konceptualna metafora i ne smije se shvaćati doslovno.

Ispravan odgovor pretpostavlja poznavanje uloge baterije kao izvora energije te vodiča u procesu prijenosa energije kao i postojanje i poznavanje uloge površinskih naboja u tom procesu, sve iskazano u terminima teorije elektromagnetskog polja. No, ako već i za najjednostavniji mogući električki krug treba poznavati barem osnove teorije elektromagnetskog polja, proizlazi da znatiželjnog početnika – studenta, učenika – treba početi učiti osnove teorije elektromagnetskog polja već u najranijoj fazi njegova uvođenja u svijet elektrotehnike.

U nastavi osnova elektrotehnike to se i radi. U pravilu se u udžbenicima prvo uči elektrostatika, a zatim osnove teorije električkih krugova na primjerima istosmjernih električkih krugova (mreža)[18]. U elektrostatici posebna je pozornost posvećena mirujućim nabojima, Coulombovoj sili, definicijama električnog polja, potencijala i dipola te ponašanju vodiča i dielektrika u elektrostatičkom polju. U idućem koraku prelazi se na analizu istosmjernih električkih krugova i uvode se pojmovi napona, struje, elemenata kruga (otpori, kapaciteti, naponski i strujni izvori) te Kirchhoffovi zakoni. U tom se trenutku ne spominjući električno polje površinskih naboja, koje ima sva svojstva elektrostatičkog polja kao uzročnika pokretanja naboja u električkim krugovima (mrežama), gubi spona koja logički povezuje elektrostatiku i električke krugove. Naglašava se važnost

[18] Katkad je, uglavnom u starijim udžbenicima, redoslijed obrnut.

analize električkih krugova u praksi, jaz između elektrostatike i električkih krugova produbljuje se, a znatiželjan student (učenik) s pravom se može zapitati: "Zašto sam učio elektrostatiku ako mi ti pojmovi, možda, više neće ni trebati?"

I zaista, u većini primjena, kasnije u praksi, znanja iz elektrostatike neće mu ni trebati za razumijevanje rada i projektiranje električkih krugova. To je sretna okolnost jer je proračun raspodjele površinskih naboja i pripadnog električnog polja već za vrlo jednostavne konfiguracije naprava iznimno zamršen i teško se provjerava mjerenjima. Također, količine površinskih naboja posve su beznačajne u odnosu na količine naboja u posmičnom gibanju u električkim krugovima i ne utječu nimalo na dimenzioniranje električkih naprava i predviđanje ponašanja električkih krugova.

Zbog toga nije neobično da većina elektrotehničara ni ne zna za odlučujuću ulogu površinskih naboja u prijenosu energije električkim krugovima (mrežama) niti se oni spominju u elektrotehničkim udžbenicima. Poznavanje uloge površinskih naboja te poznavanje Poyntingova teorema neće poboljšati projektiranje električkih uređaja niti na njega utječe. No ono je važno za potpunije razumijevanje rada električkih mreža odnosno za stvaranje na fizici utemeljenih predodžbi o prijenosu energije elektromagnetskim poljem. Epistemološki gledano, možda je zaključno najbolje citirati njemačkog fizičara Maxa Borna, koji je u posve drugačijem kontekstu, ali u cijelosti primjenjivo na shvaćanje elektromagnetskog polja u prijenosu električne energije, napisao [2, str. 145]:

"Ovo je shvaćanje nov korak u smjeru više apstrakcije, u smjeru napuštanja uobičajenih predodžbi, koje su prividno nužni dijelovi predodžbenog svijeta. No istodobno je to i približavanje idealu, da treba samo ono priznati kao sastavni dio izgradnje fizičkog svijeta što je izravno dano iskustvom, a da se uklone sve slike i analogije koje potječu iz nekog stanja primitivnijeg i grubljeg iskustva."

Literatura

[1] Assis, A. K. T., Hernandes: J. A., *The electric force of a current*, C. Roys Keys Inc., Montreal, 2007.

[2] Born, M.: *Einsteinova teorija relativnosti*, Grafičko nakladni zavod, Zagreb, 1948.

[3] Chabay, R. W., Sherwood, B. A.: *Matter & Interactions*, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New York, Fourth Edition, 2015.

[4] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M.: *The Feynman lectures on physics*, Addison – Wesley, Reading, Massachusetts, 1966.

[5] Flegar, I.: *Teorija mreža – Bilješke s predavanja*, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2001.

[6] Griffiths, D. J.: *Introduction to electrodynamics*, Pearson Education Inc., Glenview, USA, 2013.

[7] Haus, H. A., Melcher, J. R.: *Electromagnetic fields and energy*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.

[8] Jackson, J. D.: Surface charges on circuit wires and resistors play three roles, *American Journal of Physics*, 64, (7), July 1996, pp. 855 – 870

[9] Jefimenko, O.: *Electricity and magnetism*, Appleton – Century – Crofts, New York, 1966.

[10] McDonald, K. T.: Alternative forms of Poynting vector (February 25, 2019), http://physics.princeton/mcdonald/poynting-alt.pdf

[11] Moreau, W. R.: Charge distributions on DC circuits and Kirchhoff's laws, *European Journal of Physics*, 10, 1989., pp. 286 – 290

[12] Muckenfuss, H., Walz, A.: *Neue Wege im Elektrikunterricht*, Aulis Verlag, Köln, 1997.

[13] Rosser, W. G. V.: *Interpretation of classical electromagnetism*, Springer-Science+-Bussines media, B. V., Dordrecht, 1997.

[14] Serway, R. A., Jewett, J. W.: *Physics for scientists and engineers with modern physics*, Brooks / Cole, Boston, 2014.

[15] Sommerfeld, A.: *Electrodynamics: Lectures on theoretical physics*, Vol. III., Academic Press, New York, 1952.

On electrical energy

Ivan Flegar

Abstract: Each electrical network transfers energy by the electromagnetic field generated by the drift motion of electrically charged particles (charges) in conductors and devices of the electrical network. In electrical engineering the energy transferred by electromagnetic field is known as electrical energy. By using the local conservation law of energy in electromagnetic fields, it is shown that electrical energy – energy transfer by the electromagnetic field –appears in each electrical network at any place in the space surrounding the electrical network where the vectors of electric field strength and magnetic induction both exist and are not parallel one to another. On an example of a dc circuit consisting of a battery, conductors and a resistor it is shown that the real understanding of the mechanism of energy transfer even in a such simple circuit is not possible if the existence of surface charges on conductors and on the resistor is not taken into account.

Keywords: electrical energy, electromagnetic field, Poynting theorem, surface charges

Dragan Roša, Filip Šterc, Marko Horvat

Mreža detektora kozmičkog zračenja SEVAN

Sažetak: Svjetska mreža detektora kozmičkog zračenja SEVAN ima za cilj poboljšati temeljna istraživanja uvjeta u okolnom svemiru, posebno istražiti učinke Sunčevih modulacija. Godine 2011. mreža SEVAN prvi je put zabilježila učinak Sunčeve modulacije (Forbushov pad). Odnedavno se detektori upotrebljavaju i za istraživanje novih visokoenergetskih pojava nastalih u Zemljinoj atmosferi − tzv. *Thunderstorm Ground Enhancements* (TGE). Prvi dokazi o TGE-ima zabilježeni su s pomoću detektora SEVAN u Zvjezdarnici Zagreb 14. svibnja 2017. tijekom olujnog nevremena. U radu smo predstavili i neke druge rezultate dobivene detektorom SEVAN koji se nalazi u Zvjezdarnici Zagreb, poput iznosa barometrijskih koeficijenata i dnevnih varijacija.

Ključne riječi: kozmičko zračenje, svemirsko vrijeme, mreža SEVAN, Zvjezdarnica Zagreb, barometarski koeficijenti, dnevne varijacije kozmičkog zračenja, Forbushov učinak, TGE

1. Što je kozmičko zračenje?

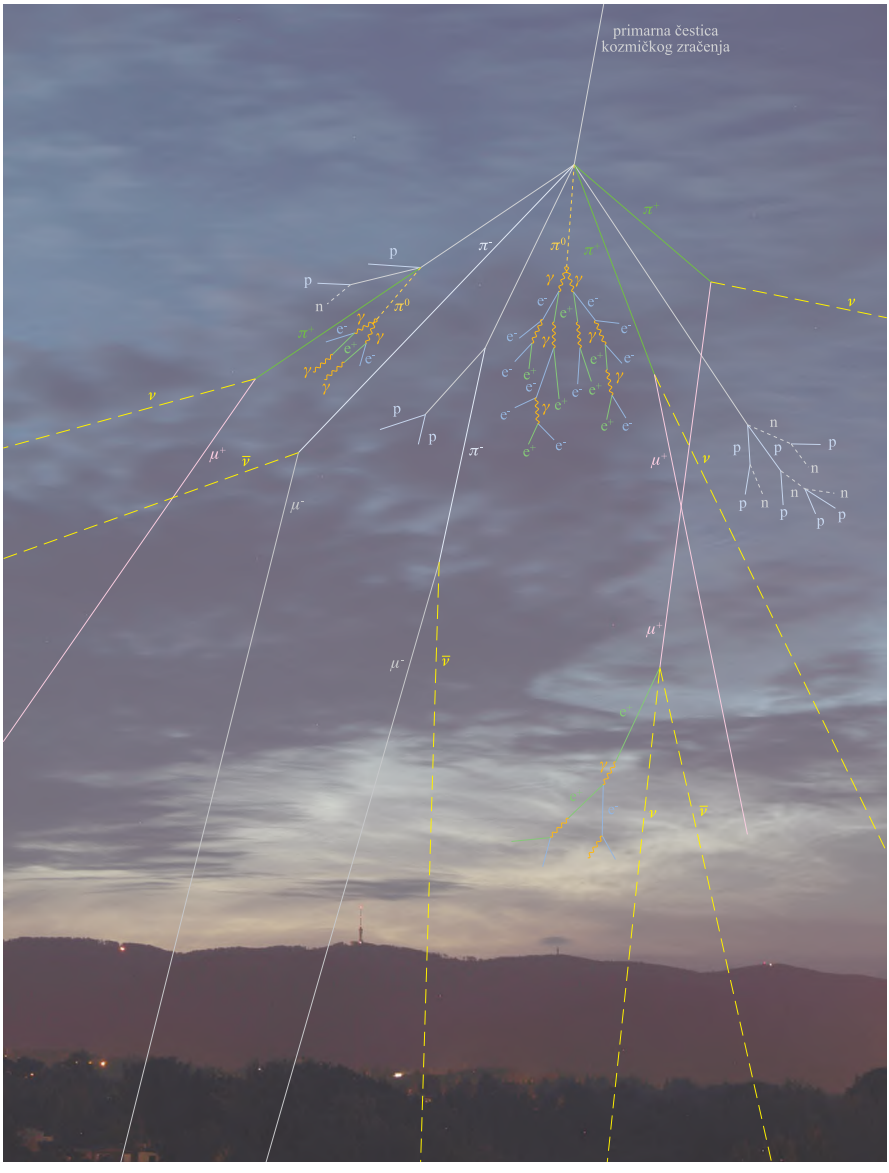
Kozmičko zračenje (ili kozmičke zrake) čestice su velikih energija koje se gibaju svemirom [1]. Ubrzane su različitim procesima, kao što su eruptivni procesi na zvijezdama (uključujući i Sunce), supernovama i najizdašnijim energetskim pojavama poput onih koje se zbivaju u aktivnim galaktikama. Čestice kozmičkog zračenja mogu se dodatno ubrzavati u gibajućim međuzvjezdanim magnetskim oblacima. Najzastupljenije su čestice jezgre vodika (protoni), jezgre helija (α čestice), dok je manji udio jezgara težih elemenata i elektrona. Čestice najvećih energija imaju milijune puta veću energiju od onih koje danas

postižemo u ubrzivačima (akceleratorima) čestica. Unatoč tomu što su pojedinačne čestice kozmičkog zračenja velike energije, ukupna gustoća energije čestica kozmičkog zračenja usporediva je s gustoćom energije svjetlosti zvijezda.

Čestice koje potječu neposredno od astrofizičkih izvora nazivamo primarnim kozmičkim zračenjem, dok sekundarno kozmičko zračenje nastaje međudjelovanjem primarnog kozmičkog zračenja s međuzvjezdanom tvari ili Zemljinom atmosferom. Sunčevo kozmičko zračenje pripada području manjih energija energetskog spektra kozmičkog zračenja. Galaktičko kozmičko zračenje nastaje izvan Sunčeva sustava. Njegov tok približno je konstantan, za razliku od Sunčeva, koji je vremenski vrlo promjenjiv i ovisan o pojavama Sunčeve aktivnosti. Galaktičko kozmičko zračenje približno je izotropno, što je rezultat utjecaja magnetskog polja naše galaktike (Mliječne staze), koje "zarobljava" nabijene čestice i mijenja im prvotni smjer. Galaktičko magnetsko polje naše galaktike nije dovoljno jako da može zadržati čestice velikih energija pa smatramo da su one izvangalaktičkog podrijetla.

Zbog Zemljine atmosfere čestice primarnog kozmičkog zračenja ne prodiru do Zemljine površine. One uzajamno djeluju (jakom nuklearnom silom) s jezgrama atmosferskih molekula (pretežito s dušikom i kisikom). Pritom dolazi do rasprskavanja (spalacije) jezgara, a nastali produkti zbog velike energije nastavljaju nuklearne interakcije. U sukcesivnim interakcijama (atmosferske kaskade) nastaje velik broj raznovrsnih čestica sekundarnog kozmičkog zračenja (primjerice α čestica, protona, neutrona, piona, kaona, miona itd.). U interakciji primarne čestice s jezgrama atoma u atmosferi nastaje velik broj piona koji su nestabilni, slika 1. Glavne su kaskadne komponente atmosferskog sekundarnog kozmičkog zračenja meka, tvrda i nukleonska komponenta. Meku komponentu čine elektroni (e^-), pozitroni (e^+) te fotoni (γ), zbog čega meku komponentu znamo nazivati i elektromagnetskom. Tvrdu komponentu čine mioni nastali raspadom mezona (uglavnom piona). Mioni slabo reagiraju s česticama u atmosferi (ne djeluju jakom nuklearnom silom) i unatoč kratkom vremenu života, zbog relativističkih efekata (dilatacije vremena), mnogi od njih uspijevaju stići do Zemljine površine. Nukleonska komponenta najvećim se dijelom sastoji od neutrona i protona. Zemaljskim detektorima obično bilježimo neutrone i mione.

Prije dolaska u Zemljinu atmosferu nabijene čestice galaktičkog kozmičkog zračenja prolaze heliosferom, kojom se širi Sunčev vjetar i Sunčevo magnetsko polje (zbog zamrznutosti polja u plazmi) i koja se od Sunca proteže do udaljenosti od oko 100 astronomskih jedinica. Potom nailaze na okolno Zemljino magnetsko polje (magnetosferu). Samo čestice dovoljno velikih energija mogu stići do Zemljine atmosfere i izazvati kaskadne raspade. S obzirom na oblik Zemljina magnetskog polja, vertikalno dolazeće čestice najteže prodiru do ekvatorskih područja, a najlakše do polarnih. Primjerice, energija protona potrebna za njegov vertikalni dolazak u ekvatorsko područje iznad Indije oko četiri je



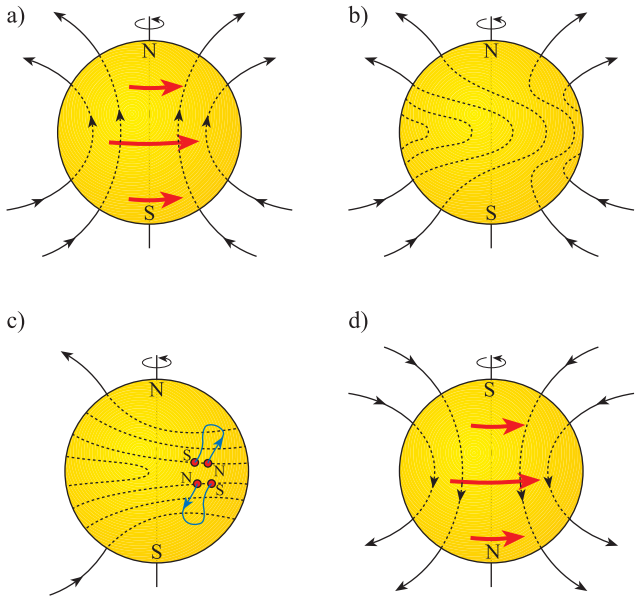
Sl. 1.: Pri interakciji primarne čestice kozmičkog zračenja s jezgrama atmosferskih atoma većinu nastalih čestica čine pioni (π). Neutralni pioni brzo se raspadaju (za oko 10^{-16} s), obično u dva γ-fotona. Gama-fotoni mogu producirati parove elektron-pozitron, od kojih zakočnim zračenjem opet mogu nastati novi γ-fotoni. Nabijeni pioni imaju dulje vrijeme raspada (oko 10^{-8} s), pa prije raspada mogu stupiti u interakciju s jezgrama drugih elemenata. Pozitivno nabijeni pioni obično se raspadaju na pozitivne mione (μ) i mionske neutrine (ν), dok se negativni pioni obično raspadaju na negativne mione i mionske antineutrine. Negativni mioni raspadaju se stvarajući elektrone i elektronske antineutrine i mionske neutrine, dok pri raspadu pozitivnih miona nastaju pozitroni, elektronski neutrini i mionski antineutrini. Kaskadni procesi šire se vrlo brzo u atmosferi, brzinom usporedivom s brzinom svjetlosti.

puta veća od energije protona za dolazak u područje iznad Hrvatske, a oko 15 puta veća u odnosu na protone koji uspijevaju prodrijeti prema polarnim geografskim područjima.

2. Sunčeva aktivnost, heliosferska stanja i kozmičko zračenje

Prevladavajući čimbenik koji utječe na heliosferska stanja je Sunce, odnosno Sunčeva aktivnost. Ciklus Sunčeve aktivnosti tumačimo učinkom samopobuđujućeg magnetohidrodinamičkog dinama kojim kinetička energija vodljive plazme prelazi u magnetsku energiju [1]. Pritom su ključna dva učinka: diferencijalna rotacija koja zakrivljuje silnice poloidalnog magnetskog polja i generira toroidalno polje i učinak kojim se indukcijskim djelovanjima turbulentnih gibanja obnavlja poloidalno polje. Za minimuma aktivnosti Sunčevo je magnetsko polje poloidalnog oblika (poput magnetskog polja štapićastog magneta). Zbog zamrznutosti magnetskog polja u plazmi, diferencijalna rotacija "zakrivljuje" magnetske silnice mirnog Sunca i magnetsko polje postupno poprima toroidalnu konfiguraciju, pojačava se i na nekim mjestima izbija na Sunčevu površinu (fotosferu). Na tim područjima nastaju Sunčeve pjege, kojih je najviše za maksimuma Sunčeve aktivnosti. Za maksimuma aktivnosti silnice Sunčeva magnetskog polja poprimaju kompleksne konfiguracije i velike količine magnetske energije prelaze u druge oblike energije čestim pojavama aktivnosti, kao što su baklje (sjajnija područja obično povezana s pjegama), bljeskovi (naglo osloba-đanje energije koje se uočava u pojačanju elektromagnetskog zračenja i akcele-raciji čestica prouzročenoj naglim oslobađanjem magnetske energije), promi- nencije (relativno guste i hladne nakupine plazme u kromosferi i koroni), koro- nini izbačaji tvari (golemi izbačaji tvari iz korone koji kao magnetski oblaci plazme napuštaju Sunce, koji su najčešće vezani uz erupciju prominencije). Međuplanetni udarni val izazvan koroninim izbačajem također ubrzava nabijene čestice. Zbog Coriolisove sile i konvektivnih potpovršinskih gibanja, Sunce na- kon nekog vremena opet poprima polje slično štapićastom magnetu, ali sad su magnetski polovi suprotnog polariteta. Nakon idućeg maksimuma uspostavlja se početni magnetski polaritet Sunca. Sunčev ciklus aktivnosti u kojem se iz- mjenjuju uzastopni minimumi (a također i maksimumi) broja pjega iznosi pri-bližno 11 godina, dok magnetski ciklus u kojem se ponavlja isti magnetski polaritet Sunčevih polova iznosi oko 22 godine, slika 2.

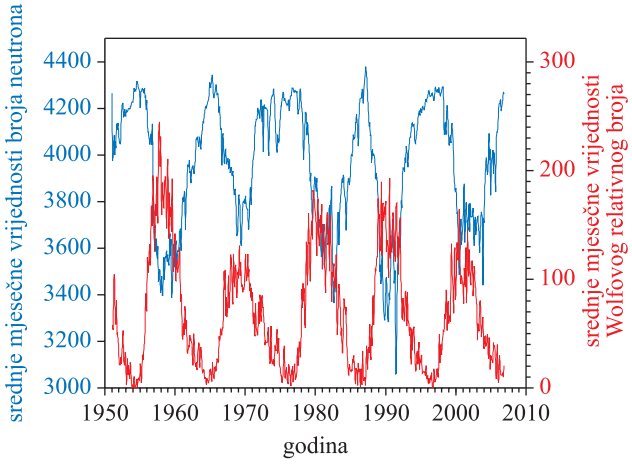
Sunce također utječe na Zemljinu magnetosferu i geomagnetsko polje. Uzajamno djelovanje međuplanetnog magnetskog polja i magnetosferskog rezultira generiranjem visokoenergetskih čestica u magnetosferi i lakšim prijelazom



Sl. 2.: Konfiguracija Sunčeva magnetskog polja u razdoblju između dvaju uzastopnih minimuma aktivnosti

čestica iz heliosfere u magnetosferu. Kompleksni sustavi struja visokoenergetskih čestica poremećuju magnetosfersko stanje. Za najveće magnetosferske poremećaje, popraćene geomagnetskim olujama i podolujama, odgovorne su povremene pojave koroninih izbačaja tvari i s njima povezani udarni valovi. Periodične promjene (od 27 dana) nastaju zbog udarnih valova brze komponente Sunčeva vjetra iz koroninih šupljina. Njihov utjecaj najveći je za maksimuma Sunčeve aktivnosti, kad se koronine šupljine pojavljuju na nižim heliografskim širinama.

Istraživanje utjecaja Sunca na Zemlju i njezin svemirski okoliš vrlo je kompleksno i danas se karakterizira stanjem svemirskog vremena (engl. S*pace Weather*). Pod tim pojmom podrazumijevamo uvjete na Suncu i u Sunčevu vjetru, magnetosferi i Zemljinoj atmosferi, koji utječu na provedbu svemirskih misija i pouzdanost tehničkih sustava u svemiru i na Zemlji i koji mogu ugroziti ljudski život i zdravlje, a mogu utjecati i na klimatske promjene [2]. Ti su uvjeti uglavnom potaknuti pojavama na Suncu i Sunčevom aktivnošću, ali uključuju i učinke zbog kozmičkog zračenja (Sunčeva i galaktičkog), kao i uzajamnog djelovanja međuplanetnog i geomagnetskog polja. Svemirska prognoza danas ima sve veće značenje zbog povećanja broja svemirskih misija (s ljudskom posadom i bez nje), kao i zbog upotrebe različitih zemaljskih i svemirskih tehničkih su- stava (npr. za komunikaciju i navigaciju). Unatoč tomu što su prilično dobro poznati fizički procesi na Suncu i načini na koje oni utječu na Zemlju i njezinu



Sl. 3.: Tok kozmičkog zračenja (plava krivulja) antikoleriran je sa Sunčevom aktivnošću (crvena krivulja). Podaci o toku kozmičkog zračenja dobiveni su neutronskim detektorom Climax Sveučilišta u Chicagu (riječ je o srednjim mjesečnim iznosima podijeljenim sa sto), dok je Sunčeva aktivnost iskazana srednjim mjesečnim iznosima Wolfova relativnog broja pjega.

magnetosferu, ipak još uvijek nismo u mogućnosti pouzdano predvidjeti nastupanje pojedinačnih pojava Sunčeve aktivnosti, kao što su pojave bljeskova i koroninih izbačaja tvari. Statistička učestalost tih pojava mijenja se s jedanaestogodišnjim ciklusom Sunčeve aktivnosti. Najveći ih je broj za maksimuma Sunčeve aktivnosti, ali isto tako, one se mogu zbivati i u razdoblju smanjene Sunčeve aktivnosti. Učinci galaktičkog kozmičkog zračenja veći su za Sunčeva minimuma. Naime, intenzitet galaktičkog kozmičkog zračenja antikoleriran je s ciklusom Sunčeve aktivnosti. Za maksimuma Sunčeve aktivnosti heliosfersko magnetsko polje učinkovitije sprečava dolazak čestica galaktičkog kozmičkog zračenja do Zemlje. Što je Sunčeva aktivnost Sunca, tok galaktičkog kozmičkog zračenja je manji, slika 3.

Općenito su vremenske promjene toka (ili intenziteta) kozmičkog zračenja na Zemlji vrlo složene i rezultat su superpozicije brojnih čimbenika [3]. Periodične promjene terestričkog podrijetla povezane su s fizičkim stanjem Zemljine atmosfere i asimetričnošću Zemljine magnetosfere, dok su sporadične (povremene) promjene terestričkog podrijetla uvjetovane relativno kratkotrajnim promjenama geomagnetskog polja (geomagnetskim olujama). Promjene ekstraterestričkog podrijetla uvjetovane su procesima u područjima izvan Zemljine magnetosfere.

Ekstraterestričke promjene vezane uz period Sunčeve rotacije (oko 27 dana) povezane su s dugoživućim aktivnim područjima na Suncu ili brzom komponentom Sunčeva vjetra. Dnevne ekstraterestričke periodične promjene približno su sinusnog oblika. Uvjetovane su učincima smanjenja galaktičkog kozmičkog

zračenja u smjeru suprotnom od Sunca i u smjeru heliosferskog lokalnog magnetskog polja, što ima za posljedicu da je u prosjeku minimum kozmičkog zračenja nekoliko sati nakon mjesne ponoći, a maksimum u rano poslijepodne. Prostorna orijentacija Zemljine staze također ima stanovit utjecaj na dnevne promjene toka kozmičkog zračenja.

Sporadične ekstraterestričke promjene vezane su uz naglo pojačanje Sunčeva kozmičkog zračenja, Forbushov učinak (ili Forbushov pad, koji se očituje u naglom padu toka kozmičkog zračenja kad sa Sunca izbačeni magnetski oblak zahvati Zemlju) i anizotropnu prethodnicu Forbushova pada. Nailazak magnetskog oblaka izaziva različite učinke na Zemlji i u njezinu svemirskom okolišu, koji mogu biti štetni za tehniku i opasni za zdravlje astronauta u svemirskim misijama. Zato istraživanje modulacija galaktičkog kozmičkog zračenja, posebno anizo- tropne prethodnice Forbushova učinka, može biti važno u pravodobnom pred-viđanju (prognozi) tih učinaka.

3. Mreža detektora SEVAN

Povećan interes za istraživanje heliosferskih stanja rezultirao je velikim svjetskim znanstvenim programom nazvanim Međunarodna heliofizička godina (*International Heliophysical Year* − IHY), koji je osmišljen kao međunarodni program globalnih istraživanja u svrhu boljeg razumijevanja pokretača stanja u svemirskom okolišu i klimi i koji je počeo 2007. godine. Prisjetimo li se prethodnih sličnih programa, Međunarodne polarne godine (*International Polar Year* − IPY, koja je počela 1882.), Druge polarne godine (počela 1932.) i posebno Međunarodne geofizičke godine (*International geophysical Year* − IGY, počela 1957.), koja je označila početak ere svemirskih letova, možemo uvidjeti povijesni kontekst programa IHY i njegovu važnost za suvremenu svemirsku tehniku i svemirske misije [4]. Jedna od sastavnica programa IHY bila je *United Nations Basic Space Science (UNBSS) Observatory Development Program* (UNBSS), namijenjena uspostavi opservatorija i mreže instrumenata u svrhu proširenja spoznaja o globalnim heliofizičkim procesima. Dio te sastavnice (programa) bila je i mreža detektora u srednjim i niskim geografskim širinama nazvana SEVAN (*Space Environmental Viewing and Analysis Network*, čiji je voditelj profesor Ashot Chilingarian, Odjel za kozmičko zračenje, Svemirski okolišni centar Aragat, Alikhanianov institut za fiziku, Erevan, Armenija). SEVAN mreža nastavila je aktivnost i u okviru idućeg svjetskog programa, *International Space Weather Initiative* (ISWI).

Glavna je svrha mreže SEVAN prikupljanje podataka u cilju istraživanja veze između Sunčeve aktivnosti i toka čestica kozmičkog zračenja, posebno korelacije Sunčevih eruptivnih pojava s intenzitetom i modulacijama toka galak-

tičkog kozmičkog zračenja. Galaktičko kozmičko zračenje služi kao pokazatelj stanja u heliosferi. Naime, nakon što ono uđe u heliosferu dolazi pod utjecaj međuplanetnih magnetskih oblaka i udarnih valova, koji nastoje otkloniti kozmičko zračenje iz unutarnjeg područja Sunčeva sustava. Na putu do Zemlje magnetski oblak i udarni val mijenjaju tok galaktičkog kozmičkog zračenja, koje postaje anizotropno. Analizirajući promjene galaktičkog kozmičkog zračenja možemo dobiti informacije o akceleraciji čestica na udarnom valu unutar heliosfere i rasvijetliti dinamiku golemih magnetskih ustrojstava u heliosferi. Detektori kozmičkog zračenja razvijeni u okviru mreže SEVAN mogu se upotrijebiti za procjenu veličine i orijentacije Sunčevih izbačaja, veličine udarnog vala i jakosti magnetskog polja u međuplanetnom izbačaju tvari. Također mogu dati podatke o mehanizmima akceleracije čestica velikih energija u udarnim valovima nastalim bljeskovima i koroninim izbačajima tvari.

Pojave Sunčevih energetskih čestica i geomagnetske oluje igraju važnu ulogu u nastanku heliosferskih nepogoda koje mogu utjecati ne samo na tehničke nego i na biološke sustave. S te je točke gledišta moguće detaljno istražiti korelaciju stanja u Zemljinu svemirskom okolišu s klimatskim i biološkim čimbenicima.

Detektori omogućuju predviđanje i uzbunjivanje vezano uz mnoge uvjete stanja Zemljina svemirskog okoliša i time poboljšavaju predviđanje heliosferskih nepogoda i uzbunjivanje. S pomoću detektora na Zemljinoj površini moguće je predvidjeti nadolazeću magnetsku oluju satima prije nego što koronini magnetski izbačaji dođu do magnetometara na satelitima. Ujedno dobivamo i korisne podatke za identifikaciju glavnih izvora pogrešaka u predviđanju geomagnetskih oluja.

Detektori mreže SEVAN do danas su instalirani u sljedećim državama: Armeniji, Bugarskoj, Hrvatskoj, Indiji, Slovačkoj, Češkoj, Njemačkoj, Izraelu. Detektori su potpuno samostalne jedinice s mogućnošću slanja podataka preko interneta.

U Zvjezdarnici Zagreb detektor je instaliran u prosincu 2008. godine, slika 4. To je prvi detektor za kontinuirano bilježenje kozmičkog zračenja u Hrvatskoj, skraćeno nazvan SEVAN CRO Zagreb iz razloga što je dio međunarodne mreže SEVAN i što je njegovom instalacijom Zvjezdarnica Zagreb postala postaja za opažanje kozmičkog zračenja (*Cosmic Ray Observatory Zagreb*). Njegova instalacija nadopuna je i proširenje postojećih dugogodišnjih i vrlo uspješnih projekata istraživanja fizike Sunca u Hrvatskoj, koje vode djelatnici Opservatorija Hvar, Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Detektor također pridonosi i popularizacijskim i obrazovnim programima Zvjezdarnice Zagreb. Zahvaljujući suradnji Alikhanianova instituta za fiziku i Zvjezdarnice Zagreb, predsjednik Armenije Serž Sargsjan posjetio je u sklopu službenog posjeta Hrvatskoj 2009. godine i Zvjezdarnicu Zagreb, slika 5.



Sl. 4.: Detektor SEVAN CRO u Zvjezdarnici Zagreb

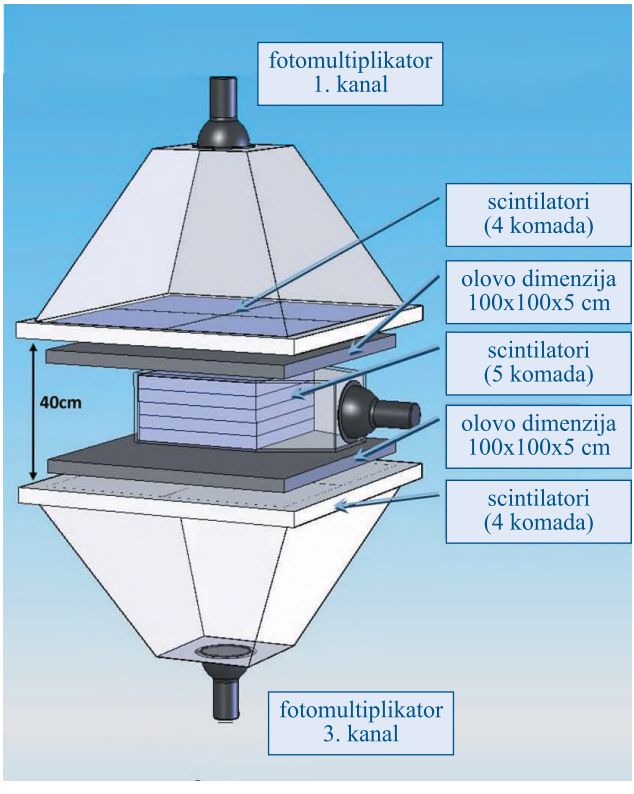


Sl. 5.: Snimka na terasi Zvjezdarnice Zagreb tijekom posjeta predsjednika Republike Armenije. Zdesna nalijevo: prevoditeljica iz Ureda predsjednika Republike Hrvatske; Radovan Fuchs, tadašnji ministar znanosti, obrazovanja i športa; Ashot Chilingarian, direktor Alikhanianova instituta za fiziku, predsjednik Armenije Serž Sargsjan; Dragan Roša, ravnatelj Zvjezdarnice Zagreb (Izvor: Protokol Ureda predsjednika Republike Hrvatske).

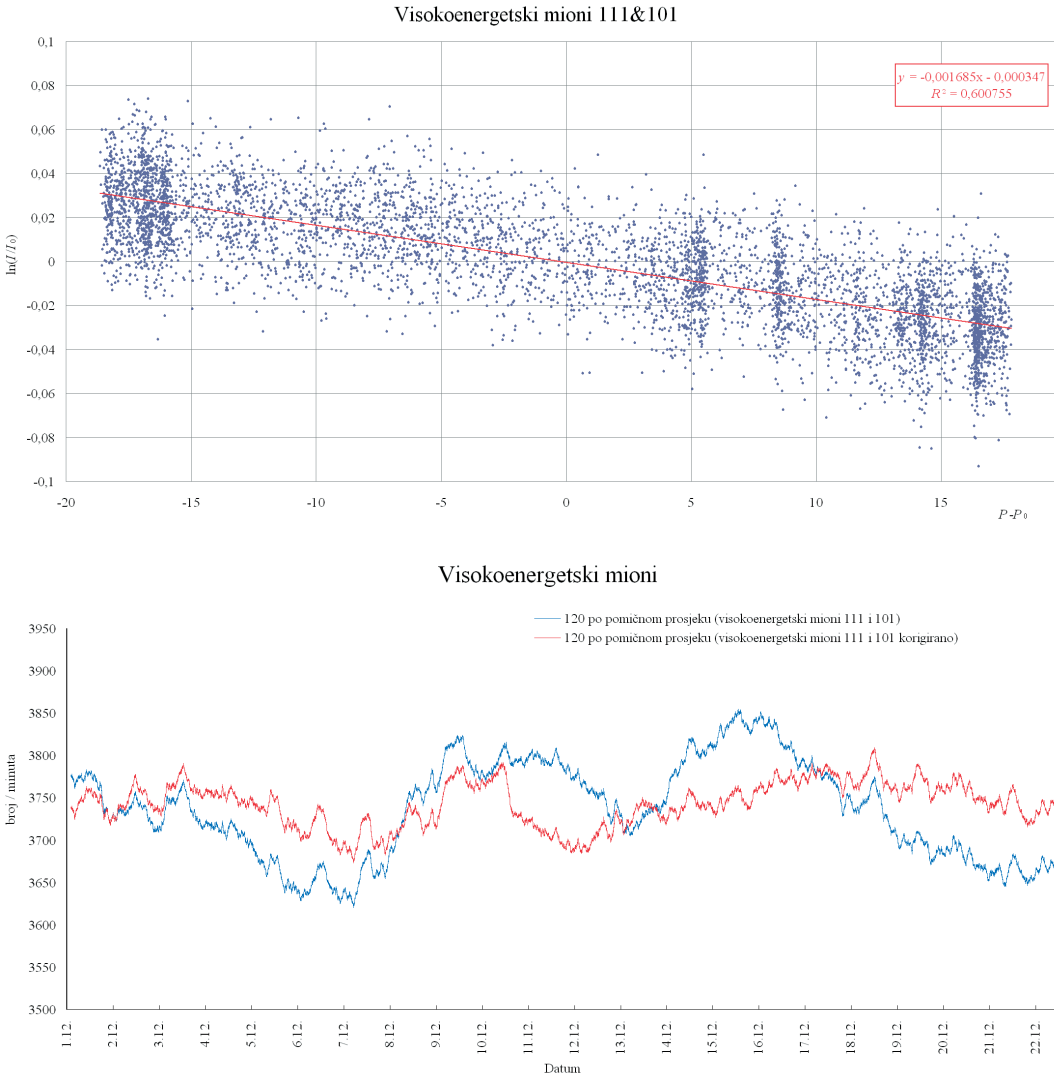
Detektor SEVAN, shematski prikazan na slici 6., je trokanalni [5]. Za detekcijsku tvar upotrebljavaju se plastični scintilatori, ukupno 13 (svaki obujma 50 · 50 · 5 cm^3). Ima tri fotomultiplikatora (za svaki kanal po jedan), te prateće elektroničke sklopove, računalo i barometar, koji nisu prikazani na slici 5.

Pojedini detekcijski kanali odijeljeni su olovom (površine 1 m^2 i debljine 5 cm). Ovisno o pojavi signala (1 – ima signala, 0 – nema signala) redom u po-jedinim kanalima, od gornjeg prema donjem, bilježi se:

111 ili 101 – transverzalni prolaz miona veće energije (približno > 250 MeV)
010 – transverzalni prolaz neutralne čestice
100 – transverzalni prolaz čestice manje energije (približno < 200 MeV) zaustavljene u scintilatoru ili u prvom (gornjem) dijelu olov- nog apsorbera
110 – transverzalni prolaz čestice manje energije zaustavljene u drugom (donjem) dijelu olovnog apsorbera
001 – bilježenje koso nadolazeće nabijene čestice.



Sl. 6.: Shematski prikaz detektora SEVAN



Sl. 7.: Primjer linearne regresije barometrijskog koeficijenta za visokoenergetske mione prikazan je na gornjoj slici, dok donja slika prikazuje mjesečni uglađeni graf s pomičnim prosjekom (također za visokoenergetske mione), koji prikazuje korigirane podatke koristeći barometrijski koeficijent

Detektor je projektiran za bilježenje sekundarnih čestica koje nastaju od čestica primarnog kozmičkog zračenja energije oko 10 GeV. Taj dio energetskog spektra galaktičkog kozmičkog zračenja moduliran je zbog utjecaja Sunčeve aktivnosti, a ujedno omogućuje i posredno bilježenje čestica primarnog Sunčeva kozmičkog zračenja s najvećim energijama. Bilježenja su minutna, kao i mjerenja tlaka zraka. Ukupan je broj detektiranih čestica oko 10 000 u minuti.

Tablica 1.: Prikaz rezultata mjerenja različitim statističkim metodama te barometrijski koeficijent β i linearni korelacijski koeficijent r

SEVAN CRO monitor	β5(%/mbar) LSM	5(%/mbar) LAD	r	a LSM	a LAD	N
Visokoenergetski mioni	-0.169±0.0018	-0.169±0.00022	-0.775	0.01693	0.01693	5760
Neutroni	-0.282±0.0093	-0.274±0.00115	-0.368	0.08747	0.0875	5760
Niskoenergetske čestice	-0.202±0.0022	-0.224±0.00028	-0.765	0.02091	0.02137	5760
Gornji detektor	-0.190±0.0018	-0.202±0.00020	-0.838	0.01521	0.01543	5760
Srednji detektor	-0.147±0.0026	-0.144±0.00033	-0.584	0.02519	0.02521	5760
Donji detektor	-0.179±0.0016	-0.188±0.00021	-0.817	0.01559	0.01572	5760
Niskoenergetske čestice*	-0.251		-0.894			4799*
Donji detektor*	-0.209		-0.888			4799*

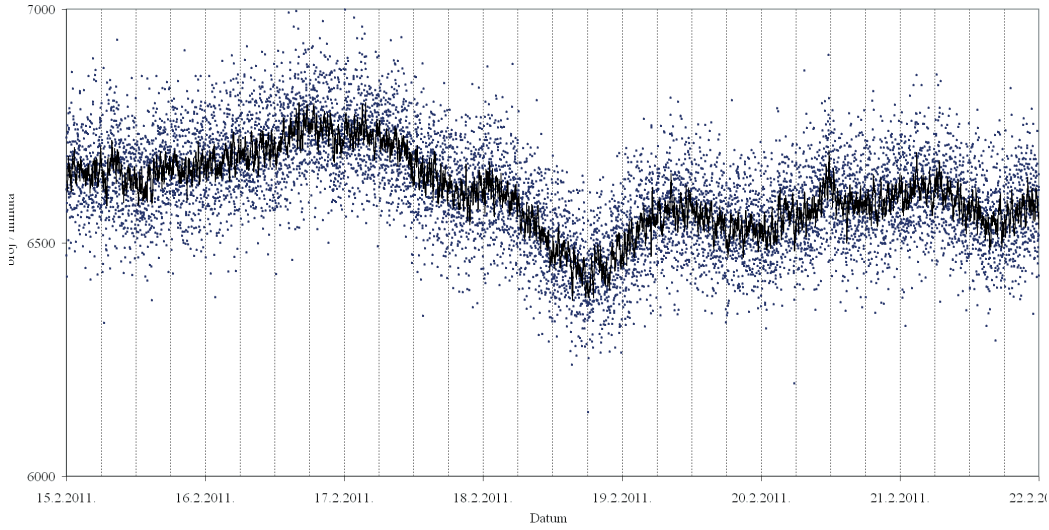
* podaci isključeni iz mjerenja i izračuna

Rezultati mjerenja i kalibracije barometrijskog koeficijenta SEVAN CRO detektora, kao i bilježenja Forbushova učinka i dnevne anomalije, prikazani su na konferenciji Proceedings of Tenth Workshop '*Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere*', Primorsko, Bugarska, 4. – 8. lipnja 2018. [6].

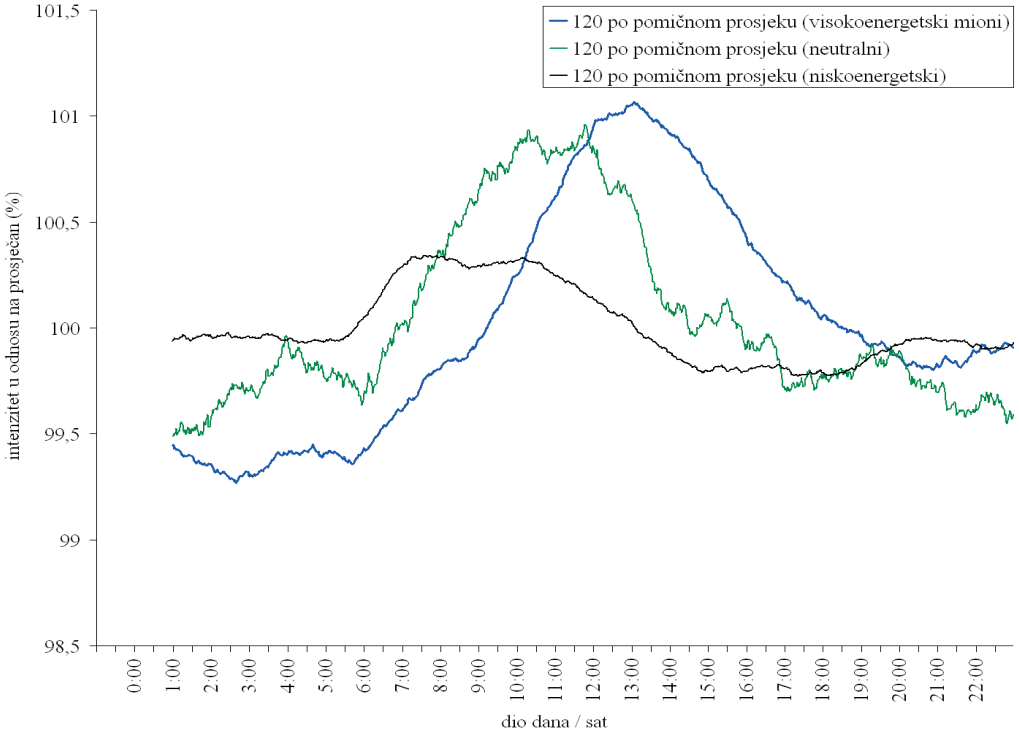
Intenzitet kozmičkog zračenja na instrumentima koji se nalaze na tlu pod utjecajem je lokalnog atmosferskog tlaka. Zbog toga je potrebno izračunati barometrijski koeficijent za korekciju podataka radi utjecaja na bilježenje čestica. U slučaju SEVAN CRO detektora, mjerenja i korekcije provedeni su tijekom Sunčeva minimuma krajem 24. Sunčeva ciklusa i to tijekom razdoblja bez većih poremećaja međuplanetnog magnetskog polja i magnetosfere te u razdoblju velikih oscilacija atmosferskog tlaka. Korišteni su podaci od 25. prosinca do 28. prosinca 2017. godine za izračunavanje barometrijskog koeficijenta tijekom najvećih oscilacija tlaka (razlika od oko 30 mbar) te u razdoblju bez geomagnetskih oluja (Dst indeks < −30 nT).

Primjenom metode najmanjih kvadrata (engl. *least-squares method* − LSM) te metode najmanjih devijacija (engl. *least absolute deviations* − LAD), metode koju je predložio naš znanstvenik Ruđer Bošković i to prije razvoja metode najmanjih kvadrata [7]), u tablici 1. prikazani su rezultati mjerenja i određivanja barometrijskog koeficijenta.

Detektorom kozmičkog zračenja SEVAN CRO prvi je put 2011. godine zabilježen Forbushov učinak. Vezan je uz nailazak sa Sunca izbačenog magnetskog oblaka na Zemlju. Najveće su Sunčeve modulacije niskoenergetskih protona primarnog kozmičkog zračenja i njihov broj je manji (a time i broj čestica sekundarnog kozmičkog zračenja). Zbog toga je Forbushov učinak najveći na tok niskoenergetskih čestica, slika 8.



Sl. 8.: Forbushov učinak na niskoenergetske čestica detektora SEVAN CRO. Mjerenja od 17. do 18. veljače 2011. godine



Sl. 9. Dnevne anomalije kozmičkog zračenja tijekom 20 dana u razdoblju od 1. do 20. studenog 2010. Vrijeme (os apscisa) iskazano je u svjetskom vremenu (UT)

Dnevne anomalije ovise o mnogim čimbenicima, kao npr. o geografskom položaju samog detektora, stanju magnetosfere i stanju heliosferskog magnetskog polja. Dnevna anomalija važna je za istraživanja međudjelovanja Sunca i Zemlje i heliosferskih stanja. Na slici 8. prikazani su prosječni tokovi čestica u isto vrijeme svakog dana u razdoblju od 1. do 20. studenog 2010. dobiveni detektorom SEVAN CRO. Podaci su uglađeni s pomičnim prosjekom od dva sata. Za visokoenergetske mione najveći je skok oko 13:00 UT; niskoenergetske čestice imaju dva skoka, oko 6:30 UT i oko 10:00 UT; neutralne čestice oko 9:00 UT i oko 11:00 UT, slika 9.

4. Visokoenergetska fizika Zemljine atmosfere

Detektori SEVAN pokazali su se i pogodnim za istraživanja visokoenergetske fizike Zemljine atmosfere, posebno u rasvjetljavanju razloga nastanka munja u grmljavinskim olujama. Pojave munja od davnina su poznate, ali mehanizam njihova nastanka još uvijek nije u potpunosti poznat [8].

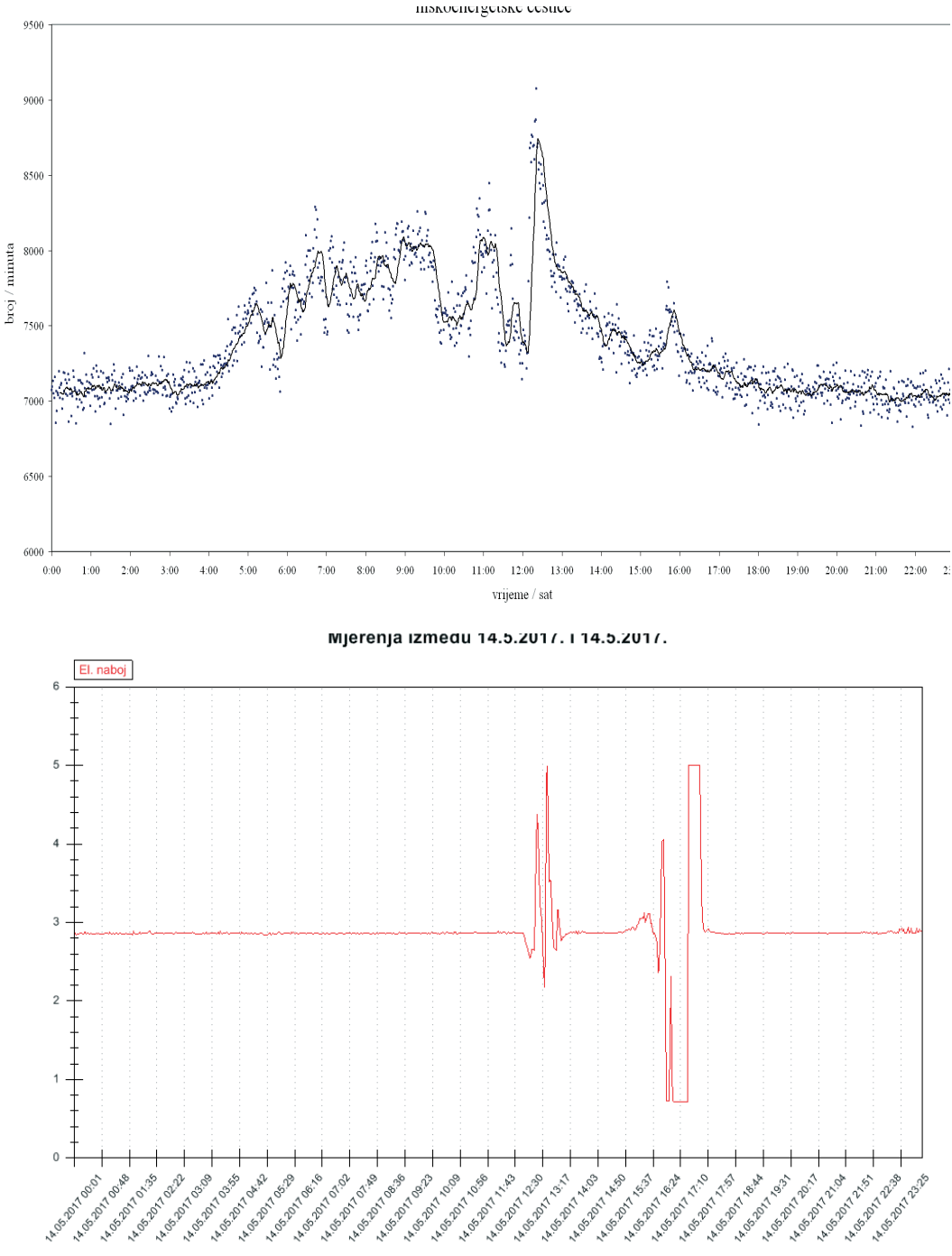
Da bi došlo do električnog izboja u plinu nužno je postojanje slobodnih elektrona i električnog polja. Električno polje ubrzava elektrone i oni ionizacijom stvaraju nove slobodne elektrone. Slobodni elektroni koji imaju manje energije mogu "iščeznuti" rekombinacijom s ioniziranim molekulama. Broj slobodnih elektrona povećavat će se samo u slučaju kad ionizacijski učinci nadvladaju rekombinacijske, što se događa kad je iznos električnog polja veći od određenog graničnog iznosa električnog polja. Izračun za uvjete koji vladaju u atmosferi i uobičajene (relativno male) energije slobodnih elektrona upućuje da se izboj može dogoditi za iznos električnog polja koji je barem deset puta veći od onog eksperimentalno ustanovljenog u grmljavinskim olujama.

Također je nejasno podrijetlo elektromagnetskog zračenja vezanog uz grmljavinske oluje (jakog radiozračenja, rendgenskog i gama-zračenja koje je detektirano i sa satelita u Zemljinoj orbiti). Ruski znanstvenik Aleksandr Gurevič sa suradnicima predložio je 1992. godine novi teorijski model ubrzavanja čestica i nastanka izboja u munjama [9]. Razmatrao je slučaj elektrona velikih (relativističkih) energija. Srednji iznos puta koji oni slobodno prelaze prije interakcije oko sto puta je veći negoli u slučaju elektrona malih energija. I uz manji iznos električnog polja, kakav je mjeren u grmljavinskim olujama, relativistički elektroni dobivaju energiju od električnog polja i mogu dovesti do izboja. Gurevič je pretpostavio da elektroni velike energije potječu od kozmičkog zračenja. Postojanje takvih elektrona još je prije stotinjak godina predvidio fizičar Charles Wilson, dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1927. godine. Količina elektrona u sekundarnom kozmičkom zračenju nije dovoljna da izazove izboj, ali Gurevičev model upozorava na drugu mogućnost. Pri interakciji

relativističkih elektrona s molekulama zraka dolazi do ionizacije. Dio novonastalih slobodnih elektrona može imati dovoljno veliku energiju da se i dalje ubrzavaju električnim poljem. Proces se tako nastavlja i dolazi do lavine elektrona, prvotno pokrenute elektronima sekundarnog kozmičkog zračenja, koja na kraju dovodi do nastanka munje. Emisija visokoenergetskog zračenja (rendgenskog i gama-zračenja) samo je potvrda da u procesu nastanka munje ulogu igraju relativističke čestice.

Za potvrdu svakog modela potrebna su eksperimentalna mjerenja. Premda postaje za bilježenje kozmičkog zračenja djeluju gotovo sto godina, bilježenja promjene toka kozmičkog zračenja za grmljavinskih oluja bila su samo sporadična i obično su se odnosila samo na jednu vrstu čestica sekundarnog kozmičkog zračenja i određenog raspona energija. Takve detekcije nisu izazivale posebnu pažnju. Godine 2009. prvi put je ostvarena istodobna registracija različitim detektorima promjena toka elektrona, neutrona i gama-zračenja vezanog uz munje (pojava se skraćeno naziva TGE, prema engleskom *Thunderstorm Ground Enhancements*). Zbilo se to na armenskoj postaji Aragat, koja se nalazi na nadmorskoj visini od 3200 m uz jezero Kari. O podacima mjerenja i njihovoj važnosti za visokoenergetsku fiziku Zemljine atmosfere izvijestio je prof. Ashot Chilingarian i to prvi put na znanstvenoj konferenciji *Heliophysical phenomena and Earth's environment* (Heliofizički uvjeti i Zemljina okolina), koja je u organizaciji Zvjezdarnice Zagreb održana 2009. godine u Šibeniku. Nakon toga nastavljena su intenzivna praćenja TGE-a i otad Odjel za kozmičko zračenje Alikhanianova instituta za fiziku u Erevanu svake godine organizira međunarodnu konferenciju vezanu uz problematiku grmljavinskih oluja. Na konferenciji održanoj 2019. godine (*Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA-2019) 11 years of TGE observation on Aragats*), armenski znanstvenici iznijeli su izravan dokaz postojanja relativističke lavine elektrona u obliku fluorescentne svjetlosti emitirane tijekom razvoja elektronskih i gama kaskada u atmosferi. Uz opažanja minutnih tokova visokoenergetskih elektrona i gama-zračenja iz relativističkih lavina elektrona, objasnili su i mehanizam višesatnih izotropnih tokova niskoenergetskog gama-zračenja. Naime, pokusima su ustanovili da se produkti raspada radona prenose zrakom, potom se neposredno pričvršćuju na čestice prašine i aerosola u atmosferi te ih bliskopovršinska električna polja podižu, osiguravajući izotropno niskoenergetsko γ-zračenje [10].

Prva detekcija TGE-a s pomoću SEVAN CRO detektora ostvarena je 14. svibnja 2017. za vrijeme grmljavinske oluje koja je zahvatila Zagreb. Na slici 10. prikazano je povećanje zračenja u kanalu "100" (uglavnom niskoenergetski elektroni i γ-zračenje), a usporedno je prikazana i promjena atmosferskog električnog polja u relativnim jedinicama, jer instrument koji se nalazi na Institutu *Ruđer Bošković* udaljenom oko 1,5 km od Zvjezdarnice Zagreb nije kalibriran. Povećanje toka zračenja dobro je kolerirano s promjenama električnog polja.



Sl. 10.: Gornja slika prikazuje TGE zabilježen s pomoću detektora SEVAN CRO, a donja promjenu atmosferskog električnog polja

5. Suradnja Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu i Zvjezdarnice Zagreb

Detektor SEVAN CRO sofisticiran je uređaj koji zahtijeva odgovarajuće održavanje elektronike i drugih komponenti. Obrada podataka također je zahtjevna. Iz tog razloga Zvjezdarnica Zagreb uspostavila je suradnju s Fakultetom elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu, koji ima eksperte na tom području. Trenutačno se suradnja temelji na nekoliko konkretnih tema, kao što je primjena postupaka otkrivanja znanja dubinskom analizom podataka o kozmičkom zračenju, razvoj, prilagodba i primjena primijenjenih računalnih aplikacija i digitalnih sklopova te popularizacija STEM područja.

Suradnja FER-a i Zvjezdarnice Zagreb obuhvaća u prvom redu istraživanje koje uključuje primjenu različitih metoda strojnog učenja i statističkog zaključivanja u astrofizici s ciljem izlučivanja i detekcije skupa specifičnih značajki u vremenskim nizovima. Izazovi tog problema analize velikih skupova podataka (*engl. big data*) su brojni. Dobivene značajke mogu imati visoku praktičnu vrijednost jer na temelju fizikalnih mehanizama promjena intenziteta i modulacija toka galaktičkog kozmičkog zračenja upozoravat će na utjecaj Sunca i Sunčeve aktivnosti na Zemlju, geomagnetsko polje i heliosferska stanja. Namjera tog multidisciplinarnog istraživanja jest ostvarivanje novih spoznaja na područjima heliofizike i kozmičkog zračenja, kao i visokoenergetske fizike Zemljine atmosfere.

Osim navedenog, planira se projektni razvoj novog računalnog sustava koji će omogućiti analizu, vizualizaciju i izvještavanje, interaktivan mrežni pristup podacima prikupljenim detektorom SEVAN, te dijeljenje tih podataka s udaljenim računalnim sustavima. Takav je računalni sustav visokospecifičan, mora biti izrađen u bliskoj suradnji s korisnikom, a prijeko je potreban s obzirom na karakteristike signala te snažan interes u povezivanju istraživača tih fenomena. U toj domeni postoji i potreba za prilagodbom elektroničkih komponenti postojećih detektora i izradom novih detektora visokoenergetskog ionizirajućeg zračenja.

Planira se i razvoj paradigmi ili pristupa učenju o astronomiji, astrofizici i STEM području. Ti se programi učenja sad realiziraju korištenjem informacijsko-komunikacijskih tehnologija u sklopu različitih edukacijskih aktivnosti koje provodi Zvjezdarnica Zagreb, a namijenjeni su učenicima, studentima i zainteresiranoj javnosti. Cilj tog aspekta suradnje FER-a i Zvjezdarnice Zagreb općenito je unapređenje mogućnosti obrazovnih programa u STEM području i programa popularizacije znanosti.

Na koncu, završni, diplomski i doktorski radovi studenata još su jedno zanimljivo područje za suradnju u kojem se mogu susresti interesi tih dviju institucija kroz zajedničke teme i mentorstva.

Literatura

[1] Roša, D.: *Metode astronomskih istraživanja*, Alfa d. d. i Zvjezdarnica Zagreb, Zagreb, 2010.

[2] Hanslmeier, A.: *The Sun and Space Weather*, Kluwer, 2002.

[3] Dorman, L. I.; Smirnov, V. S.; Tjasto, M. I.: *Kosmičeskie luči v magnitnom pole zemli*, Nauka, Moskva, 1971.

[4] *Putting the "I" in IHY: The United Nations Report for the International "Heliophysical Year 2007 (Studies in Space Policy)"*, Barbara J. Thompson; Natchimuthuk Gopalswamy; Joseph M. Davila; Hans J. Haubold (ur.), Wien New York: Springer, 2009.

[5] Roša, D.; Angelov, Ch.; Arakelyan, K.; Arsov, T.; Avakyan, K.; Chilingarian, A.; Chilingaryan, S.; Hovhanissyan, A.; Hovhannisyan, T.; Hovsepyan, G. et al.: SEVAN CRO Particle Detector for Solar Physics and Space Weather research, *Central European astrophysical Bulletin,* 34 (2010), 115-122.

[6] Šterc, F.; Roša, D.; Maričić, D.; Hržina, D.; Romštajn, I.; Chilingarian, A.; Karapetyan,T.; Cafuta, D. i Horvat, M.: SEVAN particle detector at Zagreb Astronomical Observatory: 10 years of operation, *Proceedings of Tenth Workshop "Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere"*, Georgieva, K.; Kirov, B.; Danov, D. (ur.), Primorsko: Space Research and Technologies Institute Bulgarian Academy of Sciences, 2018., str. 144-150.

[7] Ivezić, Ž.; Connolly, A. J.; VanderPlas, J. T. and Gray, A.: *Statistics, Data Mining, and Machine Learning in Astronomy*, Princeton University Press, New Jersey, 2014.

[8] Roša, D.: Zašto nastaju munje? Čovjek i svemir, br. 2, 2018./2019., LXI, str. 2, 8-32.

[9] Gurevich, A. V.; Milikh, G. M. and Roussel-Dupre, R. A.: Runaway electron mechanism of air breakdown and preconditioning during a thunderstorm, Physics Letters A, 165 (1992): 463-468.

[10] Chilingarian, A.: Razumijevanje visokoenergetske fizike u Zemljinoj atmosferi, (preveo D. Roša), Čovjek i svemir, br. 4, 2019./2020, LXII, str. 10-15.

SEVAN Cosmic Ray Detector Network

Dragan Roša, Filip Šterc, Marko Horvat

Abstract: Space Environmental Viewing and Analysis Network (SEVAN) is a worldwide network of particle detectors aimed to improve fundamental research of space weather conditions, especially to explore solar modula- tion effects. In 2011 first joint measurements of solar modulation effects (Forbush decrease) were detected by SEVAN network.

Recently detectors were used also for research of new high-energy phenomena originated in terrestrial atmosphere – Thunderstorm Ground Enhancements (TGEs). First evidence of TGEs at Zagreb Observatory by SEVAN detector was recorded on 14 May 2017 during lightning activity. In the paper we also presented some other results obtained by SEVAN CRO detector, such as the values of barometric coefficients and diurnal variation.

Keywords: cosmic ray, space weather, SEVAN network, Zagreb Astronom- ical Observatory, barometric coefficients, diurnal variations of cosmic rays, Forbush decrease, Thunderstorm Ground En- hancements

Zdenko Balaž, Marino Marjan Ninčević, Zoran Groznica

Filozofija kognitivne kibernetike za edukacije budućnosti

Sažetak: Kolaborativni model učenja prihvatili su studenti kolegija Inteligentni sustavi na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog veleučilišta u Zagrebu (ELO TVZ), koji je svoju najnoviju fazu, mrežno učenje na daljinu, promovirao u izvanrednim okolnostima aktualne svjetske situacije COVID-19. Tripartitni model studijskih programa u suradnji s HS Offenburg[1] razrađuje se kao dinamička, interaktivna istraživačka edukacija i izobrazba koja se priprema i za studente novih studijskih programa, internet stvari i *cyber* komunikacije i znanost o mreži na Sveučilištu VERN' u Zagrebu u akademskoj godini 2020./2021. Dugogodišnji rezultati istraživanja potvrđuju činjenice povezanosti stjecanja znanja i učenja ne samo formalnog nego i informalnog[2] i neformalnog, uz nove inteligentne interaktivne tehnologije edukacija. U radu se prezentiraju tri relevantna izvora koji problematiku edukacije budućnosti obrađuju različitim pristupima i koji su bili osnova za primjenu *ad hoc*[3] *online* modela završetka semestra kolegija Inteligentni sustavi na ELO TVZ-u. Prvi je izvor dvanaestogodišnja etnografska studija Christopha Wulfa s objavljenim fascinantnim zaključcima istraživanja u Njemačkoj i Japanu za UNESCO: *Education for 21st Century.* Studija po-

[1] **HS Offenburg**, Hochschule Offenburg, Visoka tehnička škola u saveznoj pokrajini Baden-Württembergu, danas University of Applied Sciences, na kojoj je autor kao gostujući predavač 2017. − 2019. u okviru Erasmus razmjene ostvario suradnju s prof. dr. sc. Mathiasom Haunom na Katedri za kognitivnu kibernetiku i filozofiju kognitivnih znanosti.

[2] **informalno,** učenje koje rezultira iz dnevnih aktivnosti vezanih uz posao, obitelj ili slobodno vrijeme. Nije organizirano ili strukturirano u smislu ciljeva, vremena ili podrške učenju. Informalno je učenje u većini slučajeva nenamjerno iz perspektive onog koji uči.

[3] lat. **ad hoc**, posebno za to, u tu svrhu, s određenom namjerom

tvrđuje važnost mimetičke[4] djelatnosti i mnemotehnika u socijalnom svijetu kroz ulogu obitelji, škole, vršnjačkih skupina i medija. Drugi je izvor godišnje izvješće svjetskog projekta *EDUCAUSE Horizon Report 2020: Important Developments in Educational Technology for Higher Education*, koje upućuje na ključne trendove u visokom obrazovanju povezane s nezaustavljivim usvajanjem nadolazeće tehnike i tehnologije umjetne inteligencije, kognitivne kibernetike i inteligentnih sustava. Treći je izvor studija Jacquesa Lesournea*: Éducation & société: les défis de l'an 2000*, u kojoj su kroz futurološka promišljanja postavljena osnovna pitanja za srednjoročno i dugoročno pripremanje odgojno-obrazovnog sustava Francuske za prijelaz u XXI. stoljeće.

Ključne riječi: kognitivna kibernetika, kaptologija, mimetika, mnemotehnika, učitelji, edukatori

Uvod

Svi izvori upućuju na činjenice o razini današnje prisutnosti novih tehnologija u životu i edukaciji s utjecajem na transformaciju društva. Razvoj novih tehnologija ide nezaustavljivo i napreduje u smjeru još veće prisutnosti u obrazovanju, nagovještavajući osim prednosti i nove probleme. Tehnologije udaljavaju na razini mimeza[5] procese koji nisu samo osnova svih edukacija nego i mehanizmi razvoja mozga kroz stjecanje znanja. Psihologijska istraživanja u kognitivnim znanostima prokazuju kako se kapacitet mozga za učenje, ljudski um, svijest i samosvjesnost mijenjaju. Stoga, uz inteligentne tehnologije, institucije širom svijeta preispituju primarne uloge i odgovornosti samih učitelja i edukatora, ali i uspostavu raspoloživosti provjerenih informacija i znanja iz "oblaka" otvorene znanosti.

1. Analiza studija za edukacije budućnosti

1.1. Izvješće i zaključak studije *Le Mondea*

Studiju pod naslovom É*ducation & société: les défis de l'an 2000, Éditions La Découverte et Journal Le Monde,* objavio je u Parizu 1988. godine Jacques Lesourne, direktor *Le Mondea*. U njoj opisuje svoj zadatak koji je dobio 15.

[4] **mimetički**, koji oponaša neku funkciju, akciju ili svojstvo

[5] **mimeza** (grč. *mimésis, mimétes*), oponašatelj, oponašanje

travnja 1987. godine. Francuski ministar prosvjete poslao mu je pismo kojim od njega traži da:

> "Pokuša uobličiti osnovna pitanja koja valja, srednjoročno i dugoročno, postavljati da bi se pripremila budućnost odgojno-obrazovnog sustava Francuske."

Nakon jedne godine obrade studije slijedilo je izvješće u kojem se navodi kako cjelokupan odgojno-obrazovni sustav, uključujući i visoko školstvo, mora voditi računa o brojnim važnim čimbenicima. Najvažniji su:

- međunarodno okruženje sa svojim iskustvima i mogućnostima njegove preobrazbe
- mnogobrojni pojedinci koji u njemu sudjeluju (prije svega edukatori, profesori nastavnici, učitelji, studenti i učenici)
- roditelji
- poduzeća, administracije, ministarstva, udruge, vlada, sindikati, političke stranke i
- mediji.

U Zaključku studije ističe se kako po svojoj naravi futurološko promišljanje često izmiče putovima koji mu pomažu da dozrije, pa upravo u trenutku kad se čini da analiza, počevši od izazova budućnosti, završava budućim problemima edukacijskih ustanova, pred njom se otvaraju nove dimenzije:

- djelatna dimenzija, u kojoj će svaka djelatnost u bliskoj budućnosti nositi u sebi jedan od obrazovnih elemenata
- društvena dimenzija, u kojoj će društvo postati informacijsko obrazovno društvo
- dimenzija utjecaja, pod kojom će se velika obrazovna politika morati otvoriti vanjskim utjecajima i uklopiti u širu politiku preobrazbe ljudi
- dimenzija odnosa prema mladima koji vrlo rano stječu osobnu slobodu i na mnogim područjima razvijaju kulturne oblike koji su im svojstveni, a istodobno ostaju bez izgrađenog profesionalnog stajališta, puni stvaralačkih mogućnosti, a ovisni o obitelji
- dimenzija obrazovne strategije, koja neće biti puko nastavljanje politika iz prošlosti, nego priprema za ovladavanje neizvjesnom i nesigurnom budućnosti.

Navedene dimenzije upućuju na to da će se osim stjecanja znanja morati uzeti u obzir i prepoznati nove tehnologije koje će biti u to uključene sa svim svojim mogućnostima, svojstvima i utjecajima. Upravo u tome bit je kognitivne kibernetike, koja upozorava na važnost i problematiku kognicije kojom se mora moći prilagoditi kaptologiji[6]. Kaptologija se odnosi prije svega na računala, ali

[6] **kaptologija** (engl. *captology*), pokrata od ***c****omputers* ***a****s* ***p****ersuasive* ***t****ech****nology***

i na sve ostale inteligentne interaktivne tehnologije, tvorevine umjetne inteligencije u kojima se sve više razvijaju njihovi persuazivni[7] *učinci. Kognitivna kibernetika prati za*htjeve tržišta rada i propulzivni razvoj inteligentnih tehnologija. Na osnovama persuazije nameće se imperativ prilagodbe svih, i to s naglaskom na znanje koje se već dulje vrijeme stječe na drugačije načine [1].

1.2. Teze Berlinske studije Christofa Wulfa

Christoph Wulf predstavio je u svojoj studiji fascinantne rezultate dvanaestogodišnjeg istraživanja o mimetičkim djelatnostima u socijalnom svijetu koji su povezani s ulogom obitelji, škole, vršnjačkih skupina i medija [2]. Okvir odabrane institucije bio je UNESCO-ov model škole u Berlinu i dopunsko istraživanje interesnih skupina uz proučavanje komunikacijskih utjecaja kroz masovne medije. Rezultati tih istraživanja prikazani su unutar pet cjelina:

a) Učinkovitost i značenje mimetičkih procesa u odgoju i obrazovanju
b) Djelovanje mimetičkih procesa u svim područjima socijalizacije kao performativnost pedagoških praksi
c) Mimetičko učenje kao kulturno učenje i učenje kulture
d) Mimetičnost[8] kao zadaća interkulturalnosti u odgoju i obrazovanju kroz jezik
e) Raznolikost metoda u istraživanju mimetičke prakse.

Takvim se pristupom u istraživanjim približava pluriperspektivnosti jer se brišu granice između različitih stručnih znanosti i znanstvenih paradigmi [3-6]. Teži se bezgraničnosti mogućnosti umjetnosti, književnosti, kazališta i glazbe, što je rezultiralo zaključcima postavljenim u obliku sljedećih teza:

1. Evolucija života i hominizacija[9] vremenski su višedimenzionalni procesi velike trajnosti koji se sastoje od uzajamnih djelovanja ekoloških, genetičkih, cerebralnih, socijalnih i kulturnih faktora u kojima kulturni faktori vrlo rano igraju važnu ulogu, (potvrđena teorija i praksa kulturološkog gena – 'mema').

2. Opća zakonitost razvitka života pitanje je o specifičnim uvjetima života čovjeka i njegove osobnosti koja dolazi do izražaja s razvojem mozga, redukcijom instinkata, preobiljem nagona, jezika i otvorenosti prema svijetu u 'prirodnoj umjetnosti' i 'posredovanoj neposrednosti'[10].

---

[7] lat. *persuasibilibus*, namamljen

[8] **mimetičan** (grč. *mimésis*), oponašanje, koji oponaša, u uporabi u estetici i teoriji jezika. Onaj u kojem riječi na neki način odražavaju karakteristične oznake stvari, a konvencionalna je ona riječ koja je po volji stvorena kao znak za određenu stvar. Mimetični je način bliži zbilji pa ga zovu i prirodnim, dok je konvencionalni, naprotiv, proizvoljan, samovoljan.

[9] **hominizacija,** evolucijski proces u kojem jedna linija primata dobiva ljudska obilježja; očovječenje, počovječivanje

[10] potvrđena ljudska stanja (lat. *conditionis humanae*)

3. Interes za životni svijet i životnu praksu u ljudi omogućuje uvid u povijesni karakter zamjedbi, osjećaja i mentaliteta kao i nejedinstvenost i diskontinuiranost tema i predmeta.

4. Pogled na kulturu i to s pozicije tuđeg u vlastitoj kulturi i u drugim kulturama navodi na 'drugost' i kulturnu raznolikost.

5. Samointerpretacija i samorazumijevanje današnjice zbog usmjerenosti na teme koje empirijskom istraživanju nisu dostupne zahtijevaju filozofsku izgradnju teorije i pojmova, kao i refleksiju i kritiku.

6. Zbog kompleksnosti ljudskog tijela, spektar predodžbi i reprezentacija velik je i načelno otvoren i upućuje na to da je riječ o jednom skrivenom tijelu[11] o kojem je moguća samo kontekstualna spoznaja.

7. U mimetičkim procesima ljudi uzimaju "otiske" drugih ljudi i drugih svjetova stvarajući svoje 'vlastite' i u tom procesu vanjski svijet postaje unutarnji i zbiva se učenje kulture.

8. U mimetičkim procesima stječe se praktično znanje jer su mnoga socijalna i kulturna djelovanja učinkovita na osnovama svoje značajke insceniranja i izvođenja. Njihova performativnost[12] obuhvaća tri perspektive:

− socijalna djelovanja kao kulturna izvođenja

− govor kao performativno djelovanje i

− umjetničko kao tjelesno-estetička djelovanja.

9. Društvene institucije i organizacije s pomoću mimetičkih procesa svoje vrijednosti, zadaće i funkcije usađuju svojim članovima i adresatima.

10. U tijelu sadržana sposobnost govora u svakom jeziku neraskidivo povezuje tjelesnu i mentalnu stranu i vezanosti govora uz glas i uho omogućuje to da 'konačnim sredstvom' postiže 'beskonačnu uporabu'.

11. U tijelu ukorijenjena imaginacija vanjski svijet čini unutarnjim, a unutarnji vanjskim i rađa individualno i kolektivno imaginarno.

12. Oblikovanje kolektivnih mentalitetnih razlika utječe na ponašanje pojedinaca. Mišljenje i imaginacija obračunavaju se s vremenitosti i konačnosti.

13. Razrada mimetičkih procesa zahtijeva konceptualnu i metodološku raznolikost kao i paradigmatsku pluralnost, čime naglašava značenje povijesne i kulturne razlike i tvori korektiv globalizacije koja cilja na ujednačavanje i uniformiranje.

14. Antropološko je znanje transdisciplinarno, transnacionalno, pluralističko i nije jedinstveno ni u metodološkom, ni u teorijskom, ni u tematskom pogledu.

---

[11] **skriveno tijelo** (lat. *corpus absconditum*)

[12] **performansa** (engl. *performance*, lat. *spectaculis*), tjelesno-estetska djelovanja, uspjeh, dostignuće, rezultat

15. Konstitutivni uvjet antropologije rađa svijest o tome da ostaje otvorena. Refleksije i kritike pitanja o čovjeku odgovore traže u humanističkim znanostima i filozofiji.

Prije četvrt stoljeća Gunter Gebauer i Christoph Wulf o svojim su istraživanjima mimetičkih procesa osvijestili spoznaju i važnost za razvoj kulture i društva. Oni su u svojim studijama rekonstruirali središnji razvojni moment mimetičkog mišljenja od samih početaka, koji sežu do Platona i Aristotela. Naime, tu je zapravo riječ o antičkom poimanju kibernetičkog[13], za koje je Platon, polazeći od njegova osnovnog značenja koje se odnosilo na vještinu upravljanja brodovima, dao opće značenje u smislu umijeća bilo kojeg upravljanja bilo kojim sustavom. Ipak, sveobuhvatnim istraživanjima i postavljanjem nove dimenzije kibernetike kroz kognitivnu kibernetiku ishodište je ipak u Sokrata, koji je ustvrdio dvije opće i temeljne ideje:

– svaki se sustav promatra kao organizirana cjelina u kojoj se posredna načela izvode iz jedinstvenog općeg načela i
– u tretmanu sustava istodobno se mora postupati *a priori* i *a posteriori*.

Kroz takvo je poimanje Sokrat otkrio kibernetiku − metodu kojoj su, promatrano kroz teoriju regulacijskog sustava, ulazi i izlazi podjednako važni. Takvim poimanjem svijeta kao jedinstvenog regulacijskog / kibernetičkog sustava nitko nije uspio nakon njega obuhvatiti tako široko područje jer se nakon njega njegova teorija podijelila. Njegova škola cjelovitosti razdvojila se tako na Platonovu aprioristička i Aristotelovu aposterioristička. Taj je pristup njegovih nasljednika ipak bio presudan da se već u to vrijeme kibernetici pridruži kognitivna komponenta. Platon je kao apriorist za svoja razmatranja za koja je smatrao da moraju biti u prednosti proučavao duhovnog čovjeka, dok je Aristotel kao aposteriorist razmatrao fizičkog čovjeka.

Dvanaest stoljeća nakon njih potvrđena je povijesna činjenica da su platonisti najviše pridonijeli razvitku civilizacije, a da su aristotelovci imali važnu ulogu u otkrićima ljudskog duha. Na tim se osnovama u epohi prosvjetiteljstva, sustavu cjelokupnih ljudskih aktivnosti koje su bile poticane fizičkim i duhovnim komponentama, pridodaje treća komponenta (prava kognitivna – kognitivni potencijal) te se sustav cjelokupnih ljudskih aktivnosti sve do danas promatra u tri osnovna oblika: područje osjećaja, područje inteligencije[14] i područje materijalne djelatnosti [7-9].

Tako procijenjene ljudske djelatnosti kroz provedena istraživanja pokazuju kako je sposobnost mimetičkog ponašanja antropološka. Gebauer i Wulf navode da već Aristotel o toj mimetičkoj sposobnosti kaže da se pokazuje od najranijeg djetinjstva, pri čemu se u svojem posebnom ustrojstvu čovjek razlikuje od svih

[13] **kibernetika** (grč. *kybernetike*), kormilarska vještina, vještina upravljanja), više u literaturi

[14] **inteligencija** (lat. *intellegere*), razumjeti, razabrati; sposobnost pronalaženja novih prilagođenih reakcija u novim prilikama bilo koje vrste

drugih živih bića, ali i to da u mimetičkim procesima osjeća posebnu radost. Platon je kao nitko drugi naglasio mogućnost mimetičkih procesa da oblikuju i odgajaju ljude. Adorno je ustvrdio kako mimetička sposobnost navodi na živo iskustvo vanjskog svijeta, drugog i vlastite osobe. Riječ je o nužnim uvjetima razumijevanja onog što vodi približavanju objektima i drugom. Mimetički procesi sadrže racionalne momente, ali ne iscrpljuju se u njima i mogu inicirati kretanje s prelomljenom intencijom i stvoriti mogućnost neinstrumentalnog ophođenja sa svijetom, takvog u kojem je ono dijelom zaštićeno od univerzalnog i u kojem je stvarima i ljudima zajamčena zaštita. U mimetičkim procesima ljudsko istupanje iz sebe omogućuje izjednačavanje s vanjskim svijetom te unošenje vanjskog svijeta u svoj unutarnji svijet koji se može izraziti.

Modernom racionalnom mišljenju, koje je pojedinačni izolirani subjekt spoznaje koja sve više postaje kaptološki uvjetovana, suprotna je mimeza. Mimeza je uvijek stvar spleta odnosa osoba. Uključujući druge ljude u vlastiti svijet prepoznaje razmjenu između svijeta i čovjeka i u tome sadržani aspekt moći. Upravo zbog toga mimeza spada u područje odgoja i socijalizacije, u povijest odnosa moći i zahtijeva individualno oblikovanje u svakoj fazi ljudskog odrastanja i starenja pri čemu razmjer individualne razlike varira zbog različitih uvjeta.

Neraskidivost mnogih mimetičkih procesa s procesima žudnje i želje potvrđuje osjetilno opažanje, koje se pretvara u istinsko iskustvo koje pobuđuje osjećaje i asocijaciju što može utjecati na samu interakciju odnosno djelovanje. Samostalnost i autonomija djelovanja prema drugima ne biva stavljena pred eksplicitne odluke, nego je djelovanje temeljeno na specifičnim ljudskim sposobnostima praktičnog oblikovanja svakodnevnih djelatnosti [10-13].

Provedena ispitivanja koja su obradila spoznaje o mimetičkim procesima povezanim s insceniranjem i izvedbom slike i medija prepoznala su četiri vrste slika:

- slike kao medij odgoja, obrazovanja, učenja
- mentalne slike imaginarnog, stvorene ritualnim aranžmanima, pedagoškim i socijalnim praksama i procesima učenja
- slike tijela i
- slike kao empirijski način pristupa istraživanim procesima odgoja, obrazovanja i učenja.

U edukacijskom metodološkom smislu postavila su se pitanja: Kako slikama oduzeti agresivnost njihova odupiranja tumačenju i "svojeglavosti slikovnosti"?, Kako se slikovni i jezični materijal mogu dovesti u odnos a da se ne dođe u opasnost da se vlastiti karakter slika podvede pod jezične interpretacije? U tom je smislu metodologiju vizualne antropologije pokušao E. Panofski objasniti razvojem 'ikonologije' koja žrtvuje vlastiti slikovni karakter slika svojem sustavu interpretacije. Njegov je pokušaj zasjenio M. Imdahla svojom

"ikoničnosti", koja vodi više računa o vlastitoj vrijednosti slike nego o riječima. H. Beltingo na osnovama antropologije slike, istražujući ikonologiju performativnog, navodi na zaključak da se ikonički karakter slike ne može prevesti u jezičnu formu. To su publicirali Wulf i Zirfas otkrivajući novu dimenziju važnog diskursa u razvoju vizualne etnografije, koji se svodi na odnose stvarne slike i misaone procese kojima se zamišlja stvar koja ne postoji. Svijest o povijesnoj i kulturnoj relativnosti antropološke spoznaje, antropološko znanje, kvalitetu doseže kao rezultat ljudske načelne neodređenosti iz koje proizlazi otvorenost za drugo znanje i potragu za putovima povećanja njegove kompleksnosti. Na tim putovima često se javlja potreba za inventurom antropološkog znanja o odnosu čovjeka prema svijetu i samom sebi, koja se provodi kroz sedam tematskih područja: kozmologiju, svijet i stvari, genealogiju i rod, tijelo, medije i obrazovanje, slučajnost i sudbinu, kulturu.

Posebno istaknuto područje medija ima središnju ulogu u ljudskom opažanju svijeta jer danas osim pisma posebnu ulogu imaju novi društveni komunikacijski mediji. Međutim, provedena istraživanja upućuju na to kako je baš mimetički pristup svijetu, kroz mimetičke procese, najvažniji, posebno za razvitak kulture i društva. Mimetički su akti preko Wittgensteinovih otkrića objašnjeni kroz tri bitna aspekta:

- uspostava odnosa ne ostvaruje se teorijskim mišljenjem, nego s pomoću osjetila − estetički[15]
- uspoređen s prvim događajem ili prvim svijetom, drugi se od svrhovite socijalne prakse udaljava utoliko što se s njom izravno ne suočava, ne mijenja je, nego ga treba shvatiti kao "još jedanput činjenje" prvog svijeta
- mimetička djelatnost ima pokazujući i prikazujući karakter, njezina izvedba pak rađa vlastite estetičke kvalitete.

U stjecanju znanja nova teorija utjelovljene spoznaje potvrđuje se kroz sinesteziju[16], repetitivnost referencije i prezentnost usvojenog. Na taj način mimetički proces kao utjelovljena spoznaja potvrđuje socijalni svijet kroz opažanje, procjenu, interpretaciju, namjeru i strategiju, čime je zajamčeno unutarnje sudjelovanje pojedinačnih 'Ja' i prikazivanje rađanja nečeg vlastitog. Svako 'Ja' otvorena je kategorija koja se misli s obje strane uzajamnog 'činjenja', koje je jedino moguće s 'drugima' i bez njih ne bi ni moglo postojati. U toj prepletenosti subjekta 'Ja' s drugima otkriva se i prava značajka čovjekova odnosa prema svijetu. Razlikovnost 'Ja' od drugih nije dihotomija ili razgraničenje

[15] **estetika (**grč. aisthetos); osjetni, opažajni, filozofija umjetnosti, odnosno filozofija lijepog koja kao filozofska disciplina ispituje kriterije stvaranja, doživljavanja i vrednovanja lijepog, odnosno umjetnosti kao eminentnog područja lijepog

[16] **sinestezija,** učenje i osjećaj prema kojem se ono što opažamo osjetilima može miješati (mirisi imaju oblik, boje, zvukove itd.)

dvaju načelno različitih i međusobno oštro odijeljenih, nego trenutačno nastajućih suprotstavljenosti (Gebauer / Wulf). Stoga su mimetički pristup svijetu, mimetički akti i procesi usprkos svojoj samostalnosti i autonomiji svojeg djelovanja orijentirani prema 'drugim', svjetovima i osobama. Svaki subjekt 'Ja' nije stavljen pred eksplicitne odluke, nego djeluje na temelju specifične ljudske sposobnosti praktičnog oblikovanja svoje djelatnosti. Učinci takvih djelatnosti dvostruki su jer s jedne strane osnažuju svaki 'Ja' koji sebe iskušava autonomno, a s druge strane intenzivira se odnos prema 'drugima', čime se tješnje povezuju pojedinci s društvom. Iskrenost povezivanja leži u slobodi orijentacije koja ne zahtijeva posebno premišljanje. Svaki 'Ja' u takvom djelovanju prepoznaje djelovanje kao 'pravilo' jer mu kao takvo odgovara, a sve ostale mogućnosti najčešće se prema osjećaju odbijaju.

U društvenim događanjima s mnoštvom mimetičkih procesa i mimetičkih akata koji nikad nisu posve jednaki sami sebi nemoguće je primijeniti strogi pojam identičnosti jer je njihova jednakost sadržana u varijacijama. Ne postoji teorijski princip koji bi omogućavao mimetičku identifikaciju kao djelovanje jednakog tipa. Među ostalim, oni se uvijek nalaze u različitim situacijama i stoga ni ne proizvode jednake rezultate. Neizbježnost varijacija sadržana je u različitosti situacija djelovanja, sudjelovanja svakog 'Ja' svaki put posebne geneze zbog nepostojanja i nemogućnosti točnih pravila izvođenja. Tu je kroz mimetičke procese utvrđena i psihologija situacije [14]. Iako je svakom dioniku situacije ili promatraču moguće ustvrditi kako su dvije djelatnosti nalik jedna na drugu, ljudska motorika nije u stanju reproducirati identičnu kretnju. Jednakost ljudskih djelatnosti nije učinak nečeg zajedničkog što bi sve one posjedovale, nego se uspostavljaju u procesima u kojima se zajedničko oblikuje kao "obiteljska sličnost" (Wittgenstein).

Mimetička djelatnost je dualna. S jedne strane izjednačuje pojedinca s društvom, a s druge strane sadrži konstitutivni moment u kojem svaki socijalni subjekt kreira svoj svijet u skladu sa socijalnim svijetom. U sociologiji djelujući subjekt vrijedi kao društveno višestruko uvjetovan, uobličen, kontroliran, socijaliziran jer društvo u njega "utiskuje svoj pečat". Međutim, svaki subjekt, svaki 'Ja' svijet u svojoj unutrašnjosti recipira i zacrtava kao misleće biće tako da se na svaku materijalnu praksu djelovanja ne obraća pozornost. Stoga se ljudi rijetko shvaćaju kao osobe koje tjelesno egzistiraju, a njihova se djelovanja razmatraju na razini apstrakcije, normi, pravila, zakona, razmjena, očekivanja, uloga, racionalnih odluka i svako se društveno djelovanje odigrava pretežno u glavama pojedinaca. Za svako djelovanje u odnosu prema postojećem svijetu, na način da se pri tom djelovanju uspostavlja vlastiti svijet, postoji međusobni mimetički odnos.

1.3. Zaključci studije *HORIZON 2017 – 2021*

Za naslovnu problematiku odabran je primjer svjetskog projekta *HORIZON 2017 − 2021 – New Media Consortium (NMC), Higher Education Learning Initiative (HELI)*, u koji je bilo uključeno 80 timova iz 23 zemlje svijeta s namjerom da pokušaju dosegnuti do ključnih trendova u visokom obrazovanju povezanih s usvajanjem tehnologije umjetne inteligencije, kognitivne kibernetike i inteligentnih sustava.

Psihologijska istraživanja u kognitivnim znanostima otkrivaju kapacitet mozga za učenje kroz ljudski um koji napreduje s izazovima i željom za testiranjem i istraživanjem svih mentalnih resursa i potencijala. Poticaj mozga na razvoj pod utjecajima kaptologije objelodanjuje nova grana psihologije – *cyber* psihologija. Ona istražuje kako se interakcija ljudi odvija kroz tehnologiju, kako tehnologija utječe na ljudsko ponašanje, kako se tehnologiju može prilagoditi današnjim potrebama populacije te na koje sve načine psihološka stanja mogu biti pod utjecajem tehnologije.

Navedeni razvojni projekt uzeo je u obzir sva dosadašnja dostignuća u obrazovnoj tehnologiji za visoko obrazovanje i realna očekivanja za blisku budućnost i po delfi metodi[17] s pomoću procesa analize kroz iteracijske krugove studija, rasprave i glasovanja objelodanio tzv. obrazovnu tehnologiju definiranu u širem smislu kao alate i resurse koji se koriste i koji će se uporabiti za poboljšanje poučavanja, učenja i kreativnog istraživanja u budućnosti. Mnoge od danas raspoloživih tehnologija nisu bile dosad predviđene u takve svrhe pa se razvijaju nove, isključivo u svrhu obrazovanja. Razvoj tih tehnologija, potaknut tehnološkim planiranjem, usmjeren je na donošenje odluka za idućih pet godina i razvrstan u tri kategorije:

- kratkoročni razvoj za jednu godinu ili manje, za koji se očekuje da će biti široko prihvaćen
- srednjoročni razvoj koji će trajati 2-3 godine i koji će biti prihvaćen u većini slučajeva i
- dugoročni razvoj od 4-5 godina koji je predviđen za ulazak u *mainstream* obrazovanje.

Razvoj tehnologija obrazlaže se osvrtom na važnost za poučavanje, učenje i kreativno istraživanje u visokom obrazovanju. Trenutačno postoji sedam kategorija tehnologija, alata i strategija koje se koriste i kontinuirano prati njihova učinkovitost. Popis tih sedam kategorija pokazao se prilično konzistentnim, ali

[17] **delfi metoda** (*engl. Delphi method*), jedna od češće korištenih prognostičkih metoda. Strukturirana je znanstvena metoda s jasnim pravilima i procedurom. Cilj se matematički svodi na izračunavanje medijana, donjeg i gornjeg kvartila. Medijan je položajna srednja vrijednosti koja niz dijeli na dva jednaka dijela. U jednom se dijelu nalaze elementi koji imaju vrijednost numeričkog obilježja jednaku medijanu ili manju od njega, dok se u drugom dijelu nalaze oni elementi koji imaju vrijednost numeričkog obilježja jednaku medijanu ili veću od njega.

u svakom se istraživačkom ciklusu dodaju i nove tehnologije, koje su trenutačne inovacije s perspektivnom primjenom. One su sljedeće:

1. **Potrošačke tehnologije** kao alati za rekreacijske i strogo profesionalne svrhe koje nisu bile razvijene u početku u obrazovne svrhe. Mogu poslužiti kao pomagala za učenje i mogu se prilično učinkovito jednostavno prilagoditi za uporabu u obrazovanju na fakultetima i sveučilištima. Takve tehnologije pronalaze svoje mjesto i u drugim institucijama, a ljudi ih koriste kod kuće kao i u drugim okruženjima.

2. **Digitalne strategije** nisu toliko tehnologije kao što su načini korištenja uređaja i programskih podrški za obogaćivanje poučavanja i učenja. Učinkovitost digitalnih strategija u formalnom je i neformalnom učenju, a ono što ih čini zanimljivim je da one nadilaze konvencionalne ideje o stvaranju nečeg novog.

3. **Potencijalne tehnologije** one su koje imaju mogućnost transformacije postojećih i raspoloživih uređaja i alata. Konkretna veza s učenjem u toj kategoriji nije izravno prepoznata, ali ta skupina tehnologija ipak ostvaruje tehnološke inovacije proširivanjem dosega raspoloživih alata, čime oni postaju učinkovitiji i korisniji.

4. **Internetske tehnologije** uključuju tehnologiju, tehnike i osnovnu infrastrukturu koje pomažu u interakciji i umrežavanju. Njihova je uporaba sve transparentnija, manje nametljiva i jednostavnija za uporabu.

5. **Tehnologije učenja i poučavanja** uključuju alate i resurse razvijene isključivo za obrazovni sektor. Strategije razvoja uključuju alate prilagođene i za druge svrhe, koji su usklađeni sa strategijama što ih čini korisnim za učenje. U te su tehnologije uključene i sve druge tehnološke poveznice koje mijenjaju okruženje svih razina učenja, bilo formalnog, neformalnog ili informalnog, čineći ga pristupačnijim i personaliziranim.

6. **Tehnologije društvenih medija,** iako mogu dijelom biti obuhvaćene kategorijom potrošačkih tehnologija, postale su sveprisutne i široko korištene u svakom dijelu društva te su svrstane u zasebnu kategoriju. S obzirom na to da su se dobro ukorijenile kao današnji društveni digitalni mediji, nastavljaju se razvijati još većom brzinom i novim idejama, alatima i razvojem koji se kroz Lean strategije[18] trenutačno ažurira na internetu.

7. **Tehnologije vizualizacije** zauzimaju široko područje od jednostavne infografike[19] do složenih oblika vizualne analize podataka. Ono što im je posebno zanimljivo i o čemu će trebati više povesti računa je to što persuazivno utječu na sposobnost mozga s još nesagledivim učinkom. Brzo procesuiranje vizualnih informacija, identifikacija uzoraka i pamćenje poredaka u složenim situacijama

[18] *Lean* **strategija**, poslovna *strategija* koja uključuje sve razine zaposlenih, od najnižih pa do samog vrha

[19] **infografika** ili **informacijska grafika,** vizualna prezentacija informacija, podataka ili znanja; koristi se kad je potrebno kompleksne informacije objasniti brzo i jasno

nije dubinska pohrana. Te su tehnologije najpropulzivnija skupina alata i procesa koji se osim za izvlačenje velikih količina podataka koriste i za istraživanje dinamičkih procesa koji se, iako složeni, prikazuju kao jednostavni.

Razvoj u žarištu poduzetništva otkriće je i za visoko obrazovanje jer ono potiče inovacije. Trend razvoja promijenio se od razumijevanja vrijednosti poticanja istraživanja novih ideja na pronalaženje načina da se ona ostvare na različite načine u različitim okruženjima pa tako i u obrazovnim institucijama [15-16]. Provedena istraživanja potvrđuju kako upravo visokoobrazovne institucije potiču i promiču eksperimentiranje. Postupak integracije u visoko obrazovanje poduzetništva potvrđuje kako svaka velika ideja mora negdje početi. Stoga i studenti i institucije trebaju biti opremljeni potrebnim alatima kako bi potaknuli stvaran napredak. Da bi institucije mogle držati korak, moraju temeljito analizirati svoje kurikule i provesti promjene u svojim metodama evaluacije kako bi uklonile prepreke koje ograničavaju razvoj novih ideja.

Inovacije unutar visokog obrazovanja ubrzane su kod institucija koje se udaljavaju od tradicionalnih metoda učenja te u kojima su znanstvenici i istraživači glavni izvor generiranja ideja. Novi pristupi potiču sveučilišta da djeluju kao inkubatori za sve studente, nastavnike i zaposlenike kako bi stvorili nova otkrića i ponudili rješenja koja će zadovoljiti potrebe izazova iz stvarnog svijeta. Studija koju je objavio institut Teachers Insurance and Annuity Association of America (TIAA) ističe tri faktora za promicanje strateških inovacija:

- raznolikost ideja ljudi koji kolaborativno djeluju
- uvođenje namjenskih sredstava za poticanje motivacije pojedinaca, umjesto korištenja dosadašnjih metoda kao što su ocjene iz pojedinih predmeta
- autonomija svakog pojedinca, koji se potiče na vlastita stanovišta i različita mišljenja utemeljena na različitim iskustvima, umjesto donošenja jedinstvenih odluka.

Kako bi institucije potpomagale inovacije, moraju biti strukturirane na način koji omogućuje fleksibilnost uz poticanje kreativnosti i poduzetničkog razmišljanja. Sveučilišta to mogu postići poticanjem okruženja koje potiče ponašanje sklonosti riziku te eksperimentiranjem i testiranjem tih ideja. To je vidljivo iz primjera sa Sveučilišta Harvard, koji zagovara prvo inkubaciju, a potom integraciju ideja. Zaključuje se da je ponašanje istraživača prilagođeno inovacijama kroz znatiželju i kreativnost uspostavljeno pozitivnim unutarnjim i vanjskim čimbenicima kao što su timski rad, podrška i motivacija. Za uspostavu takvog trenda, institucije i korisnici moraju biti opremljeni odgovarajućim alatima za implementaciju novih praksi. Portal *The Chronicle of Higher Education's* u članku Great Colleges to Work For proveo je intervjue na više od 1200 institucija kako bi identificirali specifične vrste podrški potrebnih za unapređenje

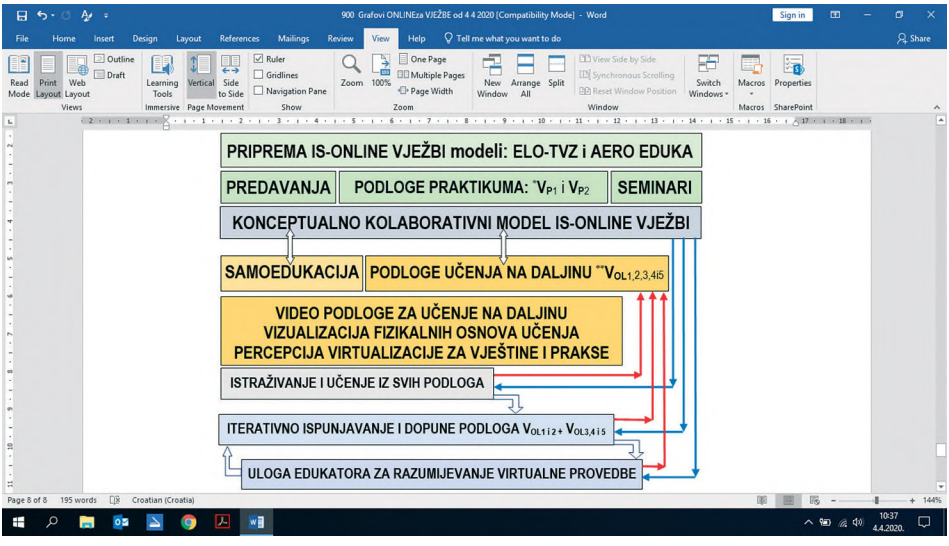
inovacija. Odgovori su zatim analizirani i obrađivani delfi metodom u pet sveobuhvatnih tema:

- potreba za otvorenom komunikacijom
- suradnja svih uključenih organizacijskih cjelina na istoj razini
- sigurnost radnog mjesta čak i pri osporavanju *status quo*
- podijeljena odgovornosti i
- potpora uprave do najniže razine.

Iako uspjeh studenata ostaje u središtu inicijativa institucija, voditelji obrazovanja također moraju prepoznati potrebu za osnaživanjem svih dionika da podrže promjene nužne za unapređenje okružja koje promiču izum i otkriće.

2. Praksa mrežnih kolegija i započeta edukacija budućnosti

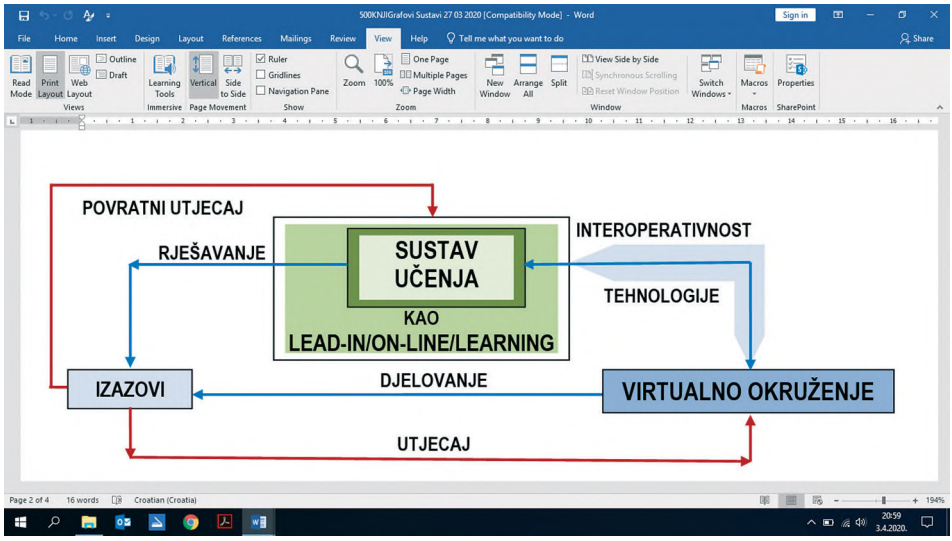
Pred sam kraj nastave kolegija Inteligentni sustavi koji je u akademskoj godini 2019./2020. na Elektrotehničkom odjelu (ELO) Tehničkog veleučilišta u Zagrebu (TVZ) upisalo 102 studenta, svjetska pošast pod nazivom koronavirus (COVID-19) onemogućila je dolazak na fakultet. Nastavnici su upućeni da kraj nastave provedu sa studentima na daljinu. Model sličnog načina rada primjenjuje instruktor u specijalističkim edukacijama AERO EDUKA programima cjeloživotnog osposobljavanja koji se provodi i na ELO TVZ-u (odobrenje Hrvatske



Sl. 1.: Konceptualni model vođenog učenja na daljinu kolegija Inteligentni sustavi

agencije za civilno zrakoplovstvo[20]), a uporabljen je kao podloga za rad sa studentima na daljinu u provedbi laboratorijskih vježbi kolegija. Kreirani prilagodni aplikabilni model mrežnog vođenog učenja na daljinu[21], dopunjen je i vođen od strane edukatora, slika 1.

Aplikabilni model učenja na daljinu promatran kao dopuna sustavu učenja vođen od strane edukatora u prvi plan stavlja, zahvaljujući raspoloživim tehnologijama, interoperativnost. Djelovanjem na izazov koji je nametnula situacija i dopunama podloga uz raspoloživa virtualna okruženja koristi se učinak povratne veze koji prije svega izravno utječe na sustav, ali i na virtualno okruženje, slika 2.



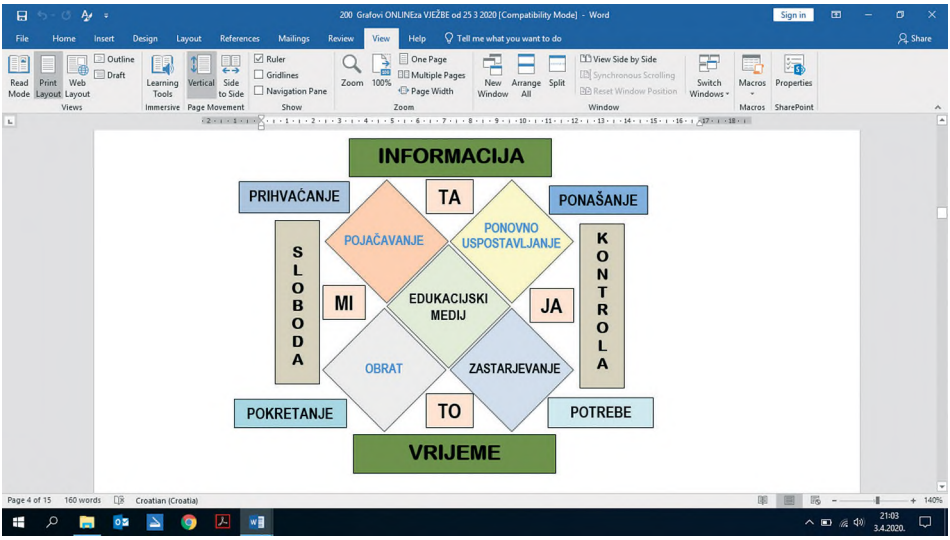
Sl. 2.: Interoperativnost sustava vođenog učenja na daljinu

Procjena učinkovitosti sustava učenja na daljinu oslonjena je na Glasserovu teoriju izbora[22] u kojoj su selektirani dominantni aksiomi (u akronimskom prikazu 'model četiri P − 4P'), [15-16]. Oni su: potreba, pokretanje, ponašanje i prihvaćanje. Tako postavljen hermeneutički krug teorije izbora koincidira s razinama Wilberovih halona u njegova četiri kvadranta moderniteta kroz slijed informacija, kontrola, vrijeme i sloboda [17-18]. Stoga proizlazi kako se svaki pojedinac 'Ja' intencionalno kontrolira iako su u društvu svi pojedini članovi 'Mi' kulturalno slobodni jer informacija kao 'Ta' socijalno, i vrijeme kao 'To'

[20] **Hrvatska agencija za civilno zrakoplovstvo** (engl. Croatian Civil Aviation Agency − CCAA)

[21] **vođeno učenje na daljinu putem interneta** (engl. *lead-in / on-line / learning* − LIOL)

[22] **teorija izbora** (engl. *choice theory* − CT)



Sl. 3.: Sustav vođenog učenja na daljinu uz Glasser / Wilber / McLuhanovu teoriju

bihevioralno, integriraju ulogu i učinak interoperativnosti. Ako se taj učinak koji je još sredinom prošlog stoljeća prepoznao McLuhan kroz utjecaj medija (pojačavanje, obrat, zastarijevanje, ponovno uspostavljanje) prenese na današnje inteligentne interaktivne tehnologije, potvrđuje se kako se potrebama pokreće prihvaćanje ponašanja, slika 3. Možda upravo u trenutačnoj zatočenosti pandemije koronavirusa moramo početi promišljati na način kako nas uči kognitivna kibernetika!

Na osnovama kognitivne kibernetike pripremljene su vježbe za Praktikum inteligentnih sustava, koji inače obuhvaća uporabu svih raspoloživih baza znanja i baza podataka za interaktivnu kolaborativnu analizu globalnih problema. U konkretnom području struke kroz poveznice operabilnosti jednog tehnološki dominantnog inteligentnog aerodromskog sustava svjetlosne signalizacije promatra se interakcija, odnosno integracija ljudskih čimbenika[23] i inteligentnih tehnologija[24]. Kad se usmjerimo na tehničku razinu operabilnosti komponenti takvog jednog sustava, onda konkretno promatrajući serijski strujni krug u stanju njegove disfunkcionalnosti, kad se pojavljuju smetnje, pristupa se pronalasku uzroka i predlaganju modela rješavanja. Za projektirani sustav zračne luke na kojem su uzorkovani kvarovi, npr. na izolaciji primarnih kabelskih veza, pristupa se modeliranju. Kroz probleme i njihovo teorijsko rješavanje spoznajno se profilira (provedene kolaborativne edukacije sa zrakoplovnim programima

[23] **ljudski čimbenici** (engl. *human factors* − HF)

[24] **inteligentna tehnologija** (engl. *intelligent technology*, *intellogy* − IT); hrvatska kratica 'intellogija' (ILLG)

baziranim na rezultatima iz prakse iz zračnih luka), kao novi model izobrazbe čije su razine obrade i provedba akcija na osnovama kognitivne kibernetike.

U nastavku se koristi naziv 'provedba' jer je riječ o rezultatu provođenja, radu na provođenju *online* vježbi, a što u leksikonu hrvatskog jezika uključuje implementaciju, operacionalizaciju i samu primjenu. Naime, riječ je o proteklom procesu okončanih vježbi kolegija Inteligentni sustavi, koje je 46 % studenata provelo *online*. Na temelju postignutih rezultata i obrade, tek naknadno, po završetku vježbi, izrađuje se pregled u obliku izvješća. Izvješće kao novi nastavni materijal integrira 'provedbu kao akciju' (opažanja i konceptualizaciju, proučavanje i povezivanje, utvrđivanje i zaključivanje te potvrđivanje i identificiranje) i 'razine postignuća' (globalna, edukativna i razvojna), tablica 1.

Tablica 1.: Matrica kognitivne kibernetike za praktikum kolegija Inteligentni sustavi

Akcije Razine	**Opažanje i konceptualizacija**	**Proučavanje i povezivanje**	**Utvrđivanje i zaključivanje**	**Potvrđivanje i identificiranje**
1. GLOBALNA RAZINA	**INTELIGENTNI SUSTAV**	**POGON I ODRŽAVANJE**	**NADZOR I UPRAVLJANJE**	**RASPOLOŽIVOST I OPERABILNOST**
Aplikabilna razina	Aerodromski rasvjetni sustav	Sustav sigurnog napajanja el. energijom	Lokalno - Daljinski Online - Virtualno	Funkcionalno - Samooperabilno
Operativna razina	Primarni serijski strujni krugovi	Regulator konstantne struje	Dijagnostika parametara	Nazivne i granične vrijednosti
2. EDUKATIVNA RAZINA	**AGENTSKI SUSTAV**	**ELEKTRIČKI PARAMETRI**	**MJERENJE I ISPITIVANJE**	**TEHNOLOŠKI IZAZOVI**
Kognitivno kibernetička razina	Djelovanje u okruženju	Teorija, praksa, stanje i svojstva otpora izolacije	Fizikalna i praktična zaključivanja	Proboj kabela, električna iskra i električni luk
Kolaborativna razina	Interakcija i integracija	Referentne i legislativne norme	Lobističko razotkrivanje i prokazivanje	Ekspertni, stručni i razvojni pristup
3. RAZVOJ ZNANJA	**Optimizacijski algoritmi**	**Modeliranje i simulacije**	**Racionalizacije i optimizacije**	**Unapređenje i inovacije**

Rezultat je takve izobrazbe, koja je temeljena na suradničkim aktivnostima studenata i nastavnika, osposobljavanje stručnjaka za budućnost. To su novi stručnjaci, inženjeri znanja – 'Lean inženjeri znanja' (engl. *Lean knowledge engineers* − LKE). Oni su taj najzaslužniji ljudski faktor jer posjeduju visokokvalitetno specijalističko tehničko znanje, dobro poznaju informatiku, primjenjuju načela inženjerskog i timskog rada te se služe vještinama brzog prijenosa ideja u praksu kroz inovacije. Suvremena uloga tog stručnog kadra podrazumijeva sposobnost promišljanja i vođenja, razumijevanja gospodarstva i upravljanja znanjem i intelektualnim resursima. Njihove se sposobnosti načina ponašanja i vladanja potvrđuju višestruko. Uz razvoj mentalnih sposobnosti, (inteligencija) i stjecanje kompetencija kroz praksu, predstavljaju dinamičnu kombinaciju koja pod utjecajem okruženja mora ostati na načelima međuljudskih, praktičnih i etičkih vrijednosti, prepoznavajući raspoloživost i primjenu inteligentnih tehnologija i tehnika. Potvrda izloženog u definiciji je Maxa Webera, oca organizacije i menadžmenta. On kaže kako: "Birokratsku kontrolu, (do razine vođenja i upravljanja državom), mogu provoditi ljudi na temelju tehničkog obrazovanja i znanja stečenog u praksi." Znanje u praksi provedeni je radni staž – jedini bitan parametar za stjecanje kompetencija jer se kompetencije ne uče, kompetencije se stječu tijekom života!?

Na taj se način potvrđuju i obrazlažu čvrsti temelji za modernost znanja kroz organizaciju i raspoložive tehnologije:

- nove edukacije rezultiraju utjecajem na formiranje različitih ideja
- popularna hermeneutika važna je za ponašanja i djelovanja
- poveznice povijesno-tehnološko-znanstvenog razvoja pobjednički su pohod razumijevanja modernosti.

Primjer inženjera znanja danas nalazimo u mnogim konkretnim slučajevima. Jedan odabran primjer svjetsko je propulzivno civilizacijsko i gospodarsko čudo, potvrđeno zanimanjem i zvanjem elektroinženjera koji je bio kineski predsjednik od 1993. do 2003. − Jiang Zemin, te dva premijera: 1987. – 1998. − Li Peng i 1998. − 2003. − Zhu Rongji.

Pridodani komentar ovog odsječka poveznica je s navedenom literaturom [4] (Politehnička kognitivna kibernetika), koja dodatno razrađuje i predlaže modele provedbe auditornih vježbi kolegija Inteligentni sustavi s pripremljenim proširenim temama. Teme koje se odnose na podloge novog mrežnog učenja posebno su obilježje Herberta Marshalla McLuhana**,** kanadskog filozofa, teoretičara komunikacija i prvog teoretičara filozofije medija potvrđene u današnjim uvjetima mrežnog učenja.

Uz MacLuhanove produžetke kroz medije, učenje na daljinu učvršćuje se uz Plevnikov kreativni potencijal čitalačke aktivnosti kao mogućnosti prijenosa vlastitih iskustava [19-21]. Sadržaj teksta bazni je aspekt shvaćanja čitanja, a potraga kroz razumijevanje zaokružuje cjelovitost. Takvim pristupom, uz

adekvatno pripremljene podloge, čitanje u sebi sadrži sposobnost spajanja teorijskog i praktičkog. Uživljavanjem i vlastitom misaonom kreacijom, tzv. stvaralačkim čitanjem, kreira se izvrsna podloga za pohranu misaonog materijala (pamćenje, spoznavanje i znanje).

Budući da su prijenosne inteligentne interaktivne tehnologije pronašle svoje mjesto i izvan institucija te da ih ljudi koriste ne samo kod kuće nego i u drugim okruženjima, one mogu učinkovito poslužiti kao pomagala za učenje i mogu se prilično učinkovito jednostavno prilagoditi za uporabu u izobrazbi, ne samo na fakultetima i sveučilištima nego i u virtualnim *online* primjenama. Uz same tehnologije na osnovama kognitivne kibernetike nužno je istaknuti i digitalne strategije, a to su načini korištenja uređaja i programskih podrški koje obogaćuju poučavanje i učenje. Učinkovitost digitalnih strategija dokazala se u formalnom, neformalnom i informalnom učenju, jer nadilaze konvencionalne ideje stvaranjem nečeg novog tehnološkim inovacijama proširivanja dosega raspoloživih alata, čime postaju učinkovitije i korisnije.

Među najefikasnijim su tehnologije vizualizacije koje zauzimaju široko područje od jednostavne infografike do složenih oblika vizualne analize podataka. Iako brzo procesuiranje vizualnih informacija, identifikacija uzoraka i pamćenje poredaka u složenim situacijama nisu dubinska pohrana, te su tehnologije najpropulzivnija skupina alata i procesa za obrade velikih količina podataka. Tehnologije vizualizacije već se primjenjuju za istraživanje dinamičkih procesa koji se, iako složeni, prikazuju kao jednostavni.

Učinkovitost interakcija i umrežavanja oslonjena je na internetske tehnologije čija primjena postaje sve transparentnija, manje nametljiva i jednostavna. Internetske tehnologije doživljavaju ekspanziju glede brzine i svedostupnosti [22-24].

2.1. Propedeutika *online* provedbe

Opisane su laboratorijske vježbe koje se nisu mogle provesti praktično, nego *online*. Praktikum kolegija Inteligentni sustavi oslanja se na teorijske razrade programa izobrazbe na TVZ-u, i na izbornom kolegiju, i u *Priručniku za edukacije stjecanja licence aerodromskih specijalista na održavanju sustava svjetlosne signalizacije*. Kao što je spomenuto, u najvećem se dijelu odnose na primjere iz prakse. Kako bi se takvi primjeri mogli obraditi *online*, moralo ih se prilagoditi za virtualno poimanje, a za što se uporabilo znanje u podlozi cjeloživotnog učenja koje otvara mogućnosti razvoja punog potencijala.

Situacija u kojoj se provedba kolegija koncipira virtualnim edukacijama zahtijeva određenu propedeutiku[25]. Propedeutikom se ističe i upućuje kako je za

[25] **propedeutika** (grč. *propaideúnein*), prethodno poučavati

Tablica 2.: Prikaz konceptualne operacionalizacije online vježbi i seminara kolegija

KORACI PROVEDBE	LEAD-IN moj tvz	ON-LEAN	LEARNING	STANJE NA KOLEGIJU
Obavijest br. 12 15. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 5*	*Platforme TEAMS REPOZITORIJ*	IS ONLINE PROVEDBA OBJAVA!!	?47 Studenta-V !10 Studenata -S2
Obavijest br. 13 16. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja -7*	*Platforme TEAMS REPOZITORIJ*	IS ONLINE VJ. Podloga-No.1 IS ONLINE S.	?38 Studenata -V
Obavijest br. 14 17. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 4*	*Platforme TEAMS REPOZITORIJ*	IS ONLINE VJ. HELP-No.1 IS ONLINE S.	?37 Studenata -V !7 Studenata -S10
Obavijest br. 15 18. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 9*	*Platforme TEAMS + STREAM*	IS ONLINE SEMINARI TM	?32 Studenata -V !29 Studenata -S4-6
Obavijest br. 16 19. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 4*	*Platforme TEAMS + STREAM*	IS ONLINE VJ. Podloga-No.2	?29 Studenata -V
Obavijest br. 19 23. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 3*	Iteracije- @tvz 18emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Podloga-No.3 IS ONLINE S.	?25 Studenata -V !9 Studenata -S1
Obavijest br. 21 24. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 4*	Iteracije- @tvz 15emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Podloga-No.4	?23 Studenta -V
Obavijest br. 22 26. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 9*	Iteracije- @tvz 12emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Podloga-No.5 IS ONLINE S.	?19 Studenata -V !6 Studenata-S12-13
Obavijest br. 23 29. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja -6*	Iteracije- @tvz 25emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Izvještaj stanje IS ONLINE S.	?8 Studenata -V !8 Studenata -S9,14
Obavijest br. 24 31. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja -5*	Iteracije- @tvz 12emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Izvještaj stanje IS ONLINE S.	?3 Studenta -V !8 Studenata-S11-15
Obavijest br. 25 05. 03. 2020.	*OGLASNA PLOČA ažuriranja - 5*	Iteracije- @tvz 3emaila personalizirana	IS ONLINE VJ. Podloga finalizacije	?3 Studenta -V

?_ Studenata -V - Preostali broj neprijavljenih studenata za online vježbe tog dana

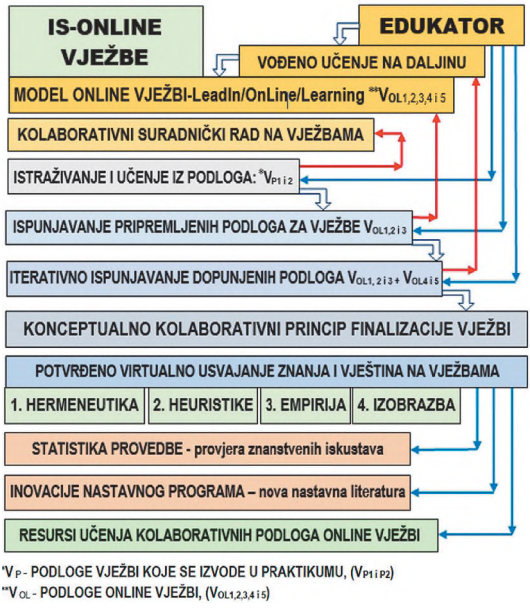
! _ Studenata -S - Broj studenata angažiranih na seminaru tog dana

takvu potrebu u današnje vrijeme nužno novo pripravno obučavanje, prednaobrazba. U slučaju *online* provedbe kolegija Inteligentni sustavi to je uvod u novu spoznaju, odnosno osnove nove edukacije, radi stjecanja nužnog predznanja za bavljenje takvim digitalnim određenjem u cilju stručnog učenja i poučavanja.

Konkretno, za provedbu *online* kolegija Inteligentni sustavi preostalo je 47 studenata za vježbe i seminare. I vježbe i seminari u kolaborativnom modelu uključuju izlaganje s debatom, pri čemu se seminari prezentiraju javno. S obzirom na to da su to aktivnosti kojima se završava kolegij, odabran je model provedbe *Lead-In/On-Line/Learning* preko platformi *Teams*, *Stream* i *Moj TVZ*. Sa studentima je podržavana individualizirana korespondencija e-poštom, tablica 2.

2.2. Konceptualna provedba

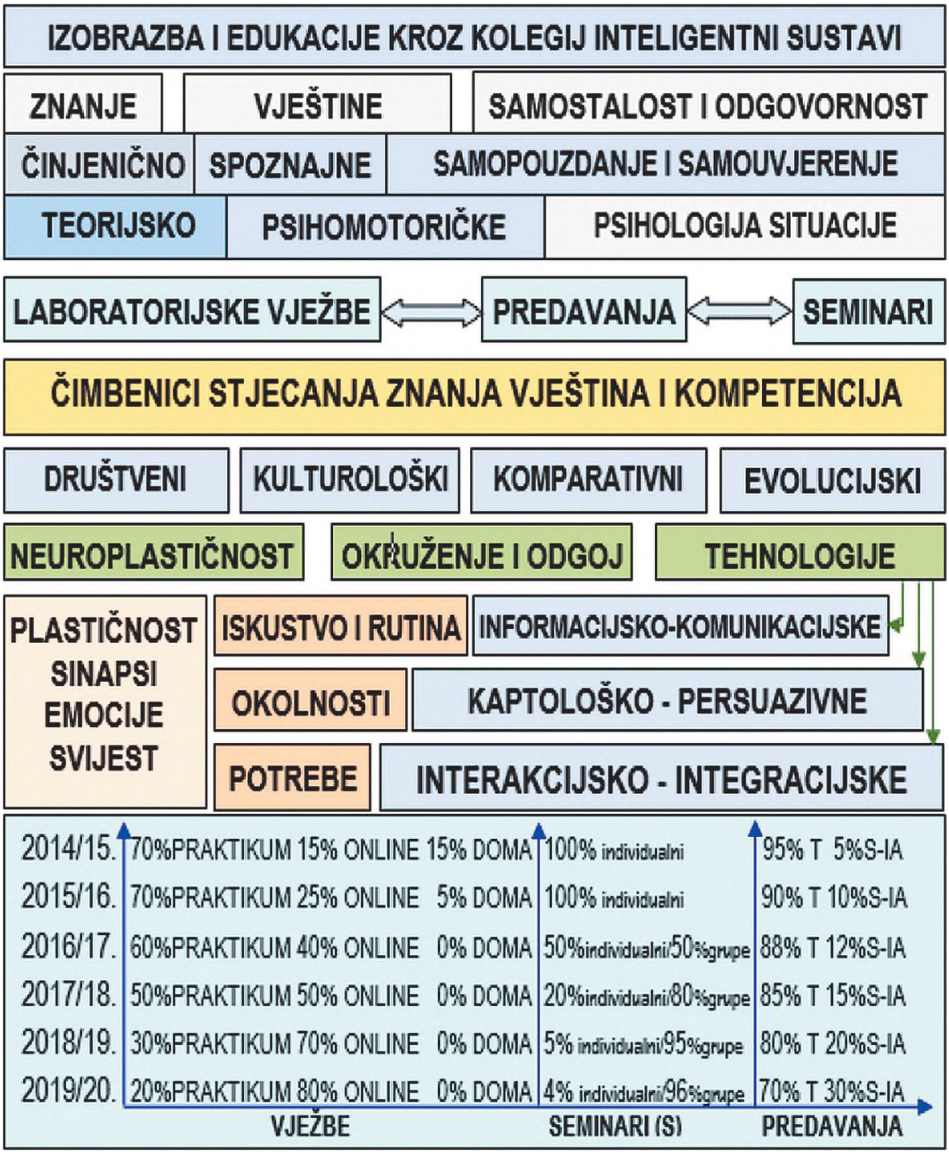
Za vježbe su dvije podloge koje se koriste u praktikumu V_{P1} i V_{P2} preuređene na pet *online* interaktivnih $V_{OL1,\,2,\,3,\,4,\,5}$ kroz koje se studente upućivalo na svladavanje sadržaja i učenje. Provjera je provedena pregledom povratnih ispunjenih podloga, a prema svakom je studentu prema potrebi e-poštom provedena iterativna korespondencija do potrebne razine dostignutih rezultata, koji su statistički obrađivani za inovaciju nastavnog programa o kojem se raspravljalo, slika 4.



Sl. 4.: Model operacionalizacije *online* vježbi kolegija Inteligentni sustavi

2.3. Čimbenici prepoznavanja znanja

Praćenjem čimbenika učinkovitosti kolegija njegov se sadržaj i struktura svake akademske godine mijenja. Promjenama su posebno podložne vježbe koje se u strukturi zbog raspoloživih tehnologija sve više provode *online*. Stoga je taj model bilo moguće učinkovito pokrenuti i izvan praktikuma, slika 5.



Sl. 5.: Prikaz promjene sadržaja i strukture čimbenika stjecanja znanja (posebno vježbe)

2.4. Tvorbe smisla

Provedba nastave kolegija u *online* sustavu mora biti povezana s promišljanjima o tvorbama smisla i znanju kroz klasično i virtualno obrazovanje, slike 6. i 7.



Sl. 6.: Prikaz vrijednosti znanja u razvoju inteligentnog ljudskog bića i kulture



Sl. 7.: Prikaz konceptualne operacionalizacije *online* vježbi kolegija Inteligentni sustavi

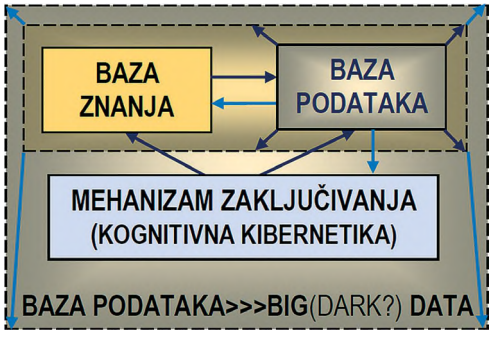
2.5. Svrha *online* učenja

Kao što je navedeno u odsječku 1.1., vježbe iz kolegija Inteligentni sustavi provode se u ELO TVZ praktikumu na modelu aerodromskog inteligentnog sustava koji predstavlja serijski strujni krug prikazan električnom shemom, slika 9. Sve potrebne stručne i tehničke teorijske podloge nalaze se u raspoloživoj literaturi kolegija i o njima se utvrđuje na predavanjima. Iz tih se izvora usvaja temeljno teorijsko predmetno gradivo [23-28].

Provedbom vježbi, osim usvajanja postupka i stjecanja vještine rada s raspoloživim hardverom, potiče se promišljanje i zaključivanje. Dokazani najbolji poticaj pruža kognitivna kibernetika kojom se stjecanje znanja ostvaruje hermeneutičkim pristupom i modelom ekspertnog sustava, slike 8. i 9.

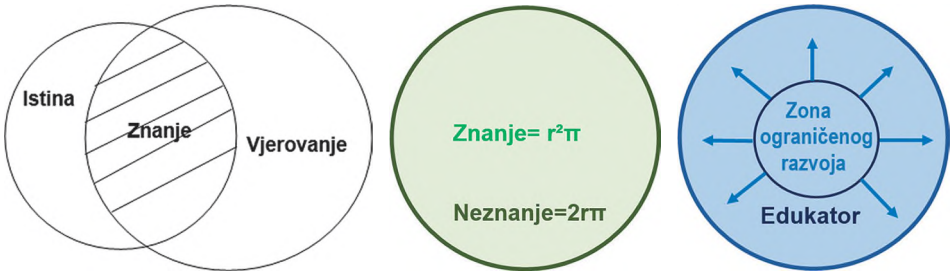


Sl. 8.: Normiranost znanja u kontekstu kaptologije i hermeneutike



Sl. 9.: Znanje u kontekstu ekspertnog sustava s dominacijom baze podataka

Za usvajanje znanja, kako je prikazano krugovima Platona, Einsteina i Vygotskog, slika 10., (geometrijski likovi sa svojim opsegom i površinom), najvažniji su čimbenici: 1. istina (površina kruga), a to je provjerena informacija kao izvor znanja, 2. ograničenje (opseg kruga) njegova je protuteža koju stvara neznanje, i 3. edukator kao čimbenik koji bi trebao približiti znanje zainteresiranim za stjecanje, čime bi proširivao njihovu zonu ograničenja razvoja znanja.



Sl. 10.: Znanje kako su ga tumačili Platon, Einstein i Vygotsky

Svrhovitost je *online* vježbi iz kolegija Inteligentni sustavi:

- snalaženje i prepoznavanje uz pomoć stečenog znanja
- mogućnosti rješavanja konkretnih zadataka uporabom vlastitog kognitivnog potencijala i svih raspoloživih podrški tehnike, tehnologije, okruženja i edukatora
- iz dobivenih rješenja kreirati mehanizme zaključivanja usmjerene na inženjersku svrhovitost kroz racionalizacije, optimizacije i inovacije.

Za praktičnu provedbu vježbi kolegija Inteligentni sustavi u ELO TVZ praktikumu na raspoloživom modelu potrebno se pripremiti koristeći stručne i tehničke teorijske podloge raspoložive literature, (najvažnije podloge P1 i P2). Dolaskom na vježbe predmetno gradivo iz literature i predavanja proširuje se i učvršćuje kroz instrukcije koje pruža nastavnik tijekom izvođenja vježbi. Najveći dio u finalizaciji vježbe studenti provode *online*, tablica 3.

Za *online* provedbu vježbi iz kolegija Inteligentni sustavi studenti upoznaju demomodel s pomoću videopodrški i vizualizacije najvažnijih fizikalnih pojava koje prate ispitivanja. Pripremu za *online* vježbu studenti svladavaju uz pet prilagođenih *online* podloga koristeći se stručnom i tehničkom literaturom kolegija. Umjesto dolaska na vježbe studenti virtualno svladavaju postupak mjerenja uz predmetno gradivo iz pripremljenih podloga i predavanja. Proširenje i učvršćenje gradiva postiže se instrukcijama koje pruža nastavnik tijekom *online* korespondencije individualiziranim iterativnim usklađivanjima na temelju ispunjenih podloga. Ostali dio vježbe studenti provode *online*, preuzimajući i služeći se programskim podrškama za obradu rezultata mjerenja i izradu izvješća, tablica 4.

Tablica 3.: Prikaz provedbe vježbi kolegija Inteligentni sustavi u praktikumu

FAZE IZVOĐENJA VJEŽBI U PRAKTIKUMU	SREDSTVA U PRAKTIKUMU I VJEŠTINE IZVOĐENJA	LITERATURA I PROGRAMSKE PODRŠKE	PODLOGE I NAČIN USVAJANJA ZA PROVEDBU
1.	INTELIGENTNI SUSTAV DEMO MODEL, (ALS) PRAKSA - Instrukcije	KNJIGA/UDŽBENIK PRIRUČNIK (Itegrirani aplikativni SW)	PRIPREMA IZ: PODLOGE VJEŽBE P1 - PREDAVANJA
2.	AGENTSKI SUSTAV MJERNA STANICA, (MS) PRAKSA - Instrukcije	HANDBOOK Guide for testing + Aplikativni SW dostupan ONLINE za TeraOhmXA10kVMI3210	PRIPREMA IZ: PODLOGE VJEŽBE P2 - PREDAVANJA
3.	SERIJSKI STRUJNI KRUG, SC + UZORCI KABELA PRAKSA - Instrukcije	KNJIGA/PRIRUČNIK ALGORITAMSKI ALAT Tablični kalkulator	PRIPREMA IZ: PODLOGE VJEŽBI P1,2 - PREDAVANJA
4.	ISPITIVANJE/ MJERENJE (Praktična izvođenja)	UPUTE UPORABE HANDBOOK Guide for testing + Aplikativni (SW) TeraOhmXA10kVMI3210	MEMO-MS Pohrana rezultata (ONLINE)
5.	TRANSFER PODATAKA (MS-PC) Kreacija datoteka	PC/MS/HVLink/WWW HV Link PRO PC (SW)	(Preuzimanje - aplikativni SW, ONLINE)
6.	KREACIJA IZVJEŠĆA - GRAFIČKI - TABLIČNI	MS/HVLink/PC Test Report Test Site Report	PODLOGA: (ONLINE) Model Test Report HV Link PRO PC (SW)
7.	SLANJE PROTOKOLA VJEŽBE	Provjere za potrebe korektivnih radnji (sustav kvalitete)	INTERNET- MojTvz (ONLINE)
8.	KOMENTAR I OCJENA REZULTATA	Datoteke kolegija Resursi samoprocjene Baze podataka	INTERNET- MojTvz (ONLINE)

Tablica 4.: Prikaz provedbe *online* vježbi iz kolegija Inteligentni sustavi

ONLINE FAZE IZVEDBE VJEŽBI	VIRTUALNI PRAKTIKUM SIMULACIJE ZA VJEŠTINE IZVOĐENJE	LITERATURA PROGRAMSKE PODRŠKE	PODLOGE REZULTAT – USVAJANJE NAČIN PROVEDBE
1.	INTELIGENTNI SUSTAV DEMO MODEL, (ALS) VIDEO PODRŠKE	KNJIGA/ PRIRUČNIK Itegrirani aplikativni SW	PODLOGE PREDAVANJA ZA P1 & P2 PODLOGE ONLINE VJEŽBE
2.	AGENTSKI SUSTAV MJERNA STANICA, VIDEO PODRŠKE	ONLINE HANDBOOK Guide for testing + Aplikativni SW dostupan TeraOhmXA10kVMI3210	PODLOGE PREDAVANJA ZA P3 & P4 PODLOGE ONLINE VJEŽBE
3.	SERIJSKI STRUJNI KRUG + UZORCI KABELA+Vizualizacija za ONLINE	KNJIGA/ PRIRUČNIK Video podloge uz ALGORITAMSKI ALAT Tablični kalkulator	PODLOGE PREDAVANJA ZA P5 PODLOGE ONLINE VJEŽBE
4.	ISPITIVANJE/ MJERENJE (virtualno usvajanje) +Vizualizacija ONLINE	KNJIGA/ PRIRUČNIK Video podrške	PC simulacija MEMO-MS (ONLINE)
5.	TRANSFER PODATAKA PC simulacija kao VIRTUALNA MS	HV Link PRO PC (Preuzimanje - aplikativni SW ONLINE)	PC simulacija MS (ONLINE)
6.	PC KREACIJA IZVJEŠĆA, (grafički i tablični rezultati) -opis, podloge, komentari	HV Link PRO PC (SW) Model: Operator, Test Report	MS/HVLink/PC (ONLINE)
7.	SLANJE ISPUNJENIH PODLOGA VJEŽBE	PODLOGE P 1,2,3,4 i 5 ONLINE VJEŽBE	INTERNET - (ONLINE) PERSONALIZIRANI/E-mail - Repozitorij
8.	PREGLED I KOMENTAR REZULTATA, (korekcije, ispravci)	Pohrana u datoteke kolegija za valorizaciju i procjenu prihvatljivosti	INTERNET - (ONLINE) PERSONALIZIRANI/E-mail - Repozitorij

2.6. Praktikum *online* vježbi

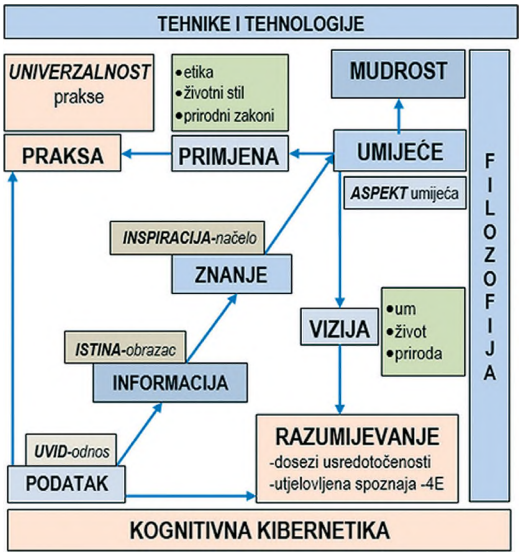
Uspješnost provedenih *online* vježbi iz kolegija Inteligentni sustavi studenti procjenjuju naknadno. Nakon analize svih čimbenika i valorizacije pregledanih odgovora nastavnik izrađuje *Post priručnik vježbi* s rekapitulacijom statistike i komentara provedbe koji se stavljaju studentima na raspolaganje kao naputak za samoprocjenu i podloge za finalizaciju *online* vježbi, tablica 5. Za uspješnost provedenih *online* vježbi analizirano je vrijeme koje su studenti i nastavnik uložili u provedbu, tablica 6. Analiza vremena za provedbu *online* vježbi potvrđuje kako studenti trebaju gotovo upola manje vremena, dok nastavnik ulaže u takvu provedbu duplo više od predviđenog vremena.

Tablica 5.: Prikaz čimbenika i parametara za procjenu učinkovitosti *online* vježbi iz kolegija Inteligentni sustavi

ČIMBENICI ONLINE PROVEDBE VJEŽBI	USPJEŠNOST
1. EVIDENTIRANI STUDENTI	45 - studenata koji su pristupili online provedbi vježbi, (od ukupnog broj studenata 102 njih je 57 odradilo vježbe u praktikumu)
2. PRILAGODNE RADNE PODLOGE	5/5 -svih 45 studenata je preuzelo pripremljen podloge
3. INFORMATIVNE VIDEO PODRŠKE	5 - pripremljenih video podrški za upoznavanje s praktikumom, opremom i postupkom izvođenja
4. VIZUALIZACIJA FIZIKALNIH POJAVA	2 - pripremljene video podloge za vizualizaciju i razumijevanje fizikalnih pojava tijekom ispitivanja
5. PREUZIMANJE SOFTVERA	43/45 – studenta koji su uspješno preuzeli softver i prepoznali njegovu operacionalizaciju za provedbu vježbi
6. KORESPONDENCIJE E-malom	85/45 – e-mail individualizirane korespondencije sa studentima, 45 osnovna/povratna + 25 dopuna + 15 pitanja/ komentara
7. PREGLEDAVANJE ODGOVORA	25/45 - studenti koji su prihvatili i proveli ispravak te vratili podloge na ponovni pregled
8. PLATFORME I PISANE KOMUNIKACIJE	MojTvz, www (MS), TEAMS, You Tube, STREAM, IS–repozitorij, E-mail/ WORD, SCAN i PDF
9. IZRAČUNSKE POGREŠKE	19/45 - studenti koji su prihvatili i proveli ispravak (prorada dodatnih izračuna) te vratili podloge na ponovni pregled
10. RUTINSKE I SUSTAVNE POGREŠKE	12/45 - studenti koji su opetovano načinili prosječno jednu rutinsku ili sustavnu pogrešku - bez upozorenja i bez ispravke

Laboratorijske vježbe iz kolegija Inteligentni sustavi provode se po modelu AERO ELO TVZ (AERO, aerodromski; ELO, Elektrotehnički odjel; TVZ, Tehničko veleučilište u Zagrebu). Podloga vježbi programi su izobrazbe na TVZ-u, i u izbornom kolegiju, i za stjecanje licencije aerodromskih specijalista na održavanju sustava svjetlosne signalizacije. Kolaborativnim modelom izobrazbe potiče se istraživački rad kroz studentske seminare, ali i kroz obrade empirijskih parametara aerodromskih službi održavanja dobivenih iz konkretnih primjera koji upućuju na karakteristike i efikasnost pojedinih podsustava. Referentni podsustav praktične obrade je sustav za utvrđivanje stanja otpora izolacije. Među ostalim, usporedbom rezultata ispitivanja otpora izolacije agentskim sustavom i implementiranim modularnim inteligentnim podsustavom za nadzor stanja izolacije serijskih strujnih krugova utvrđuje se složenost, učinkovitost, prednosti i nedostaci svake od metoda. Formiranim bazama znanja i bazama podataka o stanju izolacije složeni su algoritmi za predviđanje mogućih kvarova, ali i za racionalizacije koje uključuju odgađanje sanacije zbog poboljšanja kao i primjene novih metoda ispitivanja.

Kandidati uključeni u specijalističke edukacije kao i polaznici izbornog kolegija Inteligentni sustavi uče, stječu znanje, a empirijskim i istraživačkim obradama pretraga nadograđuju ga i dolaze do novih spoznaja. Stečena znanja kao kompetencije educiranim specijalistima – budućim inženjerima znanja − pomažu i u konkretnim stručnim djelatnostima, npr. u kreiranju planova održavanja, i u nekim sličnim životnim prilikama. Vježbe prezentiraju mogućnost implementacije kognitivnom kibernetikom evoluiranih inteligentnih sustava kroz



Sl. 11.: Poveznica znanja i umijeća kroz univerzalnost prakse i razumijevanje

trendove razvoja u gotovo sve grane industrije, ekonomiju, edukaciju i javnu upravu. Obrađivani Lean model, kao proizvod kognitivne kibernetike, odnosi se na tendenciju i težnju, odnosno namjeru ostvarivanja dinamike inovacija koje pomažu da se mogu prepoznati i iskoristiti prilike u utrci tehnoloških promjena koje pridonose stjecanju znanja, slika 11.

Povezanost s potrebama nadolazećih procesa transformacije kroz psihološko, socijalno i emocionalno okruženje te povezanost s inteligentnim tehnologijama potvrđuje višestruki utjecaj koji je moguće prepoznati i na koji je moguće djelovati utjelovljenom spoznajom (4E). Takav pristup početak je novog razmatranja ljudske kognicije koji leži u međusobno povezanom mnoštvu teorija i istraživačkih projekta u kognitivnoj znanosti koje objedinjuje dosad zanemarene aspekte po kojima je kognicija:

– utjelovljena (engl. *embodied*)
– enaktivna (engl. *enactive*)
– proširena (engl. *extended*) i
– ukorijenjena (engl. *embedded*).

Utjelovljena kognicija (engl. *embodied cognition*) jest teorija po kojoj su mnoge spoznajne osobine oblikovane aspektima cijelog ljudskog organizma. Značajke takve spoznaje uključuju višerazinske mentalne konstrukcije i performanse kognitivnih zadataka. To znači da se razmišljanjem za određenu prosudbu kreiraju posebni izvanspoznajni koncepti i kategorije. Taj se utjecaj kao persuazivni u pozitivnom smislu manifestira i kroz spoznaje o podizanju razine integriranog razvoja ljudskog uma potvrđenim tehničkim, biomedicinskim i sociološkim konceptima, kroz 'univerzalnost prakse i aspekt umijeća' na osnovama tehnike i tehnologije, kroz razumijevanje smjera se umnosti[26]. U tom kontekstu, prema [29], Susan Greenfield potvrđuje:

> "Dok analiziramo utjecaj tehnologija XXI. stoljeća kao pokretača promjene uma, neprestano će nam se pojavljivati izrazi 'narativ', osobna životna priča te 'um' kao stvarni fizički entitet, odnosno jedinstvene konfiguracije neuralnih veza u svakom pojedinom mozgu."

Ta je tvrdnja poveznica sa slikom 11. I ona svjesnu misao stavlja ispred neposrednosti trenutka nekog podražaja, kako navodi "ovdje i sad". Obrada 'informacija' odgovarajuća je reakcija na podražaj, ali 'razumijevanje' zahtijeva

[26] **um** (lat. *ratio*, franc. *raison*, njem. *Vernunft*), u širem smislu skup svih ljudskih spoznajnih moći ili čak i skup svih duhovnih ljudskih moći. U užem smislu označuje jednu od čovjekovih spoznajnih moći, koja se obično suprotstavlja razumu (lat. *intellectus*) [27]. Kako um obuhvaća osjetnost i razumnost, a i mogućnost ideacije, stvaranje ideja novije teorije proučavanja uma proširuje se na utjelovljenu spoznaju, o čemu više u knjizi Z. Balaž, M. Ninčević: *Kognitivna kibernetika – Računska racionalnost misaonih sustava* (Glas Koncila, Og grafika, Zagreb, lipanj 2019.).

da se podražaj uključi u konceptualni okvir koji se kroz razvoj neuralnih mreža formira nakon rođenja, a tijekom cijelog života potiče, oblikuje i jača iskustvom. Stoga svaka osoba ima jedinstveno personaliziran mozak, kao i um koji neprestano procjenjuje trenutačni svijet s obzirom na postojeće asocijacije, a istodobno ga taj svijet i mijenja.

'Znanje' je smještanje činjenica ili radnji u konceptualni okvir kako bi se dobio smisao. 'Mudrost' pak zahtijeva dodatne i još rasprostranjenije veze, pri čemu se asocijacije stvaraju na temelju još većeg raspona iskustava koja omogućuju pripisivanje još općenitijih vrijednosti.

Zaključak

Na temelju stečenih znanstvenih iskustava o usklađivanju ljudskih čimbenika i inteligentnih tehnologija unapređuju se postojeći i uvode novi kognitivni moduli. Stoga je primjer obrađenog sadržaja provedbi *online* vježbi poticaj novim edukacijsko-tehnološkim promjenama za učinkovitiju i uspješniju budućnost. Primjerena razrada i provedba aktivnosti *online* edukacijskog sadržaja ljudske čimbenike usmjerava i podiže na razine savršenstva i pouzdanosti kao što su raspoloživa sredstva inteligentnih tehnologija. U uporabu specijalističkih sustava oslonjenih na ekspertne sustave i druge inteligentne tehnologije kognitivna kibernetika unijela je drastične promjene. Navedeni primjer najuspješnijeg svjetskog gospodarstva dokazuje kako je tehničko znanje, koje je baza istraživačkog i razvojnog rada, pokretač tehnološke promjene s ciljem postizanja vrhunskih rezultata.

U današnjem predmetnom svijetu, uokvirenom inteligentnim tehnologijama, sve se češće zanemaruje pronicljivost zdravog razuma (engl. *common sense*). Rješavanje zadanih problema prepušta se beskrajnom napretku tehnoznanosti, ali ne kao sredstva posljednje tehničke svrhe, nego kao apsolutne znanosti o bitku kao mišljenju mišljenja.

Tehničko veleučilište u Zagrebu (TVZ) ponudilo je svojom promidžbom projekta Politehnika 2025 oblikovanje obrazovnih standarda u skladu s potrebama tržišta rada, u kontekstu globalizacije i tehnološkog razvoja. Novo digitalno gospodarstvo otvorilo je put inovativnim uslugama pa tako i e-edukacijama: inteligentne tehnologije, masmediji, reklame, društvene mreže, eruptivan tijek informacija (i to kroz nebrojene putove) te njihovo gomilanje do razine *big data*, unutar kojih su istodobno ukorijenjeni i *dark data*[27] i *deep*

[27] engl. *dark data* (mračni, tamni podaci), prikupljaju se kroz različite operacije računalnih mreža, ali ne koriste se za spoznavanje ili za donošenje odluka. U industrijskom kontekstu mogu uključivati informacije prikupljene senzorima i telematikom.

data[28]. Umjesto da ljudima smanji ometanje i stres, kompjuterizacija ih u nekim profesionalnim slučajevima prisiljava da se bave svom silom dodatnih zadataka i podražaja.

Otkrića i uvidi iz područja ergonomije ili inženjerstva ljudskih faktora prečesto se zanemaruju ili podcjenjuju. Brigu za učinak računala i drugih strojeva na ljudsko tijelo i um redovito zasjenjuju želje za postizanjem brzine, maksimalne djelotvornosti, preciznosti ili jednostavno što veće moguće dobiti. Stjecanje znanja daleko je od toga da bude samo sjedilački posao kakvim ga se često smatra i na koji se svodi kaptološki utjecaj. Ruke i noge, aparati i pomagala svake vrste, sudjeluju u stjecanju znanja jednako kao i promjene u mozgu. "Postupanje je razmišljanje i razmišljanje je postupanje," zaključio je još 1916. godine filozof i društveni reformator John Dewey, a što je u predloženim konceptima specijalističkih projektiranja i održavanja kroz *online* vježbe potvrđeno. Iako su u početku razvoja nove tehnologije bile podložne promjenama, danas se na njih utječe u skladu sa željama pa bi tako trebalo biti i na primjerima vježbi. Iz tih je razloga kreiran model vođenog učenja na daljinu, koji onemogućuje tehnologijama da se ugnijezde u fizičku infrastrukturu i postanu njezin sastavni dio u obliku *status quo*. *Lead-In/On-line/Learning* model, ljudskim čimbenicima (personalizirane korespondencije student → nastavnik), umanjuje agresivno involviranje tehnologije na onim mjestima gdje one nisu toliko potrebne.

Primjena modernih tehnologija neizostavna je u području edukacije, koja sve više postaje znanstveno istraživanje. Obrade provedene aplikativnim računalnim programima koji se koriste u inteligentnom sustavu demomodela rezultate prikazuju vizualizacijom za koju služe originalno razrađeni algoritmi. Realiziranim projektima u praksi, ali i provedenim brojnim specijalističkim edukacijskim programima, ostvarene su solidne referencije koje mogu poslužiti za *online* postavljanje [30-32]. Takav je novi program razrađen i za objavljivanje udžbenika koji će poslužiti i pridonijeti postizanju učinkovitosti, sposobnosti, stjecanja znanja i vještina potrebnih za praksu na novim studijskim programima: internet stvari, *cyber* komunikacije i znanost o mreži Sveučilišta VERN' [33-34]. Zahtjev za upravljanje procesima razmjenom informacija (engl. *feedback*), ostvaruje se kognitivnom kibernetikom koja kao propedeutika za *online* učenje i vježbe uvodi novo predmetno integracijsko intendiranje[29] izobrazbe i

[28] engl. *deep data* (dubinski, duboki podaci), prikupljani podaci na dnevnoj bazi, obrađivani i uspoređivani od strane stručnjaka iz industrije koji imaju dubinsko znanje o nekom području. Riječ je o egzabajtima ili petabajtima podataka koji su puno više od onog što bi moglo stati na standardno računalo ili bilo koju vanjsku jedinicu za pohranu. Duboki podaci goleme su količine informacija svrstane u sekcije, isključujući redundantne ili nekorisne podatke koji bi u nekim drugim slučajevima bili neupotrebljivi.

[29] **intendirati** (*lat. intendere*), težiti čemu, upućivati na što; izraz ima specifično značenje kad je riječ o smjeranju doživljaja prema svojem intencionalnom predmetu (intencionalnosti) [26 i 27]

izvan područja tehničke strukture uvjetovano trenutačnim stanjem razvoja tehnologije i globalnih društvenih zbivanja koja treba razlučivati.

Zahvala

Najsrdačnije zahvaljujem uredniku prof. dr. sc. Zvonku Benčiću na svesrdnoj podršci, korisnim savjetima i brižljivom uređenju mojih članaka. Posebno mu zahvaljujem na nesebičnoj pomoći i svim prilikama koje mi je pružio i koje su bile najvažnija okosnica mojeg studentskog, radnog, stručnog i akademskog postignuća.

Zahvaljujem diplomiranom inženjeru elektrotehnike Zoranu Samardžiću, direktoru tvrtke Elos d.o.o., na cjelokupnoj poslovnoj i znanstvenoj suradnji kao i podršci u realizaciji ovog rada.

Posveta

Članak posebno posvećujem pročelniku Elektrotehničkog odjela Tehničkog veleučilišta u Zagrebu prof. dr. sc. Krešimiru Meštroviću i gostujućem predavaču prof. dr. sc. Mathiasu Haunu s Katedre za kognitivnu kibernetiku i filozofiju kognitivnih znanosti na Visokoj školi u Offenburgu, koje sam uz cjelokupan dosadašnji angažman kroz nastavnu suradnju doživljavao ponajprije iskreno kao prijatelje. Ovom posvetom, kroz prepoznatu razinu trajnog prijateljstva, želim obilježiti i učvrstiti sve naše zajedničke akademske i stručne pothvate, a posebno inicijativu za osnivanje Instituta za kognitivnu kibernetiku.

Literatura

[1] Z. Balaž, M. Ninčević: *Kognitivna kibernetika – Računska racionalnost misaonih sustava*, GK, Og grafika, Zagreb, lipnja 2019.

[2] M. Heidegger: *Gesamtausgabe: Ontologie* (Hermeneutik der Faktizität), Bröcker-Oltmanns, Frankfurt a. M., 1981.

[3] Z. Balaž: *Integration of Cognitive Cybernetics into Intelligent Human Systems?*, 1st International Conference on Intelligent Human System Integration, Dubai, January 2018.

[4] Z. Balaž, K. Meštrović: *Politehnička kognitivna kibernetika*, Udžbenik ELO TVZ, Zagreb, 27. studeni 2018.

[5] Ž. Paić: *Sfere egzistencije: Tri studije o Kierkegaardu*, Matica hrvatska, Zagreb, 2017.

[6] Z. Balaž: *The Captology of Intelligent Systems*, istraživačka studija ELO TVZ, Zagreb, HS Offenburg, 2013. − 2017.

[7] Z. Balaž: *Cognitive Cybernetics vs. Captology*, istraživačka studija ELO TVZ, Zagreb, Offenburg, 2017. − 2019.

[8] Z. Balaž: Dizajn i multimedija između kaptologije i simulakruma, Međunarodni znanstveni skup − Tiskarstvo i dizajn, Zagreb, 2017.

[9] Z. Balaž: *The Brain lost in the space of persuasive no-placelessness*, Public lecture, 16th Brain week in Croatia, 15th of March 2017.

[10] Z. Balaž: *Cognitive Cybernetics − a Future Society 5.0*, International Symposium P&P, Zagreb, 2017.

[11] Z. Balaž, B.-I. Balaž: *Human Computer Interaction, Cognitive Cybernetic & Captological Education*, on-line edition, *Progress in Human Computer Interaction*, Whioce Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2018.

[12] Z. Balaž, M. Haun: *Cognitive Cybernetics – A Future that is Started*, 34th International Symposium on New Technologies, Šibenik, 2017.

[13] Z. Balaž: *Integration of Cognitive Cybernetics into Intelligent Human Systems?*, working material for scientific article prepared for the 1st International Conference on Intelligent Human System Integration, Dubai, 7th – 9th of January 2018.

[14] Z. Balaž, K. Meštrović: *Učenje i poučavanje iz umjetne inteligencije*, TVZ − Tehničko veleučilište u Zagrebu, Polytechnic & Design, Vol. 2, No 1, pp 9-14, Zagreb, 2014.

[15] W. Glasser: *Teorija izbora − Nova psihologija osobne slobode*, Alinea, Zagreb, 2000.

[16] Z. Balaž: *Intuigencija KAPtološke ZAmke UMjetne InteliGENcije*, Istraživačka studija ELO TVZ, DZIV, zaštita naslova, Z20160030, 15.01.2016.

[17] K. Wilber: *Teorija svega: integralna vizija za biznis, politiku, znanost i duhovnost*, Gorin, Rijeka, 2004.

[18] K. Wilber: *Kratka povijest svega*, Gorin, Rijeka, 2005.

[19] H. M. McLuhan: *Razumijevanje medija − Mediji kao čovjekovi produžeci*, Golden Marketing, Zagreb, 2008.

[20] Ž. Paić: *Politika identiteta*, *Kultura kao nova ideologija*, Antibarbarus, Zagreb, 2005.

[21] Z. Balaž: *Cyberpsihologija − Umjetna inteligencija danas i u budućnosti*, Pozvano predavanje na Skupu SPiRi, FF Rijeka, travnja 2019.

[22] M. Spitzer: *Digitalna demencija − Kako mi i naša djeca silazimo s uma*, Nakladnik Ljevak d.o.o., Zagreb, listopad 2018.

[23] MIPRO 2019. Uvodna predavanja – Europski znanstveni oblak.

[24] W. Christoph: *Antropologija u globaliziranom svijetu*, Matica hrvatska, Zagreb, 2019.

[25] D. v. Uslar: *Psychologie und Welt*, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz, 1972.

[26] B. Klaić: *Novi rječnik stranih riječi*, Školska knjiga, Zagreb, 2012.

[27] V. Filipović: *Filozofijski rječnik*, Nakladni zavod Matice hrvatske, Biblioteka rječnici, NIŠPRO Vjesnik, Zagreb, 1989.

[28] Z. Balaž, M. M. Ninčević: Kognitivna kibernetika za novu povijest i filozofiju tehnike, *8. simpozij PiFT*, Urednik Zvonko Benčić, Zagreb, 2019.

[29] S. Greenfield: *Promjene uma*, *Kako digitalne tehnologije utječu na naš mozak*, Školska knjiga, Zagreb, 2018.

[30] Z. Balaž, K. Wawrzynek: Cognitive cybernetics in the foresight of globalitarianism, Rad predan za objavu u *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, travanj 2020.

[31] Z. Balaž, S. Desin, Kognitivna kibernetika i globaritarizam, 38. Međunarodni elektroinženjerski simpozij, EIS 2019 − Dani Josipa Lončara, Crikvenica, Croatia, 9. − 11. svibnja 2019.

[32] Z. Balaž: Kaptološka integracija čovjeka i inteligentnih tehnologija, prihvaćeno uvodno predavanje za *41. Međunarodno savjetovanje planiranje i projektiranje* u okviru Europskog zelenog plana, Elektrotehničko društvo Zagreb, EDZ P&P 2020, Zagreb, 5. − 6. studenoga 2020.

[33] Z. Balaž: *Inteligentni sustavi u praksi, online vježbe*, rukopis udžbenika za ELO TVZ, Zagreb, predan na recenziju u travnju 2020.

[34] Z. Balaž: *Inteligentni sustavi u praksi*, *Kognitivna kibernetika za online učenje*, Rukopis udžbenika za ELO TVZ, Zagreb, predan na recenziju u lipnju 2020.

Philosophy of Cognitive Cybernetics for the Future Education

Zdenko Balaž, Marino Marjan Ninčević, Zoran Groznica

Abstract: The collaborative model of learning was accepted by students of the course Intelligent Systems at the Electrical Engineering Department of the Zagreb University of Applied Sciences, who promoted their latest phase of distance learning in extraordinary circumstances of the current world situation COVID-19. The tripartite model of study programs in cooperation with HS Offenburg is being developed as a dynamic, interactive research education and training that is also being prepared for students of the VERN' University in Zagreb for a new study program Internet of Things. Long-term research results confirm the facts of the connection between the acquisition of knowledge and learning not only formal but also informal and nonformal, with new intelligent interactive education technologies.

The paper presents three relevant sources that address the issue of education of the future with different approaches and which were the basis for the application of ad-hock online model of the end of the semester for course Intelligent Systems. The first source is a twelve-year ethnographic study by Christoph Wolf with published fascinating conclusions of research in Germany and Japan for UNESCO: "Education for 21st Century". The study confirms the importance of mimetic activity and mnemonic techniques in the social world through the role of family and school, peer groups and the media. The second source is the EDUCAUSE Horizon Report 2020 annual project "Important Developments in Educational Technology for Higher Education", which points to key trends in higher education associated with the unstoppable adoption of upcoming techniques and technologies of artificial intelligence, cognitive cybernetics and intelligent systems. The third is a study by Jacques Lesourne: "Éducation & société: les défis de l'an 2000" century.

Keywords: cognitive cybernetics, captology, mimetics, mnemonic techniques, teachers, educators

Zdenko Balaž, Dario Gluvačević, Niko Barnjak, Anton Jelić

Paradigme elektromagnetskih zračenja u tehnici i medicini

Sažetak: Hrvatska legislativa propisuje razine elektromagnetskih zračenja u našem okruženju. Primjeri iz prakse upozoravaju na važnost prepoznavanja razlikovanja elektromagnetskih zračenja koja su rezultat rada elektrotehničkih uređaja odnosno postrojenja koja generiraju zračenje te elektromagnetskih zračenja namjenske uporabe dijagnostičkih uređaja u medicini. Niskofrekvencijska elektromagnetska polja posljedica su izvora zračenja svih komponenata elektroenergetskog sustava frekvencije 50 Hz i nazivnog napona većeg od 1 kV (transformatorske stanice, elektroenergetski vodovi, rasklopna postrojenja...). Ako se promatra svaka pojedinačna komponenta izvora zračenja, onda je formalnim inzistiranjem na udovoljavanju legislativnim zahtjevima zanemarena činjenica i svojstvo da je ta komponenta dio cjeline elektroenergetskog sustava. Elektromagnetska polja analizirana s pomoću elektromagnetskog modela, utemeljenog na primjeni tehnike konačnih elemenata eksperimentalno se provjeravaju mjerenjem i rezultati uspoređuju s graničnim razinama referentnih veličina koje su propisane legislativom. Rezultati istraživanja provedenih u dva smjera na području elektroenergetike i medicine upozoravaju na apsurdnost nekih zahtjeva vezanih uz ponavljanje mjerenja zračenja i ponavljanje zračenja zbog utvrđivanja dijagnostičkih stanja. Kod elektroenergetskih objekata provode se prva mjerenja kako bi potvrdila rezultate proračuna iz elaborata zaštite ili studija. Posebne paradigme dolaze do izražaja za niz tipskih objekata i statističkih obrada dobivenih rezultata koje u fokus stavljaju apsurdnost legislative. U medicini su na primjerima rada dijagnostičkih uređaja, ali i u istraživanjima (UZV, MSCT i MR, frekvencije do 1500 MHz i veličine magnetskog polja preko 45 T) analizirane mogućnosti inteligentnih sustava i obrade rezultata upozoravaju na apsurdnost opetovanih zahtjeva za provedbu određenih postupaka unatoč relevantnim rezultatima i mogućnostima.

Ključne riječi: elektromagnetsko, ionizirajuće, polje, zračenje, uređaj, UZV, MSCT, NMR

Uvod

Rezultati istraživanja provedenih u dva smjera na području elektroenergetike i medicine upozoravaju na apsurdnost nekih zahtjeva vezanih uz ponavljanje mjerenja zračenja i ponavljanje zračenja zbog utvrđivanja dijagnostičkih stanja. Kod elektroenergetskih objekata (EEO) provode se mjerenja kako bi se potvrdili rezultati proračuna iz elaborata zaštite ili studija. Posebne paradigme dolaze do izražaje za niz tipskih objekata i statističkih obrada dobivenih rezultata koje u fokus stavljaju apsurdnost legislative. U medicini su na primjerima rada dijagnostičkih uređaja analizirane mogućnosti inteligentnih sustava obrade rezultata mjerenja koji upozoravaju na apsurdnost opetovanih zahtjeva za ponovnu provedbu zračenja unatoč rezultatima kojima je utvrđeno relevantno stanje za provedbu zahvata. U svim tim slučajevima do izražaja posebno dolazi stručnost osoblja koje rukuje uređajima i obrađuje rezultate mjerenja. To su stručnjaci novog profila, u praksi prepoznati kao 'inženjeri znanja'.

1. Elektromagnetska polja

Električne i magnetske pojave proučavali su mnogi fizičari. Vrijedno je istaknuti bar neke od njih, kao što su Karl Friedrich Gauss, Hans Christian Oersted, André Marie Ampère, Michael Faraday, Joseph Henry i dr. Najznačajniju ulogu u proučavanju elektromagnetskih polja odigrao je škotski fizičar James Clark Maxwell. On je svojim Maxwellovim jednadžbama, koje je eksperimentalno potvrdio njemački fizičar Heinrich Hertz, predstavio Faradayev zakon kojim dokazuje kako promjenjivo magnetsko polje prouzročuje električno polje. Ta je potvrda ujedno Ampèreova veza jakosti struje i magnetskog polja koja uključuje i Coulombov zakon, odnosno njegovo poopćenje u Gaussovu zakonu.

1.1. Maxwellova izmjenična harmonijska promjenjiva elektromagnetska polja

Maxwellove diferencijalne jednadžbe za izmjenično harmonijski promjenjivo elektromagnetsko polje (EMP) daju Helmholtzove nehomogene diferencijalne jednadžbe potencijala u sljedećem obliku, [1]:

$$\Delta\overline{\phi} - \overline{\gamma}^2 \cdot \overline{\phi} = \frac{\nabla \vec{\underline{J}}_s}{\overline{\kappa}} \tag{1}$$

$$\Delta\vec{\underline{A}} - \overline{\gamma}^2 \cdot \vec{\underline{A}} = -\mu_0 \cdot \vec{\underline{J}}_s \tag{2}$$

gdje je:

$\underline{\phi}$ fazor skalarnog električnog potencijala
$\underline{\gamma}$ valna konstanta sredstva
$\underline{\vec{J}}_s$ fazor vektora gustoće ukupne struje vanjskih izvora
Δ Laplaceov diferencijalni operator
∇ Hamiltonov operator
$\underline{\vec{A}}$ fazor vektorskog magnetskog potencijala
μ_0 permeabilnost razmatranog sredstva (zraka ili tla) $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m.

Valna konstanta razmatranog sredstva opisana je izrazom:

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\mathrm{j} \cdot \omega \cdot \mu_0 \cdot \underline{\kappa}} \tag{3}$$

gdje je:

$\underline{\kappa}$ kompleksna provodnost (specifična električna vodljivost) sredstva
ω kružna frekvencija

Moduli su fazori efektivnih vrijednosti pripadnih veličina, a kružna frekvencija opisana je izrazom:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \tag{4}$$

gdje je *f* frekvencija. Ako je sredstvo linearno i izotropno, kompleksna provodnost takvog sredstva opisana je izrazom:

$$\underline{\kappa} = \sigma + \mathrm{j} \cdot \omega \cdot \varepsilon \tag{5}$$

gdje je σ vodljivost sredstva, a ε dielektričnost sredstva:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \tag{6}$$

gdje je $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m, dielektričnost zraka, dok je ε_r relativna dielektričnost sredstva.

U linearnom homogenom izotropnom neograničenom sredstvu volumena *V*, rješenje jednadžbe skalarnog električnog potencijala glasi:

$$\underline{\phi} = -\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \underline{\kappa}} \cdot \int_V \nabla \underline{\vec{J}}_s \cdot \frac{e^{-\underline{\gamma} \cdot R}}{R} \cdot dV \tag{7}$$

dok rješenje jednadžbe vektorskog magnetskog potencijala glasi:

$$\underline{\vec{A}} = \frac{\mu_0}{4 \cdot \pi} \cdot \int_V \underline{\vec{J}}_s \cdot \frac{e^{-\underline{\gamma} \cdot R}}{R} \cdot dV \tag{8}$$

gdje je *R* udaljenost između točke izvora i točke promatranja. Jednadžbe (1) do (8) sadrže sve relevantne parametre kojima se provode analize uporabom elektromagnetskog modela (EMM) na primjerima elektroenergetskih objekata (EEO) [2].

1.2. Izvori i vrste zračenja

Pod zračenjem se najčešće govori o ionizirajućem zračenju (IZ) kao pojavi prijenosa energije koja u međudjelovanju s kemijskom tvari ionizira tu tvar. Tako promatrajući IZ promjena je stanja tvari u mikrosvijetu u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre, pri čemu se emitiraju različite čestice. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari (kvanti elektromagnetskog zračenja). IZ pojava je za koju ljudska osjetila nisu razvijena pa otud i razumljiv čovjekov strah od zračenja. Poznavanje osnovnih svojstava IZ, međudjelovanja zračenja s tvari, a posebno djelovanja zračenja na živa bića, neobično je važno u stručnom i psihološkom smislu. IZ se može sastojati od:

- snopa čestica visokih energija (protona, alfa-čestica ili beta-čestica) ili
- elektromagnetskog zračenja visoke frekvencije (gama-zračenje, rendgensko zračenje, ultraljubičasto zračenje).

Elektromagnetsko zračenje niskih frekvencija je zračenje koje se povezuje s EEO-om i ono je neionizirajuće. Elektromagnetsko ionizirajuće zračenje obuhvaća rendgensko zračenje i gama- zračenje. Međutim, ionizaciju nekih tvari može prouzročiti i ultraljubičasto elektromagnetsko zračenje.

Kad se govori o opasnostima od zračenja potrebno je razlikovati neionizirajuće i ionizirajuće zračenje. Zračenje koje ima dovoljnu energiju da ionizira neke atome u tijelu narušava biokemijske procese u stanicama. Nastali ioni mogu dovesti do različitih poremećaja u njihovu funkcioniranju i dijeljenju, a za čovjeka to znači bolest.

Alfa-zračenje širi se brzinom od oko 1/20 brzine svjetlosti. To je dovoljno sporo da mogu relativno dugo međudjelovati s tvari i stoga imaju jak ionizirajući učinak. Zbog svoje veličine brzo se sudaraju s nekim od atoma i gube energiju. Njihov je doseg mali, svega nekoliko centimetara, a zaustavlja ih već koža ili komad papira.

Beta-zračenje čine elektroni, negativno nabijene čestice koje putuju velikim brzinama. Ionizirajuće djelovanje elektrona puno je slabije od djelovanja alfa-zračenja, ali im je domet u zraku puno veći, sve do nekoliko metara, a zaustavlja ih već metalna ploča od nekoliko milimetara debljine.

Gama-zračenje je elektromagnetsko zračenje velike energije koje potječe iz jezgre atoma, a širi se brzinom svjetlosti. Ionizirajuće djelovanje kod gama-zračenja slabije je od djelovanja beta-čestica, ali mu je domet veći. Prolazi kroz ljudsko tijelo, a može se reducirati s pomoću debelog sloja olova, betona ili vode.

Rendgensko zračenje ili X-zračenje ima jednaka svojstva kao i gama-zračenje, ali ima veću valnu duljinu. Razlikuje se od gama-zračenja po tome što potječe od elektrona, a ne iz atomske jezgre.

Kozmičko zračenje čine različite visokoenergetske čestice. Intenzivnije je na većim nadmorskim visinama.

Neutronsko zračenje javlja se uglavnom u nuklearnim reaktorima, a kao zaštita koristi se voda i beton.

Prema aktualnoj legislativi Republike Hrvatske, pojedinačni izvori niskofrekvencijskih (NF) EMP-a su sve komponente elektroenergetskog sustava (EES) nazivnog napona većeg od 1 kV [3, 4], a to su transformatorske stanice (TS), elektroenergetski vodovi, sklopna postrojenja ili bilo koji drugi EEO-i, komponente ili uređaji pod naponom većim od 1 kV. Za njih su propisane granične razine elektromagnetskog zračenja (EMZ). Formalnim inzistiranjem na udovoljavanju legislativnim zahtjevima za utvrđivanje razine zračenja pojedinačnih izvora zanemarena je činjenica da je EES cjelina čije je elektromagnetsko svojstvo superponirano. Iz tog se razloga problematika EMP-a u EES-u analizira korištenjem EMM-a, utemeljenog na primjeni tehnike konačnih elemenata. Ako se promotre sastavnice EMM-a koji je korišten za izračun raspodjele struje zemljospoja u [1], onda iste sastavnice mogu biti i u analizi utvrđivanja EMP-a.

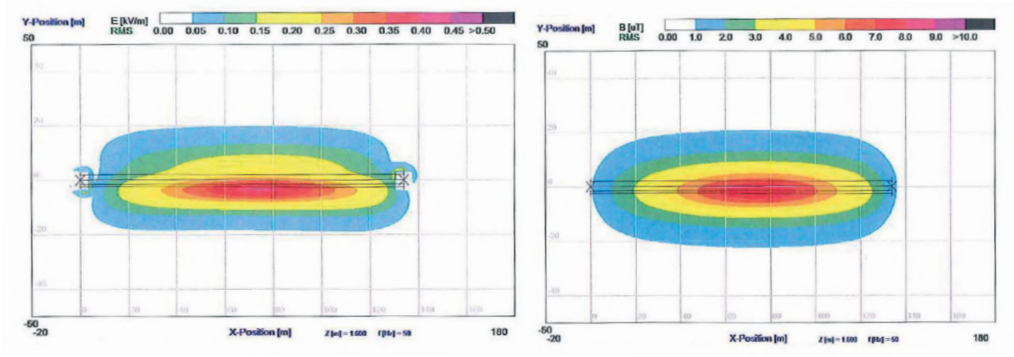
U EMM-u bilo kojeg pojedinačnog izvora tehnički je korektno uzeti u obzir sve sastavnice koje mogu biti međusobno kapacitivno i konduktivno spregnute i kao takve tvore zasebni konačni element. Slično je i sa sastavnicama koje su međusobno induktivno spregnute, jer one također tvore zasebni konačni element. Ovaj pristup bitno odstupa od uobičajenih u praksi reproduciranih dokumenata baziranih na modeliranju komercijalnim programima kao u [3-5], jer obradi problematike pristupa puno kompleksnije, a što je nužno za donošenje zaključaka.

2. Elektromagnetska zračenja u elektrotehnici

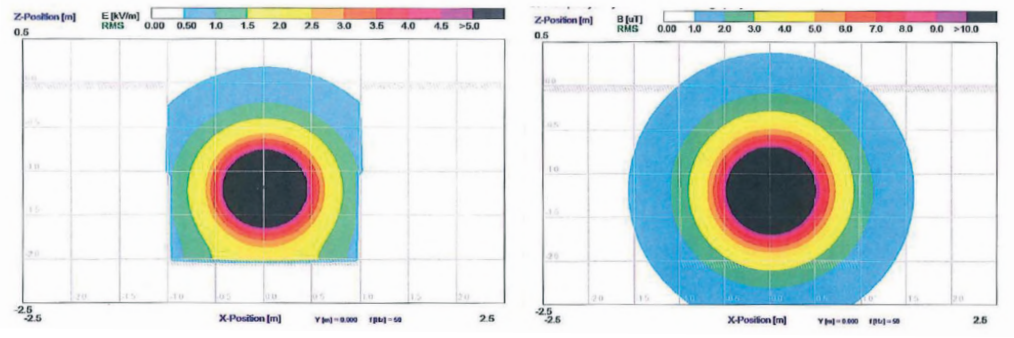
2.1. Elaborat zaštite od električnih i magnetskih polja

Elaborat zaštite od električnih i magnetskih polja, za kabelske i zračne vodove (pojedinačne ili rasplete), grafički prezentira u blizini promatranih jediničnih izvora zračenja stanje razdiobe električnog i magnetskog polja, slike 1. − 3.

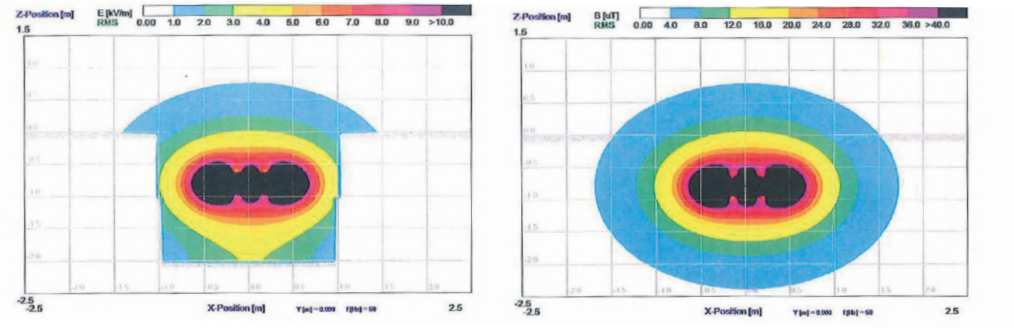
U elaboratima su proračuni maksimalnih vrijednosti jakosti električnih i magnetskih polja za transformatorske stanice (modeliranje se provodi bez modela zidova i ostalih prepreka), proračuni su rezultirali dijagramima koji opisuju trodimenzionalnu ili dvodimenzionalnu raspodjelu gustoće magnetskog toka i jakosti električnog polja u kontinuiranoj raspodjeli s pomoću izosilnica, slike 4. − 6.



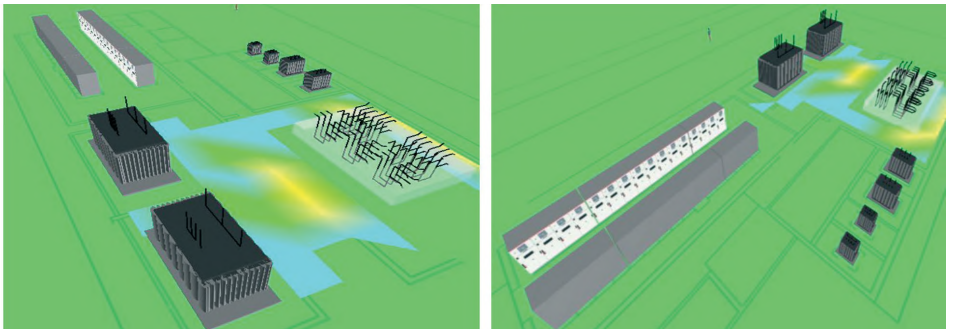
Sl. 1.: Razdioba električnog i magnetskog polja u zoni dalekovoda 35 kV



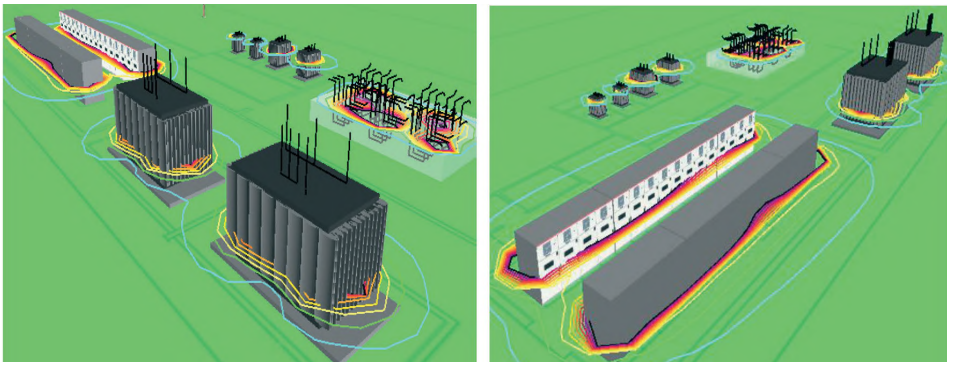
Sl. 2.: Razdioba električnog i magnetskog polja u zoni kabela 35 kV



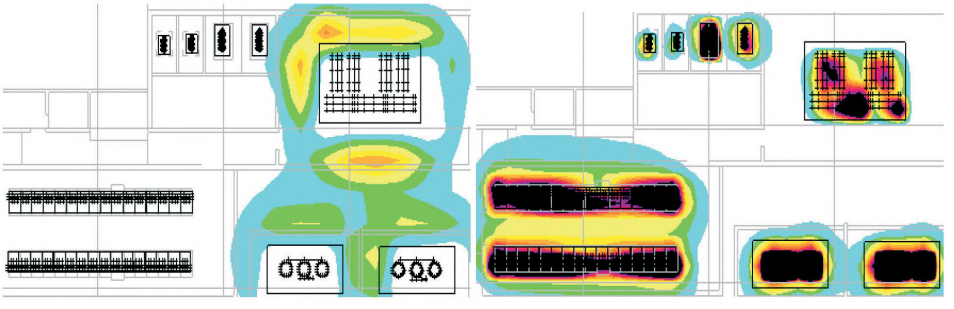
Sl. 3.: Razdioba električnog i magnetskog polja u zoni kabelskog raspleta 20 kV



Sl. 4.: Trodimenzionalni prikaz razdiobe električnog polja svih postrojenja i objekata trafostanice



Sl. 5.: Trodimenzionalni prikaz razdiobe magnetskih polja svih postrojenja i objekata trafostanice



Sl. 6.: Prikaz razdiobe električnih i magnetskih polja na visini 1 m svih postrojenja i objekata trafostanice

Maksimalni napon s kojim se rade proračuni za postrojenje 20 kV iznosi 24 kV. Cjelokupni se proračun provodi modeliranjem i parametrima koji su na strani sigurnosti. Svi proračuni izvode se s maksimalnim vrijednostima strujnog opterećenja, i za vodove i za TS-e koje se u stvarnom pogonu vrlo rijetko javlja. Tako su i ti proračuni na strani sigurnosti.

Elaborat ima za svrhu potvrditi i zaključiti da su projektirana tehnička rješenja zadovoljavajuća i da će emitirana električna i magnetska polja biti vrijednosti niže od dopuštenih graničnih vrijednosti koje su propisane Pravilnikom. Elaboratima se zaključuje da su proračuni na strani sigurnosti i da će očekivane jakosti električnog i magnetskog polja u normalnom pogonu biti manje od graničnih, a kako je riječ o neionizirajućem zračenju, neće biti nikakvih problema vezano uz zaštitu i zdravlje ljudi**.**

2.2. Proračuni, procjene i mjerenja elektromagnetskih polja u postrojenjima

Proračuni EMP-a, kao što je prethodno izloženo, modeliranje su za nove EEO-e potvrđeno dokumentom u obliku elaborata. Elaborat zaštite od elektromagnetskih polja jedna je od knjiga glavnog projekta i u upravnom postupku ima svoje mjesto. Svatko može uvidom u glavni projekt doći do rezultata koji mogu biti od koristi svima zainteresiranim.

Procjene EMP-a mogu biti interesantne u nekim slučajevima kad se provode prva mjerenja prije puštanja u pogon sa snagom koja je manja od očekivane. Procjena pogona s maksimalno mogućom snagom može potvrditi zadovoljavajuće stanje po pitanju potrebnog provođenja mjera zaštite.

2.3. Paradigme mjerenja na tipskim elektroenergetskim objektima

U konkretnim hrvatskim primjerima Operatora distribucijskog sustava (ODS) akceptirana je realnost da se za tipske objekte može konstatirati oslobađanje obavljanja prvih i periodičnih mjerenja u EEO-ima, kao što su u konkretnom slučaju tipski TS-i snage do 1000 kVA i podzemni kabelski vodovi do 35 kV, [6] i [7]. No određeni se nesporazumi i nelogičnosti javljaju kad se pokuša povući analogija za slične tipske objekte koji u konačnici pripadaju ODS-u, iako su izgrađeni za potrebe drugog vlasnika kao što je bio primjer prilikom izgradnje elektroenergetske infrastrukture hrvatskih autocesta [8] i [9].

Zaključak bi trebao ići u smjeru kako je za svaki EES bitno uvijek prilikom obrade elektromagnetskih polja u obzir uzimati sve komponente koje su tretirane kao jedinični izvori zračenja. Među razvijenijim članicama EU-a može se

prepoznati bazni smisao brige o zaštiti od EMZ-a. Izloženi pristup baziran na EMM-u izazov je za politehniku kao i reakciju stručne javnosti koja je nakon održanog predavanja izravno završila pritisak na meritorne institucije involvirane u provedbu i uspjela riješiti problem nametanja tipskih mjerenja [10 − 13].

Polemike svih aktivnih članica EU-a, izazvane jedinstvenom direktivom, koja se gotovo 30 godina usklađuje, izgubile su smisao. Pojedine članice EU-a uključene u rješavanje te problematike akcent su stavile na zaštitu zdravlja, ne samo kad je u pitanju profesionalna izloženost zračenju, i svoje su djelovanje prezentirale europskoj javnosti kroz EUSTAT − najveću bazu podataka. Kao zaključak o rješavanju problematike utvrđivanja EMP-a korisno je prenijeti onaj s navedenog simpozija koji upozorava na propisane granične razine NF EMP-a, koje emitiraju svi izvori, komponente EES-a, i koji su stroži nego u većini zemalja EU-a. Formalnim inzistiranjem na udovoljavanju legislativnim zahtjevima zanemarena je činjenica i svojstvo EES-a koji je nužno promatrati u cjelini. Iskustva pokazuju da je problematiku EMP-a u EES-u korisnije analizirati korištenjem EMM-a, utemeljenog na primjeni tehnike konačnih elemenata, nego na komercijalnim programima.

Eksperimentalno dobiveni rezultati mjerenja na EES-u uspoređivani su s rezultatima izračunatim s pomoću EMM-a i rezultatima dobivenim komercijalnim programima. Granične razine referentnih veličina na području profesionalne izloženosti i na području povećane osjetljivosti upozoravaju na potrebu preispitivanja zahtjeva vezanih za prva i periodična mjerenja, izradu elaborata zaštite i izradu studija. To posebno dolazi do izražaja za niz tipskih objekata i statističkih obrada dobivenih rezultata. U svakom slučaju, što se tiče NF EMP-a, kojima su izvori svi elementi EES-a, nazivnog napona većeg od 1 kV, velik je broj što izgrađenih što rekonstruiranih TS-a, elektroenergetskih vodova, kabela i sklopnih postrojenja [14 − 17].

Način na koji se može racionalizirati trošak odabire u prvom redu investitor, ali zbog različitih tumačenja ili nepoznavanja same svrhe provedbe zaštite i mjerenja EMP-a, moguće je da struka izgubi bitku u birokratskim pristupima [18 − 23].

3. Zračenja u medicini

3.1. Medicinska radiologija

Drugo je važno područje u kojem se pojavljuje problematika zračenja područje zdravstva, medicinskih znanosti i dijagnostike u njoj. Radiologija u širem smislu definira se kao znanost o zračenju, a pojam medicinske radiologije podrazumijeva primjenu zračenja u dijagnostici i liječenju bolesti. U počecima je

radiologija bila grana medicine koja je koristila isključivo rendgenske zrake za prikaz željenih anatomskih struktura. Sedamdesetih godina XX. stoljeća dolazi do ubrzanog razvoja medicinske radiologije, ponajviše zahvaljujući sve većoj prisutnosti tehnoloških i računalnih dostignuća. Implementacija informatičko-tehnoloških znanja i dostignuća u medicinskoj radiologiji uvelike je promijenila način njezina poimanja, ponajviše radi uvođenja novih načina, metoda i modaliteta snimanja, kao i postavljanja novih standarda u dijagnostici i liječenju različitih bolesti. U medicini se upotrebljavaju elektromagnetske ionizirajuće zrake (rendgenske i gama-zrake) te korpuskularna zračenja (alfa, beta, neutronske zrake).

IZ mijenja stanje tvari u mikrosvijetu u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre, pri čemu se emitiraju različite čestice. U međudjelovanju s tvari dolazi do izmjene energije i izmjene strukture ozračene tvari (kvanti elektromagnetskog zračenja).

3.2. Mjerenje ionizirajućeg zračenja

Mjerenje IZ-a moguće je različitim pristupima, a izmjere zračenja mogu se izraziti s pomoću više različitih mjernih jedinica.

- Aktivnost izvora zračenja može se izraziti u broju raspada u sekundi (Ci, kiri) ili (Bq, bekerel).
- Zračenje kojem je neki objekt izložen izražava se u rendgenima. Rendgen (R) označava količinu X-zračenja ili gama-zračenja potrebnu da nastane jedan jedinični naboj po cm^3 suhog zraka u standardnim uvjetima. Rendgen je ograničen samo na X-zračenje i gama-zračenje s energijom manjom od 3 MeV.
- Mjerne jedinice koje se koriste za izražavanje zračenja koje je neki objekt apsorbirao su grej i rad.
- Mjerne jedinice kojima se izražava doza zračenja su rem i sivert (Sv).
- SI jedinica za radioaktivnost je bekerel (Bq) koji označava jedan raspad u sekundi. Kiri (Ci), originalno definiran kao aktivnost jednog grama radija 226, definira se kao $3,7 \times 10^{10}$ raspada u sekundi, što znači da je 1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.
- Apsorbirana doza zračenja ili rad je količina apsorbiranog zračenja koja predaje 0,01 J energije po kilogramu izloženog materijala.

Grej (Gy) i sivert (Sv) su SI zamjene za rad i rem. Grej se definira kao 1 J apsorbiranog zračenja po kilogramu materijala, što znači da je 100 rad = 1 Gy. Sivert je mjerna jedinica za dozni ekvivalent i vrijedi 1 Sv = 1 J/kg. Međutim, jednake doze različitih oblika zračenja imaju različite biološke učinke. Stoga je rem definiran kao količina apsorbiranog zračenja koja proizvodi isti biološki

učinak kao jedan rad terapijskih X-zraka, ili kao umnožak apsorbirane doze u radima i doznog ekvivalenta zračenja RBE. Budući da je teško točno izmjeriti dozni ekvivalent pojedinih vrsta zračenja, biofizičari preferiraju definirati rem kao produkt rada i faktora kvalitete (QF) koji se odnosi na linearni prijenos energije (LPE) pojedinih vrsta zračenja. LPE je količina energije koja se rasipa (izražena u kiloelektronvoltima) po duljini puta (u mikrometrima). Zračenju s visokim LPE-om dodjeljuje se visoki QF jer RBE raste s porastom LPE-a, osim kod vrlo velikih vrijednosti LPE-a. Faktori kvalitete izraženi su kroz tipične vrijednosti.

3.3. Medicinski dijagnostički uređaji i njihov razvoj

Otkrićem tzv. X-zraka 1895. godine snimljena je prva rendgenska snimka, da bi već 1905. bile opisane granice normalnog i patološkog tkiva. Unutar prvih 30 godina od otkrića rendgenskih zraka razvija se radiografska metoda s nativnim prikazom, da bi u idućem razdoblju prikaz bio poboljšan uporabom kontrastnih sredstava. Primjena kontrastnih sredstava u medicinskoj radiologiji usmjerila je rendgensku dijagnostiku u smjeru specifičnog prikazivanja različitih organskih sustava kao što su fluoroskopija, linearna tomografija, aortografija, urografija, biligrafija, mijelografija i dr. Tijekom 1960-ih dolazi do razvoja ultrazvučne dijagnostike, da bi 1970-ih konvencionalna angiografija bila zamijenjena digitalnom inačicom s mogućnošću trenutačne suptrakcije dijagnostičkog prikaza (engl. *digital subtraction angiography*, DSA). Prikazivanje radiografske snimke krvnih žila u tijelu (protok krvi) dobiveno s pomoću ubrizganog kontrastnog sredstva kroz kateter (male, tanke cijevi), koji se postavlja obično kroz femoralnu arteriju na preponi ili radijalnu arteriju na podlaktici.

Na ranije ustanovljenim teorijskim osnovama, 1980-ih se razvija CT dijagnostika, a nakon 1990. godine dijagnostika magnetskom rezonancijom (MR). Unutar svih radioloških metoda razvijeni su postupci posebne namjene, s dinamičnim i trodimenzionalnim prikazom (Doppler, CT angiografija, MR angiografija i dr.). Intervencijska radiologija, nova grana radiologije, snažno se razvija u zadnjoj dekadi XX. stoljeća šireći paletu vlastitih originalnih metoda u liječenju, prije svega bolesti krvnih žila, ali i drugih organa i anatomskih struktura.

Moderniji, novi dijagnostički uređaji u medicini su magnetska rezonancija i kompjutorizirana tomografija. Eksperimentalne temelje modernoj spektroskopiji koja se u početku nazivala nuklearna magnetska rezonancija (NMR) postavio je Felix Bloch, koji je za to dobio Nobelovu nagradu 1952. godine. Želju da postane inženjer na Visokoj tehničkoj školi u Zürichu (engl. *Federal Institute of Technology*, njem. *Eidgenössische Technische Hochschule*, ETH) ostvario je studirajući na Odsjeku za matematiku i fiziku koji je u to vrijeme bio ishodište

Tablica 1.: Kronološki pregled razvoja nuklearne magnetske rezonancije

Red. br.	God.	Nositelj	Otkriće / Primjena / Spoznaje / Zasluga
1.	1882.	Nikola Tesla (1846. − 1943.)	Otkriće rotirajućeg magnetskog polja − povijest oslikavanja magnetskom rezonancijom (mjerna jedinica magnetskog polja − tesla).
2.	1886.	Pieter Zeeman (1865. − 1943.)	Otkriće cijepanja spektralnih linija natrija u magnetskom polju. Osnove magnetske rezonancije. Nobelova nagrada 1902. za taj rad.
3.	1895.	Wilhelm C. Röntgen, (1845. − 1923.)	Otkriće X-zračenja koje prodire kroz ljudsko tijelo i ostavlja trag na filmu. Osnove medicinske dijagnostike zračenjem.
4.	1897.	Joseph Larmor (1857. − 1942.)	Otkriće o gibanju elektrona u atomima koji u magnetskom polju dobivaju jednoliku rotaciju. (Larmorova precesija)
5.	1924.	Wolfgang Pauli (1900. − 1958.)	Temelji za otkriće nuklearne magnetske rezonancije (NMR) na teoriji spina i valnoj jednadžbi magnetskog momenta.
6.	1939.	Isidor I. Rabi (1898. − 1988.)	Proučavanje sile povezivanja u atomskoj jezgri, što je dovelo do primjene u medicinskoj dijagnostici (Nobelova nagrada za fiziku).
7.	1941.	Yevgeny K. Zavoisky (1907. – 1976.)	Otkriće nuklearne magnetske rezonancije s rezultatima prihvaćeni kao da ih nije moguće ponoviti (doktorski rad).
8.	1946.	Felix Bloch (1905. − 1983.)	Otkriće svojstava atomske jezgre. Proton vrtnjom oko vlastite osi stvara magnetsko polje i moment (Blohove jednadžbe).
9.	1949.	Edward M. Purcell (1912. − 1997.)	Razvoj metode za mjerenje rezonantne apsorpcije magnetizma jezgre (Purcellova metoda).
10.	1952.	F. Bloch (1905. − 1983.) E. M. Purcell (1912. − 1997.)	Postavljeni eksperimentalni temelji NMR spektroskopiji (Nobelova nagrada za taj rad).
11.	1960.	Raymond Damadian (1936.)	Otkriće da maligno tkivo ima različite NMR parametre od zdravog tkiva, što omogućava izradu karakterizacije tkiva.
12.	1964.	Allan M. Cormack (1924. − 1998.)	Objava rada o teoriji kompjuterizirane tomografije i ideja da se rendgenske zrake mogu upotrijebiti i usmjeriti pod različitim kutovima na tijelo ili mozak (Nobelova nagrada za medicinu 1979.).
13.	1969.	Raymond Damadian (1936.)	Predložen MR skener tijela i spektrometrija za analizu NMR spektra molekularne konfiguracije materijala. Proizveden prvi CT uređaj.
14.	1973.	Allan M. Cormack (1924. – 1998.) i Godfrey N. Hounsfield, (1919. − 2004.)	Uporaba kompjutorske tomografije u dijagnostičke svrhe, ali samo za prikaz struktura mozga (snimljena prva NMR slika tumora kod štakora).
15.	1977.	Raymond Damadian i njegov tim	Konstruirani su prvi superprovodni NMR skeneri i snimljena prva slika ljudskog tijela (skeniranje trajalo 5 h).
16.	1977.	Paul C. Lauterbur (1929. − 2007.) i Peter Mansfield, (1933. – 2017.)	Razvoj opreme za NMR koja se može koristiti za izradu slika (Nobelova nagrada iz medicine za NMR 2003.).
17.	1979.	Allan M. Cormack (1924. – 1998.) i Godfrey N. Hounsfield (1919. − 2004.)	Prvo tomografsko snimanje s rekonstruiranom slikom s pomoću računala. Temelji za proizvodnju tipiziranih MRI 600 − 800 MHz spektrometara, magneti 14,1 − 18,8 T (Nobelova nagrada za medicinu).
18.	1991.	Richard R. Ernst (1933.)	Razvoj NMR spektroskopije primjenom Fourierove transformacije (Nobelova nagrada za kemiju).
19	2002.	Kurt Wüthrich (1938.)	Razvoj NMR metoda za proučavanje bioloških makromolekula (Nobelova nagrada za kemiju).

i klijalište ideja znanstvenika kao što su Debye, Scherrer, Weyl, Schrödinger, Pauli, Kramers, Heisenberg, Bohr, Fermi i drugi. Njih, njihove radove i njihov utjecaj potrebno je spomenuti kao potvrdu doprinosu znanosti tog doba koji danas baštinimo, tablica 1.

Dijagnostički rendgenski uređaji (RTG)

Početak i osnova svih budućih radioloških snimanja je elektromagnetsko zračenje, tzv. X-zrakama (kasnije nazvane rendgenske zrake). Rendgenske zrake oblik su ionizirajućeg elektromagnetskog zračenja valne duljine između 0,001 i 10 nm, čime odgovaraju području između ultraljubičastog i gama-zračenja. Valovi rendgenskih zraka vrlo su kratki (10^{-6} do 10^{-9} cm), a frekvencija im je visoka (10^{17} do 10^{18} Hz), [24]. Zbog tih svojstava imaju veliku energiju koja im omogućuje prodiranje kroz tkiva. Za razliku od valova većih valnih duljina, dakle manjih energija, rendgenske zrake u tkivu izazivaju različite promjene od kojih je najvažnija ionizacija neutralnih atoma.

Rendgenske zrake nastaju u vakuumiranoj rendgenskoj cijevi naglim kočenjem brzih elektrona pri njihovu sudaru s nekom zaprekom. Brzi elektroni nose veliku količinu kinetičke energije koja se pri sudaru prenosi na atome od kojih je izgrađena zapreka i izbija elektrone iz njihova omotača. Tako nastaju prazne elektronske ljuske koje se popunjavaju iz vanjskih, energijski bogatijih ljusaka. Prelaskom u ljuske niže energijske razine, ti elektroni predaju višak energije okolici. Najveći dio tako oslobođene energije emitira se u obliku toplinskih zraka, a samo mali dio u obliku elektromagnetskih valova koji po svojoj valnoj duljini i frekvenciji odgovaraju rendgenskim zrakama. Dijagnostički rendgenski uređaji prema namjeni mogu biti:

- radiografski
- dijaskopski
- univerzalni (višenamjenski)
- specijalni rendgenski uređaji (tomografski, mamografski, dentalni itd.).

Zajednička je svim dijagnostičkim rendgenskim uređajima primjena rendgenskih zraka za prikaz željenih anatomskih struktura. U dijagnostičkom snopu rendgenske se zrake šire pravocrtno i pri prolasku kroz različite dijelove tijela one se jednim dijelom apsorbiraju, a drugim dijelom prolaze potpuno nepromijenjene. Na stvaranje rendgenske slike utječu apsorbirane i raspršene zrake. Slabljenje (apsorpcija) rendgenskih zraka u ljudskom tijelu dijelom ovisi o nekoliko čimbenika:

- atomskom broju elemenata od kojih su tkiva građena
- valnoj duljini rendgenskih zraka
- debljini i obliku snimanog dijela tijela i
- gustoći tkiva.



Sl. 7.: RTG uređaj, snimanje i posteroanteriorna (PA) snimka abdomena u frontalnoj projekciji (izvor: radiopaedia.org)

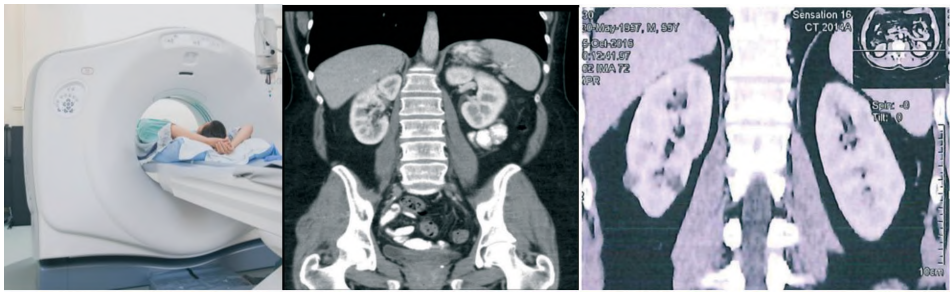
Različita su tkiva u ljudskom organizmu građena od elemenata različitog, ali u pravilu niskog atomskog broja, što je razlog njihove slabe apsorpcije u tkivima. Rendgenske zrake veće valne duljine imaju veću apsorpciju prolaskom kroz objekt jednake gustoće u odnosu na zrake kraćih valnih duljina. Deblji sloj snimanog tkiva jače apsorbira rendgenske zrake nego tanji sloj, ali i tkiva jednake debljine imaju različit koeficijent apsorpcije. Oblik snimanog objekta utječe na kvalitetu slike ne samo zbog geometrijskih parametara nego i zbog njegova utjecaja na specifičnu kontrastnost objekta. Gustoća tkiva (količina tkiva u g/cm^3) zbog različite apsorpcije utječe na gustoću rendgenskih sjena. Najmanju gustoću rendgenskih sjena imaju organi koji sadržavaju veću količinu plina (pluća, želučani forniks, plinovi u tankom i debelom crijevu). S druge strane, koštano tkivo najjače apsorbira rendgenske zrake zbog veće gustoće u odnosu na druga tkiva, kao i zbog specifično većeg koeficijenta apsorpcije zbog visokog sadržaja kalcija i fosfora [25].

Važno je naglasiti kako su snimke napravljene rendgenskim uređajima dvodimenzionalne. Projekcija rendgenske snimke ovisi, dakle, o smjeru rendgenske zrake u odnosu na snimani objekt. Za razliku od radiografskih uređaja kod kojih prilikom eksponiranja nastaje samo jedna dvodimenzionalna snimka, dijaskopski uređaji imaju mogućnost korištenja kontinuiranog snimanja, gdje uz upotrebu elektroničkog pojačala nastaje dijaskopska slika na ekranu. Tako je moguće praćenje fizioloških pokreta organa (srca, gutanja, peristaltike želuca i crijeva itd.). Ipak, valja naglasiti da je nedostatak ove metode slabija mogućnost uočavanja detalja zbog različitih neoštrina, a sve uz višestruko povećanje doze zračenja za bolesnika i osoblje, slika 7.

Kompjuterizirana tomografija (CT)

Kompjuterizirana tomografija (engl. *computed tomography*, CT), u svijetu se još koristi i naziv kompjutorizirana aksijalna tomografija (engl. *computed*

axial tomography, CAT) dijagnostička je metoda koja omogućuje prikaz anatomskih detalja organa u unutrašnjosti ljudskog tijela koristeći se poprečnim presjecima. Danas se u praksi koriste CT uređaji sa spiralnim načinom snimanja (za vrijeme rotacije cijevi i detektora putuje i stol s pacijentom) i višerednim nizom detektora na CT uređaju koji se naziva MDCT (engl. ***m**ulti**d**etector **c**omputed **t**omography)* i/ili MSCT uređaj (engl. ***m**ulti**s**lice **c**omputed **t**omography*). Konvencionalna kompjuterizirana tomografija temelji se na načelu prolaska rendgenske zrake kroz tijelo u poprečnom presjeku uz rotaciju rendgenske cijevi oko pacijenta. Elektronički detektori koji su smješteni nasuprot rendgenskoj cijevi s druge strane pacijentova tijela koncentriraju izlazeće rendgenske zrake u električne impulse. Jakost impulsa ovisi o količini neapsorbiranih rendgenskih zraka koje su prošle kroz pacijenta. Rendgenske se zrake prolaskom kroz određeni dio tijela apsorbiraju i prigušuju te nastaje atenuacija koja se izražava brojem atenuacije ili CT brojem. Ova elektronička informacija prenosi se u računalo koje izračunava apsorpciju rendgenskih zraka za svaki volumni element i prikazuje ga kao transverzalni presjek na ekranu. Apsorpcijske vrijednosti relativne gustoće struktura na kompjuteriziranoj tomografiji izražavaju se u Hounsfieldovim jedinicama (engl. *Hounsfield unit*, HU). Apsorpcijske vrijednosti prikazuju se u sivim nijansama od bijele do crne boje na ekranu u rasponu Hounsfieldovih apsorpcijskih vrijednosti od −1000 HU do +3074 HU. Apsorpcijska vrijednost vode je 0 HU, zraka −150, masnog tkiva od −10 do −150 HU, kostiju i kalcija +150 do +700 HU, a metalnih stranih tijela +1000 HU jedinica. Temeljna karakteristika CT uređaja u odnosu na dijagnostičke rendgenske uređaje leži u mogućnosti trodimenzionalnog prikaza snimanog objekta. Rezultat prolaska rendgenske zrake u poprečnom presjeku uz rotaciju cijevi u odnosu na snimani objekt naknadnom se rekonstrukcijom računalno obrađuje. Slike dobivene takvom rekonstrukcijom moguće je detaljnije analizirati u svim anatomskim ravninama. Zahvaljujući upotrebi računala i sofisticiranih softvera, niz je mogućnosti dostupan prilikom pregleda i analize slika, a kao osnovne mogućnosti moguće je navesti promjenu svjetline i kontrastnosti prozora, uvećanje objekta, kao i niz mjerenja i izračunavanja različitih parametara koji mogu uvelike olakšati i poboljšati točnost prilikom analiziranja, slika 8.



Sl. 8.: CT uređaj, prikaz abdomena i bubrega u frontalnoj ravnini (izvor: radiopaedia.org)

Razvoj uređaja za kompjuteriziranu odnosno računalnu radiografiju počeo je prije pola stoljeća s jednim detektorom, da bi se danas koristili uređaji MSCT i MDCT s više redova detektora za generiranje više slojeva po jednoj rotaciji. Kao spiralni i višeslojni način snimanja omogućuje preglede većih dijelova tijela u kraćem vremenu, što direktno utječe na dozu zračenja za pacijenta. Prostorna rezolucija današnjih MSCT uređaja iznosi od 15,5 do 30 lp/mm (engl. *line pair*), te što je veća vrijednost lp/mm, to je moguće prostorno razlučiti više detalja na dobivenoj slici. Debljina aksijalnog sloja može se mijenjati od 0,5 mm do 10 mm, i to nakon samog snimanja iz tzv. "sirovih podataka" (engl. raw data). Poželjno je generirati navedene slojeve debljine do 1 mm zbog toga što je kvalitetna osnova za 3D prikaz dobivenih podataka. Razvoj CT uređaja prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Pregled razvoja CT uređaja s mogućnostima

Red. br.	Godina i tip uređaja	Vrijeme skeniranja, s	Broj detektora	Mogućnost snimanja i obrade
1	**1972. Uređaji I. generacije**	3 − 5 min	1	samo mozak
2	**1975. Uređaji II. generacije**	10 − 60	do 16	glava i tijelo
3	**1977. Uređaji III. generacije**	1,4 − 14	380 do 600	svi organi i oni koji imaju različite fiziološke pokrete (crijeva, ošit, pluća, jednjak)
4	**1977. Uređaji IV. generacije**	1 − 3	1200 do 2000	prsni organi (osobito plućni intersticij, denzitometrija, prikaz struktura piramide temporalne kosti)
5	**Spiralni CT uređaji**	1 − 2	2500 i >	organi s fiziološkim pokretima, brzi kontrastni prikaz krvnih žila, virtualne endoskopske pretrage, kvalitetni prikazi plućnog intersticija, uz slike visoke prostorne i kontrastne rezolucije
6	**Višeslojni MSCT uređaji**	0,5 s	do 320 redova detektora	obrade velikog volumena pregledanog dijela tijela, CT koronarografija, obrada cijelog volumena plućnog parenhima u jednom inspiriju

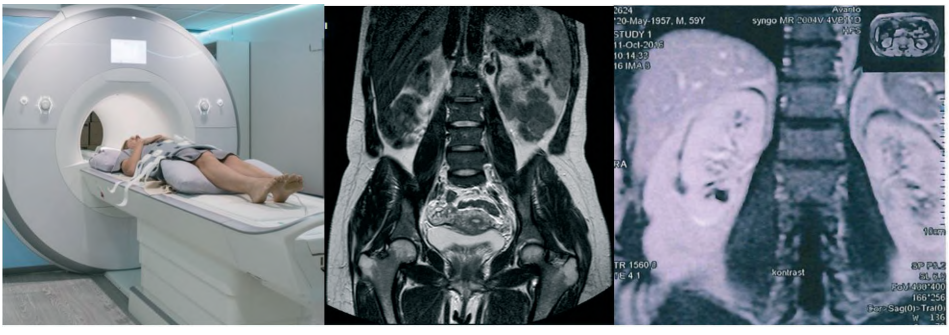
Magnetska rezonancija (MR)

Magnetska rezonancija (engl. *magnetic resonance*) digitalna je tehnika slikovnog prikaza koja funkcionira na načelu nuklearne magnetske rezonancije (engl. *nuclear magnetic resonance*), (NMR). Za stvaranje slike potrebno je jako, homogeno i stabilno magnetsko polje koje stvara glavni magnet. Glavni magnet

uređaja za MR magnetizira u organizmu male biološke "magnete" – protone u jezgri atoma vodika. Magnetizirano tijelo pritom je izloženo djelovanju radiovalova čija je frekvencija sukladna jakosti magnetskog polja, što prouzročuje rezonanciju atoma u ljudskom tijelu. Po isključivanju radiofrekvencijskih impulsa, atomi nastavljaju s titranjem, a tijelo ispitanika emitira višak energije koje je primilo djelovanjem radiovalova u obliku signala. Signal se zatim procesuira kroz računalo uređaja za MR i koncentrira u slikovni prikaz snimanog objekta.

Oslikavanje MR-om temelji se na pobudi jezgara atoma vodika u tkivima elektromagnetskim valovima. Zbog široke rasprostranjenosti u ljudskom tijelu i prisutnog jednog protona u jezgri sa snažnim magnetskim momentom, atomi vodika su izvor signala u dijagnostičkoj primjeni. Proton u jezgri atoma vodika rotira se oko vlastite osi i ima vlastito magnetsko polje čija se osovina opisuje magnetskim momentom. Magnetski momenti protona prikazuju se vektorima koji su orijentirani paralelno ili antiparalelno sa smjerom polja, tako da je malen suvišak protona usmjeren paralelno. Taj suvišak protona proizvodi neto magnetski moment, odnosno longitudinalni magnetizacijski vektor (engl. *longitudinal magnetization vector*, LMV). On se rotira oko smjera osnovnog magnetskog polja određenom frekvencijom. Elektromagnetskim valom, odnosno radiofrekventnim (engl. *radio frequency*, RF) impulsom frekvencije jednake frekvenciji precesije protona dolazi do ekscitacije tkiva, tj. do rezonancije protona, čime oni prelaze u stanje više energije i LMV mijenja smjer. RF impuls dovoljnog trajanja i amplitude prouzročuje pomak LMV-a tako da postaje okomit na osnovno magnetsko polje, a takav se impuls naziva 90° RF impuls. Time nastaje mjerljiva transverzalna magnetizacija koja je izvor vidljivog signala MRI (engl. *magnetic resonance imaging*), slika 9.

Nastankom transverzalnog magnetnog vektora (TMV) protoni vodika su fazno koherentni, odnosno magnetski momenti protona u tom su trenutku na istom mjestu precesijske staze. Kontrast na snimci posljedica je različite brzine



Sl. 9.: MR pregled i prikaz abdominalne regije i bubrega u frontalnom presjeku (izvor: radiopaedia.org, bodygears.com)

oporavka longitudinalne magnetizacije i nestanka transverzalne magnetizacije pojedinih tkiva što se naziva T1 i T2 relaksacijskim vremenom.

Prema magnetskoj indukciji polja koje razvijaju, uređaji za MR razvrstavaju se na uređaje male snage (magnetska indukcija od 0,1 T do 0,3 T), uređaje srednje snage (d 0,5 T do 1 T) i uređaje velike snage (1 T, 4 T i više tesla). U dijagnostičke svrhe koriste se uređaji s magnetskom indukcijom od 0,2 T do 3 T, dok se uređaji s magnetskom indukcijom većom od 4 T koriste uglavnom u istraživačkim institucijama i bolnicama za spektroskopska i visokorezolucijska ispitivanja.

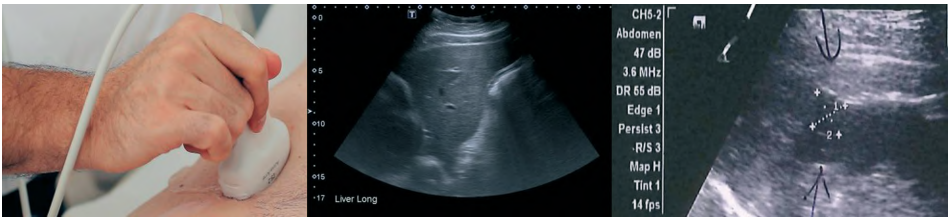
U praksi medicinske dijagnostike za MR u uporabi je opravdano termin 'magnet' koji kao osnova svakog MR sustava može biti stalni magnet, elektromagnet ili supravodljivi hibridni magnet. Supravodljivost je pojava iščezavanja električnog otpora na niskim temperaturama. Hlađenjem ispod neke kritične temperature drastično se smanjuje potreba za energijom koja održava magnetsko polje. Budući da otpor zavojnica elektromagneta ovisi o temperaturi, zavojnice se hlade kriogenim tvarima kao što je, npr., tekući helij. Supravodljivi hibridni magneti proizvode snažna magnetska polja koja danas dosežu vrijednosti i do 45 T. Pregled razvoja magneta prikazuje tablica 3.

Tablica 3.: Kronološki pregled razvoja snage magneta za spektrometre

Red. broj	Godina	Uređaj / Magnet	Frekvencija
1.	1953.	prvi dijagnostički NMR uređaj, Varian	30 MHz
2.	1960.	spektrometar, magnet od 2,35 T	100 MHz
3.	1970.	spektrometar, magnet od 9,4 T	400 MHz
4.	1980.	tipizacija spektrometara, magneti 14,1 − 18,8 T	600 − 800 MHz
5.	1992.	komercijalni spektrometri, magnet 17,61 T	750 MHz
6.	1995.	komercijalni spektrometri, magnet 21,1 T	900 MHz
7.	1999.	komercijalni spektrometri, magnet 21,4 T	900 MHz
8.	2005.	magnet 22,3 1T	950 MHz
9.	2009.	magnet 23,5 T	1000 MHz
10.	2016.	magnet 24 T	1020 MHz
11.	2019.	magnet 25,9 T	1100 MHz
12.	2020.	hibridni magneti 36,1 – 45 T	1500 i više MHz

Ultrazvučna dijagnostika (UZV)

Ultrazvuk u medicinsko-radiološkom smislu predstavlja neinvazivnu dijagnostičku metodu za pregled i vizualizaciju unutrašnjosti tijela koristeći visokofrekventne valove zvuka. Ultrazvuk se stvara korištenjem piezoelektričnog



Sl. 10.: Ultrazvučni pregled i prikaz gornjeg abdomena i bubrega (izvor: radiopaedia.org)

učinka prirodnih kristala ili kristala od sintetičke keramike i specijalnih plastika. Najčešće su korišteni materijali kremen (kvarc), turmalin te olovni niobat, olovni cirkonat, barijev titanat i polivinilidenski difluorid. Ako je vanjsko električno polje izmjenično, kristal će titrati frekvencijom polja, a ako je ta frekvencija dovoljno visoka, vibracije će biti izvor ultrazvuka. Obratno, ako ultrazvučni val pobudi kristal na titranje, generirat će se promjenjivo električno polje iste frekvencije. Pritom isti piezoelektrični kristal služi i kao izvor i kao receptor ultrazvuka. Ta je pojava najizraženija ako je frekvencija titranja kristala jednaka njegovoj vlastitoj frekvenciji kad kristal rezonira. To se događa kad je valna duljina jednaka polovini njegove debljine.

Kao što je slučaj i kod magnetske rezonancije, a za razliku od dijagnostičkih rendgenskih uređaja i uređaja za kompjuteriziranu tomografiju, ultrazvučni uređaji ne koriste elektromagnetsko zračenje koje može imati štetne učinke na organizam, posebno prilikom duljeg i neopreznijeg izlaganja. Karakterističnost slika snimljenih ultrazvučnim uređajima temelji se na dvodimenzionalnom prikazu tijekom pregleda, tako da je tijekom pregleda dostupna slika "uživo", s mogućnošću praćenja fizioloških pokreta organa i njihovih stanja. Suvremeni uređaji imaju i mogućnost trodimenzionalne rekonstrukcije, ali primjena ultrazvučne dijagnostike uglavnom je ograničena i nije od velike dijagnostičke vrijednosti, slika 10.

3.4. Ekspertnost i inteligentne tehnologije u medicinskoj dijagnostici

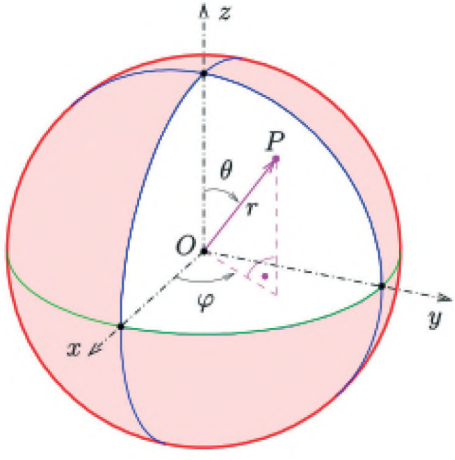
Zdravstvene obrade pacijenata od postavljanja dijagnoze do obrade inteligentnim i ekspertnim sustavima pokazuju savršenu pomoć moderne medicinske dijagnostike, ali i nužnost inženjerskih znanja u proizvodnji i održavanju uređaja i obradi potrebnoj za edukaciju. Na primjeru MR-a, najvažniji je zahtjev za uređaj za učinkovito snimanje magnetskom rezonancijom osiguranje visokog i kvalitetnog magnetskog polja. Relativna vrijednost polja, izražena u bezdimenzionalnim veličinama ppm-a (engl. *parts per million*, milijuntinka 1/1 000 000 = 10^{-6}) treba imati:

− vremensku stabilnost u rasponu od najmanje 0,1 ppm-a i
− homogenost ili uniformnost prostora unutar nekoliko ppm-a.

Prostor u kojem se primjenjuje magnetsko polje matematički se opisuje u sfernom koordinatnom sustavu promjera 50 cm. Određen je ishodištem O i međusobno okomitim polupravcima p i z. Svaku točku takvog prostora opisuju koordinate (r, φ, θ). Udaljenost npr. točke P od ishodišta O koordinata je r, koordinata φ je kut od projekcije vektora OP na ravninu okomitu na poluos z, a koordinata θ je kut koji vektor OP zatvara s poluosi z, slika 11. Sve su točke prostora jednoznačno određene, ako su vrijednosti sfernih koordinata ograničene: $0 < \rho < \infty$, $-\pi < \varphi < \pi$, $0 < \theta < \pi$.

Vremenska stabilnost postiže se trajnim hibridnim supravodljivim magnetom pod uvjetom da se u blizini magneta ne nalaze nikakvi feromagnetski materijali. Homogenost se postiže ugađanjem s pomoću zahtjevnog sustava za korekciju koji u osnovi podsjeća na implementaciju feromagnetskih komadića na stupove magneta. Ugađanje je proces koji nadzire računalo sa sofisticiranim softverom koji omogućuje visok stupanj prilagodljivosti različitim situacijama, a koji je osnova i provedbe matematičke analize u četiri koraka:

– proračunavanje polja u točkama trodimenzionalne mreže sfernog prostora
– dekompozicija polja za računalnu 3D-transformaciju i prostornu varijaciju s pomoću skupa koeficijenata
– izračunavanje korekcijskih parametara uz odgovarajuću primjenu feromagnetskih dijelova za ugađanje homogenosti i
– provjera rezultata nakon aktiviranja magneta i ugradnje izračunatih feromagnetskih dijelova.



Sl. 11.: Sferni koordinatni sustav kao prostor primijenjenog magnetskog polja za dijagnostiku

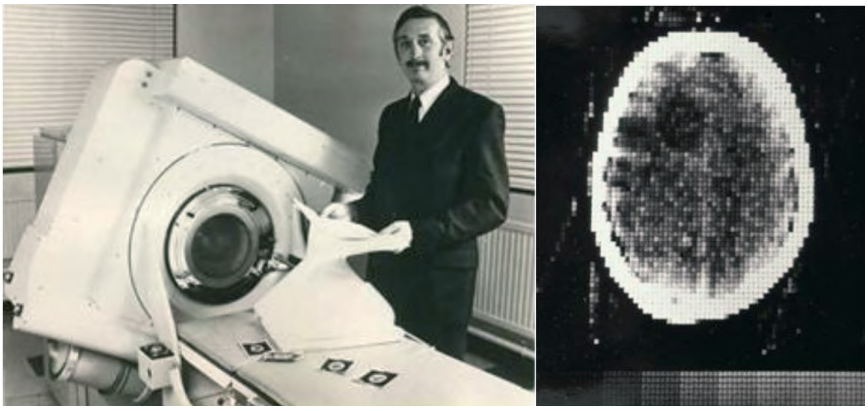
Matematički postupak i ovdje kao i u prethodnom odsječku počinje s istim Maxwellovim jednadžbama i rješenjem iz Laplaceovih jednadžbi (cijeli je postupak opisao prof. Guy Aubert, voditelj Laboratorija za visoka magnetska polja u Grenobleu), [26].

Nažalost, još uvijek nisu adekvatno valorizirane raspoložive baze podataka koje se mogu koristiti u kreacijama baza znanja. Ekspertnost inteligentnih tehnologija kao i znanja liječnika, medicinskih stručnjaka koji se njima služe, u novije vrijeme pokazuju da je njihova uspješna primjena ovisna i o nizu drugih čimbenika. U suradnji s inteligentnim tehnologijama čovjek profitira spoznajnom razinom integriranog razvoja svojeg uma doprinosom umjetne inteligencije.

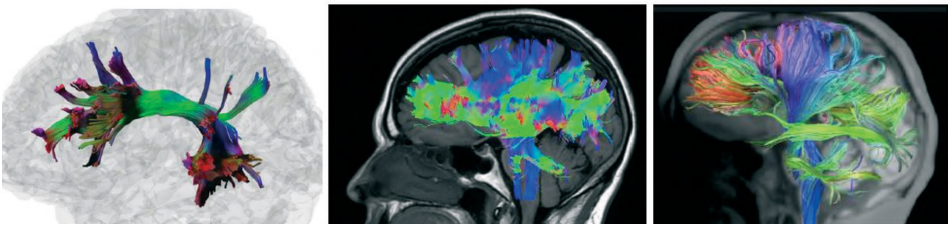
Nakon snimanja, dobiveni slikovni materijal obrađuje se posebnim računalnim programima koji omogućuju prikaz u različitim ravninama i projekcijama. Višeslojna kompjutorizirana tomografija ili samo kompjutorizirana tomografija spada u moderne dijagnostičke metode slojevnog snimanja tijela pri čemu se zračenje detektira na većem broju detektora nakon što se određena količina zračenja apsorbirala u tijelu. Kompjutorizirana tomografija je pretraga kod koje se koriste rendgenske zrake. Zračenje rendgenskim zrakama je štetno, doze zračenja kod CT pregleda su visoke. Kao posljedica zračenja moguće je oštećenje krvotvornog tkiva, a zračenje prouzročuje veću vjerojatnost nastanka nekih zloćudnih bolesti. Uz dijagnostičko snimanje koristi se i snimanje dvostrukom energijom zračenja (engl. *dual energy*) uz uporabu najsuvremenijih računalnih algoritama, koje omogućuje automatizirane i učinkovite intervencije na krvnim žilama i svim tkivima u ljudskom tijelu.

Navedene radiološke metode i modaliteti korišteni u medicinskoj radiologiji imaju svoju svrhovitost koja ponajviše ovisi o indikacijama prema kojima se određuje korisnost svake pojedine pretrage, u cilju bolje i točnije analize snimaka. Iako pojedini uređaji / pretrage koriste ionizirajuće zračenje koje može imati štetan učinak na organizam, nužno je razmotriti sve ostale parametre korisnosti, zbog čega neće nužno biti isključene kao metoda izbora. Korelacija štetnosti za ljudski organizam, trajanja pretrage, stanja pacijenta, specifičnosti svakog pojedinog uređaja, računalnih mogućnosti i osjetljivosti radiološke aparature prema indikacijama i dijagnozi, ali i niz drugih čimbenika, određuju koja će od navedenih metoda biti optimalan izbor prema uputnoj dijagnozi. Tu do izražaja dolazi ekspertnost osoblja i inteligentnost tehnologija.

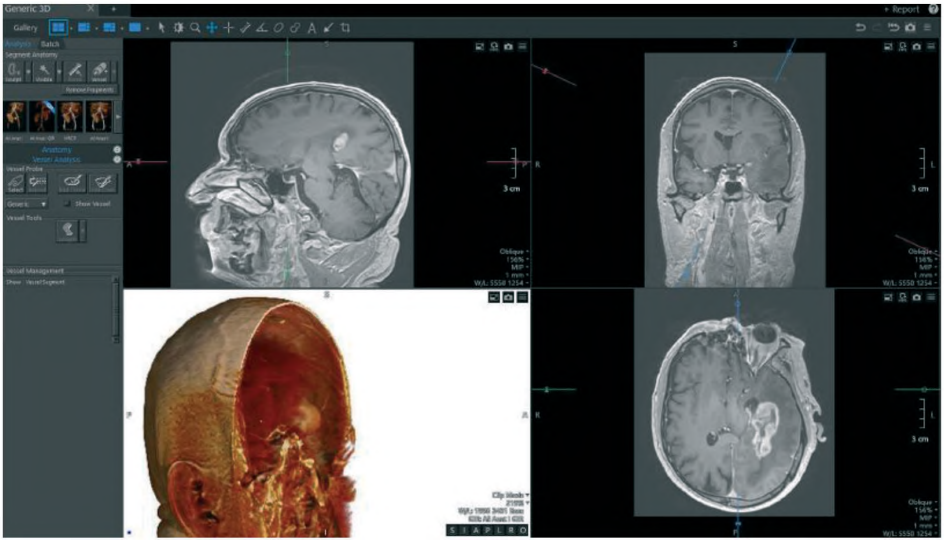
Prvi CT uređaj konstruiran 1969. godine i njegov klinički sken glave iz 1971. prikazuje slika 12. Danas raspoloživo difuzijsko tenzorsko snimanje (DTI) i 3D rekonstrukcijska tehnika za procjenu stanja s pomoću podataka prema literaturi [5 i 24-30], predstavljaju slike 13. − 15.



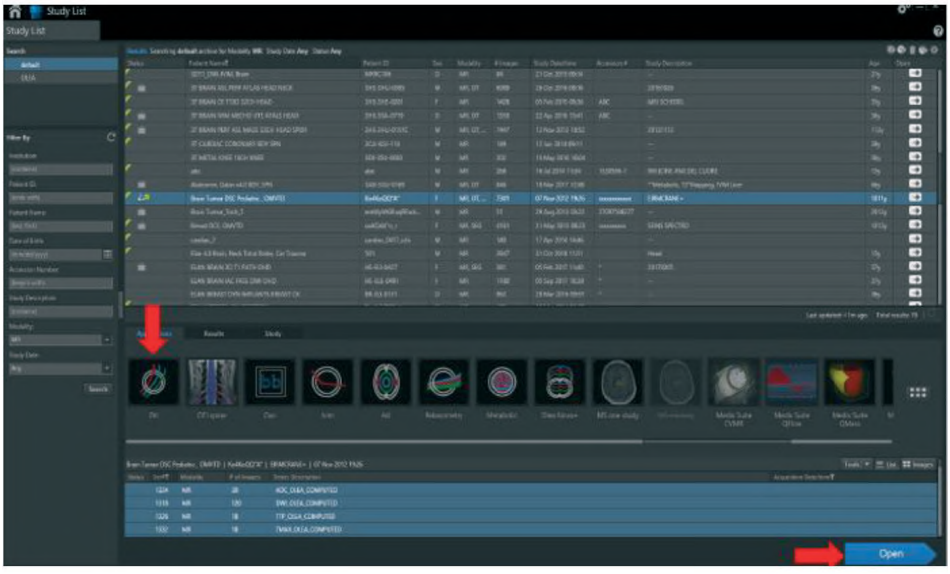
Sl.12.: Izumitelj Sir Godfrey N. Hounsfield uz prvi CT uređaj konstruiran 1969. godine i prvi klinički CT sken glave iz 1971. s matricom veličine 80 ´ 80



Sl. 13.: Difuzijsko tenzorsko snimanje (DTI) i 3D rekonstrukcijska tehnika za procjenu stanja s pomoću podataka



Sl. 14.: Alternativna tehnika: 3D fotorealistični prikaz ljudske anatomije



Sl. 15.: Poslužni izbornik za difuzijsko tenzorsko snimanje

Zadnji raspoloživi uređaji za medicinsku dijagnostiku i kirurgiju poveznica su za proširenu stvarnost. U medicinskoj primjeni intraoperativno navođenje slikama kao pomoć u lokalizaciji lezija koje nisu vidljive golim okom potpuno je zaživjelo. Snimke u 2D tehnici, obrađene za 3D, dobivene uz pomoć CT-a ili MR-a kao preklapanja virtualnog i realnog, tehnika su medicinske "proširene stvarnosti" (engl. *augmented* reality, AR) koja se dobiva kao stvarni pogled na operacijsko polje. Početak seže još u 1938. godinu u Austriji, kad je uz pomoć RTG zraka i zrcala omogućena vizualizacija metka za vrijeme same operacije. Sutherland je 1968. osmislio prvi *head-up* sustav koji je prikazivao crteže izravno u kirurgovo vidno polje. Danas se sustav "proširene stvarnosti" sastoji od:

– virtualne slike
– registracije virtualnog okruženja u stvarnom prostoru i
– zajedničkog prikaza virtualne slike i prave stvarnosti.

Tehnika ide preko monitora, LED ekrana visoke rezolucije koji prikazuje virtualni sadržaj preko videosignala prave stvarnosti i uz pomoć AR optike izravno ubacuje snimku u operacijski mikroskop. Postavljeni poluprozirni zasloni ravno iznad operacijskog polja omogućuju izravan pogled na samo operacijsko polje uz projekciju virtualnih slika na sam zaslon. Mogućnosti i učinkovitost neopisive su i opet povezane s tehnikom i čovjekom.

Zaključak

Prilikom obrade problematike zračenja preko elektromagnetskih polja u obzir je potrebno uzeti sve čimbenike kao teorijsku razradu i sve tehničke komponente koje su povezane sa zračenjem. Vrste zračenja i zaštite od zračenja neiscrpna su podloga polemika. Stručnjaci koji su izravno ili neizravno uključeni u rješavanje te problematike ili u vezi s njom uvijek akcent stavljaju na zaštitu i očuvanje zdravlja, ne samo kad je u pitanju profesionalna izloženost zračenju nego i sva moguća zračenja u sveopćoj populaciji. Unatoč prepoznatom baznom smislu brige o zaštiti, niz je paradigmi koje otvaraju pitanja lobiranja i interesa. Postavlja se pitanje kad i zašto je potrebno utvrditi ili provesti postupak koji ima veze sa zračenjem?

Ako se rezultati nekih proračuna, npr. za EEO, usporede s primjerima modeliranja i rezultatima mjerenja, opravdano se nameće potreba akceptiranja i utvrđivanje stvarnog pogonskog stanja. Postoje baze podataka kao neupitne činjenice koje mogu biti osnova novoj legislativi oslonjenoj na ekspertnost i čvrstu osnovu za baze znanja. Stoga, ako postoje dokazi da je neupitno da nema posljedica od zračenja za neki objekt, onda nema ni potrebe ponovno mjeriti i utvrđivati stanje zračenja za isti takav novi objekt. Također, ako je na temelju provedenog zračenja utvrđena neupitna dijagnostička činjenica, onda nema potrebe ponovno provoditi dijagnostiku zračenjem!

Popis kratica

AR	proširena stvarnost (engl. *augmented reality*)
Ci	kiri, SI jedinica radioaktivnosti za gram radija
CT	kompjutorizirana tomografija
Bq	bekerel, SI jedinica za radioaktivnost
DSA	engl. *digital subtraction angiography*
DTI	difuzijsko tenzorsko snimanje
EEO	elektroenergetski objekti
EES	elektroenergetski sustav
EMM	elektromagnetski model
EMP	elektromagnetska polja
EMZ	elektromagnetsko zračenje
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
EU	Europska unija
EUSTAT	baza statističkih podataka Europske unije
Gy	grej, jedinica definirana kao 1 J apsorbiranog zračenja po kilogramu materijala

HU	Hounsfieldova jedinica za gustoću tkiva
ICNIRP	Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)
IZ	ionizirajuće zračenje
LMV	longitudinalni magnetni vektor
LPE	linearni prijenos energije
MeV	mega elektronvolt
MR	magnetska rezonancija
MRI	snimka magnetske rezonancije
MSCT	višeslojna kompjutorizirana tomografija
NF	niskofrekvencijski
NMR	nuklearna magnetska rezonancija
ODS	operator distribucijskog sustava
Rem	jedinica za dozu zračenja
RBE	dozni ekvivalent zračenja
RTG	dijagnostički rendgenski uređaj
R	rendgen, jedinica izloženosti zračenju
Sv	sivert, jedinica za dozu zračenja
SI	sustav međunarodnih jedinica
T	tesla, jedinica jakosti magnetskog polja
TMV	transverzalni magnetni vektor
TS	transformatorska stanica
UZV	ultrazvuk
VF	visokofrekvencijski
QF	faktor kvalitete
5G	peta generacija mreža mobilnih komunikacija

Literatura

[1] Z. Balaž: *Elektromagnetski model za izračun raspodjele struje zemljospoja*, doktorska disertacija, mentor S. Vujević, FESB, Split, 2015.

[2] Z. Balaž: Troškovi mjerenja niskofrekventnih elektromagnetskih polja u elektroenergetskim sustavima, 11. savjetovanje HRO CIGRÉ, Cavtat, 2013.

[3] Pravilnik zaštite od neionizirajućeg zračenja

[4] Zakon o zaštiti od elektromagnetskih polja

[5] G. Aubert: *Field Mapping and Shimming MRI Magnets with the Metrolab Field-Aligner*, Grenoble High Magnetic Field Laboratory, METROLAB Instruments SA Geneva – Switzerland, February 2000.

[6] Z. Balaž: *Proračuni elektromagnetskih polja na EEO HAC-a za izdavanje odobrenja za stacionarne izvore "NF" elektromagnetskih polja,* Razvojni projekt HAC Br. 700-013-002-2, Zagreb 2012.

[7] ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Physics*, 74, 494-522, 1998.

[8] ICNIRP: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz to 100 kHz), *Health Physics*, 99(6):818-836; 2010.

[9] Council of EU: *Directive 2004/40/EC on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)*, April 2004.

[10] Council of EU: *Council Recommendation 1999/519/EC on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz),* Bruxelles, 1999.

[11] Council of EU: *Directive 2004/108/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility and repealing Directive 89/336/EEC*, April 2004.

[12] Elaborat zaštite od električnih i magnetskih polja, Prelaganje i zaštita postojećih instalacija, autocesta A12, Dalekovod EMU, 2012.

[13] Elaborati zaštite od električnih i magnetskih polja, Elektroenergetski objekti sjeverne i južne pristupne ceste i Tunel sv. Ilija, Dalekovod EMU, 2013.

[14] Zaštite od magnetskih i električnih polja TS 110/20(10)kV Zagvozd, Dalekovod EMU, 2007.

[15] TS 110/20(10)kV Ploče, Zaštite od električnih i magnetskih polja, Dalekovod EMU, 2012.

[16] Rješenje Ministarstva zdravstva od oslobađanja obavljanja prvih i periodičkih mjerenja elektromagnetskih polja za podzemne elektroenergetske vodove do uključivo 35 kV, KLASA: UP/I-542-04/10-04/10, UR. BROJ: 534-08-1-2/3-10-10, Zagreb, 16. studeni 2010.

[17] Rješenje Ministarstva zdravstva od oslobađanja obavljanja prvih i periodičkih mjerenja elektromagnetskih polja za transformatorske stanice snage ne veće od 1000 kVA, KLASA: UP/I-542-04/05-01/3, UR. BROJ: 534-07-01/4-05-02, Zagreb, 5. srpnja 2005.

[18] Rješenje Ministarstva zdravlja za procjenu elektromagnetskih polja za tipske transformatorske stanice HAC-a na temelju prvih mjerenja, KLASA: UP/I-542-04/12-01/10, UR. BROJ: 534-08-1-5/3-12-02, Zagreb, 29. ožujka 2012.

[19] Rješenje Ministarstva zdravlja za procjenu elektromagnetskih polja za tipske transformatorske stanice HAC-a na temelju prvih mjerenja, KLASA: UP/I-542-04/12-01/10, UR. BROJ: 534-09-1-1-2/3-12-4, Zagreb, 24. listopada 2012.

[20] S. Vujević, R. Lucić, I. Jurić-Grgić, D. Lovrić, T. Modrić, Z. Balaž: *Izrada pravila i mjera sigurnosti za osiguranje mjesta rada na elektroenergetskim vodovima*, FESB Split, Studija, veljača 2013.

[21] Opći tehnički uvjeti za izvođenje radova na cestama, Zagreb, 2001.

[22] Z. Balaž: *Prijedlog mjerenja elektromagnetske kompatibilnosti na primjeru opreme hrvatskih autocesta*, elaborat − razvojni projekt br. 700-013-001, Zagreb, 2012.

[23] Directive 2012/11/EU of the European Parlament and of the Council of 19 April 2012 amending *Directive 2004/40/EC on minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)* (18th individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC).

[24] N. Barnjak: *Instalacija i puštanje u rad uređaja magnetske rezonance,* Završni rad, mentor: Vladimir Tudić, Veleučilište u Karlovcu, 2019.

[25] B. Štoos: *Primjena zračenja u medicini*, završni rad, mentor: dr. sc. Slaven Lulić, Veleučilište u Karlovcu, 2018.

[26] G. Aubert: *Field Mapping and Shimming MRI Magnets with the Metrolab Field-Aligner* METROLAB Instruments Magnetic Field Camera MFC – 3045, User's Manual, Included.

[27] A. Hebrang, R. Klarić-Čustović: *Radiologija*, Medicinska naklada, Zagreb, 2007.

[28] M. Frković, K. Višković: *Radiološka oprema*, Zdravstveno veleučilište, Zagreb, 2013.

[29] Z. Klanfar i suradnici: *Radiološke i nuklearno-medicinske dijagnostičke metode*, Zdravstveno veleučilište, Zagreb, 2013.

[30] Z. Klanfar: *Teorija i praksa radiološke tehnologije*, Zdravstveno veleučilište, Zagreb, 2013.

Electromagnetic Radiation Paradigms in Technics and Medicine

Zdenko Balaž, Dario Gluvačević, Niko Barnjak, Anton Jelić

Abstract: Croatian legislation prescribes the levels of electromagnetic radiation in our environment. Examples from practice indicate the importance of recognizing the difference between electromagnetic radiation that is a consequence of the operation of electrical devices or plants that generate radiation and electromagnetic radiation for the intended use of diagnostic devices in medicine. Low frequency electromagnetic fields are the consequences of radiation sources of all elements of the power system, frequency 50 HZ and rated voltage greater than 1 kV, (transformer stations, power lines, switchgear,...). If each individual element of the radiation source is observed, then the formal insistence on meeting the legislative requirements neglects the fact and the property that this element is part of the whole power system. Electromagnetic fields analysed using an electromagnetic model, based on the application of the finite element technique, are experimentally verified by measurement and the results are compared with

the limit levels of reference quantities prescribed by legislation. The results of research conducted in two directions in the field of power engineering and medicine indicate the absurdity of some requirements related to the repetition of radiation measurements and repetition of radiation to determine diagnostic conditions. In the case of power facilities, the first measurements are carried out in order to confirm the results of the calculation from the protection study or study. Special paradigms are expressed for a number of typical objects and statistical processing of the obtained results that focus on the absurdity of legislation. In medicine on the examples of diagnostic devices (ultrasound, MSCT and MR, frequencies up to 1500 MHz and magnetic field sizes over 45 T), the analysed possibilities of intelligent measurement results processing systems indicate the absurdity of repeated radiation implementation requirements despite relevant results and possibilities.

Keywords: electromagnetic, ionizing, field, radiation, device, ultrasound, MSCT, NMR

Franjo Jović, Želimir Kozlina, Alan Jović

Informacija o svrhovitim mehanizmima

Vlasnik informacije nema konkurenciju.
(*anonimni ekonomist*)

Sažetak: Entropija je povijesni inženjerski alat za izučavanje svrhovitih mehanizama, ponajviše strojeva s unutarnjim izgaranjem (otac i sin Carnot, 1803.), dakle pragmatičkih struktura koje za svoj rad koriste energiju i projektantsku inventivnost. U znanstvenoj praksi prvo je već pri samoj definiciji entropije 'nestala' svrhovitost strukture (Clausius, 1850.), zatim sama struktura stroja (Gibbs 1860.), onda razdioba energija (Boltzmann 1870.), a onda je nestala i materijalna podloga funkcioniranja procesa (Shannon 1948.). Ostao je samo vjerojatnosni prostor na kojem se prostire Shannonova entropija, koju je s dozom skepse sam Shannon proglasio teorijom informacije i s kojom je uspješni svijet ušao u četvrtu industrijsku revoluciju. S pojavom Carnapa (1956) ponovno je oživjelo istraživanje svrhovitosti struktura i informacije u prostoru i vremenu. No dohvatljivost materijalne supstancije i energije sklopova i uređaja potonula je u dovitljivost prakse gdje se entropija koristi samo u segmentima projekta i projektiranja opreme jer je cjelina računarski teško dohvatljiva.
Prikazana je na jednodimenzijskom prostoru zasnovana jednoznačna abecedna entropija koja je upotrebljiva u ciljnoj sintezi industrijskih postrojenja. U radu su osim povijesnog pregleda dani jednostavni primjeri i granice njezine primjene na Carnapovim zasadama. No Carnapov pristup prostoru i vremenu dao je, u načelu minimuma trenutne entropije, utemeljenost koja prelazi granice proučavanja strojeva i kodova i ima značaj za drugačiji pristup na klasičnoj fizici zasnovanih osnovnih zakona gibanja tijela i strukture svemira.

Ključne riječi: entropijski prostor, entropijske jedinice, izračun entropije

Uvod

Popularno je mišljenje da inženjeru u praksi treba poznavanje fizike. Tako se i školuje. Ništa manje točno od toga. Možda mu za 'kultiviranje i brušenje mozga' treba fizika, no za praksu inženjeru trebaju praktična znanja. A ona se

zasnivaju samo na praksi! To znači da netom diplomirani inženjeri nisu pripremljeni za praksu, što je zapravo dobro, jer bi inače njihova praksa izgledala prilično čudno. Naime oni bi, htjeli to ili ne, zastupali u pravilu zastarjelu tehnološku praksu svojih profesora.

Ono što je najvažnije za praksu su inženjerski osjećaj za mjeru, instinkt i širina pogleda. Dok se instinkt i širina pogleda mogu s praksom i godinama projektiranja poboljšavati, inženjerski osjećaj za mjeru može se poboljšati i jednim povijesnim pomalo zaboravljenim alatom koji se zove entropija. A zašto bi entropija mogla biti inženjerski alat? Ona razvija osjećaj za određivanje ciljne funkcije i u dobrom broju slučajeva daje i mogućnost njegove mjere. I sam fizičar Feynmann govori o entropiji kao o inženjerskom terminu[1].

No jedno je sam termin, a drugo je njegova primjena. Naime, u praksi se pojavljuju barem četiri 'glavne vrste' entropije: termička, rezidualna, Shannonova i Carnapova s mnoštvom podvrsta i desetak pojmova vezanih uz pojedinu od njih. Autor Shufeng Zhang smatra i dokazuje da termička entropija nije fizikalna veličina [1], dakle da nije fizikalno mjeriva veličina.

Povijesno se pojam entropije pojavio u vezi s praksom rada parnog stroja. Pojava parnog stroja promijenila je život u XVIII. stoljeću. Žargon, ideali i modeli drugačije vrste preplavili su društvo. Počela je neviđena ekspanzija društva, jer su osnovni proizvodni i transportni pogon, ograničenu ljudsku i tegleću snagu životinja, zamijenili strojevi. Parni stroj stekao je kultni status, a njegovo izučavanje bilo je ravno magiji. Jedan od pojmova koji se tad postupno kristalizirao i dodatno pridonio toj tajanstvenosti bila je entropija. Kao da je dosta od tog statusa ostalo i danas. No, je li zbog čvrste povezanosti s parnim strojem ili zbog njegova postupnog apstrahiranja u teorijsko-znanstvenoj uporabi, pojam entropije nije dovoljno praktično iskorišten, iako je žargonski čest.

Da bi se ovaj pojam mogao koristiti, potrebno je znati na što se referira i kako se interpretira. Tablica 1. daje pregled referentnog sustava, interpretacije i uobičajenog korištenja pojedine 'vrste entropije'. Navedeni su i glavni autori odnosno pokretači pojedinih ideja i razdoblje nastanka, te zablude.

Laici pojam entropije uglavnom ne koriste jer ga vjerojatno nedovoljno poznaju. No inženjeri ne bi smjeli provesti radni vijek kao projektanti, konstruktori, monteri i ispitivači uređaja, pogona i strojeva da taj pojam aktivno ne koriste. O čemu se tu radi? Entropija je kao ideja vezana na sustavno razmatran 'svrhoviti prostor uporabe' nekog sklopa, uređaja ili sustava, za njegovu konstrukciju i energetiku. Povijesno je entropija vezana uz proučavanje poboljšanja rada parnog stroja. Entropija u inženjerskom smislu primarno je vezana uz svrhovitost uređaja i opreme koju oni projektiraju, razvijaju, ugrađuju i puštaju u uporabu jer inženjeri projektiraju i razrađuju predmete isključivo svrhovite uporabne vrijednosti.

[1] U radu *Lectures on Physics*, dio 1, str. 44.12; Faynmann zanemaruje i rezidualnu entropiju.

Tablica 1.: Referentni sustavi glavnih ‘vrsta entropije’: glavni autori, referentni sustav, interpretacije, područje primjene i razdoblje nastanka[2]

Naziv	Termička entropija[3]	Rezidualna entropija	Kodna entropija	Prostorno--vremenska ciljna entropija[4]
Glavni autori	Clausius, Boltzmann, Gibbs	Giauque[5]	Shannon[6]	Carnap
Referentni sustav	termički sustav dvaju slobodnih rezervoara topline	termički sustav više spregnutih rezervoara topline na niskim temperaturama	komunikacijski kanal	fazni prostor tijela u mirovanju ili gibanju s ciljnom funkcijom
Interpretacije	učinkovitost korištenja i razmjene topline	strukturni defekti u prijenosu topline na niskim temperaturama	učinkovitost kodiranja i prijenosa kodova	mjera ispunjenja ciljne funkcije promatranog mehanizma
Vrsta procesa, primjer	termika slobodnih čestica – poput slobodnog plina	termika vezanih čestica – poput kristalne rešetke leda	razmjena podataka kodovima kao pri komunikaciji na kanalu	dinamika zauzimanja dijelova faznog prostora kao kod gibanja planeta
Uobičajeno korištenje termina	pri projektiranju termoenergetskih postrojenja	pri kristalografskim studijama poluvodiča	pri zaštiti u prijenosu i za ubrzanje prijenosa	pri projektiranju kinematike i dinamike sklopova i uređaja
Uobičajena zabluda laika	”mjera nereda”	nepoznati pojam	”mjera nereda”	nepoznat pojam
Razdoblje nastanka	≈ 1860. – 1920.	≈ 1930. –	≈ 1948. –	≈ 1956. –

Jedna od definicija termičke entropije je: “(termička) entropija je mjera broja specifičnih realizacija ili mikrostanja” [2]. Druga definicija utvrđuje da je entropija: “konfiguracija ili aranžman atoma i molekula u sustavu” [3]. Autor Popović [4] primjećuje da za razliku od definicije iz [3] definicija iz [2] rabi primjerenije riječi ‘mjera broja mikrostanja’ umjesto ‘konfiguracija ili aranžman’ za definiciju termičke entropije. ‘Konfiguracija ili aranžman’ riječi su primjerenije za rezidualnu, Shannonovu i Carnapovu entropiju. Treća je definicija ona iz kemijske termodinamike: “Kvalitativno, entropija je jednostavno neka

[2] Sve u prvom kvadrantu Kena Wilbera.

[3] Pojam je povijesno evoluirao iz područja toplinskih strojeva u područje kemijske termodinamike.

[4] Abecedna entropija kao jednodimenzijska izvedenica Carnapove entropije obrađena je kasnije.

[5] Vidjeti [2] Clayton, J., Giauque, W., The Heat Capacity and Entropy of Carbon Monoxide, J. Am. Chem. Soc. 1932, 54, 2610-2626.

6 zaslužan je i Weaver

mjera koliko se energija atoma i molekule više širi u proces" [5]. Ova je definicija sukladnija s Clausiusovom originalnom namjerom da poveže entropiju i energiju.

Budući da će detalji pojedinog pristupa biti razrađeni, postavlja se pitanje odakle toliki nesporazumi oko termina entropija? Odgovor je jednostavan: brzo širenje pojma na druga područja znanosti i zaluđenost društva toplinskim strojevima. Entropija se, dakle, kao pojam i analitički alat strelovitom, gotovo internetskom, brzinom proširio i na ona područja znanosti i tehnike u kojima njegova primjena zahtijeva oprez, besmislena je ili krajnje opasna. Sve je shvaćeno kao stroj: predmeti, pojave, procesi, bića i odnosi. Ova neshvatljiva i opasna opsjednutost XIX. stoljeća, zvana mehanicizam u filozofiji, nije ni danas prestala. Područja koja su imala najmanje koristi od entropije ona su gdje se pojava ili proces teže ili gotovo nikako ne mogu 'modelirati strojevima', a to su prije svega biologija, humanističke znanosti i ekonomija.

U radu će se razmotriti Carnapova entropija u klasičnom obliku: kao statička entropija prostor-vrijeme i kao dinamička ili trenutna entropija tijela u gibanju, odsječak 1. Dat će se kratak povijesni prikaz razvoja ideje entropije, odsječak 2., Carnapova abecedna entropija s primjerima, odsječak 3., te mogućnosti primjene entropije u drugim područjima znanosti, odsječak 4., i tehnologije, odsječak 5. U raspravi će se upozoriti na mogućnosti primjene ovog pristupa na konstrukcijama i projektima i iz područja nanotehnologije.

1. O Carnapovoj entropiji bez suvišnog uplitanja pojma energije

1.1. Revidirani pristup zamisli Carnapove topološke entropije

Ciljna ili teleonomska entropija razmatra entropiju pojedinačnih objekata u nekoj ciljnoj strukturi. Npr. entropiju rasporeda stolaca u učionici u svrhu uočavanja postignutog 'reda u učionici'. Mjera podjele prostora u tom slučaju određuje prostorne segmente Voronojeva dijagrama koje 'zauzimaju' pojedini predmeti[7]. Odnos veličina tih prostora i njihova razdioba prema traženoj ciljnoj raspodjeli 'reda u učionici' određuju trenutno stanje ciljne entropije. Teleonomsku entropiju prvi je izrazio filozof Rudolf Carnap (1956.). Ona obuhvaća izračun informacije u danom prostoru stanja prema informaciji željenog prostora stanja i dinamiku tog kretanja [6].

Rudolf Carnap (1956.) uveo je opći, *n*-dimenzijski prostor sustava koristeći sustavski prostor od *n* varijabli unutar teorijskih granica od R^{μ}, μ je u

[7] Georgij Voronoj (1868. – 1908.), ruski i ukrajinski matematičar

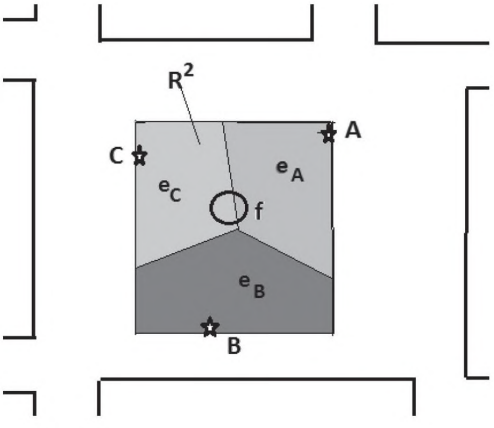
maksimumu jednak n. Svaka sustavska varijabla u_i u gornjem slučaju prostorne varijable X i Y dana je unutar svojih minimalnih i maksimalnih granica vlastitog prostora φ_i. Tako svaki dvo-, tro- ili više-dimenzijski prostor proizvodi pripadni Voronojev dijagram. Odgovarajući prostor e_j koji određuje neka ćelija u tom prostoru dan je za svaku mjernu točku $e_j\ b_j(u_{i1},u_{i2})$ kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednim ćelijskim mjernim točkama.

Povezivanja relativnog omjera svakog zauzetog prostora i teorijske granice mogućnosti njegova prostiranja, dvojni logaritam te relacije naziva se Carnapova entropija[8] [6]:

$$I_c = -\sum_j \frac{e_j}{R^\mu} \mathrm{ld} \frac{e_j}{R^\mu} \text{ (bit/volumen prostora stanja)} \qquad (1)$$

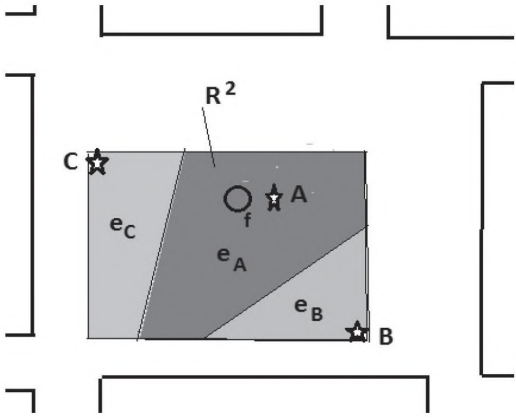
Vremensko-prostorna trajektorija sustava proizvodi dinamički Voronojev dijagram koji se može obilježiti i usporediti sa željenom teleonomskom trajektorijom sustava. Odatle Carnapova entropija može mjeriti entropiju teleonomskih sustava. Znajući da su svi tehnički uređaji ciljne namjene, onda je Carnapova entropijska mjera njihov prirodni informacijski alat.

Razmotrimo jednostavan primjer, slika 1., gdje je nadzorna kamera na većem trgu u jednom trenutku identificirala tri potencijalno opasne osobe, A, B i C. Zanemarimo li ostale osobe i ogradimo li njihov maksimalni prostor, zvan fazni prostor R^2 koji one obuhvaćaju te ga 'pravično podijelimo' među njima



Sl. 1.: Voronojev dijagram Carnapove entropije za situaciju kad tri potencijalno opasne osobe A, B i C eventualno planiraju odložiti nešto u fontanu 'f' na trgu; pripadni prostor je R^2, a potprostori e_A, e_B i e_C dobiveni su kriterijem najmanjeg razmaka prema susjednoj mjernoj točki (A, B ili C)

[8] Dok se Voronojev dijagram odnosi na općenitu pravilnost zauzimanja prostora, za Carnapovu entropiju to mora biti minimalni prostor rasprostiranja kinematičkih točaka tijela, odnosno ćelija, relevantnih za dani opis aranžmana okolnosti.



Sl. 2.: Ciljna situacija na trgu: osobe C i B očigledno su poslužile za odvlačenje pozornosti, a osoba A prišla je fontani; vidljive su razlike u udjelima u faznom prostoru sad prema onima na slici 1.

dobili smo Voronojev dijagram Carnapove entropije u dvije dimenzije za te osobe. Iz relativnog udjela faznih potprostora e_A, e_B i e_C u faznom prostoru R^2 mogli bismo izračunati određenu mjeru rasporeda praćenih osoba, zvanu Carnapova entropija, no zaključiti o nečemu možemo tek kad bismo znali kakav je dogovor među praćenim osobama, to jest što im je cilj.

Slika 2. prikazuje ciljnu situaciju kad osoba A prilazi fontani. Razvidna je promjena u podjelama faznog prostora R^2 prema slici 1. Ona odražava i u kontinuiranoj promjeni entropije prikazane scene. No istu entropiju dobili bismo ako bi se zamijenile uloge osoba, što upućuje na određene granice entropijskog opisa u smislu praćenja svrhovitosti situacije. No ako bismo znali cilj akcije terorista, entropija bi mogla biti egzaktno mjerilo izvršenja tog cilja čak i prije njegova izvršenja. Za dinamičke objekte brzine su ključne varijable stanja, koje proizlaze iz priče ili opisa konkretne situacije ili okolnosti samog aranžmana.

Ovdje uočavamo cjelinu priče koja se sastoji od četvorke: 1) konkretne vremensko-prostorne situacije ili 'aranžmana' (trg, ljudi, fontana, osobe potencijalni teroristi, fontana, kontrolne kamere), 2) 'apstrakcije' koja zanemaruje očigledno nevažne detalje(nevažne ljude, vrijeme dana, veličina trga, broj kamera ili radiouređaja…), 3) 'ciljne funkcije' potencijalnih terorista, skrivene ili poznate (ciljna funkcija nadzora i ljudi iza nje vrijedna je pretpostavka, ali o njoj se dalje ne vodi računa!) i 4) 'izračun' karakterističnog detalja zasnovan na Carnapovoj ideji prostor-vrijeme-objekt-cilj (ovdje je dovoljan položaj praćenih objekata u faznoj ravnini)[9].

[9] četvorka: (aranžman – apstrakcija – ciljna funkcija – izračun) podsjeća na Jungov kvaternion modela savršenosti, više u http://www.semioticon.com/virtuals/multimodality/mair.htm; konkretno je kvaternion kao uspješan model primjenjiv u fraktalima, molekularnom dokingu, strukturi DNK, kognitivnoj psihologiji, nebeskoj mehanici

Problem koji s nekim razlogom nije spomenut u Carnapovoj zamisli samog izračuna entropije jest slučaj jednakih mjernih veličina pri opisu stanja sustava i slučaj ekstremne redukcije dimenzija sustava na samo jednu dimenziju.

Važno je naglasiti da pitanje evaluacija slučaja višestrukosti točaka u prostoru stanja postoji kao stvarni prosudbeni problem. Razlog je stanje tehnologije studiranog automatiziranog proizvodnog procesa, često dugotrajno u jednom stanju procesnih varijabli, što izravno slijedi iz zahtjeva za vođenje sustava prema kvaliteti konačnog proizvoda. Dakle, takvo striktno stanje postoji i ono je ustvari i željeno stanje rada postrojenja u velikom dijelu rada konkretnih sustava.

Pokusom u praksi pokazano je da je jednodimenzijska Carnapova entropija[10] prikladna za jednoznačno određivanje entropije pojedinih mjernih mjesta u procesu (v. abecedna entropija [16]).

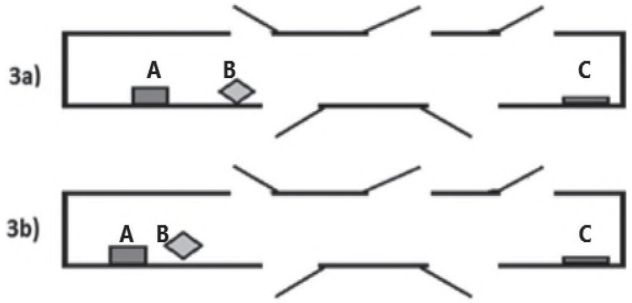
1.2. Carnapova entropija statičkih stvari i objekata

Počevši od projektnog zadatka inženjeri mogu pristupati razradi pojedinih detalja (poput statike, kinematike, dinamike, funkcije, energetike, zaštite) neke cjeline, spoja, ustroja, uređaja, sklopova i strujnih krugova koristeći ovaj tehnici tako sklon pojam. Entropija nekog detalja razrade jest i tiče se 'aranžmana okolnosti uporabe danog sklopa', uređaja ili sustava tako da se prilagođuje danoj svrsi. Karakterističan prostor neke uporabe naziva se i jest njegov 'fazni prostor'. Uobičajeni fazni prostor kod objekata, predmeta i kretanja jest stvarni prostor i prostor brzine kretanja ustroja ili njegovih dijelova, entiteta. Prostor je "svetinja" pri projektiranju i uporabi zgrade.

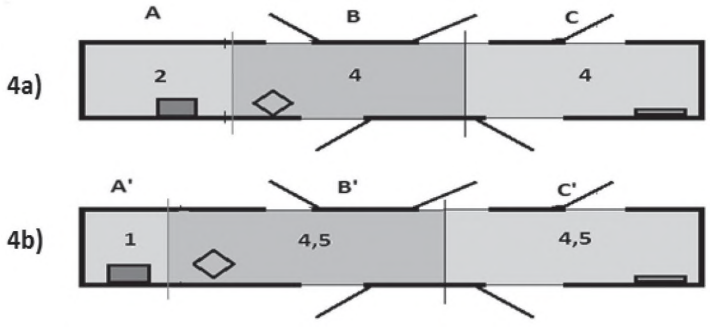
Temeljno pravilo Carnapove entropije jest da entiteti ustroja pravično dijele svoj fazni prostor, što u praksi projektiranja prostornih dimenzija zgrada često nije slučaj, jer ciljna funkcija korisnika i projektanta ne mora biti ista. U konačnici logaritam udjela prostora entiteta ustroja pomnožen s udjelom daje informacijski sadržaj udjela tog entiteta. Zbroj svih informacijskih sadržaja svih entiteta daje iznos entropije danog ustroja u danom faznom prostoru. No mjera je uvijek bit po jedinici volumena faznog prostora. Pokušajmo to ilustrirati jednostavnim primjerom.

Odredimo Carnapovu entropiju razmještaja predmeta na tlocrtu podužeg hodnika, dakle primjer iz arhitekture. Osnovno jest to da arhitekt prvo odredi što bi bila svrhovitost tog razmještaja iz čega slijedi i idealan razmještaj predmeta. Ovakav bi razmještaj prema iskustvu arhitekta omogućio, na primjer, najjednostavniju upotrebu hodnika od strane korisnika. No, često je razmještaj predmeta vrlo subjektivan. To, naravno, nije razlog entropiju proglasiti subjektivnim alatom!

[10] DNK spirala primjer je takve jednodimenzijske strukture.



Sl. 3.: Realni 3a) i idealni ili ciljni 3b) razmještaj triju predmeta u hodniku



Sl. 4.: Razdioba prostora u hodniku: točkasto su označene pozicije predmeta: 4a) realni slučaj, 4b) idealni slučaj; potprostori su osjenčeni

Tlocrt je prikazan slikom 3., gdje su predmeti: stolac A, stolić B i vješalica C prikazani pojednostavnjenom shemom. Slika 3a) daje trenutni stvarni, a slika 3b) idealni razmještaj predmeta u hodniku. Shema na slici 3. već je dovoljno dobra apstrakcija aranžmana.

Drugi korak u postupku određivanja entropije jest odrediti koji dio prostora entitet-predmet zauzima. Aproksimiramo li predmete točkama dobivamo sliku 4a) za idealni i 4b) za stvarni razmještaj. Na slici 4b) osjenčeni su pripadni potprostori koje zauzimaju predmeti u tlocrtu.

Treći je korak izračun proporcija koje entitetski potprostori zauzimaju. Izračunati podaci zauzeća dani su u tablici 2.

Četvrti je korak izračun entropije idealnog i trenutnog zauzeća hodnika namještajem. Entropija se računa kao zbroj svih parcijalnih udjela pomnoženih s logaritmom na bazi dvaju od tih udjela, dakle prema (1):

$$H = -\left(\frac{P_A}{P} \operatorname{ld} \frac{P_A}{P} + \frac{P_B}{P} \operatorname{ld} \frac{P_B}{P} + \frac{P_C}{P} \operatorname{ld} \frac{P_C}{P} \right), \frac{\text{bit}}{\text{m}^2} \qquad (2)$$

ili

$$H = -\left(-0,464 - 0,529 - 0,529\right) = 1,522 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$$

za realni razmještaj, ili:

$$H = -\left(-0,332 - 0,518 - 0,518\right) = 1,368 \frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$$

za idealni razmještaj predmeta u hodniku. Kao jedinica mjere pojavljuje se bit po kvadratnom metru iako je moguće iz proporcija zauzeća hodnika da bi to mogao biti i bit po dužnom metru.

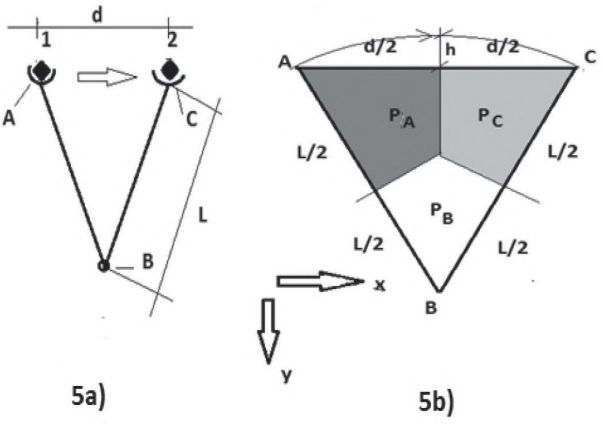
Entropija se povećala pomakom predmeta iz idealnog u realni slučaj. Entropija bi se još više povećala da su predmeti u hodniku zauzeli jednake prostore; tad bi bila 1,584 $\frac{\text{bit}}{\text{m}^2}$ hodnika. Iz ovog se ne može zaključiti o nekakvom 'redu ili neredu u hodniku', nego samo o mjeri trenutne podjele prostora među predmetima u njemu! Isto tako bi se zrcalne raspodjele razdioba pokazale s istom entropijom, što ne bi odražavalo ni u kojem slučaju mjeru zakrčenosti hodnika u stvarnoj uporabi. Isto tako, ni međusobno premještanje predmeta na istim pozicijama ne bi utjecalo na iznos entropije. Dakle, entropija ne bi trebala biti neko apsolutno nego relativno, ali dovoljno objektivno mjerilo uporabe tog prostora. Dakako, u kontekstu idealnog rasporeda predmeta u hodniku.

Tablica 2. Potprostori entiteta sa slike 4., udjeli i njihovi dualni logaritmi

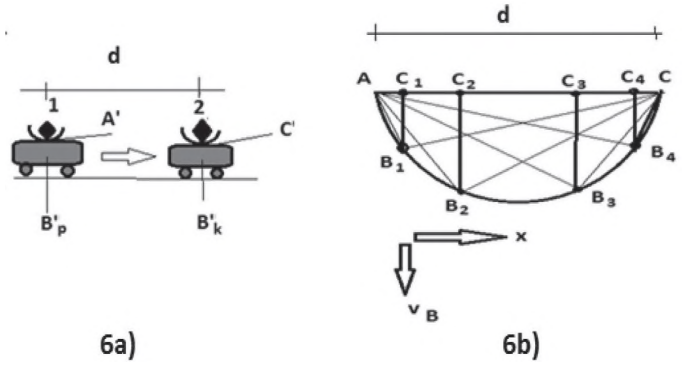
Realni razmještaj			
Entitet	Iznos potprostora u m^2	Udio potprostora	Dualni logaritam udjela
A	4	2/10	− 2,322
B	8	4/10	− 1,322
C	8	4/10	− 1,322
Idealni razmještaj			
Entitet	Iznos potprostora u m^2	Udio potprostora	Dualni logaritam udjela
A'	2	1/10	− 3,322
B'	9	9/20	− 1,152
C'	9	9/20	− 1,152

1.3. Trenutna Carnapova entropija stvari i objekata u gibanju

Da stvari s izračunom entropije nisu posve jednostavne zaključit ćemo već u slučaju idealiziranog prijenosa predmeta u prostoru. Pretpostavimo da se predmet prenosi iz položaja 1 u položaj 2 na dva načina: polužnim mehanizmom,



Sl. 5.: Prijenos tereta iz točke 1 u točku 2; kinematičke točke su A, B i C; prijenos se izvodi polužnim mehanizmom s dovoljno dugom polugom 5a); pripadna fazna ravnina je na slici 5b); zanemarene su brzine prijenosa i podizaj tereta *h*



Sl. 6.: Prijenos predmeta iz točke 1 u točku 2 na putu *d*; shema prijevoza, slika 6a) i fazna ravnina mehanizma prijevoza, slika 6b)

slika 5a) i kolicima, slika 6a). Priloženi su i pripadni fazni prostori pojedinog prijenosa, slike 5b) i 6b).

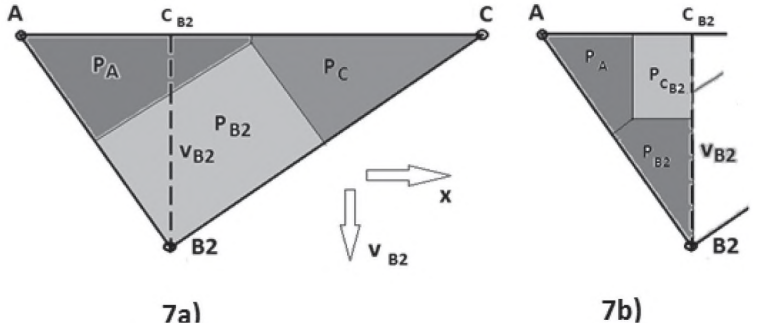
Prikaz faznog prostora za slučaj 5a) je na slici 5b). Slučaj prijevoza kolicima je na slici 6a), a fazni prostor za taj slučaj je na slici 6b). Međutim, fazni prostori na obje slike predstavljaju aproksimaciju stvarnog faznog prostora i ovdje je potrebna pozornost. U slučaju prijenosa polugom pretpostavljeno je zanemarenje brzine prijenosa i podizaja tereta *h*. Riječ je o određenim zanemarenjima koja su pretpostavljena zbog pojednostavnjenja, ali mogu zamagliti bit postupka.

O čemu je riječ? Osnovno je pitanje određujemo li entropiju cjelokupnog kinematskog prostora ili određujemo li tzv. trenutnu entropiju nekog ustroja

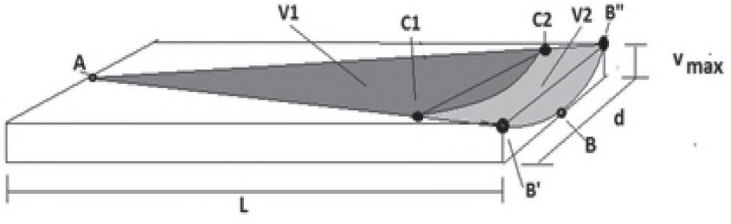
[12]. Prikaz na slici 5b) bio bi primjeren određivanju cjelokupne entropije, dok onaj na slici 6b) teži prikazu entropije u trenucima prijenosa predmeta u etapama, kad je brzina prijenosa redom $v_{B1}, v_{B2}, v_{B3}, i\, v_{B4}$.

Fazni prostor na slici 5b) pretpostavljen je ujedno bez brzina tereta koji se prenosi, dakle promatra se samo tzv. kinematski prostor gibanja polužnog mehanizma. Pritom je zanemareno stvarno gibanje koje je dio kružnog isječka, naznačeno strelicom na slici 5b. Na ovaj je način dobiven fazni prostor u obliku trokuta podijeljen na potprostore u obliku deltoida, P_A, P_B i P_C. Iznos entropije može se opet izračunati izrazom (2). Fazni prostor u slučaju 6b) bio bi promjenjiv jer bi se položaj projekcije točaka B1… B4 u faznom prostoru mijenjao prema fiksnim točkama A i C, slika 7. Fazni prostor koji bi uzimao u obzir i brzinu gibanja kolica imao bi stvarni oblik kao na slici 6b), odnosno entropija bi se mijenjala s pomakom kolica do sredine, a onda bi se usporenjem kolica vraćala na prvotnu vrijednost.

Probajmo odrediti neke iznose entropije za aproksimativne situacije sa slike 7. Prikazani su primjeri iz dvodimenzijske fazne ravnine. Povećamo li fizički prostor na dvije komponente u smjeru *x* i u smjeru *y*, a dodamo li brzinu tijela *v*, dobivamo trodimenzijski fazni prostor kao i za slučaj gibanja idealnog klatna s prikazom podjele prostora, slika 8.



Sl. 7.: Fazni prostor mehanizma kolica u točki C_{B2} s obzirom na ciljni položaj C, slika 7a); trenutna razdioba faznog prostora u istoj točki s obzirom na trenutni položaj kolica u C_{B2}, slika 7b)



Sl. 8.: Fazni prostor tijela u gibanju u dvije dimenzije prostora i jednoj dimenziji brzine, npr. klatna duljine *L*; *d* je maksimalni otklon klatna; *V*1 i *V*2 particije su faznog prostora jednakog volumena

1.4. Princip minimuma entropije

Princip minimuma entropije utvrđuje da se tijelo u gibanju ponaša tako da se nastoji očuvati na minimumu svoje entropije i entropije s njom povezanih tijela. Promotrimo sliku 9. kao detaljniju studiju slike 7b). Iz sastavnica faznog prostora sa slike 9. lako možemo izračunati da je trenutna entropija tijela u gibanju jednaka:[11]

$$H = \frac{ab}{4}\mathrm{ld}\frac{ab}{4} + 2\frac{ab}{8}\mathrm{ld}\frac{ab}{8}, \frac{\mathrm{bit\ m^2}}{\mathrm{s}} \tag{3}$$

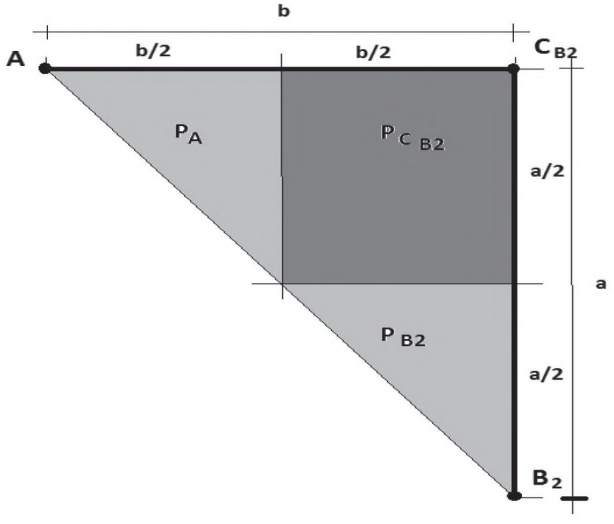
gdje su *a* i *b* pripadne sastavnice pomaka položaja i brzine tijela. Budući da su za trenutnu entropiju *a* i *b* jednaki *v*, onda je trenutna entropija tijela u gibanju:

$$H = \frac{v^2}{4}\mathrm{ld}\frac{v^2}{4} + 2\frac{v^2}{8}\mathrm{ld}\frac{v^2}{8}, \frac{\mathrm{bit\ m^2}}{\mathrm{s}} \tag{4}$$

Promjena entropije jednaka je:

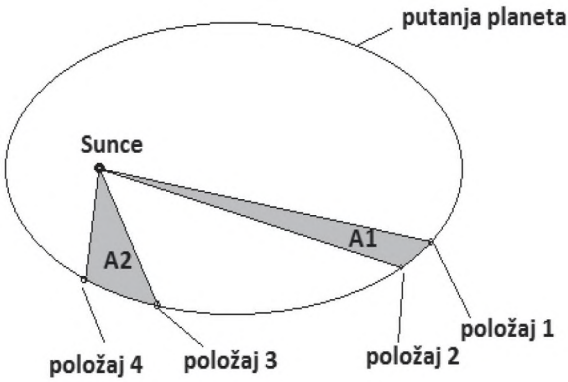
$$\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}v} = v + \frac{1}{2}\mathrm{ld}\frac{v^2}{2} + \frac{1}{2}\mathrm{ld}\frac{v^2}{4}, \frac{\mathrm{bit\ m^2}}{\mathrm{s^2}} \tag{5}$$

Slijedno (4) promjena entropije uslijedila bi zbog promjene brzine pa se stoga princip minimuma entropije poistovjećuje s principom pravocrtnog gibanja tijela u prostoru bez sila.



Sl. 9.: Trenutna entropija tijela u pravocrtnom gibanju, *b* je komponenta puta, *a* je komponenta brzine

[11] Ovdje nisu više udjeli nego fizikalne veličine pa nema ni negativnog predznaka! Slično kao kod Boltzmanna.



Sl. 10.: Položaji planeta u različitim situacijama: ako su vremenski razmaci između položaja 1 i 2 jednaki onima iz 3 i 4, onda su i fazni prostori A1 i A2 koje oni prekrivaju jednaki

Kad bismo uzeli da je tijelo koje se giba dio nekog gravitacijskog sustava, dobili bismo okolnosti jednake onima kao kod gibanja planeta, slika 10., koje izražavaju treći Keplerov zakon. Povećanje broja varijabli, dakle i faznog prostora iznad tri i složen kinematski prostor važna su ograničenja u praktičnim računalno egzaktnim istraživanjima entropije. Razlog je vrlo jednostavan. Ako svakoj varijabli faznog prostora odredimo preciznost podjele s razlučivošću od jednog promila, onda broj točaka za raspodjelu prostora među entitetima triju varijabli postaje jedna milijarda ili računski $10^3 \cdot 10^3 \cdot 10^3 = 10^9 = 1000000000$. Za deset varijabli to je nedostižnih 10^{30} razdiobnih točaka. Kad bi se uzimala u obzir kinematika i dinamika svih molekula jednog mola kojih ima 6×10^{23}, onda bi prostor stanja iznosio vrtoglavih $10^{3(18*10^{26})}$ jer bismo morali uzeti u obzir po tri komponente položaja i tri komponente brzine svake molekule. Pedanti bi mogli zamijetiti da rotacijske i emisijske energetske komponente molekula pritom nisu uzete u obzir. Stoga se i određivanju entropije fizikalno-kemijskih struktura ne može prići preko kinematike i dinamike pojedinačnih gibanja.

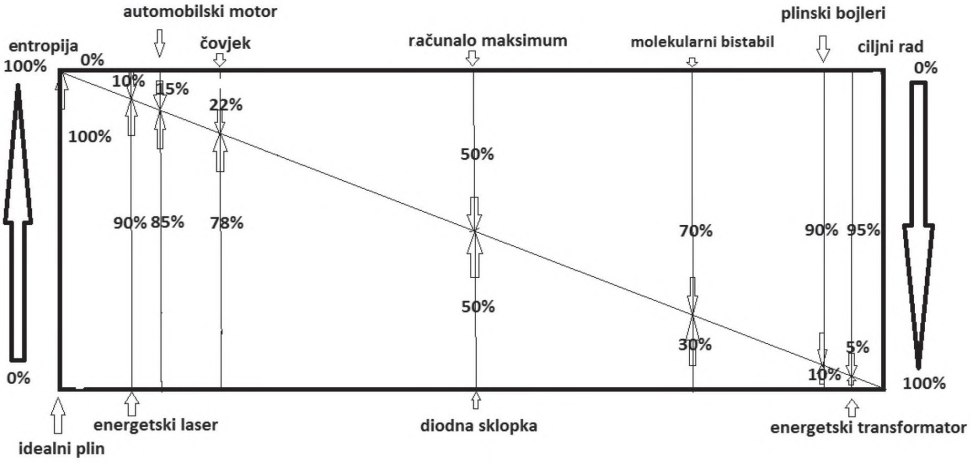
2. Kritičko-povijesni prikaz razvoja ideja entropije

Na temelju iznesenog uočavamo da određivanje entropije nije jednostavan ni možda uopće izvediv zadatak već i za vrlo elementarne projektantsko-konstrukcijske situacije. Toga izgleda nisu bili svjesni ni istraživači entropije, počevši s Rudolfom Clausiusom. On je studirajući termodinamiku parnih strojeva oko 1860. uveo pojam entropije da bi ga dovoljno razdvojio od pojma energije [7]. Promatrajući golemo rasipanje energije, koje i danas postoji kod parnih strojeva, mogao je 1867. izjaviti: *The energy of the universe is constant; the*

entropy of the universe tends to a maximum. Svemir, dakako, nije parni stroj i da je samo uzeo u obzir uredno slaganje galaksija u ravnine i planeta u ravninu oko Sunca mogao je bez problema aproksimativno izračunati da barem strukturne entropije galaksija i planeta ne teže maksimumu. No Clausius je imao posve drugo, 'izvanstrukturno' shvaćanje entropije. Ovakvih skrivenih proturječnosti i kod drugih utemeljitelja i istraživača entropije bilo je i ima ih u izobilju.

Naime, vrlo čudna kinetika mehaničkih sklopova parnog stroja dovela je još oko 1800. godine oca i sina Carnota do toga da se pobliže posvete konstrukciji mehanizama parnog stroja utemeljivši tzv. Carnotov ciklus parnog stroja [7, 8, 9, 10]. Clausius je skovao pojam entropije kao proširenu klasičnu termodinamičku varijablu, funkciju stanja koja bi se mogla pokazati korisna u karakterizaciji Carnotova ciklusa parnog stroja [7]. Poput energije, 'entropija' je za njega neka funkcija stanja termodinamičkog sustava, koji je određen i drugim varijablama stanja poput: iznosa masenih tvari (medija) u stroju, volumena stroja, temperature radnog medija, entalpije, unutarnje energije i tlaka medija. Entropija je po njegovu mišljenju trebala predstavljati mjeru one energije koja se ne može pretvoriti u koristan rad stroja kao zatvorenog sustava. Ovime je entropija mogla biti shvaćena kao suprotnost 'slobodnoj energiji' stroja koja se može pretvoriti u 'koristan rad' [11]. Slika 11. prikazuje ovakvo shvaćanje termičke entropije na primjeru različitih energetskih situacija i artefakata [12].

Clausius je razmatrao model Carnotova reverzibilnog stroja koji posjeduje dva rezervoara topline, zagrijani i hladni, i svojstvo da su omjeri prijenosa topline na zagrijanom dijelu stroja Q_z i prijenosa topline na hladnom dijelu



Sl. 11.: Udio termičke entropije i ciljnog rada u čovjeka, u pojedinom uređaju, mediju ili sklopu [12]

stroja Q_h proporcionalni temperaturi tih dijelova stroja T_z odnosno T_h prema relaciji:

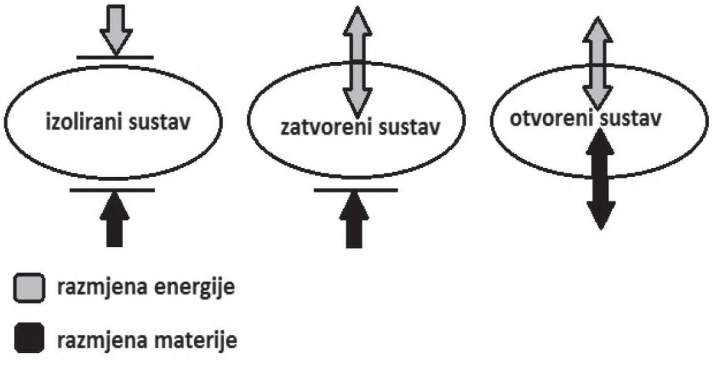
$$\frac{Q_h}{T_h} = \frac{Q_z}{T_z} \tag{6}$$

Omjer $\frac{Q}{T}$ po definiciji je promjena entropije ΔH za reverzibilni proces, tj.:

$$\ddot{A}H = \left(\frac{Q}{T}\right)_{rev} \tag{7}$$

gdje je Q prijenos topline pozitivan za ulazak topline u stroj, a negativan za izlazak topline iz stroja; T je termodinamička temperatura u kelvinima na mjestu odigravanja reverzibilnog procesa. Jedinica mjere su džul po kelvinu, tj. $\frac{J}{K}$. Entropija, dakle, ovisi o stanju procesa prijenosa topline između dvaju rezervoara topline i ako se istekom topline entropija toplog rezervoara smanjuje, ulaskom topline u hladni rezervoar ona se povećava. Kod reverzibilnog stroja prema izrazu (6) vlada ravnoteža toka entropija i ukupna promjena entropije jednaka je ništici.

Clausiusov općenitiji opis termodinamičkog sustava vezan je s okolinom sustava i prema njemu postoje: izolirani, otvoreni i zatvoreni termodinamički sustavi, slika 12. Evidentno se entropiju teško može iskazivati u otvorenom sustavu. A svemir je otvoreni sustav[12].



Sl. 12.: Izolirani, zatvoreni i otvoreni sustav: različite definicije zatvorenosti sustava za različita područja prirodnih znanosti i tehnike te društvenih znanosti

[12] Možda kao konačnost i nije, ali kao spoznatost jest.

Opći pregled glavnih otvorenih, zatvorenih i izoliranih područja promatranja dan je tablicom 3. Svaki od njih može biti u vlastitom tipu 'termodinamičke ravnoteže' ili 'neravnoteže', sam, unutar svojih dijelova ili prema okolišu.

Tablica 3.: Otvoreni, zatvoreni i izolirani sustavi tehnike i znanosti[13]

Područje promatranja	Otvoreni sustav	Zatvoreni sustav	Izolirani sustav
Klasična mehanika	mehanički sustav koji razmjenjuje energiju i materiju s okolinom[14]	ne razmjenjuje energiju s okolinom niti je predmet neke sile izvan sebe	ne razmjenjuje energiju niti materiju s okolinom niti je predmet neke sile izvan sebe
Termodinamika	izmjenjuje energiju i materiju s okolinom	izmjenjuje energiju s okolinom, no ne i materiju	ne izmjenjuje ni energiju ni materiju s okolinom
Kvantna fizika	izmjenjuje informaciju, energiju i materiju s okolinom	ne izmjenjuje energiju ni materiju s drugim sustavom	ne izmjenjuje informaciju ni energiju ni materiju s okolinom[15]
Kemija	razmjena reaktanata, proizvoda i energije s okolinom	nema razmjene reaktanata ni proizvoda, a slobodna je razmjena energije s okolinom[16]	nema razmjene reaktanata, proizvoda ni energije s okolinom
Biologija	slobodna je razmjena energije i materije s okolinom	ne postoje	ne postoje
Sociologija	slobodna razmjena ljudi, materije, energije i informacije s okolinom	kastinska društva	izolirane ljudske zajednice
Teorija sustava	postoji interakcija sustava i okoline	ne dopušta se interakcija sustava i okoline	ne postoje
Tehnički artefakti	neodređenost prilagodbe funkcijske uporabe[17]	određenost funkcijske uporabe ovisna o tipu zatvorenosti	determiniranost rada unutar nekog vremenskog razdoblja
Geologija	postoje samo u povijesnom smislu	određeni su geološkim povijesnim procesima	idealizirani geološki procesi

[13] Pregled odstupa od AQAL teorije Kena Wilbera.

[14] Okolina može biti i drugi sustav.

[15] Malo neobično jer takav sustav teško da postoji u kvantnoj fizici.

[16] Za termički neovisne reakcije.

[17] Stupanj prilagodbe ovisi o brzini razmjene energije, materije i informacija s okolinom.

Clausiusu je bila posebno zanimljiva klasa sustava koja postiže stanje termodinamičke ravnoteže kao idealizirani Carnotov model [13, 14]. Termodinamičko stanje definirano je svojim varijablama. Svaka promjena neke varijable dovodi do promjene termodinamičkog stanja. Ovo se naziva termodinamički proces. Termodinamički proces može se karakterizirati po tome na koju se varijablu utječe: npr. izotermalnu, izobaričku, izoentalpičnu i sl., te opisati kao reverzibilne ili ireverzibilne s obzirom na to jesu li u energetskoj ravnoteži s okolinom.

Reverzibilni proces idealizirana je procesna situacija stroja i nastupa samo u nekoj infinitezimalno maloj promjeni nekog svojstva stroja kad je razmjena energije između stroja i okoline jednaka u oba smjera. To je granično stanje stroja jer zahtijeva neograničeno vrijeme za postizanje ravnoteže stroja i okoline, odnosno ravnoteže dvaju rezervoara topline [13, 14]. Tad se iz male promjene energije računa mala promjena stanja stroja kao termodinamička entropija, tj. prema [4]:

$$S = S_0 + \int_{T=0}^{\tau} \frac{Q_p}{T} \mathrm{d}T \tag{8}$$

Termodinamička entropija računa se kao zbroj S_0 rezidualne ili rasporedne entropije (‘zakočene’ kinematičke entropije) i termičke entropije zbog termički prouzročenog kretanja čestica [4]. Q_p je toplinski kapacitet stroja na stalnoj temperaturi T. Rezidualnu entropiju posebno je razmatrao Giauque [2, 4] kao vrlo zanimljivu za studij kristalnih struktura pri niskim temperaturama.

Treći zakon termodinamike, koji postulira da je rezidualna entropija na termodinamičkoj ništici jednaka ništici, međutim, zanemaruje ‘zakočenu’ kinematičku i strukturnu komponentu entropije na ‘sobnoj temperaturi’ te tako posredno zanemaruje konstrukcijsku komponentu stroja. To čini prostorni raspored dijelova stroja entropijski posve irelevantnim, jer apodiktički izbacuje sve rasporede kristalnih struktura u njegovoj materijalnoj konstrukciji. Ovime je i stvarna struktura stroja i formalno izbačena iz pojma i računa termodinamičke entropije.

Put izračuna entropije koji je zauzeo Boltzmann bio je još apstraktniji jer je vodio preko stohastičke entropije gdje je pretpostavio da se u sustavu nalazi barem jedan mol medija. Uz pretpostavku jednake vjerojatnosti zauzeća energetskog stanja svake od 10^{23} molekula dobiva se izraz za entropiju izoliranog sustava u termodinamičkoj ravnoteži preko Boltzmannove raspodjele energija u mediju [4] kao

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{k} \ln \boldsymbol{W} \tag{9}$$

gdje je W broj različitih mikroskopskih stanja na raspolaganju sustava uz dano makroskopsko ograničenje poput fiksne ukupne energije. Ovime su povezani

mikroskopski detalji ustroja medija ili mikrostanja sustava preko *W* s makroskopskim stanjem opisanim entropijom *H*. U Boltzmannovo vrijeme, međutim, medij nije imao materijalnu čestičnu podlogu jer je nisu poznavali, pa je materijalna podloga nastupila tek krajem XIX. i početkom XX. stoljeća preko Plancka. Tad je i određena Planck-Boltzmannova konstanta proporcionalnosti:

$$k = 1{,}380649\times10{-}23\ \frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{K}} \tag{10}$$

Ona povezuje statističku mehaničku entropiju i klasičnu Clausiusovu termodinamičku entropiju preko izraza:

$$\boldsymbol{\Delta H} = \int \frac{\boldsymbol{\Delta Q}}{\boldsymbol{T}} \frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{K}} \tag{11}$$

Konstanta k je 2018. godine proglašena jednom od sedam fundamentalnih mjera materijalnog svijeta. Promatrano makroskopski, entropija se u klasičnoj termodinamici interpretira kao funkcija stanja termodinamičkog sustava. Funkcija stanja ovisi samo o zatečenom stanju stroja neovisno o tome kako je ono postignuto. U bilo kojem procesu gdje sustav odaje energiju ΔQ i čija se entropija smanjuje za ΔH, iznos te energije od barem $T_{ok}\Delta Q$ mora se predati okolini kao neiskorištena toplina, pri čemu je T_{ok} temperatura okoline stroja. Inače se proces ne može dalje odvijati. U klasičnoj termodinamici entropija sustava definira se samo za termodinamičku ravnotežu sustava i okoline. Shvaćena termodinamički, entropija je gubitak dijela energije u procesu koji nije raspoloživ za izvedbu korisnog rada. Drugi pogled na to govori da je ukupna entropija zatvorenog sustava ili u porastu ili granično konstantna. U reverzibilnom procesu entropija je zanemariva.

Izbacivanje termodinamike iz izraza (9) vodi dalje na ideju Shannonove entropije koja je definirana za dvojni logaritam, tj. na izraz:

$$\boldsymbol{H'} = -\mathbf{ld}\boldsymbol{W},\ \frac{\boldsymbol{bit}}{\boldsymbol{prostor}(\boldsymbol{W})} \tag{12}$$

koji vrijedi za jednake vjerojatnosti zauzimanja svih W stanja, gdje je dimenzija bit po prostoru W. Ona jednostavno znači da neki stroj s četiri jednako vjerojatna stanja ima entropiju dva bita, $\mathbf{ld}\,4 = 2$. Jesu li to 'ozbiljna stanja' vašeg dizelskog stroja ili je to ruleta s četverostranom piramidom, Shannonu je posve svejedno. Struktura stroja, medij koji ga pogoni, učinkovitost energije koju troši i cilj kojem teži kao da su nestali u zadnjih 160 godina istraživanja entropije. Ono iz čega možemo izvući informaciju jest kontekstni opis postupka koji smo izvodili pri određivanju stanja spomenutog stroja: je li to vremenska razdioba rada cilindara, vršni tlak u cilindrima ili količina CO po pojedinom cilindru. Tek tad možemo početi govoriti o informaciji.

Međutim, za nejednako vjerojatna stanja, formula (11) mora se prilagoditi tako da uzima svaku vjerojatnost nekog stanja kao parcijalni doprinos ukupnoj entropiji pa Shannonova entropija zapravo glasi [15]:

$$\boldsymbol{H} = -\sum_{1}^{W} \boldsymbol{p}_i \mathbf{ld} \boldsymbol{p}_i, \ \frac{\boldsymbol{bit}}{\boldsymbol{stanje}} \tag{13}$$

gdje je W ukupan broj stanja, a p_i je vjerojatnost zauzetosti i-tog stanja. Za razliku od prethodnih entropija, Shannonova entropija primijenjena na razdiobe vjerojatnosti komunikacijskih kodova i zalihosti pri 'ekspanziji kodnog prostora' dovela je do znatnog napretka u teoriji i praksi telekomunikacija, posebno u pouzdanom i brzom prijenosu podataka. Naime, ako kodnu riječ od deset bitova koja sadrži 1024 različite kodne riječi proširite na dvadeset bitova, onda se te kodne razlike prošire u prostor gdje je svaka kodna riječ prosječno raspršena između 1024 koda koja nisu iz kodnog skupa. Vjerojatnost ispravnog prijma na komunikacijskom kanalu tad raste eksponencijalno s linearnim povećanjem duljine riječi, jer se moguće greške u prijenosu lako detektiraju i isprave. A to je bit današnje ekspanzije tehnički sigurnih računalnih komunikacija.

3. Entropija i informacija komunikacijskog kanala, abecedna entropija

Komunikacijski kanal sastoji se od izvora, prijenosnog medija i primatelja (korisnika). Informacijski komunikacijski kanal može se opisati kodovima poruka ili znakova, koji su ekvivalenti stanjima Boltzmanna, koji se stvaraju na izvoru, prenose prijenosnim medijem i primaju na strani korisnika. Glasovne, pisane ili slikovne poruke danas su u komunikaciji zamijenili dobrim dijelom digitalni signalni kodovi koji su u pozadini računalne komunikacijske stvarnosti. Samo u prijenosnim komunikacijskim medijima oni imaju prirodni analogni karakter koji se očituje u električnim i elektromagnetskim signalima na električkim komunikacijskim medijima ili fotonima u optičkim medijima.

Shannon je izučavao entropiju kodnih znakova na komunikacijskom kanalu koristeći samo vjerojatnosti ili praktički učestalosti kojima se oni pojavljuju. Kodovima koji se češće pojavljuju i imaju veću vjerojatnost pridijelio je manju važnost, a kodovima koji se rjeđe pojavljuju i imaju manju vjerojatnost pridijelio je veću važnost. Osnovnu mjeru važnosti koda odredio je za binarni ishod pravičnog bacanja novčića kad s jednakom vjerojatnosti bude ishod pismo (binarna jedinica) ili glava (binarna ništica). Svakom takvom događaju pridijelio je entropijsku mjeru od jednog bita po takvom događaju, čija je vjerojatnost jednakih udjela jednaka 1/2 pa fazni prostor ima dva jednaka entitetska prostora:

$$\boldsymbol{H} = -\left(\frac{1}{2}\mathbf{ld}\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\mathbf{ld}\frac{1}{2}\right) = 1\frac{\boldsymbol{bit}}{\boldsymbol{događaj}} \tag{14}$$

Kodove i njihovu entropiju Shannon je 1948. godine znatno unaprijedio sustavno uvodeći zalihost ili dodatne bitove danog signala u kodni prijenos. Tako bi, na primjer, utrostručenjem znaka jedinice i znaka ništice dobio mogućnost 'glasanja' na prijamnoj strani i tako smanjio mogućnost pogrešnog prijma koda. Ovime je omogućio ostvarenje sigurnog prijenosa do granice prijenosnog kapaciteta medija, odnosno do granice mogućnosti rada sklopova koji prate prijenos kodnih signala u medijima.

Ono što Shannon nije riješio bilo je: ciljnost komunikacije, značenje komunikacijskih kodova i praktičnost komunikacije. Drugim riječima, nije niti pokušao riješiti mjeru svrhovitosti slanja nekog koda za izvor i korisnika, dakle apobetike (teleonomije), niti mjeru praktičnosti dobivanja kodova za ostvarenje komunikacijskog cilja, dakle pragmatike, niti sadržajnu smislenost ili značenje pojedinog koda, dakle semantike za izvor i korisnika. Ono što je podrazumijevao jest da izvor i prijam imaju istu semantiku poslanih znakova, ali kakvu nije mu bilo relevantno. Shannon je ovime uspješno riješio pitanje kodne sintakse.

Današnja tehnologija interneta osoba i stvari, četvrta industrijska revolucija i popratne brze telekomunikacijske tehnologije zvane peta generacija zahtijevaju u svojoj primjeni, na primjer na internetu stvari (engl. *internet of things*), rješavanje zadataka semantike, pragmatike i apobetike.

Carnapova entropija pokazala se upotrebljivom upravo za rješavanje pitanja apobetike, dok su zadaci semantike i pragmatike zasad zapostavljeni. Kako Carnapova entropija pristupa rješavanju zadatka apobetike možemo prikazati na jednom primjeru. Pretpostavlja se jednostavan zadatak: neka struktura ima izgled A, ali je kodno opisana kao struktura A', kao kad bismo 3D strukturu kaputa opisali mjerenjima duljine pojedinih dijelova, poput rukava, opsega ramena i struka. Opisi pripadne strukture mogu se, dakle, izvesti mjerenjima u više koraka. No svaki se mjerni signal može postupkom Δ-modulacije, ternarnim kodiranjem i uzimanjem triju uzastopnih promjena prikazati abecedom iz tablice 4. Prikaz neekspandiranog i ekspandiranog znaka B iz tablice 4. dan je na slici 6. Neekspandirani znakovi kojih je dio prikazan u tablici 4. ne posjeduju jedinstvenost entropije i neupotrebljivi su za primjenu entropije. Isti signali, ali s ekspandiranim kodovima, prikazani u tablici 5., imaju jednoznačnu entropiju i pogodni su za potpuni informacijski opis procesa.

Potpuna abeceda D-moduliranog signala ima 27 znakova, jer se tri kodna položaja mogu kodirati na tri načina iz skupa {+, 0, −] te nastupa $3^3 = 27$ kodova. Abecedna entropija primijenjena je na detektiranje skrivenih defekata u radu keramičkih preša i peći koristeći identičnost signala kontrole kvalitete i procesnih signala pojedinih strojeva, pri čemu je procijenjena dobit od oko 1,5 % manje škarta na postrojenju keramičke peći i keramičke preše [16].

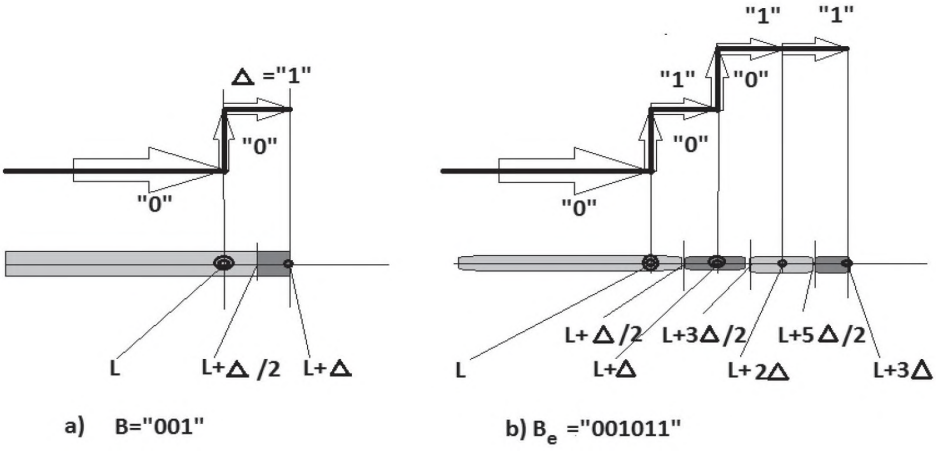
Tablica 4.: Ternarni kod i tok signala za četiri uzastopna mjerenja; razdioba uzoraka mjerenja, jednadžba teselacijske entropije i entropijske jednakosti kodova: L je početna razina signala, Δ je jedinični modulacijski skok; oznake A* i B* odnose se na skraćeni prikaz izraza koji prethodi logaritmu; potpuni prikaz abecede dan je u [16]

Kod i tok signala	Razdioba uzoraka signala	Jednadžba teselacijske entropije	Entropijske jednakosti
A = 0 0 0	$4L$	$I = 4L/L \log_2 L/L = 0$	A
B = 0 0 +	$3L$, $(L + \Delta)$	$I = 3(L + \Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 A^* + (\Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 B^*$	B = H = Q
C = 0 0 −	$(L - \Delta)$, $3L$	$I = 3(L - \Delta/2)/L \log_2 A^* + (\Delta/2)/ L \log_2 B^*$	C
D = 0 + 0	$2L$, $2(L + \Delta)$	$I = 2(L + \Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 A^* + 2(\Delta/2)/(L + \Delta) \log_2 B^*$	D
E = 0 – 0	$2(L - \Delta)$, $2L$	$I = 2(L - \Delta/2)/L \log_2 A^* + 2(\Delta/2)/ L \log_2 B^*$	E = O = Z
F = 0 + +	$2L$, $L + \Delta$, $L + 2\Delta$	$I = 2(L + \Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 (A)^* + (\Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L + 2\Delta) \log_2 C^*$	F

Tablica 5.: Puna ekspanzija mjernog signala s tablice 4.: dodane su razlike prvog i drugog te prvog i trećeg kodnog uzorka; prikazane su dobivene razdiobe uzoraka signala i pripadne entropije u jednoj dimenziji razvoja koda: L je početna razina signala, Δ je jedinični modulacijski skok; oznake A* i B* odnose se na skraćeni prikaz izraza koji prethodi logaritmu; potpuni prikaz abecede dan je u [16]

Kod	Potpuna ekspanzija toka signala	Razdioba uzoraka signala	Jednadžba teselacijske entropije
A	000000	$6L$	0
B	00+0++	$2L$,$2(L+\Delta)$,$L+2\Delta$,$L+3\Delta$	$2(L +\Delta/2)/(L+3\Delta)\log_2 A^* +3\Delta/(L+3\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+3\Delta) \log 2 \cdot C^*$
C	00-0--	$L - 3\Delta$,$L - 2\Delta$,$2(L - \Delta)$,$2L$	$(L - (5/2)\Delta)/L \log_2 A^* +3 (\Delta/L) \log_2 B^* + 2((\Delta/2)/L) \log_2 C^*$
D	0+0+++	L,$2(L+\Delta)$,$L+2\Delta$,$L+3\Delta$,$L+4\Delta$	$(L +\Delta/2)/(L+4\Delta)\log_2 A^* +4(\Delta/(L+4\Delta)) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+4\Delta) \log_2 C^*$
E	0-0---	$L - 4\Delta$,$L - 3\Delta$,$L - 2\Delta$,$2(L - \Delta)$,L	$(L - (7/2)\Delta)/L \log_2 A^* +4 (\Delta/L) \log_2 B^* + (\Delta/2)/L \log_2 C^*$
F	0+++++	L,$L+\Delta$,$L+2\Delta$,$L+3d$-L,$L+4\Delta$,$L+5\Delta$	$(L +\Delta/2)/(L+5\Delta)\log_2 A^* +4\Delta/(L+5\Delta) \log_2 B^* + (\Delta/2)/(L+5\Delta) \log_2 C^*$

Probajmo primijeniti ovaj jednodimenzijski postupak opisa strukture na određivanje mjere odstupanja oblika molekule etana sa slike 14., gdje su dane Neumannove projekcije dvaju oblika etana. Tablice 6. i 7. daju 3D topološke podatke za dvije konformacije etana: 'klimavu' i 'zaklonjenu'. Slika 14. daje *XY* projekciju obiju konformacija etana, a tablica 8. daje opis obilaska strukture etana za obje konformacije, pripadne kodove abecedne entropije i same iznose entropije.



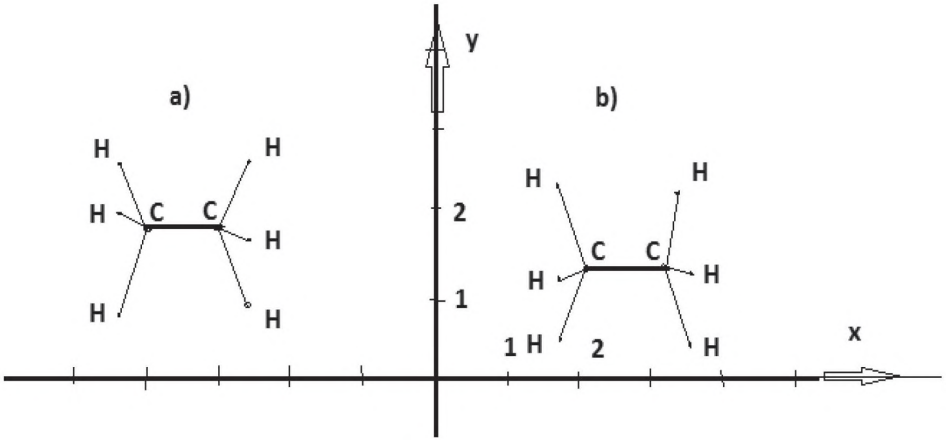
Sl. 13.: Prikaz entropijskih segmenata znaka B iz tablice 4. i ekspandiranog znaka B iz tablice 5. Projekcija na os *x* prikazuje pripadne fazne potprostore: dva na slici 13a) i četiri na slici 13b), L je iznos prvog uzorka mjernog signala

Tablica 6.: 3D topološki podaci 'klimave' konformacije etana, u angstremima

Naziv atoma	Položaj *x*	Položaj *y*	Položaj *z*
C	−4,045	1,759	0,000
C	−2,975	1,759	0,000
H	−4,402	0,832	−0,399
H	−4,402	2,568	−0,603
H	−4,402	1,877	1,002
H	−2,618	1,641	−1,002
H	−2,618	0,950	0,603
H	−2,618	2,686	0,399

Tablica 7.: 3D topološki podaci 'zaklonjene' konformacije etana, u angstremima

Naziv atoma	Položaj *x*	Položaj *y*	Položaj *z*
C	3,194	1,390	0,000
C	2,124	1,390	0,000
H	3,385	2,379	−0,491
H	3,569	1,376	0,964
H	3,661	0,476	−0,692
H	1,768	1,339	1,007
H	1,768	2,289	−0,459
H	1,767	0,544	−0,548



Sl. 14.: *XY* projekcija a) 'klimave' i b) zaklonjene konformacije etana; sve mjere u angstremima

Tablica 8.: Abecedna entropija potpunog obilaska veza strukture etana – ciklički obuhvat razmaka atoma za zasjenjenu konformaciju – obilazak veza od a do h izveden je u oba smjera

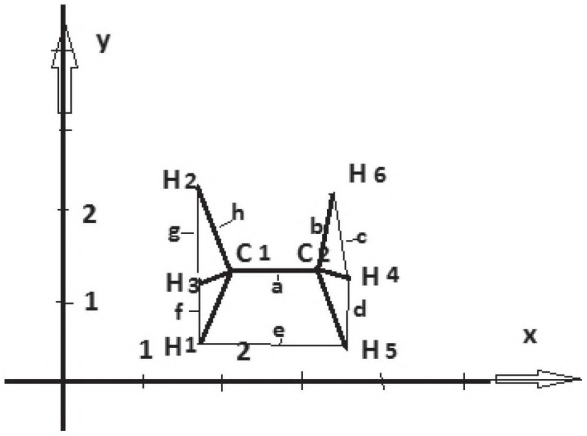
Veza atoma	Oznaka veze[18]	Razmak zasjenjeni etan[19]	Abeceda zasjenjeni etan[20] ↓	Abeceda zasjenjeni etan ↑[21]	Abecedna entropija zasjenjeni etan ↓	Abecedna entropija zasjenjeni etan ↑
C1−C2	a	1,070	Y(− − +)	Z(− +−)	2,988	2,248
C2−H6	b	1,069	Z(− +−)	V(+− +)	2,260	2,190
H6−H4	c	1,746	V(+− +)	AA(− ++)	2,098	2,410
H4−H5	d	1,747	AA(− ++)	U(++−)	2,316	1,684
H5−H1	e	1,620	U(++−)	V(+− +)	1,533	1,606
H1−H3	f	1,933	V(+− +)	Z(− +−)	1,182	0,821
H3−H2	g	1,887	Z(− +−)	W(+− −)	1,519	3,726
H2−C1	h	1,044	W(+− −)	Y(− − +)	3,004	2,895

[18] oznaka veze prikazane slikom 15

[19] sve su mjere u angstremima

[20] lijevi vijak očitavanja

[21] desni vijak očitavanja



Sl. 15.: Opis veza strukture etana iz tablice 8.

4. Primjene entropije u opisu mehanizama u drugim granama tehnike i znanosti

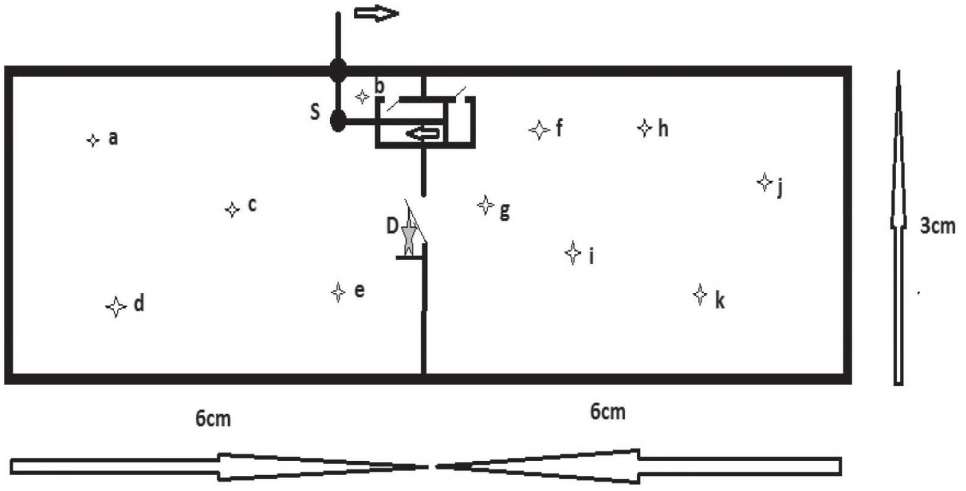
4.1. Primjena na Maxwellovu demonu

Entropija je imala 'zvjezdane trenutke' i u nekim drugim znanstvenim i tehničkim disciplinama: u fizici omogućava sve moguće rasprave i teorije, uključujući i mogućnost da Maxwellov demon ipak poništava drugi zakon termodinamike [17]. Dopušta se i vrlo razložna rasprava Landauerova principa22 da poništenje n bitova informacije traži trošenje $\boldsymbol{kT}\ln(2\boldsymbol{n})$ džula energije. Landauer je to razložno postavio, jer razmatra smanjenje entropije kao funkciju smanjenja veličine faznog prostora, što je očigledna činjenica.

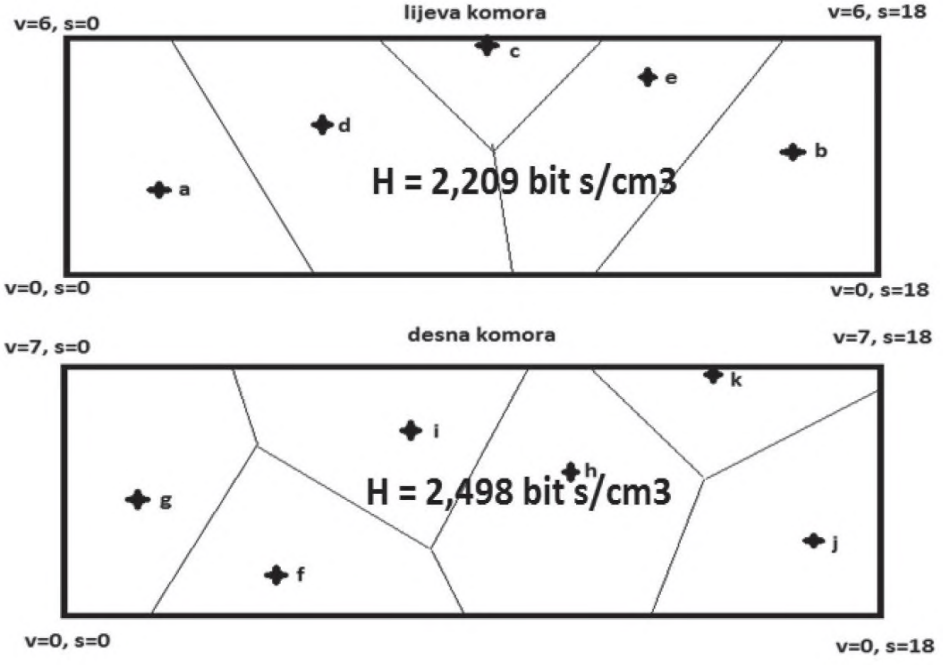
No, argument u radu [17], gdje jednomolekularni Maxwellov stroj posjeduje entropiju postulativno je neispravan, jer ako jedna komora Maxwellova stroja nema materijalne točke, onda je i njezina entropija jednaka ništici (ln 0 = 0), a jedna materijalna točka u drugoj komori ima isto tako entropiju jednaku ništici (ln 1 = 0). Dakle, zamišljen je stroj bez izračunjive entropije koji ne može biti argument za poništenje entropije.

Međutim, ako bi postojao stroj s kvantno spregnutom informacijom u svojoj okolini, on bi dopuštao klasičnu uporabu računala s padom a ne porastom entropije, dakle mogli biste koristiti računalo i istodobno hladiti njegovu

[22] Landauerov princip postulira da je minimum energije potreban za poništenje jednog bita informacije jednak E = kTln 2 i da se isti iznos energije mora disipirati u okolinu stroja koji se resetira.



Sl. 16.: Maxwellov demon kao višečestični ustroj: demon D otvara vrata težeći povećanju neravnoteže energija između komora; stroj S izvodi iz toga traženi rad i tako potencijalno zaobilazi drugi zakon termodinamike



Sl. 17.: Trenutni fazni prostor Maxwellova demona sa slike 16. Pretpostavljeni su ekvidistantni položaji čestica da se ne bi ulazilo u višedimenzijski izračun entropije!

okolinu [18]. Ovo znači da bi resetiranjem niza bitova koji su kvantno spregnuti mogli na spregnutoj strani, u principu u okolini stroja, postići rast energije, dakle pad entropije [7].

Primjer pojednostavnjenog izračuna Maxwellova demona bez kvantne spregnutosti dan je na slici 16. [12]. Trenutni fazni prostor i Carnapove entropije Maxwellova demona dani su za obje komore na slici 17.

Ne samo što su pretpostavljali postojanje entropije jednog tijela ili entropije bez tijela, fizičari su razradili i pojam 'negativne entropije'. Schrödinger je tako prvi uveo pojam 'negentropija' kao entropije uzete s negativnim predznakom $H < 0$ [19]. Ovo vrlo jasno demonstrira kako duboko može biti nerazumijevanje fizikalno-strojne prirode entropije. Ustvari, entropija je 'poput energije' nenegativna veličina s nenegativnim svojstvima prema trećem zakonu termodinamike [20-22] i prema Clausiusovoj definiciji [7-9], ali nije energija. Tu fizika očito još nije napravila neki spoznajni napredak.

4.2. Primjena u fizikalnoj kemiji

Fizikalna kemija našla je u entropiji 'svoj alat iz snova' [1]. To si možemo lako predočiti ako atome i molekule shvatimo kao male univerzalne strojeve – strukturirane za međusobnu ugradnju i nadopunjavanje i ujedno kao dinamička tijela s tri glavne energije: translacijskom, rotacijskom i vibracijskom. Takvi 'mali strojevi' mogu razmjenjivati energiju i pokretati stvaranje novih spojeva ili se razlaganjem opet pretvarati u učinkovite izvore energije. Naravno, ovdje je entropija zamišljena kao nešto što se odigrava između najmanje dva takva entiteta, atoma ili molekule. Razmotrimo slučaj izračuna prostorne entropije molekule etana, podaci iz tablica 6. i 7. [21].

Molekula etana posjeduje dvije konformacije: klimavu i zaklonjenu, slika 12. Podaci korespondentnih Carnapovih entropija računaju se iz položaja atoma vodika i ugljika danih u tablici 6. za klimavu i u tablici 7. za zaklonjenu konformaciju. Topološka trodimenzijska entropija klimavog etana jednaka je 2,8389 bit/angstrem^3 odnosno 2,8389 10^{30} bit/m^3, a ona zaklonjene konformacije jednaka je 2,6990410^{30} bit/m^3. Međutim, izračun Carnapove entropije molekule etana s većim brojem varijabli od tri bio bi gotovo nepremostiva računalna prepreka.

4.3. Ostale primjene

Kozmologija nije puno profitirala od entropije. Ona se naoko bavi puno zamršenijim pitanjima: neodržavanje principa konstantnosti ukupne energije [23], princip superstruna na horizontu univerzuma, suprotnosti evidencija

pomaka spektra i teorije velikog praska i sl. [24]. Jednostavne konstelacije svemirskih tijela koje upućuju na minimum entropije u njihovoj strukturi očito im izmiču pozornosti. Evidentna težnja svemira i njegovih konstitutivnih elemenata galaksija da se prostiru dominantno u dvije dimenzije, dakle, da teže lokalnom minimumu entropije nisu se uklapale u promišljanja. Još manje je unaprijeđena biologija. Dapače! Jedan mehanicistički model starenja, zasnovan na termodinamičkoj entropiji odnosno potrošnji energije vježbom i duljini života, tipičan je takav promašaj. Pokazuje da je krajnje mirovanje, dakle potpuno izbjegavanje vježbanja povoljno za povećanje očekivane životne dobi [25], što je izvan svake pameti i znanstvenog poštenja.

Drugi primjer gdje se proučava ekspanzija molekule nakon prolaza kroz otvor u staničnoj membrani primjer je kinematskog opisa dinamičkog staničnog mehanizma [26].

Primjena u ekonomiji može se najjednostavnije zamisliti na poslovanju poduzeća. Ovdje možemo unijeti tri ključne varijable poslovanja: profit, povrat uloženih sredstava i zaduženost. Primjer jedne uspješne tvrtke prikazuje se tad u 3D modelu gdje su varijable: profitabilnost ROE (3 % − 6 %), tekuća likvidnost (1 − 2) i zaduženost (20 % −30 %). Varijable određuju sedam potprostora u tri dimenzije, a rezultat entropijske analize za promjene od 30 %, 60 % i 90 % od idealne 'radne točke' firme (točka C) prikazuje tablica 9. Prikladnost modela jest u kontinuiranosti praćenja poslovanja. Jedina bitna zamjerka ovakvoj analizi jest pretpostavka da su varijable profita, povrata sredstava i zaduženosti međusobno nezavisne.

Tablica 9.: Referentne točke izračuna 3D entropije poslovanja firme i iznosi entropija za rektangularni i konveksni prostor izračuna (A i E granične su točke profitabilnosti, B i D su granične točke tekuće likvidnosti, a F i G granične su točke zaduženosti)

Točke centara entropije	Najpovoljnija situacija	Promjena varijabli 30 %	Promjena varijabli 60 %	Promjena varijabli 90 %
A	4,5; 2; 25	4,95; 2; 26,5	5,4; 2; 28	5,85; 2; 29,5
B	3; 1,5; 25	3; 1,65; 26,5	3; 1,8; 28	3; 1,95; 29,5
C	4,5; 1,5; 25	4,95; 1,65; 26,5	5,4; 1,8; 28	5,85; 1,95; 29,5
D	6; 1,5; 25	6; 1,65; 26,5	6; 1,8; 28	6; 1,95; 29,5
E	4,5; 1; 25	4,95; 1; 26,5	5,4; 1; 28	5,85; 1; 29,5
F	4,5; 1,5; 30	4,95; 1,65; 30	5,4; 1,8; 30	5,85; 1,95; 30
G	4,5; 1,5; 20	4,95; 1,65; 20	5,4; 1,8; 20	5,85; 1,95; 20
Rektangularna entropija[23]	2,6536	2,5735	2,3738	1,9902
Konveksna entropija	1,9370	1,9004	1,8211	1,6613

[23] Obuhvaća fazni prostor između najudaljenijih točaka skupa po pojedinoj osi.

Zamisao entropije često se koristi i u mnogim drugim znanstvenim disciplinama i s njima povezanim tehnikama i alatima uglavnom samo zasnovano na termodinamici.

5. Praktična primjena entropije u pojedinim tehničkim područjima

Tehnička su područja arhitektura i urbanizam, brodogradnja, elektrotehnika, geodezija, građevinarstvo, grafička tehnologija, kemijsko inženjerstvo, metalurgija, računarstvo, rudarstvo, strojarstvo, tehnologija prometa i transporta, tekstilna tehnologija, zrakoplovstvo, temeljne i interdisciplinarne tehničke znanosti. Moguća primjena Carnapove entropije na neke grane iz navedenih područja kratko je navedena u tablici 10.

Rasprava i zaključak

Izloženi primjeri izračuna Carnapove entropije mogu poslužiti za određeno kritičko rezimiranje trenutnog stanja ovog područja tehnologije s ciljem sagledavanja njegove primjenjivosti u perspektivi tehničkih znanosti. Jedno je gotovo sigurno: entropija nije energetski fenomen, nego se samo povijesno prvo izučavala svrhovitost uporabe energije u toplinskim strojevima. Entropija nije energija, jer postoji tzv. rezidualna entropija nekog kristala ili ustroja pri termodinamičkoj ništici temperature. Entropija nije ni mjeriva samo energijom iako se pri zanemarivanju i apstrahiranju tehnoloških detalja toplinskih strojeva može njihovo funkcioniranje vrlo jednostavno i praktično izraziti gubitcima toplinske energije. Ona je primarno 'situacijski alat tehnike' jer u područja mehanike, kemijske strukture i ustroja mehanizama poput satova, njihala, zglobnih sklopova, reduktora, rasporeda elektroničkih komponenti i ostalih detalja tehnike unosi egzaktnu informacijsku mjeru ciljnosti ispunjenja njihove zadaće. A to nije zanemariv alat.

Ono što je pokazano primjerima jest i ograničenje koje ova tehnologija posjeduje: ograničenost na najviše tri do četiri varijable, nepoznavanje konkretnog faznog prostora i njegovih svojstava konveksnosti. Oni se tek moraju izučiti. Tu bi od veće pomoći bile matematika i fizika! Isto tako je ograničenje i zapostavljenost ove tehnologije. Pomodna primjena na druga znanstvena područja poput ekonomije ili biologije nisu nego pokušaji koji mogu biti ispunjeni nekom nadom u rezultat samo ako su varijable pripadnih faznih prostora nezavisne, a svrhovitost primjene poznata.

Tablica 10. Moguća primjena Carnapove entropije na neke grane iz područja tehničkih znanosti

Grana tehnike	Mogući zadatak	Moguće rješenje	Dobit	Ograničenje
2.01.01 arhitektonsko projektiranje	projekt uporabe prostora – raspored namještaja	optimiranje rasporeda namještaja	određivanje granice elastičnosti rasporeda namještaja	ovisnost o korisniku prostora
2.01.05 pejsažna arhitektura	projekt uporabe prostora	optimalan raspored	mjera postizanja cilja	izvedivost s obzirom na okolišne uvjete
2.03.03 elektronika	projekt prostornog rasporeda elektroničkih komponenata[24]	približavanje idealnom rasporedu	mjera postizanja cilja	osjetljivost na okolišne uvjete
2.03.04 telekomunikacije i informatika	optimalni kodni opis izvora informacije	abecedna entropija[25]	mogućnost praćenja izvršenja ciljne funkcije izvora	potrebno je posjedovati mjerenja izvora i znati ciljnu funkciju
2.05.01 geotehnika	određivanje seizmičkog rizika zgrade	određivanje entropije pokusnog opažaja na seizmičkom modelu rizične situacije	kvantifikacija seizmičkog rizika	upitna sličnost modela i stvarne situacije
2.07.02 mehanički, toplinski i separacijski procesi	projektiranje zglobnog prijenosnog mehanizma	određivanje kinematičke entropije sklopa	kinematički optimalan sklop	nedefinirana ciljnost rada sklopa
2.09.04 umjetna inteligencija	povećanje prostora uzoraka analize procesa	dodavanje uzoraka iz entropijskog kodiranja procesa	veća vjerojatnost dobivanja ishoda dubinske analize	opravdanost proširenja skupa uzoraka
2.10.02 naftno rudarstvo	identifikacija ležišne poroznosti	kodiranje okolice ležišta entropijskim kodom	veća konzistentnost procjene efektivne poroznosti ležišta	nedovoljan broj mjernih bušotina
2.11.01 opće strojarstvo (konstrukcije)	projekt optimalne potrošnje energije uređaja	kinematika i dinamika podsklopova	mjera zadovoljavanja ciljne projektantske funkcije	velike dimenzije faznog prostora
2.12.01 cestovni i željeznički promet	projektiranje po riziku vožnje automobila	dizajn trenutnog sigurnog prostora	praćenje optimalne dinamike vožnje i rizika na cesti	nedovoljna opremljenost vozila
2.15.06 tehnička mehanika (mehanika krutih i deformabilnih tijela)	projektiranje deformacija tijela pod naprezanjem	entropijski opis razlika ciljne i postignute deformacije pod naprezanjem	dobivanje informacijske mjere odstupanja od željene deformacije	jednako vrednovanje svih odstupanja
2.16.02 mikro i nanotehnologije	izrada strukture s malim brojem čestica	entropijska mjera dobivene strukture	egzaktna mjera odstupanja strukture od tražene	neosjetljivost na simetriju rješenja

[24] Raspored elektroničkih komponenata mora zadovoljiti mehaničke, toplinske i EMC uvjete te uvjete održavanja.

[25] Vidjeti rad pod [16]

Entropija kao alat zaostala je za svojom idejom! Rezultat je to zamršene cjeline odnosa u istraživanju na koju su društveno-povijesni čimbenici djelovali tako da su nastupili: a) brzopleto proširenje pojma iz područja strojeva s unutarnjim izgaranjem na srodna a onda i na posve udaljena područja primjene, b) postojanje barem četiriju teorija koje su se odnosile na posve različite razine apstrakcije pojava i procesa, c) nemogućnosti obuhvata svih aspekata entropije, energije, strukture i svrhovitosti u jednoj teoriji, d) nepostojanju alata koji bi mogli elegantno nešto izračunati; odatle se neizbježno odlazilo u apstrakcije uz potiskivanje svrhovitosti.

Ovo je razvidno na putu razvoja entropije od strojeva s unutarnjim izgaranjem do današnjeg stupnja razvoja, koji je trajao više od 160 godina i praćen je postupnim sve većim apstrahiranjem modela, tako da je već na prvom stupnju apstrakcije autor ideje Rudolf Clausius zanemario svrhovitost stroja koji je studirao. Autor Gibbs zanemario je strukturu stroja, da bi Boltzmann zanemario razdiobu energija. Konačno je sa Shannonom nestala i materijalna podloga funkcioniranja procesa. Ostao je samo prostor vjerojatnosti kodova znakova nad kojim se prostire Shannonova entropija, koju je i sam s dozom skepse Shannon proglasio teorijom informacije.

Pojava Carnapove entropije 1956. godine usmjerila je razmatranje ponovno na svrhovitost jer je omogućavala izračun postizanja ciljnosti za pojedine etape ponašanja stroja, odnosno njegovih dijelova. No ograničenja koja nastupaju pri izračunima s većim brojem varijabli zahtijevaju da se ovim pristupom entropiji određuje svrhovitost samo pojedinih entiteta neke cjeline ili pojedinih elemenata u nekom trenutku rada sustava čiju entropiju izučavamo. Obuhvaćanje razmatranja entiteta s više od četiri varijable postavlja, međutim, pitanje izračunjivosti s dva naslova: pitanje konveksnosti prostora izračuna i pitanje računalne snage i vremena izračuna entropijske situacije.

Jednodimenzijska inačica Carnapove entropije zvana abecedna entropija izložena je ovdje samo pokazno za izučavanje opisa strukture etana. Abecedna entropija u jednodimenzijskom kodiranju mjernih podataka složenijih tehničkih struktura i procesa može dati vrlo upotrebljive rezultate osobito s naslova svoje determinističnosti i osjetljivosti na složene pojave u automatiziranim procesno-proizvodnim sklopovima, uređajima i sustavima.

Razvidno se za svaki tehnološko-projektantski zadatak, koji bi nužno trebao biti informacijski jasan, treba birati prikladan ‘entropijski alat’ sam ili u kombinaciji s drugim projektantskim alatom, npr. toplinski izračun s abecednom entropijom.

Ako je ovaj rad tome ponešto pridonio, već je ispunio svoju svrhu. Izučavanje i praksa ‘elastičnije primjene entropije’ odnosno informacije posebno će biti naglašena u razvoju opreme i uređaja u nanomjerilu, gdje se, međutim, pojavljuju pitanja valno-mehaničke prirode, koja su samo rubno obrađena u ovom radu. Ovo je, naravno, novi izazov za tehnologe, projektante i informatičare.

Literatura

[1] Shufeng Zhang: Entropy: a concept that is not a physical quantity, *Physics Essays*, June 2012, DOI: 10.4006/0836-1398-25.2.172,https://www.researchgate.net/publication/230554936.

[2] Clayton J., Giauque, W.: The heat capacity and entropy of carbon monoxide, *J. Am. Chem. Soc.* 1932, 54, 2610-2626.

[3] Lucia, U. (2008): Statistical approach of their reversible entropy variation, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 387 (14): 3454–3460.

[4] Marko Popovic: Researchers in entropy wonderland: A review of the entropy concept. https://arxiv.org/abs/1711.07326.

[5] Johari, G.: Configurational and residual entropies of nonergodic crystals and the entropy's behavior on glassformation, *The Journal of Chemical Physics*, DOI:10.1063/1.3364999

[6] A. Pudmetzky: Teleonomic entropy measuring the phase-space of end-directed system, *Appl. Math. Comput.*, 162 (2) (2005) 695-705.

[7] Clausius, R. (1865), Ueber verschiedene für die Anwendungbequeme Formender Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie, *Annalen der Physik*, 125: 353-400.

[8] Clausius, R. (1867). *The mechanical theory of heat – with its applications to the steam engine and to physical properties of bodies*. London: John van Voorst. Retrieved 19 June 2012.

[9] Clausius, R. (1870). On a Mechanical Theorem Applicable to Heat, *Philosophical Magazine*, Ser. 4 40:122–27

[10] Carnot S.: *Reflections on the motive power of fire*, Chapman & Hall Ltd, London, 1897.

[11] Gibbs J.V., (1878), On the equilibrium of heterogeneous substances, *Am J Sci*, Series 3, Vol. 16:441-458.

[12] Jović. F.: Entropija, proces i informacija, CIGRÉ 2019.

[13] Sears, W. and Salinger, L. (1986), *Thermodynamics, kinetictheory, and statistical thermodynamics*, 3rd edition, Addison-Wesley.

[14] A. Münster: *Classical Thermodynamics*, Wiley-Interscience, cop., London, 1970.

[15]Shannon, C.: A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, 1948, 27, 379-423.

[16] Jović, Franjo; Jović, Alan; Krmpotić, Darko. *Quality control engineering in automated ceramic tile production using a signal information content approach*, *Advanced engineering informatics*, 27(2013), 1; 93-107.

[17] Norton, J. D.: Eaters of the lotus: Landauers principle and the return of Maxwell's demon. https://www.pitt.edu/~jdnorton/papers/Eaters.pdf, 12/2019.

[18] Vedral, V.: Does quantum mechanics flout the laws of thermodynamics, *Scientific American*, Blog, June 1, 2011, https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/does-quantum-mechanics-flout-the-laws-of-thermodynamics/

[19] Schrödinger, E.: *What is life? The physical aspect of the living cell*, Cambridge University Press, X printing, 2003.

[20] Balmer, R. T.: *Modern engineering thermodynamics*, Academic Press, 2011.
[21] McQuarrie, D. A.: *Statistical Mechanics*; University Science Books: Sausalito, CA, 2000.
[22] Dugdale, J. S. :*Entropy and its Physical Meaning*; Taylor & Francis Ltd, London, UK, 1996.
[23] Baryshev, Yu. V. (2008). Expanding space: The root of conceptual problems of the cosmological physics, arXiv:0810.0153v1 [gr-qc].
[24] Eastman, T. E. (2010). *Cosmic Agnosticism*, revisited, *Journal of Cosmology*, 2010, 4, 655-663.
[25] Silva Carlos, Kalyan Annamalai. Entropy generation and human ageing: Lifespan entropy and effect of physical activity level, *Entropy*, 10, 100-123 (2008)
[26] Rui Sousa and Eileen M. Lafer: The physics of entropic pulling: A novel model for the Hsp70 motor mechanism, *Int. J. Mol. Sci.* 2019, 20, 2334; doi:10.3390/ijms20092334

Information on purposeful mechanisms

Franjo Jović, Želimir Kozlina, Alan Jović

Abstract: Entropy is known as historical engineering tool for studying purposeful mechanisms mostly combustion machines (father and son Carnot, 1803), pragmatical structures that use energy and designer's inventivity for their work. Structural purposefulness has been 'ommitted' from entropy at the very beginning of its definition (Clausius, 1850). following by the ommition of machine structure (Gibbs, 1860.), energy distribution (Boltzmann, 1870), and ending with the ommittion of material basis of the process functionning (Shannon, 1948). The remaining probability space that spans Shannon entropy has been declared by Shannon as information theory with a dosys of author's scepticism. Modern world entered with this definition into the fourth industrial revolution.
Carnap (1956) has revised the investigation of purposefullness of structure and information in space and time span. However the accessability to material and energy substance of structure and circuitry sank into ingenuity of praxis where entropy is used only for project and design segments because of its computing difficulties.
An one-dimensional space entropy is presented as single-valued alphabet entropy usable in purposeful synthesys of industrial plants. Historical overview of entropy and simple examples of Carnap based entropy and correspondent application limits are presented in the work. However, in the min-

imum entropy principle, Carnap approach to space and time has exposed a groundedness that transcends the limits of machine and code investigation. This approach opens another view to classical physics while reconsidering the entropy of basic laws of body movements and space structure.

Keywords: entropy space, entropy units, entropy calculation

Stjepan Badanjak, Franjo Vidaković

Školovanje jednog naraštaja tehničara u ratnim i poratnim uvjetima Drugog svjetskog rata

Sažetak: Referat je sažet prikaz okolnosti osnovnog školovanja i onih tijekom školovanja u srednjoj Tehničkoj školi − Zagreb, elektro-odjel, te uvjeta života i okolnosti tijekom radnog vijeka našeg naraštaja. Ove godine navršit će se 67 godina otkako smo školske godine 1952./1953. maturirali. U članku opisujemo što smo i kako proživjeli tijekom školovanja i radnog vijeka, trudeći se časno i potpuno ispuniti svoje obveze. S diplomom u ruci − službenom potvrdom zrelosti i osposobljenosti za iskorak u neizvjesnost koja se zove život nismo, naravno, razmišljali o tomu što će biti nakon 67 godina. Pred nama je bio život u koji smo „uronili" i prionuli poslu da stečeno znanje unaprijedimo kako bi osigurali osobnu i egzistenciju svojih obitelji. Uz to, svaki od nas je učio kako biti stručnjak, ali i čovjek.

Ključne riječi: domišljatost, obrazovanje, odgovornost, poštovanje, sposobnost, uspjeh, ustrajnost, vještina, znanje

Uvod

Odrastanje i školovanje svakog naraštaja složen je proces. Poremećaj u početku procesa neizostavno utječe na nastavak procesa. U skladu s tim želimo prikazati tijek procesa odrastanja i školovanja naraštaja koji su osnovnu školu polazili u tri državna sustava: Kraljevini Jugoslaviji, NDH i DFJ / FNRJ[1] Prevladavajuća su bila razdoblja kada su, osobito u ruralnim prostorima, ratna djelovanja na dulje vrijeme prekinula rad škola. Dio učenika je preživio rat u zbjegovima, uključujući i zbjeg u El Shatu (Egipat). Iako u Zagrebu nastava nije na dulje vrijeme prekinuta, bila je ometa-

1 DFJ / FNRJ, Demokratska Federativna Jugoslavija (7. 3. 1945. – 29. 11. 1945) / Federativna Narodna Republika Jugoslavija (29. 11. 1945. – 7. 3. 1963)

na i neredovita. Primjerice, osnovna škola u Draškovićevoj ulici u Zagrebu bila je dio vojne bolnice. Nastava se umjesto u školskoj zgradi odvijala u nizu različitih prostora što je dobrim dijelom ovisilo o vještini i snalažljivosti učitelja. Kada su iscrpljene sve mogućnosti, nastava se izvodila jednom tjedno u parku, ponekad ometana zračnim uzbunama.

Iako svaki od učenika ima svoju priču, ono što su proživjeli svodi se na isto. Rat i poraće oduzeli su nam i uskratili mnogo toga. Prije svega, djetinjstvo i mladost. Razlika je bila u količini uskraćenog. Najteže je bilo onima koji su ostali bez jednog ili oba roditelja, bez bliskih članova obitelji. Bez oslonca na njih i bez iskustva, rano su odrasli i postali odgovorni, kako bi bili u stanju preživjeti strahote rata. Poslijeratna zbivanja su od mnogih zahtijevala prilagođivanje uvjetima drukčijim od onih prije rata. Bilo je onih koji dvije, pa čak i tri godine nisu pohađali školu, što je utjecalo na neujednačenost predznanja.

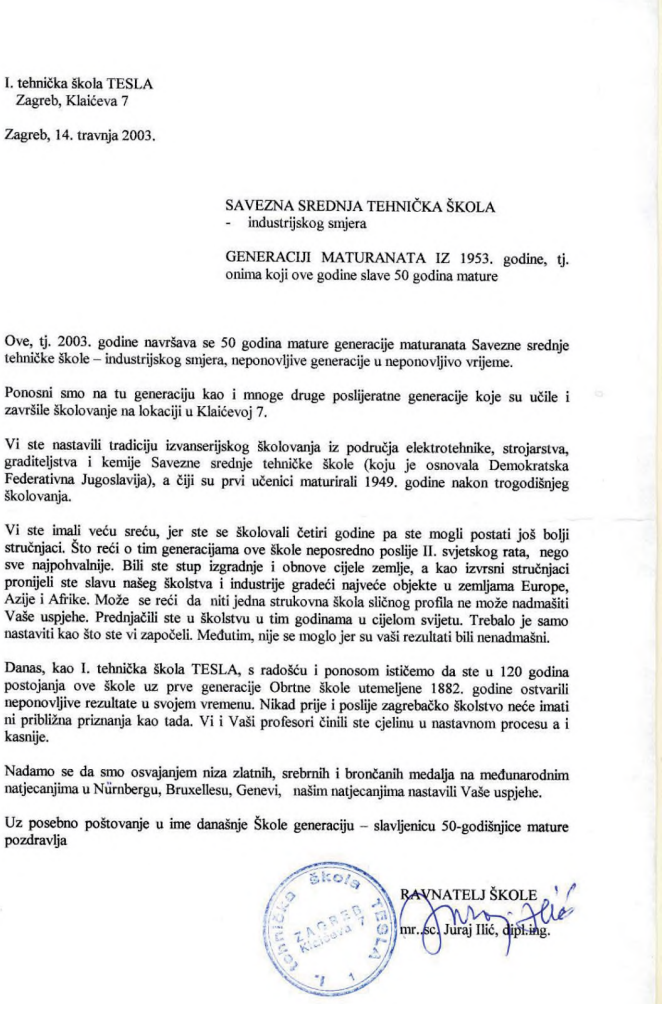
Po završetku rata 1945. godine nadležne institucije su skraćenim programima ubrzavale školovanje sa svrhom što bržeg osposobljavanja nužno potrebnog kadra, zanemarujući neizbježne posljedice rata na opseg i kvalitetu školovanja. Osnovno školovanje je od osmogodišnjeg skraćeno na sedmogodišnje. Četverogodišnje školovanje u srednjim stručnim školama skraćeno je na trogodišnje. Time je školovanje srednjeg stručnog kadra nužno potrebnog za obnovu ratom razorene države i izvršenje petogodišnjih planova, skraćeno za dvije godine.

U skladu s tim je Savezna (srednja) tehnička škola u Zagrebu (STŠ), osnovana 1. prosinca 1946., isprva radila kao trogodišnja do šk. god. 1949./50., kada je upisan prvi naraštaj četverogodišnjeg programa. Bio je to naš naraštaj. Status STŠ-a zahtijevao je da taj naraštaj čine pripadnici svih naroda i narodnosti, različitih svjetonazora i religijske pripadnosti, iz svih republika tadašnje države, čija su se predznanja osjetno razlikovala.

U prvi razred elektro-odjela STŠ-a, bilo je upisano ukupno 180 učenika. Njihov je broj nakon prve godine znatno smanjen. Svi nisu mogli svladati gradivo prema zahtjevnim kriterijima STŠ-a zbog neujednačenosti predznanja te uobičajenih razloga (pada motiviranosti za nastavkom školovanja, neuspjeha). Broj učenika dodatno je smanjen i nakon druge godine. Svi upisani u četvrti razred, njih 86, uspješno su i na vrijeme maturirali. Tomu treba dodati da uspjeh u školi ovisi o motiviranosti i želji za uspjehom, a pohađanje škole zahtijeva minimum materijalnih uvjeta − smještaj, hranu, odjeću, obuću i školski pribor. Problem smještaja i ishrane za učenike izvan Zagreba rješavan je đačkim domovima, a za ostale su se brinuli roditelji ili bliski rođaci.

1. Sjećanja

U želji da ostavimo pisani trag o našem naraštaju, o tome kako smo se i uz koje uvjete školovali, nakon toga radili i ušli u treće životno doba, izdali smo u svibnju 2003. godine, prigodom 'zlatnog jubileja' − 50. obljetnice mature na Tehničkoj školi Podsjetnik-brošuru kojom smo opisali školovanje i naše do tada proživljene živote. Deset godina kasnije, pri obilježavanju 60. obljetnice mature, izdali smo dopunjeni Podsjetnik.



I. tehnička škola TESLA
Zagreb, Klaićeva 7

Zagreb, 14. travnja 2003.

SAVEZNA SREDNJA TEHNIČKA ŠKOLA
- industrijskog smjera

GENERACIJI MATURANATA IZ 1953. godine, tj. onima koji ove godine slave 50 godina mature

Ove, tj. 2003. godine navršava se 50 godina mature generacije maturanata Savezne srednje tehničke škole – industrijskog smjera, neponovljive generacije u neponovljivo vrijeme.

Ponosni smo na tu generaciju kao i mnoge druge poslijeratne generacije koje su učile i završile školovanje na lokaciji u Klaićevoj 7.

Vi ste nastavili tradiciju izvanserijskog školovanja iz područja elektrotehnike, strojarstva, graditeljstva i kemije Savezne srednje tehničke škole (koju je osnovala Demokratska Federativna Jugoslavija), a čiji su prvi učenici maturirali 1949. godine nakon trogodišnjeg školovanja.

Vi ste imali veću sreću, jer ste se školovali četiri godine pa ste mogli postati još bolji stručnjaci. Što reći o tim generacijama ove škole neposredno poslije II. svjetskog rata, nego sve najpohvalnije. Bili ste stup izgradnje i obnove cijele zemlje, a kao izvrsni stručnjaci pronijeli ste slavu našeg školstva i industrije gradeći najveće objekte u zemljama Europe, Azije i Afrike. Može se reći da niti jedna strukovna škola sličnog profila ne može nadmašiti Vaše uspjehe. Prednjačili ste u školstvu u tim godinama u cijelom svijetu. Trebalo je samo nastaviti kao što ste vi započeli. Međutim, nije se moglo jer su vaši rezultati bili nenadmašni.

Danas, kao I. tehnička škola TESLA, s radošću i ponosom ističemo da ste u 120 godina postojanja ove škole uz prve generacije Obrtne škole utemeljene 1882. godine ostvarili neponovljive rezultate u svojem vremenu. Nikad prije i poslije zagrebačko školstvo neće imati ni približna priznanja kao tada. Vi i Vaši profesori činili ste cjelinu u nastavnom procesu a i kasnije.

Nadamo se da smo osvajanjem niza zlatnih, srebrnih i brončanih medalja na međunarodnim natjecanjima u Nürnbergu, Bruxellesu, Genevi, našim natjecanjima nastavili Vaše uspjehe.

Uz posebno poštovanje u ime današnje Škole generaciju – slavljenicu 50-godišnjice mature pozdravlja

RAVNATELJ ŠKOLE
mr. sc. Juraj Ilić, dipl. ing.

Sl. 1.: Pismo ravnatelja Škole od 14. travnja 2003. godine

I.tehnička škola Tesla
Zagreb,Klaićeva 7
Zagreb,20.04.2013.

Slavljeničkoj generacija maturanata iz 1953.g., koji su eto 60. puta uspješno maturirali

Umjesto uvoda citat iz ljetopisa Savezne tehničke škole u Zagrebu:

„ 01.prosinca 1946.g. u velikoj dvorani hotela „Dubrovnik" svečano je otvorena Savezna tehnička škola u Zagrebu."

Cijenjeni maturanti generacije 1953.-Poštovani slavljenici,

Danas ispred I.tehničke škole Tesla čast mi je pozdraviti Vas kao ravnatelj škole.Teško je naći prikladne riječi kojima bih izrekao nešto novo,kada Vi sigurno makar krajičkom oka pratite svoju „bivšu" školu.Isto tako je teško uspoređivati Vaše vrijeme obrazovanja kao i ovo današnje,jer svako vrijeme nosi nešto svoje.

Budući da povijesne događaje znadete puno bolje od mene, nemam ih namjere iznositi,ali ipak želim naglasiti da postojimo punih 131 godinu a u ovoj zgradi od 17.studenoga 1947.g. dakle 66 godina-tek.

No ipak mislim da mogu reći da Ste bili najbolji u svoje vrijeme, a mi se trudimo da Vas slijedimo.Pokušavamo opravdati i naše ime I.tehnička škola Tesla,koja i bez lažne skromnosti ostavlja trag u Europi.

Priznanja, odličja-medalje,nagrada Fausta Vrančić, orden predsjednika države govore o nama,kao i dosta medijskih vijesti u posljednjih nekoliko mjeseci proslijeđenih od ministra,predsjednika sabora, predsjednika države.

I na kraju s posebnim zadaovoljstvom čestitam slavljeničkoj generaciji iz 53.

Ravnatelj I.tehničke škole Tesla
Zoran Krivačić,dipl.ing.



Sl. 2.: Pismo ravnatelja Škole od 20. travnja 2013. godine

Pisma ravnatelja Škole iz 2003. i 2013. godine, slike 1. i 2., dokumenti su koji svjedoče kako su naš naraštaj doživjeli oni koji su nas učili, i uspoređivali s drugim naraštajima. Kako bi iskazali poštovanje radu Škole koja nam je omogućila stjecanje znanja i vještina kako to znanje primijeniti, uručili smo prigodom 60. i 65. obljetnice njezinim ravnateljima zahvalnice, slike 3. i 4. za:

– stručnost, predanost i upornost nastavnog osoblja Škole,

– njihov trud i domišljate improvizirane prikaze, kojima su vješto i umješno nadomještali mnogo toga što je manjkalo za nastavu,

– razvijanje radnih navika, dovitljivosti, volje, samostalnosti i ustrajnosti za uspješno rješavanje zadaća, te odgovornosti,

– ljudski odnos prema učenicima i uvažavanje njih kao osoba.

Zahvalnice su potpisali svi sudionici obljetnice.

Svakom kolegi nazočnom 60. i 65. obljetnici uručili smo njemu u čast, a na ponos Školi, vlastitoj obitelji i potomcima, diplomu, slike 5. i 6. za aktivno sudjelovanje obljetnicama, potpisanu od svih sudionika**.**



Maturanti Srednje tehničke škole, Elektro odjela
razredi: IV.a, IV.b, IV.c i IV. s; školska godina 1952./53

M 60

ZAHVALNICA

Srednjoj tehničkoj školi Zagreb, danas I Tehničkoj školi Tesla za:

- *Stručnost, predanost i upornost nastavnog osoblja Škole*
- *Njihov trud, umješnost i domišljate improvizirane prikaze, kojima su nadomještali mnogo toga što je manjkalo za nastavu*
- *Razvijanje radnih navika, dovitljivosti, volje, samostalnosti i ustrajnosti za uspješno rješavanje zadaća, te odgovornosti*
- *Ljudski odnos prema učenicima i uvažavanje njih kao osoba.*

Zahvaljujući tome stekli smo znanje, koje je u to doba bilo jedini oslonac i jamstvo za samostalno rješavanje problema. Njime smo stjecali iskustva i osobne reference na mnogim domaćim, uključujući i najveće te na velikim inozemnim objektima.

S dubokim štovanjem klanjamo se sjenama profesora i stručnih voditelja koji nisu više među nama.

Zagreb, 20. travnja 2013. godine

Zahvalnicu potpisuju nazočni predstavnici 60. obljetnice mature

Sl. 3.: Zahvalnica uručena Školi 20. travnja 2013. godine



Maturanti Srednje tehničke škole, Elektro odjela
razredi; IV.a, IV.b, IV.c i IV.s, školska godina 1952/53.

M 65

ZAHVALNICA

Srednjoj tehničkoj školi Zagreb, danas I Tehničkoj školi Tesla za:

- Stručnost, predanost i upornost nastavnog osoblja Škole
- Njihov trud, umješnost i domišljate improvizirane prikaze, kojima su nadomještali mnogo toga što je manjkalo za nastavu
- Razvijanje radnih navika, dovitljivosti, volje, samostalnosti i ustrajnosti za uspješno rješavanje zadaća, te odgovornosti
- Ljudski odnos prema učenicima i uvažavanje njih kao osoba.

Zahvaljujući tome stekli smo znanje, koje je u to doba bilo jedini oslonac i jamstvo za samostalno rješavanje problema. Njime smo stjecali iskustva i osobne reference na mnogim domaćim uključujući i najveće te na velikim inozemnim postrojenjima.

S dubokim štovanjem klanjamo se sjenama profesora i stručnih voditelja koji nisu više među nama.

Zagreb, 11. travnja 2018. godine

Zahvalnicu potpisali nazočni proslavi 65. obljetnice mature

Sl. 4.: Zahvalnica uručena Školi 11. travnja 2018.



Maturanti Srednje tehničke škole, Elektro odjela
razredi: IV.a, IV.b, IV.c i IV. s; školska godina 1952./53

M 60

DIPLOMA

kolegi, gospodinu :

Badanjak Stjepanu (IVa)

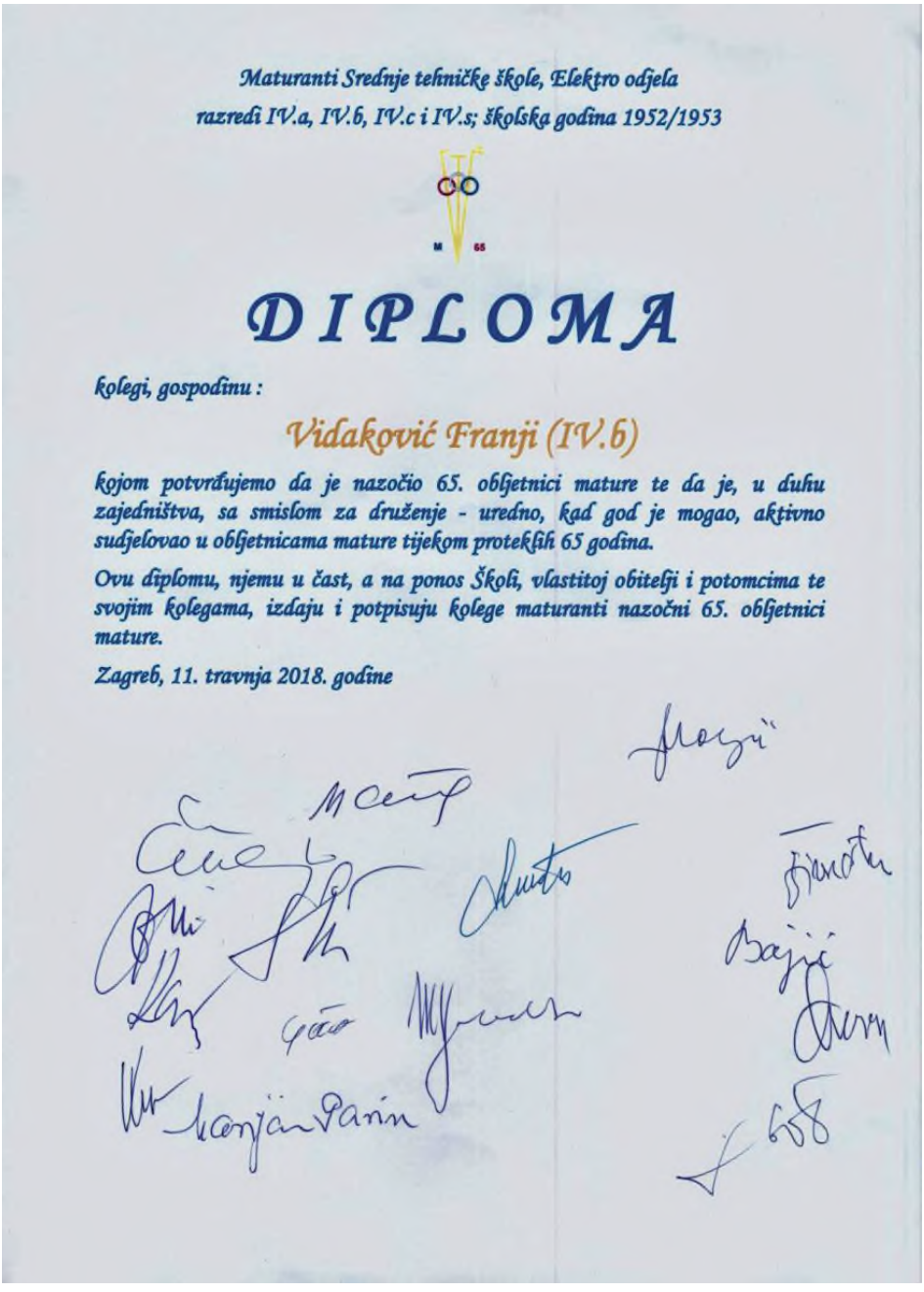
kojom potvrđujemo da je nazočio 60. obljetnici mature te da je, u duhu zajedništva, sa smislom za druženje - uredno, kad god je mogao, aktivno sudjelovao u obljetnicama mature tijekom proteklih 60 godina.

Ovu diplomu, njemu u čast, a na ponos Školi, vlastitoj obitelji i potomcima te svojim kolegama, izdaju i potpisuju kolege maturanti nazočni 60. obljetnici mature.

Zagreb, 20. travnja 2013. godine

Zahvalnicu potpisuju nazočni predstavnici 60. obljetnice mature

Sl. 5.: Diploma za aktivno sudjelovanje u obljetnicama mature



Maturanti Srednje tehničke škole, Elektro odjela
razredi IV.a, IV.b, IV.c i IV.s; školska godina 1952/1953

M 65

DIPLOMA

kolegi, gospodinu :

Vidaković Franji (IV.b)

kojom potvrđujemo da je nazočio 65. obljetnici mature te da je, u duhu zajedništva, sa smislom za druženje - uredno, kad god je mogao, aktivno sudjelovao u obljetnicama mature tijekom proteklih 65 godina.

Ovu diplomu, njemu u čast, a na ponos Školi, vlastitoj obitelji i potomcima te svojim kolegama, izdaju i potpisuju kolege maturanti nazočni 65. obljetnici mature.

Zagreb, 11. travnja 2018. godine

Sl. 6.: Diploma za aktivno sudjelovanje u obljetnicama mature, uručena 11. travnja 2018.

Članak sadrži fotografije iz doba osnovnog školovanja, fotografije učenika maturalnih razreda, raspoložive fotografije športskih aktivnosti Škole, dio bogate kolekcije fotografija snimljenih prigodom obljetnica mature i ostalih aktivnosti, iz vlastitih kolekcija,

2. S radošću smo dočekivali ugodne, neponovljive i nezaboravne doživljaje

Polako i neprimjetno nizale su se godine. Obilježavanje obljetnica postala je lijepa tradicija i, brže nego što smo očekivali, ove je godine pred nama 67. obljetnica mature. Imajući u vidu da nas je život 'odveo' na različite strane, a posljednjih godina 'pritišće' nas i 'breme' naše dobi, ocjenjujemo da je odaziv na naše obljetnice zadovoljavajući (vidi tablicu 1). Kako bi uzvanici pravodobno uskladili svoje obveze i planirali dolazak na mjesto susreta, tog vrijednog datuma u našim životima, obavijest o datumu susreta slali smo pravodobno unaprijed i po potrebi dopunjavali telefonskim pozivima. Na osnovi činjenice da se ni jedna pozivnica nije vratila, vjerujemo da smo raspolagali točnim adresama. Kolege s kojima smo u kontaktu, trajno su zainteresirani da se nađemo u što većem broju. Prisjetimo se jedinstvenih događaja, ugodnih iznenađenja i radosti: povodom 40. obljetnice kada je došao kolega kojeg 40 godina nismo vidjeli, a na 50. obljetnici osvanuo je kolega kojeg punih 50 godina nismo vidjeli!

Malo je ljudi naše dobi koji su zajedno obilježili 65. obljetnicu mature, neponovljiv i nezaboravan doživljaj koji nam je uljepšao 'jesen' naših života i zbog toga se osjećamo povlaštenima, jer dio naših kolega nije nažalost doživio ni 65. godinu života, a preživjeli su proslavili 65. obljetnicu mature. Tome dodajemo činjenicu da mnogi naraštaji nakon 50. obljetnice posustanu. Za razliku od toga, lijepo je čuti i doživjeti da naši kolege izražavaju želju da se i dalje sastajemo i održavamo ljudske, kolegijalne i prijateljske odnose.

3. Zagrebačka STŠ kao savezna škola zadužena za obrazovanje tehničara

Podsjetimo se da je 1. prosinca 1946. godine u velikoj dvorani hotela Dubrovnik svečano otvorena Savezna (srednja) tehnička škola u Zagrebu. Osjećaj zajedništva našeg naraštaja i potreba za druženjem nastali su u vrijeme kada su na ovim prostorima još tutnjali odjeci ratnih bubnjeva Drugog svjetskog rata, a ljudi bili suočeni s njegovim posljedicama, uključujući civilizacijske i ideološke sukobe te prestrojavanja.

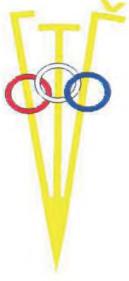
Bila su to teška vremena, kada su osnovne životne potrebe (hrana, odjeća i

obuća) bile ograničene, škrto odmjerenim „karticama" i „točkicama". Ni kruh se nije mogao kupiti u slobodnoj prodaji, a privatno vlasništvo bila je ideološki zabranjena kategorija. Istodobno, zbog sukobljenih političkih interesa istoka i zapada, Sovjetski Savez je posredstvom Informbiroa u dijelu našeg okruženja, ekonomskim blokadama te političkim i oružanim provokacijama, ostvarivao vlastite političke ambicije.

U takvim okolnostima, u šk. god. 1949./1950., započelo je na srednjoj tehničkoj školi stručno osposobljavanje novog naraštaja mladih zanesenjaka željnih znanja i odgovora na pitanje: što je to električna energija i kako njenom korisnom primjenom, između ostalog, i širokoj populaciji pružiti civilizacijska postignuća elektrifikacije.

Bilo je to vrijeme 'petoljetki', u čijim programima je elektrifikacija države bila neizostavan uvjet, kako za potrebe opće potrošnje, tako i planirane industrijalizacije. U to je doba Hrvatsku od prvih pionirskih pothvata uvođenja električne energije u svakodnevnu uporabu, bilo za rasvjetu, bilo za pogon električnih strojeva, naprava i industrijskih postrojenja, dijelilo više od pola stoljeća. Na žalost, politika vlasti između dva rata zanemarivala je razvoj Hrvatske, uključujući i njezinu elektrifikaciju, zbog čega je zaostajala u tom dijelu.

Nova „narodna vlast", ustrojena nakon Drugog svjetskog rata, svojim je ambicioznim planovima predviđala i elektrifikaciju zemlje. Provedba tog programa hitno je i nužno zahtijevala kvalificirano i stručno osoblje – tehničare. Za njihovu izobrazbu bila je određena Tehnička škola u Zagrebu, s odjelima: strojarski, elektro, kemijski, građevinsko-arhitektonski i geodetski i stoga je imala status savezne škole. To je bio znak vrijednog priznanja, ne samo Školi, nego i Zagrebu i Hrvatskoj, a dodijeljen joj je ponajprije zahvaljujući visokim kriterijima. Rezultat takvih kriterija bio je da su iz škole 'izlazili' dobro obrazovani tehničari. Nedvojbeno je da je za to velikim dijelom bilo zaslužno nastavno osoblje Škole.



Sl.: 7.: Značka škole

Želimo istaknuti da je Škola svojim učenicima omogućila, za ono doba, nešto rijetko čime će skretati pažnju na sebe i Školu. Bila je to značka Škole, slika 7. Svi su učenici dobili "srebrne", a oni koji su se istakli svojim športskim rezultatima dobili su "zlatne". Bilo je to za ono doba nešto posebno, nešto čime smo se razlikovali od učenika ostalih škola, koji nisu imali takvo obilježje. Tek mnogo kasnije razvijena je strast izrade i prikupljanja svih vrsta znački. Treba reći da smo ih s ponosom nosili, svjesni da ćemo postati

tražene osobe, stručnjaci koji će usvojeno znanje unaprijediti iskustvom i rutinom i time ostaviti trag u svojem radnom okruženju.

4. Načelo: jedanput naučeno, nikad zaboravljeno

Nakon početnog obrazovanja prema skraćenom trogodišnjem nastavnom programu, šk. god. 1949./50. uveden je cjelovit, opsežan i vrlo zahtjevan četverogodišnji nastavni program. Uvažavajući potrebe iz prakse, prvi put je uvedeno usmjerenje za stručno obrazovanje tehničara "jake", odnosno "slabe" struje i to u trećem i četvrtom razredu. Stručno teorijsko znanje dopunjavano je praksom u, za ono doba, dobro opremljenim radionicama (modelarija, bravarija, limarija, elektro-radionica, elektro-laboratorij, mehanička radionica, strojna obrada, laboratorij slabe struje i drugo). Nakon drugog i trećeg razreda, učenici su upućivani na obveznu jednomjesečnu praksu u odabrana poduzeća. Dobra, stara kineska poslovica opisuje praksu kao: Čujem − zaboravljam, vidim − pamtim, radim − razumijem!

Pod utjecajem u to doba vladajućeg uvjerenja da program tehničke škole, a posebno njegov praktični dio, nije prikladan za djevojke, u elektro-odjel se upisalo tek nekoliko polaznica, od kojih je samo jedna uspješno završila školovanje.

U vrijeme našeg školovanja, s oko 20 učenika u razredu bila je olakšavajuća, ali i otežavajuća okolnost. Mogućnost češćeg ispitivanja profesorima je osiguravala bolji uvid u razinu znanja, a za učenike je to bilo veće opterećenje, jer su uvijek morali biti spremni odgovoriti i na poneko iznenadno pitanje tijekom predavanja. Bilo je profesora koji su, tumačeći novu nastavnu jedinicu, zahtijevali aktivno sudjelovanje učenika i od njih tražili određenu definiciju, spoznaju ili formulu iz ranije nastavne jedinice, ponekad i iz nižih razreda. Tko to nije znao, snosio je posljedice. Očito je da se i takvim pristupom nastojalo nas mlade priviknuti na načelo: jednom naučeno, nikad zaboravljeno. Poznate su uzrečice jednog od profesora: *Tehničar – dovitljivac* i *Tehničar bez olovke je kao vojnik bez puške*.

5. Manjkalo je svega, osim truda profesora

Promatrano danas, uz 67-godišnji vremenski odmak, naš naraštaj i mnogi iza nas, svoj uspjeh mogu zahvaliti predanosti i upornosti nastavnog osoblja Škole. Spomenuta opća životna oskudica odnosila se i na sve ono potrebno za nastavu, počevši od udžbenika, bilježnica i pribora za pisanje.

Nedostatak udžbenika uspješno je nadomještala 'živa' riječ profesora, zapisana u učeničkim bilježnicama. Svjesni svih ograničenja profesori su tome prilagođivali

svoja predavanja. Pojedini profesori su diktirali, a neki od njih su ritam predavanja usklađivali s mogućnostima brzopišućih učenika. Njihove su bilježnice bile dragocjeni izvori iz kojih su ostali učenici dopunjavali svoje zapise, ako tijekom nastave nešto nisu stigli zapisati. Pomanjkanje nastavnih sredstava, pomagala i modela za zorno prikazivanje određenih nastavnih tema, zahtijevalo je veliki napor profesora a još više učenika. Profesori su se trudili domišljatim improviziranim prikazima nadomjestiti nedostajuće. Njihov pristup je potvrđivao istinitost uzrečice: "Nije znanje znanje znati, već je znanje znanje dati." Uz to, koliko su nastavni program i financijske mogućnosti dopuštale, organizirali su posjete tvornicama, gradilištima, i energetskim objektima, trudeći se učenicima što više približiti ono s čim će se susretati u praksi. Tomu je pridonosila spomenuta praksa u školskim radionicama i laboratorijima te jednomjesečna ferijalna praksa nakon drugog i trećeg razreda.

Ostali pribor nužan učenicima tehničke škole (šestar, pomično ravnalo, trokuti i crtaća daska) bio je pravo 'blago', a i ono što je bilo dostupno ponekad je bilo upitne točnosti. Razlike mjerila na ravnalima nisu bile male, a do čega je to dovodilo ilustrira sljedeći slučaj. Jedan od profesora zahtijevao je da zadani program (čitaj: crtež na A3 formatu, u tušu) svi učenici predaju istog dana. Ako samo jedan učenik nije do zadanog roka završio svoj rad, svi ostali nisu mogli predati svoje. Kad su svi učenici predali programe, profesor ih je stavio jednog povrh drugog i poravnao po visini i širini. Zatim je izvadio svoje logaritamsko računalo, u čiju točnost je vjerovao i izmjerio format. Programi koji su formatom bili izvan tolerancije od ± 5 mm od dimenzija zadanog formata bili su vraćeni. Učenici su prosvjedovali i svojim ravnalima dokazivali da su poštovali zadani standardni format. Tada su ustanovili da se mjerne crte među nekim ravnalima na dužini od 500 mm razlikuju i više od ± 5 mm!?! Uvjeren ovim nespornim argumentom profesor je prihvatio programe, ali je zahtijevao da ubuduće svi učenici format papira na kojem će nacrtati program izmjere jednim mjerilom. Na taj način smo naučili što je: zadani rok i etalon.

Oslovljavanje s 'dečki dragi' jednog od profesora – samo je jedna od potvrda primjerenog odnosa prema nama i svojevrsnog uvažavanja nas učenika kao osoba.

Okolnosti su zahtijevale osloniti se na vlastito znanje što je posredno utjecalo na to da su se učenici trudili (neka to ne bude nazvano neskromnošću) usvojiti što veću količinu znanja, kako bi uspješno rješavali probleme.

U to doba pojavila su se prva logaritamska računala domaće proizvodnje, najprije staklena, a potom od voštanog papira. Učenici su ih kupovali i tražili od profesora da ih pouče kako s njima računati. Ambiciozniji su iz knjižnica posuđivali udžbenik prof. Apsena i učili sami. Time su sebi uštedjeli puno mučnog računanja „pješice" (džepna računala tada nisu bila ni u kategoriji znanstvene fantastike).

6. Radne navike, dovitljivost, volja, samostalnost i ustrajnost za uspješno rješavanje zadaća

Rezultati opisanog pristupa nastavi i učenju nisu izostali. Zahvaljujući tome, učenici s ispitom zrelosti bili su osposobljeni preuzeti odgovorne zadaće. Bio je to naraštaj željan znanja, uspjeha i stručne afirmacije, a potrebe 'programa elektrifikacije' u velikom opsegu to su omogućavale, bez obzira na teško stanje u državi. Mnogi su već nakon mature, na toj stručnoj razini postigli zapažen uspjeh i radili kao čelnici u poduzećima. Dio kolega je svoje obrazovanje nastavio na višim školama i fakultetima, a oni najambiciozniji stekli su znanstveni naslov tadašnjih magistara pa čak i doktora. Premda su pojedini kolege u kasnijem školovanju promijenili struku, ono što im je tehnička škola 'dala' – nije izgubljeno. A 'dala' im je radne navike, dovitljivost, volju, samostalnost i ustrajnost za uspješno rješavanje zadaća, a to je primjenjivo u svakoj struci.

Ideološki utjecaji i pritisci tijekom školovanja, polazeći od političkog nadzora nad provedbom učeničkih obveza, nisu mimoilazili ni naš naraštaj. Pouzdano sredstvo i vodeća snaga za njihovu provedbu bili su partijski aktivisti starijih godišta, kojih je bilo i u Školi. Primjenjivani postupci su upozoravali da je ponekad bilo važnije u određenom trenutku preuzeti obvezu, nego li ju ispuniti. Primjerice, nakon polugodišta u jedan od prvih razreda dolaze omladinski rukovodioci, SKOJ-evci, učenici završnih razreda. Od učenika s negativnim ocjenama zahtijevaju obvezu do kojeg roka će ih ispraviti. Učenik s četiri negativne ocjene obvezuje se ispraviti ih u roku od dva tjedna. Nakon njega, učenik s dvije negativne ocjene obvezuje se da na kraju godine neće imati ni jednu negativnu ocjenu. SKOJ-evce to nije zadovoljilo i energično zahtijevaju rok do kada će negativne ocjene ispraviti. Pritom su mu kao primjer i poticaj navodili učenika koji se obvezao četiri negativne ocjene ispraviti u roku od dva tjedna. Učenik im je hrabro odgovorio da ostaje pri svojoj obvezi i dodao kako se onaj drugi doduše obvezao ispraviti četiri negativne ocjene, ali se nije obvezao da na kraju godine neće imati ni jednu negativnu ocjenu. Jedan od SKOJ-evaca je očito shvatio da je obveza učenika s dvije negativne ocjene kvalitetnija i ozbiljnija. Nakon kratke međusobne konzultacije, prihvatili su njegovu obvezu. Uzgred valja spomenuti da kasnije nitko nije provjeravao jesu li preuzete obveze ispunjene. Bio je to svojevrstan uvod u ono s čim smo se često susretali u praksi − pritisak da se preuzme obveza samo zato što je u određenom trenutku imala 'političku težinu', bez obzira na njezinu ostvarivost, jer kasnije o tomu nitko nije vodio računa. Svojim usmjerenim jednoumnim svjetonazorom i ponašanjem, partijski aktivisti su svim silama nastojali djelovati na mladež i kreirati društvenu klimu u Zagrebu. Među ostalim, trudili su se 'klasnom borbom' ukloniti 'buržoaske navike' i uobličiti svjetonazor, ponašanje, zabavu, odijevanje i frizure mladih. Tehnička škola je imala dva cilja. Osim izobrazbe, u to doba i te kako potrebnog

stručnog kadra, trebala je tom kadru dati jednako prioritetni cilj – ideološko-političku zrelost! Odlaskom političko-ideološki usmjerenih aktivista prevladala je stručna komponenta.

Radne akcije su u ono doba bile obvezne za sve skupine stanovništva. Neke od njih je organizirala Narodna fronta. Građani su pozivani da poslije radnog vremena obavljaju, primjerice istovar ugljena na željezničkim postajama ili jednostavne radove na gradnji novih stambenih zgrada u gradovima. Pritom nije bilo iznimaka. Onaj tko nije sudjelovao nije mogao dobiti dozvolu za nabavku ogrjeva. Samohrana majka slabog srca jednog od naših kolega, nije mogla sudjelovati u akcijama. Zamjenjivao ju je njezin 13 godišnji sin. Prijavljivao se na majčino ime, jer se kućanstvo vodilo na njezino ime. Voditelj akcije je s razumijevanjem prihvaćao zamjenu i dječaku davao posao u skladu s njegovom dobi. To je ostalim sudionicima pružilo prigodu da se našale s njim nazivajući ga majčinim imenom.



Sl. 8.: Omladinska pruga Doboj – Banja Luka (1951.)

Među društvene obveze učenika ubrajalo se sudjelovanje u Omladinskim radnim akcijama (ORA), tj. željezničke pruge Šamac − Sarajevo, Banja Luka − Doboj, Pionirski grad, Studentski grad i sl., slika 8. To su organizirali, nadzirali i na gradilištima vodili politički angažirani učenici. Učenici koji su se javili imali su prednost da pri kraju školske godine budu prvi ispitani. Profesori su očito dobili instrukciju da takvim učenicima progledaju kroz prste, bez obzira na pokazano znanje. Na neki način to je procurilo do učenika, pa su neki zaključili da je bolje mjesec dana biti na gradilištu, gdje će doduše raditi, ali se i zabavljati, umjesto učiti. Ako oni koji postignu vrhunske rezultate budu proglašeni udarnicima, imati će dodatni bonus u narednoj školskoj go-

dini. Neki od naših kolega sudjelovali su u takvim radnim akcijama već kao učenici viših razreda sedmogodišnjih škola, slika 9.



Sl. 9.: Udarničkom značkom okićen sudionik omladinske radne akcije „Šumska pruga Vrata-Rogozno“ (Gorski Kotar, 1948.)

O tome kakva je bila briga o učenicima na radnoj akciji gradnje Pionirskog grada u Zagrebu, govori primjer dvaju 14-godišnjih zagrebačkih sudionika. Nakon dva dana na gradilištu, pod vrelim ljetnim suncem, zaključili su da je to za njih prenaporno. K tomu, nezadovoljni hranom i neudobnim smještajem na daskama, odlučili su napustiti gradilište. Trećeg dana u vrijeme odmora nakon ručka, jedan po jedan su se iskrali iz barake, provukli kroz grmlje, „švercali“ se Pionirskim vlakom i sretno stigli kući. Iako su u kampu bile večernje prozivke, a njihove adrese poznate, nitko ih nije tražio. Očekivali su da će početkom nove školske godine biti pozvani na odgovornost, no to se nije dogodilo. Shvatili su da je politički nadzor popustio.

Neusporedivo stroži ‘klasni’ pristup u školi, đačkom domu i izvan toga vladao je u razdoblju od 1947. do 1950. godine. Podroban prikaz što se i kako događalo nalazimo u djelu *Povijest jednog povjesničara* autora Dragutina Pavličevića**.**[1]

Unatoč zahtjevnim programima Savezne tehničke škole i dosljednom izvođenju nastave, našlo se vremena i za športske aktivnosti u okviru tjelesnog odgoja. Tjelesni odgoj se sastojao od vježbi na gimnastičkim spravama (preskok preko kozlića, ruče, konj s hvataljkama, karike, preča i na tlu) u gimnastičkoj dvorani na 6. katu školske zgrade. Aktivnosti tjelesnog odgoja na srednjoškolskom igralištu u neposrednoj blizini Škole sastojale su se od atletskih disciplina (trčanje, skok u vis, skok u dalj, bacanje kugle), te odbojke, košarke i tadašnjeg rukometa. Učenicima smještenim u domu tehničkih škola na Selskoj cesti, nogomet nije bio dostupan. Učenici s prebivalištem u Zagrebu imali su prednost baviti se nogometom.

Pod okriljem tjelesnog odgoja naš naraštaj je postizao zapažene rezultate u

športskim disciplinama:

– Na športskom natjecanju srednjih škola grada Zagreba u atletici, 1953, godine učenici Škole osvojili su drugo mjesto. Pritom je zapažen skok u dalj učenika Škole dužine 6,15 m (bez posebnog treninga i priprema).

– Na prvenstvu srednjih škola Hrvatske u gimnastici, 1953. godine, vrsta Škole osvojila je prvo mjesto, a na prvenstvu države drugo mjesto, u svojoj kategoriji.



Sl. 10.: Slika Kranjska Gora, skijaška škola (1951.)



Sl. 11.: Ljetovanje u organizaciji Škole (Rijeka, 1951.)

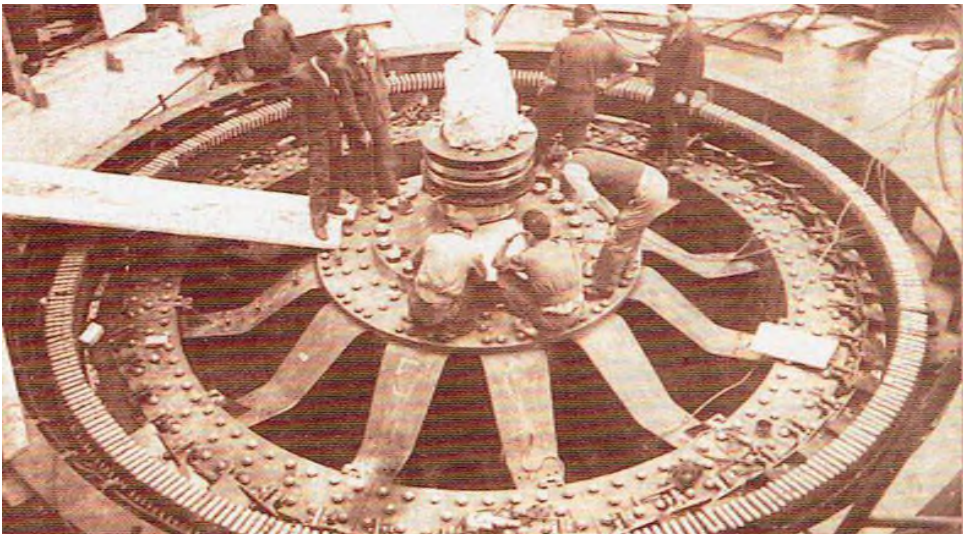
Bilo bi nepotpuno izostavimo li ostale športske aktivnosti. Zimske športske aktivnosti na snijegu počele su na Činovničkoj livadi na Sljemenu. Nakon svladavanja „padavice“, za one koje su privlačili zimski športovi, Škola je (čitaj: profesor tjelesnog odgoja), unatoč sveopće neimaštine, tijekom zimskih praznika organizirala tečajeve alpskog skijanja i skijaškog trčanja u Kranjskoj Gori, slika 10. Oprema je posuđivana od Narodne armije. Nezaboravni ‘sniježni dani’ motivirali su nekolicinu da postanu učitelji skijanja. Tijekom ljetnih praznika Škola je organizirala ljetovanja na Jadranu (Hvar, Split, Rijeka), gdje su učenici podučavani vještinama plivanja, slika 11.

7. Ušli smo u svijet rada u vrijeme intenzivne elektrifikacije i sudjelovali u njenim ključnim razdobljima

Valja podsjetiti da je u to doba izgradnja energetskih izvora, prijenosnih i distribucijskih sustava bila važna karika, ne samo planirane industrijalizacije, nego i elektrifikacije zemlje uopće. Stjecajem okolnosti, naš naraštaj je ‘ušao u svijet rada’ u vrijeme dovršenja HE Vinodol (proizvodnja energije započela 1952. godine), u vrijeme kada su postavljani temelji prijenosnog sustava 110 kV, distribucijskog sustava 35 kV i 10 kV i posebno niskonaponskih mreža opće elektrifikacije Hrvatske.



Sl. 12.: Tvornica *Rade Končar* 1921. i danas



Sl. 13.: Probna montaža generatora za HE Mariborski otok

Intenzivna elektrifikacija zahtijevala je odgovarajuću opremu koju nije bilo lako nabaviti. U tu svrhu započeto je osnivanje domaće industrije koja će tu opremu proizvoditi. Tako je među ostalim, konfiskacijom *Siemensovog* ogranka u Zagrebu nastao *Rade Končar*, slika 12.*,* tvornica elektroopreme (generatora, elektromotora, transformatora, opreme za rasklopna postrojenja, opreme za upravljanje elektropostrojenjima). Kada je *Rezolucijom Informbiroa* od 28. lipnja 1948. tadašnjoj Jugoslaviji uskraćena svaka politička, vojna i ekonomska pomoć, čak joj se prijetilo i vojnom intervencijom, vlastita proizvodnja je već bila osnovana i na sebe preuzela što sve što je mogla, a ponekad čak i više od toga. Jedna od prvih elektrana HE Mariborski otok (1948.), slika 13., izgrađena je dijelovima generatora ranije naručenih iz Austrije. Manjkajuće dijelove su izradili i montažu izveli stručnjaci i radnici *Rade Končara*. Zadivljujuće je da su se u to doba *ne samo u Končaru, nego i u nekim drugim poduzećima pojavili daroviti, inovativni, karizmatični stručnjaci koji su ostvarili veliki razvoj industrije.* [2]. Izgradnja 110 kV prijenosnog sustava potakla je odgovarajuću industrijsku potporu, za što je među ostalim, osnovano poduzeće Dalekovod. Velike količine raznovrsnih vodiča isporučivala je tvornica ELKA.

Osim ovih poduzeća osnovan je niz drugih koja su proizvodila elektroopremu, što je tehničarima pružalo široku mogućnost zapošljavanja. Treba reći da je podlogu pružila činjenica što su u Zagrebu osim Siemensa bili*, Elin, Noris, AEG, Paspa, Croatia i Munja. Većina "jakostrujaša" zaposlila u, Prilog I.,:*

*Iz Priloga 5. "*Zaposlenja maturanata Tehničke škole u Zagrebu šk. god. 1952./53.*", saznaje se da su se maturanti te generacije zaposlili u:*

− elektroprivredi Hrvatske, Crne Gore, Slovenije, BiH, − proizvođačima i distributerima električne energije,

− poduzećima proizvođačima elektroopreme: proizvođaču krupne elektroopreme *Rade Končar* Zagreb, specijaliziranom građevinskom poduzeću Dalekovod Zagreb, poduzećima TEP Zagreb, *Vlado Četković* Zagreb, ELKA Zagreb, Elektrokontakt Zagreb, ATM Zagreb, Energoinvest Sarajevo, Industroinvest Beograd,

− poduzećima specijaliziranim za montažu *Braća Kavurić* Zagreb, Monter Zagreb, Montmontaža Zagreb, Monting Zagreb, građevinskom poduzeću Tempo Zagreb,

− poduzećima gdje je električna energija pokretač proizvodnog procesa: ZET Zagreb, INA Zagreb, Jedinstvo Zagreb,

− projektnim uredima i u

− vlastitim radionicama.

Slabostrujaši su se pretežito zaposlili u PTT-u, te zagrebačkim poduzećima: *Nikola Tesla*, Radiondustrija, Kontrola leta Zagreb, Radio-televizija, te Institutu *Ruđer Bošković*.

Nakon početnog zaleta elektrifikacije, usporena izgradnja energetskih izvora uzrokovala je energetske probleme. Zbog toga se moralo ubrzano (1964.) pristupiti izgradnji, ne samo novih izvora, nego i prijenosne mreže, uključujući i izgradnju 400 kV-tnog prstena *Nikola Tesla*.

Može se reći da smo sudjelovali u ključnim razdobljima elektrifikacije zemlje i unaprjeđivanja PTT prometa. Svi zajedno su, na ovaj ili onaj način, pridonosili elektrifikaciji zemlje. Kolege iz našeg naraštaja su, osim na domaćim projektima, iskustva i osobne reference stjecali i na velikim inozemnim projektima. Osim što se bavio strukom, naš naraštaj se u većoj ili manjoj mjeri suočavao i s gospodarskim problemima poput privredne reforme iz 1965. godine, stabilizacije iz 1971., uključujući i one nastale raspadom države 1990. godine.

8. ‘Iskrice’ sjećanja na davne učeničke zgode i nezgode

U proteklim godinama, počevši od 15. obljetnice mature, nije manjkalo volje, vremena, snage i svega potrebnog za redovito okupljanje našeg naraštaja u skladu s uobičajenom tradicijom − svakih pet godina. Pritom su spontano ‘bljeskale iskrice’ sjećanja na životom potisnute davne učeničke zgode i nezgode. Bilo je lijepo prisjetiti se tih trenutaka, opustiti se i životnu radost iskazati pjesmom, slika 14.



Sl. 14.: 30. obljetnica, 21. svibnja 1983. godine

Izdvajamo susret u 2000. godini (slika 19.), uoči trećeg milenija, kao svojevrstan oproštaj našeg naraštaja od 20. stoljeća, nas koji smo u tom stoljeću rođeni, pripremljeni za život, koji smo odradili svoj radni vijek i zakoračili u treće životno doba. Živjeli smo i djelovali između dva surova događaja: Drugog svjetskog rata i globalnih svjetskih promjena u posljednjem desetljeću, koje su temeljito promijenile svijet oko nas, uz tragičan ali slavan Domovinski rat, u kojem su neki od nas aktivno sudjelovali. Nakon svega toga, velika većina je u treći milenij zakoračila kao kategorija pučanstva o kojoj se puno govori, ali se za nju malo toga čini.

Prigodom 55. obljetnice, prijedlog da se češće sastajemo jednoglasno je prihvaćen i dogovoreno je da to bude svake godine. Budući da su za takve susrete u prednosti kolege koji stalno borave u Zagrebu, godišnji susreti su postali ‘neslužbeni’. Kolege

koji žive izvan Zagreba rado su im se priključivali kad god su mogli.

Uvijek smo pozivali nama drage goste naše profesore. Bilo je:

− zanimljivo saznati od njih kako su nas doživljavali kao svoje đake,

− ugodno čuti mišljenje da smo bili naraštaj koji je ozbiljno prihvaćao svoje obveze, zadovoljavao zahtjevne kriterije Škole,

− da smo se radi obzira i odgovornosti prema sebi, roditeljima i društvu trudili naučiti ono što je Škola zahtijevala,

− da smo poštovali svoje profesore i .stručne voditelje.

Osjećajući njihov veliki doprinos za to što smo postali i kakvi smo danas, pri susretima s njima izražavali smo im najdublje poštovanje i zahvalnost.

9. Vjerujemo da smo u ugled Škole i mi *utkali* pokoju *nit*

Na žalost, danas smo u osjetno manjem broju, svjesni nenadoknadivog gubitka svakog našeg školskog kolege. Znamo da će nas ta neizbježna životna okolnost pratiti i dalje sa sve većom učestalošću. Stoga će nam zajedničke fotografije u nastavku ovog *Sjećanja* pomoći sjetiti se dragih i nezaboravnih prijatelja i kolega s kojima smo podijelili dio svog života.

Kvalitetu tijekom školovanja i neizbrisivost uspostavljenih veza, između ostalog, potvrđuje i činjenica što smo se sastajali kao naraštaj, a ne posebno po razredima. Imajući u vidu da nas je život 'odveo' na različite strane, možemo biti zadovoljni odzivom naših kolega, što je potvrda snažnog 'duha' zajedništva i međusobnog uvažavanja. Posebno nam je drago što ove godine naša Škola obilježava 137**.** obljetnicu svog postojanja. Ponosni smo što smo bili njezini učenici i želimo vjerovati da smo u njezin ugled i mi 'utkali' pokoju *'nit'*. O kvaliteti Škole i dosega njezinih učenika nekad su svjedočili uzorni i najbolje ocijenjeni programi učenika, izloženi u vitrinama u hodniku, a danas ih krase medalje s međunarodnih učeničkih natjecanja.

Ne izostavljamo ni obljetnice poduzeća u kojima smo radili. Prije svega to su: 117. godišnjica HEP-a, 99. godišnjica *Končara*, skora 72. godišnjica Dalekovoda (na žalost, za HTV, Radioindustriju i poduzeća u kojima su radili *slabostrujaši* ne raspolažemo točnim podacima o njihovim obljetnicama). Bez obzira gdje smo sve radili i jesu li nam ili nisu poznate obljetnice tih poduzeća, mi ih doživljavamo s posebnim osjećajima, jer smo tijekom radnog vijeka u njih ugradili dio sebe i u njima stekli zasluženu mirovinu. Vjerujemo da smo i tamo ostavili dobar trag.

Zaključak

Ovaj članak načinjen je kako bi uz ostalo što smo do sada učinili, ostavili pisani trag o našem naraštaju. Školovanje u Saveznoj srednjoj tehničkoj školi započeli smo šk. god. 1949./50. s više ili manje krnjim obrazovanjem iz osnovne škole i svatko sa svojim ratnim ožiljcima**.** U to doba je manjkalo udžbenika, nužno potrebnih nastavnih sredstava, školskog pribora, pa čak i najosnovnijeg kao bilježnica i pisaćeg pribora. Uz to, trpjeli smo oskudicu osnovnih životnih potreba: hrane, odjeće, obuće i smještaja. Nesebičan domišljat i požrtvovan pristup i trud profesora pomogao nam je nadvladati ono što je nedostajalo i udovoljiti zahtjevnom pristupu Škole. Ucijepio nam je: načelo − jedanput naučeno, nikad zaboravljeno, radne navike, dovitljivost, volju, samostalnost i ustrajnost za uspješno i samostalno rješavanje zadaća. Poštovali smo ih i oni nas. Uza sve to našlo se vremena i za športske aktivnosti u okviru tjelesnog odgoja. Činjenica da je od 180 učenika upisanih u prvi razred maturiralo samo 86, potvrđuje zahtjevni status škole. Životno iskustvo nas je uvjerilo da smo zahvaljujući visokim kriterijima Škole bili spremni preuzeti odgovorne zadaće, što također potvrđuje njezin status. Visokom razinom stečenog znanja ušli smo u svijet rada u vrijeme intenzivne elektrifikacije, sudjelovali u njezinim ključnim razdobljima i stjecali iskustvo i rutinu.

Sastajanje povodom obljetnica mature potvrđuje snažan *duh* zajedništva i međusobnog uvažavanja. Pri rastanku prigodom 65. obljetnice, nazočni su izrazili želju da se, posluži li nas zdravlje i ostale okolnosti, potrudimo pripremiti i na doličan način organizirati sljedeći "službeni" susret, 70. obljetnicu mature. Do tada doviđenja!

Literatura

[1] Pavličević, Dragutin: *Povijest jednog povjesničara − Doživljaji iz borbe protiv "klasnog neprijatelja" u Zagrebu od 1947. do 1952.*, naklada Pavičić, Zagreb, 2017.

[2] Ožanić, Marijan: *Tomo Bosanac − otac generatora*, Velikani hrvatske znanosti (1), 7. 5. 2020.

Stjepan Badanjak, Franjo Vidaković

Education of an Generation of Tehnicisans in War and postwar Conditions of Second World War

Abstract: This report is an abstract display of circumstances in elementary education and the circumstances during education in Secondary Technical School, Zagreb, electrical department and also living conditions and circumstances during lifetime of our generation. This year will be 67 years since we have graduated in school year of 1952/53. In this report we describe what we have lived through school and lifetime trying to fulfil honorably and completely our obligations with diploma in our hands- an official confirmation of maturity and capability for a step forward into uncertainty called life. We haven't of course thought of what will be in 67 years. There was life in front of us in which we immersed and got down to work to improve acquired knowledge in order to secure our own and our families existence. Besides, each one of us have studied how to be an expert, but also a human been.

Key words: education, knowledge, skill, ingenuity, ability, succes, responsibility, persistence, respect.

Prilog 1.: Profesori koji su predavali maturalnim razredima elektro-odjela Tehničke škole u Zagrebu, šk. god. 1952./53.

IV a – IV c

Hrvatski	Dragica Kosović, prof.
Ruski	Aleksandra Pleše, prof.
Ekonomika	Stjepan Domaćina, prof.
Predvojnička obuka	Ivica Singer, prof.
Tjelesno vježbanje	Danilo Vižintin, prof.
Organizacija proizvodnje	Adrijan Bartolović, dipl. inž.
Osnove elektrotehnike	Boris Tomić, dipl. inž.
Ispitivanje električnih strojeva	Ivo Opitz, dipl. inž., Mirko Knežević, dipl. inž.
Električni strojevi	Ernest Židovec, dipl. inž.
Električne mreže	Svetozar Trbojević, dipl. inž., Vladimir Hergešić dipl. inž.
Električne centrale	Svetozar Trbojević, dipl. inž.
Trafostanice	Ernest Židovec, dipl. inž.
Rasklopni uređaji	Svetozar Trbojević, dipl. inž.
Enciklopedija elektroveza	Vladislav Blaževac, dipl. inž., Lovasić, dipl. inž.
Rad u radionici	Kalođera, dipl. inž.

IV s

Hrvatski	Dragica Kosović, prof.
Ruski	Aleksandra Pleše, prof.
Ekonomika	Stjepan Domaćina, prof.
Tjelesno vježbanje	Danilo Vižintin, prof.
Predvojnička obuka	Mitak Slavko, prof.
Organizacija proizvodnje	Adrijan Bartolović, dipl. inž.
Električna mjerenja	Gregurić Miroslav, dipl. inž.
Osnove radiotehnike	Cetineo Vilim, dipl. inž.
Telefonija	Gross Berdich, dipl. inž.
Osnove elektrotehnike	Dragoš Machiedo, dipl. inž.
Telegrafija	Stiperski Dragutin, dipl. inž.
T.T. linije	Šerka, dipl. inž.
V.f. telefonija	Stiperski Dragutin, dipl. inž.
Rad u radionici	Gregurić Miroslav, dipl. inž.

Prilog 2.: Maturanti Tehničke škole u Zagrebu (eletro-odjel), šk. god. 1952./53.

IVa − razrednik Židovec Ernest, dipl. ing.
Babić Franjo
Badanjak Stjepan
Barić Juraj
Božić Marijan
Čobelić Boško
Dobardžić Muharem
Dragojevič Gojko
Dukovac Nikola
Đapić Marko
Hrubi Luka
Lukin Dalibor
Marić Jakov
Mihalek Ivan
Milošević Nikola
Obradović Dušan
Ovuka Kojo
Šimunić Stjepan
Španović Svetislav
Turkalj Vladimir
Veljača Marko

IVb − razrednik Svetozar Trbojević, dipl. ing.
Bajić Antun
Dolenec Čižmek Branko
Eraković Ratko
Fetahović Omer
Gojšić Josip
Grmovšek Jurij
Janičić Luka
Kalajdžić Milan
Karas Leo
Klarić Alfonso
Korom Vladimir
Lazić Jovan

Magazin Berislav
Megyeri Alojzij
Nadilo Krenić Kuzma
Pečar Stanislav -Brinovec
Petrović Mladen
Šimatović Ivan
Stiković Ivan
Trajković Slavko
Vidaković Franjo
Žarković Ivan

IVc – razrednik Tomić Boris, dipl. ing.
Agejev Vladimir
Balić Ivan
Bosiljevac Antun
Čučković Branko
Gaća Karlo
Gržičić Juraj
Horvat Slavko
Kerovec Antun
Makoter Mladen
Maloča Mijo
Nevešćanin Josip
Novak Željko
Rukavina Josip
Sinđelić Juraj
Stanojević Branko
Šimatović Tomo
Vučetić Nikol
Županić Franjo

IVs – razrednik Cetineo Vilim, dipl. ing.
Abramović Đuro
Baković Krešimir
Bakula Krešimir
Domančić Jerko
Dvoraček Franjo
Fresl Vladimir
Genc Vladimir
Graber Ivan

Janko Zdravko
Komušar Vladimir
Kosanović Jovanka.
Krošelj Oto
Kršćanski Zvonimir
Lastrić Krešimir
Logožar Franjo
Mareković Branko
Margetić Vladimir
Miletić Silvano
Mrnjec Josip
Nikšić Ivan
Ostarčević Hrvoje
Pavin Marijan
Predrag Matej
Rajčić Ante
Starčević Simo
Šlipogor Dragutin

Prilog 3.: Učenici prigodom završetka školovanja u Tehničkoj školi (elektro-odjel), 1953. godine, po razredima

U to su doba u negdašnje, davno zaboravljene, spomenare romantičari zapisivali: „Od kolijevke pa do groba, najljepše je đačko doba.“ (bez obzira kako je i kada nastala, ta je izreka doista istinita).



Sl. 1.: IV a razred



Sl. 2.: IV b razred



Sl. 3.: IV c razred



Sl. 4.: IV s razred

Prilog 4.: Sudionici obljetnica mature maturanata Tehničke škole u Zagrebu

Uspoređujući fotografije vide se zamjetne promjene u izgledu i brojnosti sudionika susreta, jedino nepromijenjeno jest mjesto fotografiranja, ulazno stubište Tehničke škole.



Sl. 1.: 20. obljetnica, 9. lipnja 1973.



Sl. 2.: 25. obljetnica, 18. studenoga 1978.



Sl. 3.: 30. obljetnica, 21. svibnja1983.



Sl. 4.: 35. obljetnica, 28. svibnja 1988.



Slika 5.: 40. obljetnica 9. listopada1993.



Sl. 6.: 45. obljetnica, 28. studenoga 1998.



Slika 7.: 47. obljetnica, 20. svibnja 2000.



Slika 8.: 50.obljetnica, 24. svibnja 2003.



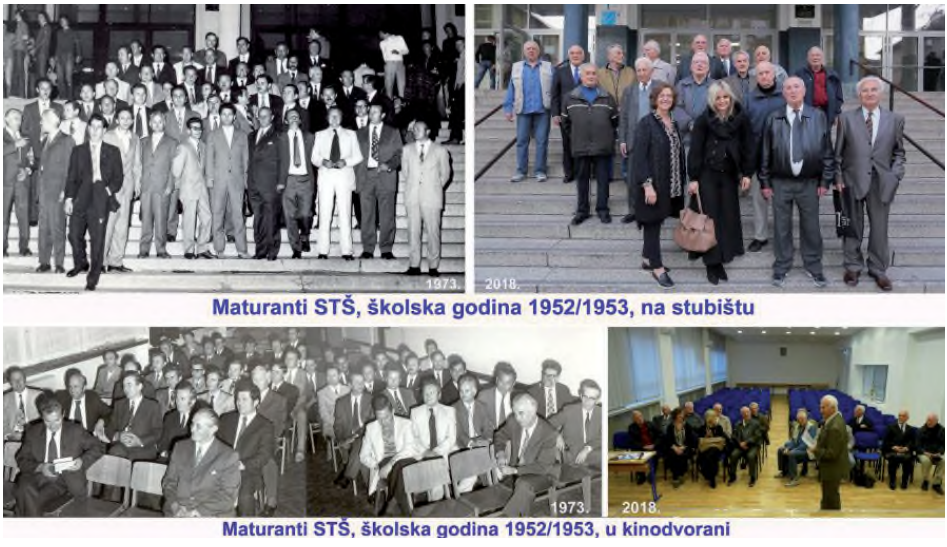
Slika 9.: 55.obljetnica, 23. kolovoza 2008.



Sl. 10.: 60. obljetnica, 20. travnja 2013.



Slika 11.: 65. obljetnica, 11.04.2018.



Slika 12.: Usporedba broja nazočnih pri 20. i 65. obljetnici

Prilog 5.: Zaposlenja maturanata Tehničke škole u Zagrebu šk. god. 1952./53.

Pregled je načinjen 22. svibnja 2003. godine na osnovi raspoloživih podataka dobivenih izravno od imenovanog ili posredstvom kolega. U slučaju izvođenja bilo kakvih zaključaka treba imati u vidu da je dio kolega tijekom svog radnog vijeka mijenjao radna mjesta.

Naziv tvrtke	Prezime i ime	Broj uposlenih
ATM, Zagreb	Dolenec Čižmek Branko	1
Braća Kavurić, Zagreb	Sinđelić Juraj	1
Brodogradilište Inkobrod, Korčula	Krenić Kuzma	1
Centar SUVAG, Zagreb	Ostarčević Hrvoje	1
Dalekovod, Zagreb	Bajić Antun, Dobardžić Muharem, Sinđelić Juraj, Vidaković Franjo	4
ELEKTRA, područni uredi	Bosiljevac Antun, Đapić Marko, Gaća Karlo, Gojšić Josip, Gržičić Juraj, Lazić Jovan, Veljača Marko, Žarković Ivan	7
ELEKTRO Crna Gora, pogon TS 110 kV	Jančić Luka	1
Elektrokontakt, Zagreb	Klarić Alfonso	1
ELEKTRO Ljubljana, PE Novo Mesto	Pečar Stanislav	1
ELEKTRO Tuzla	Čobelić Boško	1
ELEKTRO Vrbas, Jajce	Maloča Mijo	1
ELKA, Zagreb	Kalajdžić Milan	1
Energoinvest, Sarajevo	Čobelić Boško, Fetahović Omer, Megyery Alojz (Predstavništvo Zagreb)	3
EXPORTDRVO, Zagreb	Lastrić Krešimir	1
FINEX, Slatina	Gaća Karlo	1
Graditelj, Podravska Slatina	Gaća Karlo	1

HEP (ranije Elektroprivreda), Zagreb	Karas Leo, Komušar Vladimir, Makoter Mladen, Miletić Silvano, Nevešćanin Josip, Šimunić Stjepan, Vidaković Franjo	7
INA–INŽENJERING, Zagreb	Božić Marijan (gradilište Sisak), Kalajdžić Milan (OOUR Konzalting Zagreb)	2
INA–NAFTAPLIN, Zagreb	Horvat Slavko	1
Industrijski projektni biro, Zagreb	Šimatović Tomo	1
INDUSTROINVEST, Beograd	Korom Vladimir	1
Institut Ruđer Bošković, Zagreb	Pavin Marijan	1
INVESTPROJEKT, Zagreb	Genc Vladimir, Krošelj Oto	2
Jedinstvo, Zagreb	Šimunić Stjepan	1
JUGOLINIJA, Rijeka	Magazin Berislav	1
JUGOPETROL, Kotor	Stanojević Branko	1
Končar, Zagreb	Badanjak Stjepan, Dobardžić Muharem, Dolenec-Čižmek Branko, Dvoraček Franjo, FreslVladimir, Karas Leo, Kerovec Antun, Korom Vladimir, Kršćanski Zvonimir, Makoter Mladen, Marić Jakov, Novak Željko, Petrović Mladen, Rajčić, Ante, Sinđelić Juraj	15
MAR-KO-ING, Zagreb	Makoter Mladen	1
Međimurska trikotaža, Čakovec	Balić Ivan	1
Monter, Rijeka	Rukavina Josip	1
MONTING, Zagreb	Agejev Vladimir	1
MONTMONTŽA, Zagreb	Agejev Vladimir, Sinđelić Juraj	2
Nikola Tesla, Zagreb	Margetić Vladimir, Novak Željko	2
NIP Borba, Beograd	Španović Svetislav	1
Osnovna škola Ruđer Bošković	Petrović Mladen	1
OKI, Zagreb	Turkalj Vladimir	1
Predrag Heruc, Zagreb	Šimatović Ivan	1
Preduzeće za distribuciju električne energije, Beograd	Trajković Slavko	1

Progres Mladenovac	Eraković Ratko	1
Privredna banka Zagreb	Čučković Branko	1
Projektni ured Kotor	Stanojević Branko	1
PTT promet	Abramović Branko (Zagreb), Logožar Franjo (Varaždin), Mrnjec Josip, Šlipogor Dragutin (Zagreb)	4
Radioindustrija Zagreb	Bakula Krešimir, Predrag Matej	2
Radiotelevizija Zagreb, servis TV	Mareković Branko	1
Savezna uprava za civilnu zračnu plovidbu, Oblasna služba Zagreb	Baković Krešimir	1
Svjetlo, Zagreb	Kalajdžić Milan	1
Školski centar Nikola Tesla za strojarstvo i elektrotehniku, Zagreb	Rajčić Ante	1
Tehnika GP	Barić Juraj	1
Tempo GP Zagreb	Hrubi Luka, Nikšić Ivan	2
TEP, Zagreb	Čučković Branko	1
TREIS, Zagreb	Dobardžić Muharem	1
TSN Maribor, Predstavništvo Zagreb	Makoter Mladen	1
Tehnička vojna akademija (TVA KOV JNA) Zagreb	Veljača Marko	1
Tvornica elektroda i ferolegura, Šibenik	Lukin Dalibor	1
Uprava veza GŠ JNA, Beograd	Starčević Simo	1
Uprava za proizvodnju naoružanja SSNO Beograd	Obradović Dušan	1
Ventilator, Zagreb	Agejev Vladimir	1
Vladimir Četković, Zagreb	Šimunić Stjepan	1
Vlastita radionica	Grmovšek Jurij, Turkalj Vladimir	2
Vodovod, Zagreb	Štihović Ivan	1
Vojna bolnica, Zagreb	Ovuka Kojo	1
Vojnogrđevinska direkcija	Kosanović Jovanka	1

Vojnotehnički institut, Beograd	Dragojević Gojko	1
VP 2797 Novi Sad	Milošević Nikola	1
VP 4791 Zadar	Dukovac Nikola	1
Zavod za zaštitu bilja, Zagreb	Šimatović Ivan	1
ZET, Zagreb	Marić Jakov	1

Zoran Bobič Šonc

Optimalni solverumi Apolloniosovih problema šestarom i ravnalom[1]

Sažetak: Apolloniosovi problemi su problemi teinometriskih (geometriskih) konstrukcija šestarom i ravnalom koje je postavio grčki matematičar Apollonios iz Perga u III. stoljeću prije n. ere. Problemi se odnose na titenaciju, tj. smještenje cirkulusa (kruga) među druge teinometriske formoide (obličja), kao među: točke, direkte, rektoliniske formoide (trigone, kvadrate, ortogone, rombe), a prvenstveno među zadane hemicirkuluse i cirkuluse. Konstrukcije solveruma Apolloniosovih problema su se pojavljivale tokom 23 stoljeća u trima povijesnim etapama i to: u prvoj etapi III. stoljeća pr.n.ere po Apolloniosu kao apsolutne konstrukcije, u drugoj etapi krajem XVI. stoljeća po Getaldićevoj metodi dilongacije radiusa kao apsolutne konstrukcije i konačno u trećoj etapi krajem XX. stoljeća nakon pojave procedentne logokodusne teinometrije. Do danas su novoeuklidikom optimalno riješeni svi izvorni i naknadni Apolloniosovi problemi i to isključivo upotrebom šestara i ravnala primjenom 'apsolutnih' i 'procedentnih' teinometriskih konstrukcija. Izneseni su kratka povijest i filozofija Apollniusovih problema, a karakteristične konstrukcije solveruma prikazane su fazama konstruiranja.

Ključne riječi: Apollonios, Apolloniosovi galski problemi, Apolloniosovi problemi, Blanuša, cirkulus, euklidika, geometrija, Getaldić, hemicirkulus, logokodus *Ƙ* novoeuklidika, procedencija, teinometrija, titenacija

[1] Članak je doslovno prenesen iz rukopisa. (opaska urednika)
-Izvođenje konstrukcija šestarom i ravnalom znači da se one izvode samo pomoću kružnih lukova i pravih linija, a u praksi ravnim crtama
-U članku su korišteni znanstveni termini matematike i teinometrije, kako bi se izneseno štivo moglo jednoznačno koristiti i prevoditi na druge jezike. Za srednje školstvo potrebno je štivo pojednostaviti i koristiti termine na pojedinom jeziku u skladu s uzrastom učenika. (opaska autora)

1. Povijest i filozofija Apolloniosovih problema

Po spoznaji drevnih civilizacija stare ere Sunce je stvoritelj svega materijalnog svijeta i svega života na Zemlji, pa je stoga bilo vrhunsko božanstvo (Ra, Apollon). Sunce se po njima tako nalazi u svemu postojećem. Time je od davnina nastala težnja matematičara da u sve oblike protežnosti materijalnog svijeta mogu smjestiti simbol Sunčevog diska prikazanim cirkulusom (krugom) i simbol Sunčevih zraka prikazanih direktusima (pravcima). Stoga bi se sve konstrukcije protežnosti mogle dati grafički prikazati samo pomoću šestara (cirklusa) i ravnala (lineala) koje se u praksi nadomještava crtačkim trokutnicima[2].

U teinometriji[3] diametar cirkulusa može predstavljati projekcije cirkulusa na okomitoj ravnini iz čega proizlazi da se sve u teinometriji može konstruirati samo pomoću cirkulusa[4].Vrhunac u razradi takve filozofije teinometriskih konstrukcija donio je u znanosti glasoviti Apollonios iz Perga (262 - 196) koji je znao reći: "geometriske" konstrukcije nalaze se skrivene u igri širenja krugova nastalih od padanja kišnih kapi na površinu vode, slika 1. Ukratko, u krugovima kišne lokve krije se sva "geometrija".

Apollonios je smatrao da se cirkulus kao Sunčev oblik treba naći u svim konstrukcijama protežnosti, tj. da bi se mogao dati smjestiti u sve konstrukcije protežnosti, i one s više krugova, pa je po tome nazvan "kralj krugova", od grčki bazileis kiklosis. Tako su nastali teinometriski problemi smještenja cirkulu- sa među ostale teinometriske oblike (formoide) koji su po Apolloniusu nazvani Apolloniosovi problemi.

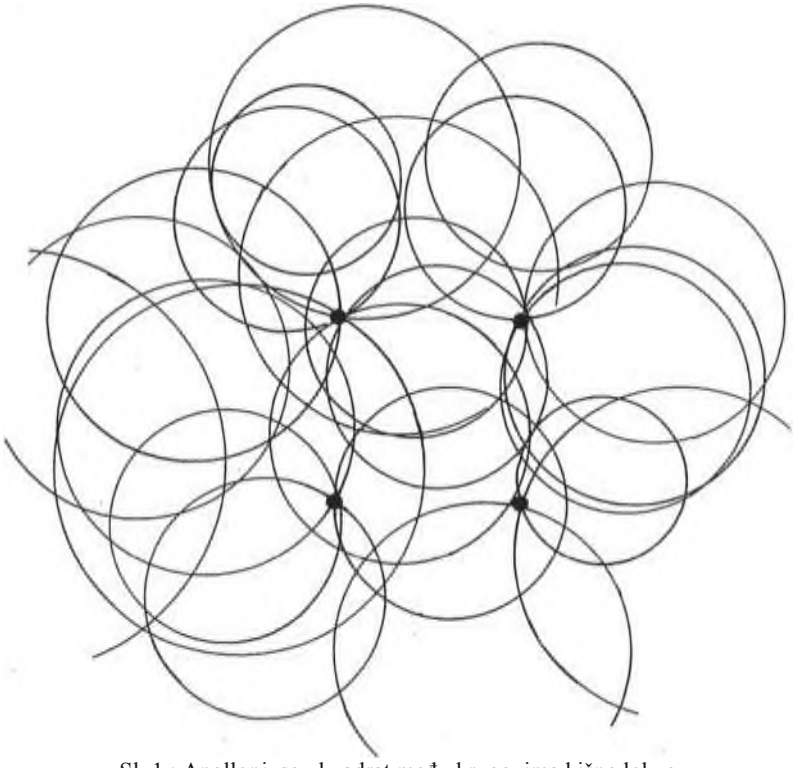
Dio teinometrije koji proučava i rješava probleme smještenja jedne teinometriske oblike u druge naziva se 'titenalna teinometrija', od grč. titenaj, što znači smjestiti, njem. *Einbettung*, rus. *smještčenije*, fran. *immersion*, engl. *imbeddings*.Vrhunac titenalne teinometrije je u povijesti matematike donio glasoviti matematičar XX. stoljeća akademik Danilo Blanuša (1903. - 1987.) rodom iz Osijeka kada je višedimenzionalne zakrivljene prostore smjestio u euklidske prostore. Titenaciju zakrivljenih višedimenzionalnih prostora nastavio je njegov učenik Ivan Ivanšić na Sveučilištu u Zagrebu.

---

[2]Crtački trokutnik je tehničko pomagalo u obliku trokuta i služi za crtanje, a crtaći trokut je trokut koji se dobiva crtanjem, tj. lik koji se crta.

[3]**Teinometrija je matematička disciplina koja znači izmjeru protežnosti, grč. teine, protežnost. Termin "geometrija" koristi se i dalje u okviru njegovog osnovnog značenja izmjere planeta Zemlje i njenog tla, zajedno s terminima: geografija, geodezija, geoskopija, geofizika, geologija i dr. Ge znači tlo, Zemlja.**

[4] Stranice ortotrigona tj. pravokutnog trokuta u biti su projekcije cirkulusa, pa Pitagorov teorem vrijedi tako i za cirkuluse.



Sl. 1.: Apolloniusov kvadrat među krugovima kišne lokve
Izgled nepravilnog kvadrata je optička varka

Vrhunskom titenalnom teinometriom je 'novoeuklidika'[5], u koju spada i procedentna logokodusna tei- nometrija, postala daljnja nadgradnja 'euklidike' antičke Grčke.

Apolloniusovi problemi su se u povijesti od preko dva milenija rješavali u trima karakterističnim periodama i mogu se svrstati u tri osnovne grupe koje čine:

1. Izvorni Apolloniosovi problemi tzv. arheproblemi koje je postavio sam Apollonios u III. stoljeću pr.n.ere.
2. Apolloniosovi galski problemi koje je apsolutnim konstrukcijama riješio Dubrovčanin Marin Getaldić u tadašnjoj Galiji, rimsko-francuskoj provinciji, krajem XVI. stoljeća, i
3. Apolloniosovi novoproblemi koji su razrađeni i riješeni kao konstrukcije mijene protežnosti nakon pojave procedentne logokodusne teinometrije krajem XX. stoljeća.

5Novoeuklidika je daljni razvoj i nadgradnja euklidike antičke Grčke uvođenjem: kretanja točke i formoida zakrivljenih i višedimenzionalnih prostora i matematičko programirane mijene protežnosti, mutoteinometrije (Lobačevski, Rieman, Hilbert, Blanuša).

Svi solverumi Apolloniosovih problema mogu se danas konstruirati čisto teinometriski, šestarom i ravnalom optimalnim konstrukcijama i to kao:

a) **Apsolutne konstrukcije** su matematički apsolutno točne u svojoj konačnosti i one su radikalne s prebrojivim teinometriskim potezima. Apsolutne konstrukcije su i radikalne konstrukcije limesa procedentnih konstrukcija, koji se također mogu konstruirati po programiranim ciklusima, logokodusima; na primjer, dijagonala kvadrata kao limes beskonačne procedencije.

b) **Procedentne konstrukcije** predstavljaju slijed radikalnih konstrukcija koje se konstruiraju po logokodusu koji pouzdano i postupno vodi u limes. Kao takve su prirodno nužno aproksimativne s rastućom točnošću približavanja limesu koji predstavlja traženu nikad dostignutu konačnu konstrukciju.

2. Apsolutne konstrukcije Apolloniosovih problema

U apsolutne solverume Apolloniosovih problema spadaju konstrukcije koje je kao daljnju razradu izvornih problema postavio glasoviti pariški matematičar Francois Viete (1540. - 1603.). Sve te postavljene probleme poznate kao Apolloniosovi galski problemi[6] razradio je i riješio na originalan način njegov genijalan učenik Marin Getaldić (1566. - 1627.) rodom iz Dubrovnika, krajem XVI. stoljeća.

Getaldić je svoje konstrukcije rješenja Apolloniosovih galskih problema objavio u Veneciji 1607. godine na latinskom jeziku pod naslovom: *Apollonius Redivivus, seu* (ili) *restituta Apollonii Pergae*.

Apolloniusovi galski problemi sadržavaju konstrukcije rješenja titenacije (smještaja) i to: direkte između zadane katatenuze (osnovice) i rektoliniskih likova (trigona, kvadrata, ortogona, romba), direkte između cirkulusa i drugog direktusa, posebno titenacije određenog cirkulusa radiusa $_t r$ između cirkulusa i točke.

Apolloniosove galske probleme je Getaldić idealno riješio kao apsolutne konstrukcije matematički krajnje točne s prebrojivim teinometriskim koracima šestarom i ravnalom. To je bilo u Padovi, gdje je predavao G. Galilej, prava senzacija. Od tada Getaldića i Galileja veže značajno prijateljstvo popraćeno s međusobnim dopisivanjem.

Rješenja Apolloniosovih galskih problema titenacije cirkulusa između dva zadana cirkulusa Getaldić je objavio u Veneciji 1607. godine pod naslovom:

6Galski problemi su nastali u Galiji kako se tada nazivala rimska provincija u Francuskoj naseljena keltskim plemenima. U doba Rimljana se provincija naseobine Hrvata nazivala Croatia, starogrčki Kroateja, pa Hrvatsku često i danas internacionalno tako nazivaju.

MARINI

GHETALDI

PATRITII

R A G V S I N I. Apollonius Rediuiuus.

Seu,

RESTITVTA APOLLONII PARGAEI

Inclinationum Geometria.

CVM P R. I V I L E G I I S.



VENETIIS

Apud Bemardum luntam

M DC VII

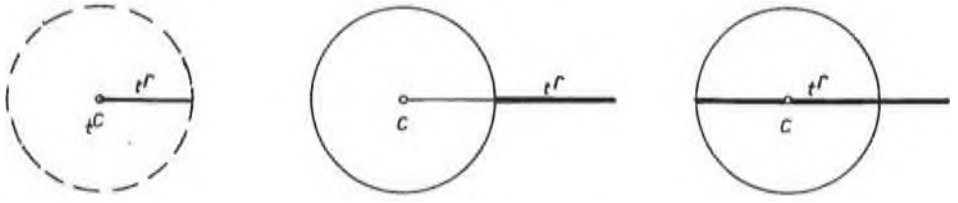
Sl. 2.: Preslika naslova Getaldićeve knjige

Supplementum Apollonii Galli. Vrhunac ortodoksne euklidske titenacije Getal- dić dostiže u djelima:

- *Razrada i rješenja* 42 *problema trigona i cirkulusa*, Venecija, 1607., 162 stranice.
- *Rješenja* 4 *Apolloniosovih problema titenacije direkte*, Venecija, 1607., 130 stranica.
- *Nadogradnja problema i rješenja Apolloniosovih kružnica sa* 29 *matematičkih lema*, Venecija, 1608.
- *Razrada geometriskih problema algebarskom analizom i sintezom*, Rim, 1630., posthumno, 354 stranice.

Probleme titenacije cirkulusa Getaldić je riješio svojom genijalnom idejom na način da je traženom titenalnom cirkulusu unaprijed odredio njegovu veličinu određenjem njegovog radiusa $_t r$. Time su svi galski problemi titenacije cir- kulusa mogli biti riješeni zadivljujućim apsolutnim konstrukcijama šestarem i ravnalom.

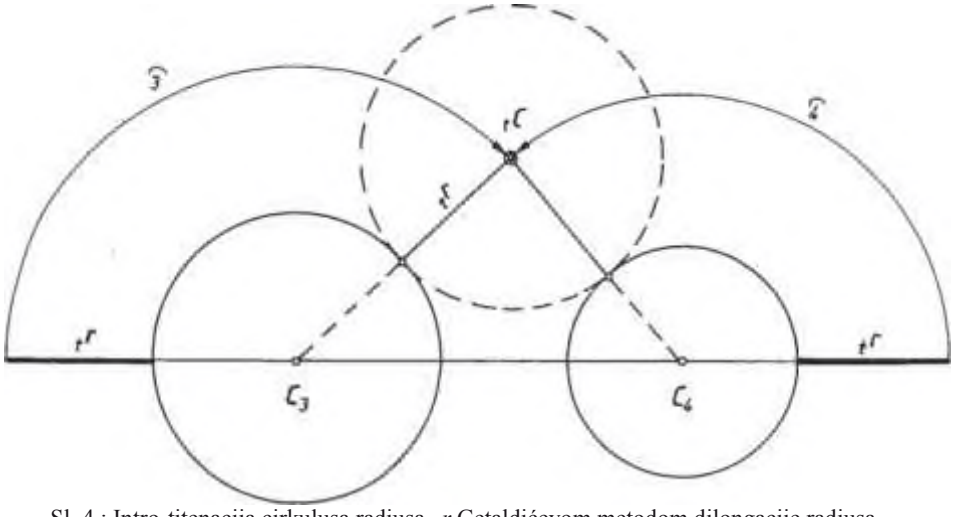
Ta originalna Getaldićeva metoda postavljanja titenalnog radiusa $_t r$ na određeno mjesto na početku konstrukcije nazvana je **metodom dilongacije radiusa** čija dva osnovna položaja dilongacije radiusa prikazuje slika 3.



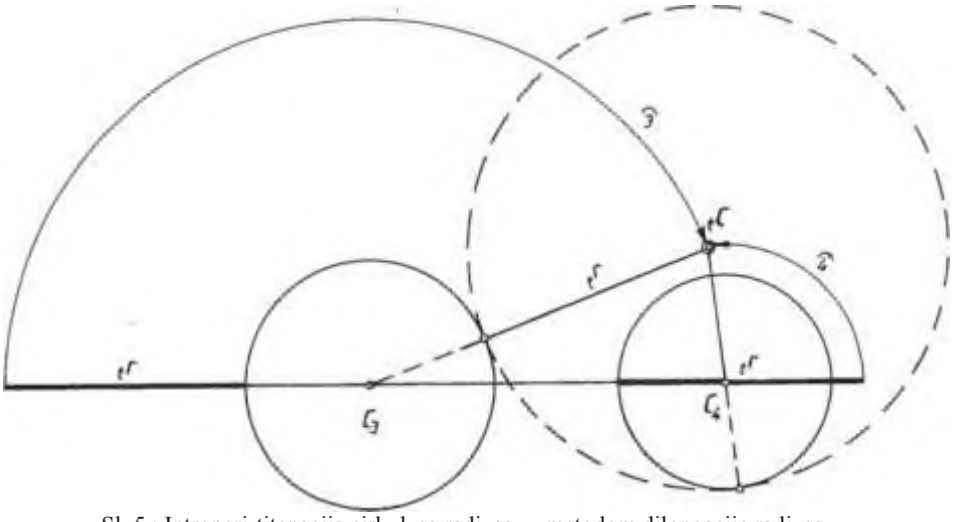
a) b) c)

Sl. 3.: a) Getaldićev titenalan cirkulus određen radiusom $_t r$, b) Getaldićeva dilongacija $_t r$ u produžetku radiusa zadanog cirkulusa, c) Getaldićeva dilongacija $_t r$ preko diametra zadanog cirkulusa

Karakteristične konstrukcije solveruma dva Apolloniosova galska problema titenacije cirkulusa s $_t r$ među dva zadana cirkulusa s centrima C_1 i C_2 radiusa r_1 i r_2 prikazuju slike 4. i 5. s primjenom cirkulusa C_3 i C_4.



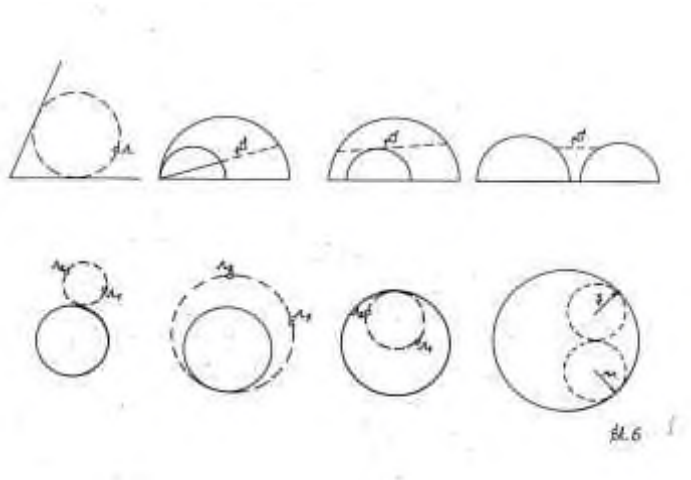
Sl. 4.: Intro-titenacija cirkulusa radiusa $_t r$ Getaldićevom metodom dilongacije radiusa



Sl. 5.: Introperi-titenacija cirkulusa radiusa $_t r$ metodom dilongacije radiusa

Prikaz ostalih Getaldićevih titenacija cirkulusa Apolloniosovih galskih problema izlazi iz okvira ovog članka.

Možemo sa zadovoljstvom konstatirati da su za mnoge titenacije zadane direkte i cirkulusa, za koje se smatralo da su konstruktivno neprovedive *casus irproducibilis*, pronađene krajem XX. stoljeća apsolutne konstrukcije kao što su za probleme prikazane na slici 6.



Sl. 6.: Apolloniosovi problemi titenacije riješeni apsolutnim konstrukcijama šestarom i ravnalom

3. Procedentne konstrukcije titenacije cirkulusa

Nakon pojave Getaldićevih apsolutnih konstrukcija titenacije ostao je povijesni problem solveruma izvornih Apolloniosovih problema koji se odnose na titenaciju cirkulusa u Talesovom hemicirkulusu među druge hemicirkuluse i na titenaciju cirkulusa među tri zadana cirkulusa.

Problem konstrukcija ovih Apolloniosovih problema ostao je otvoren sve do pojave procedentne **logokodusne teinometrije**[7] sredinom sedamdesetih godina XX. stoljeća u Zagrebu. Logokodusna teinometrija donijela je optimalna rješenja za sve Apolloniosove probleme i dokazala da mnoge konstrukcije tite- nacije ne mogu biti apsolutne jer pripadaju teinometriji procedentne prirodne mijene protežnosti. One su kao takve procedentne i time nužno aproksimativne a tek u nedostižnom limesu bi mogle biti apsolutne.

Osnovno svojstvo logokodusne teinometrije je to da se matematička točnost konstrukcija može programirati brojem primjene logokodusnih ciklusa u približavanju limesu procedencije. Praktičnu maksimalnu točnost logokodusnih konstrukcija određuje debljina crte konstrukcije na kojoj se konstrukcija procedencije beskonačno ponavlja, a time praktično na crti zaustavlja i postaje finiskonstrukcijajla tj. radikalna (lat. *finis*, kraj, granica).

Procedentnom logokodusnom teinometrijom su tako riješeni svi preostali naznačeni Apolloniosovi problemi titenacije cirkulusa šestarom i ravnalom.

Naznačene dvije grupe Apolloniosovih problema titenacije cirkulusa konstruiraju se šestarom i ravnalom primjenom osam postulatnih teorema i primjenom konstrukcije procedentnog tangentog trigona, tantrigona, s kojim je određen tražen cirkulus.

3.1. Osam postulata solveruma Apolloniosovih problema

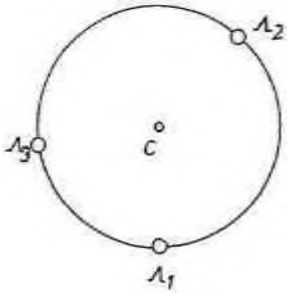
Postulati su odabrani axiomi i teoremi na kojima se temelje analize i konstrukcije solveruma dotičnih problema. U konstrukcijama titenacije cirkulusa primjenjuju se uglavnom osam odabranih teorema koji su ovdje u funkciji postulata i koji su kako slijedi:

1) Svaki cirkulus određen je s tri točke cirkule (kružnice), slika

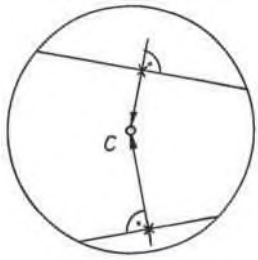
2) Simetrala svake tetive cirkulusa prolazi kroz centar cirkulusa

---

7)Matematičke kondicije (uvjeti) za *logokodus procedencije* su: l) Da osigurava procedenciju. 2) Da osigurava konvergenciju u određen limes. 3) Da se procedencija može prekidati u bilo kojoj točki. 4) Da konvergencija ne ovisi o početnoj točki, inicistigma $_{i}$C. Da konvergencija ne ovisi o grafičkoj točnosti konstruiranja.

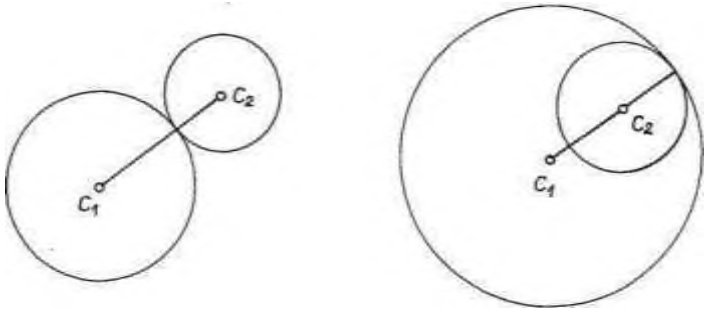


Sl. 7.



Sl. 8.

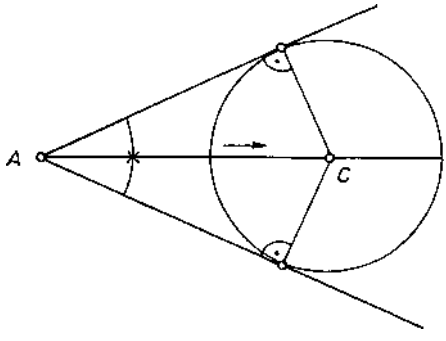
3) Dva cirkulusa se dodiruju u točki koja se nalazi na direktusu diacentrate (spojnice centara) cirkulusa



a) b)

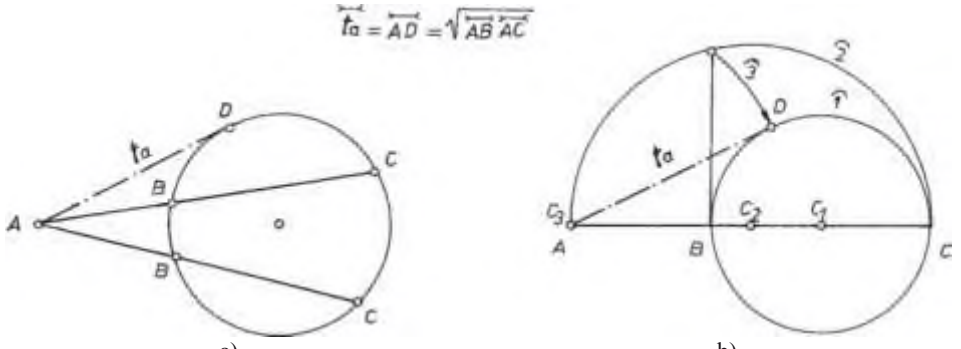
Sl. 9.

4) Simetrala gonusa kojemu su gonale (krakovi) tangente na cirkulus prolazi kroz centar cirkulusa



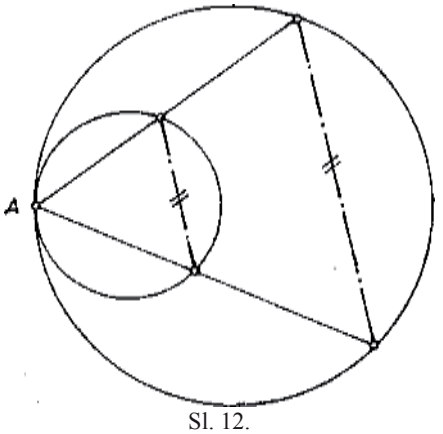
Sl. 10.

5) Tangenta na cirkulus je teinometriska sredina vanjskog odsječka (AB) i duljine sekate (AC) cirkulusa iz iste točke (Å)



Sl. 11.

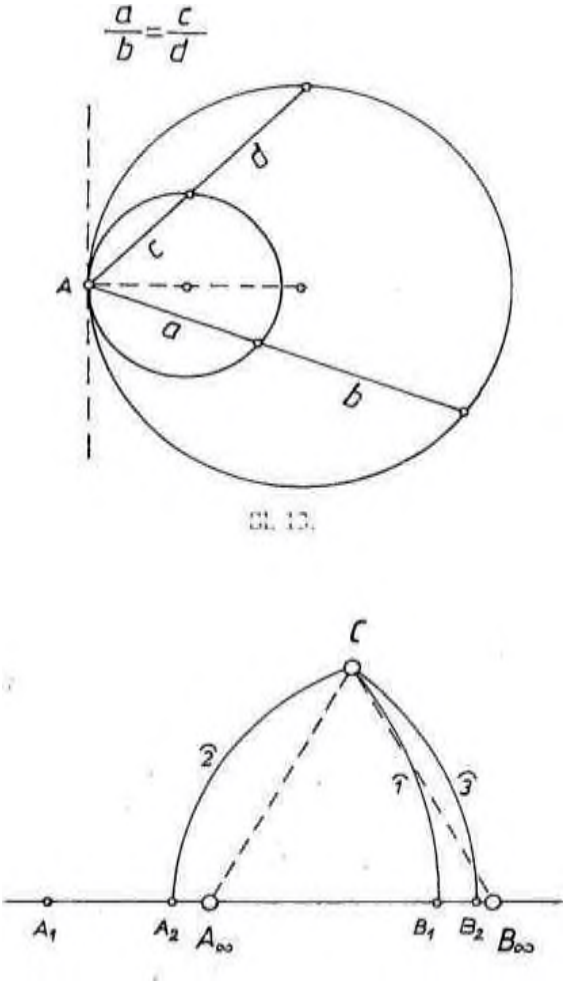
6) Tetive između dviju radijala kotangentnih cirkulusa su paralelne



Sl. 12.

7) Parsusi (dijelovi) radijala iz iste točke (Å) kotangentnih cirkulusa su proporcionalni (slika 13)

8) Svaka procedentna konstrukcija ima svoj matematički program, logokodus *Ķ* slijeda konačnih promjena, permuta, svojih elemenata koji vodi u konstrukciju limesa procedencije. (slika 14)

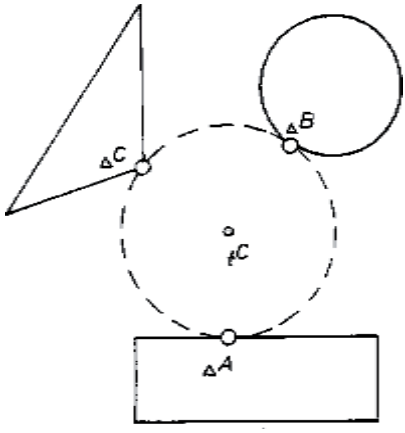


Sl.14. Procedentna logokodusna konstrukcija tato-trigona (pravilnog) s vrhom u Ċ primjenom kružnih lukova procedentnog radiusa A_nCi B_nC

3.2. Procedentan tantrigon

Tantrigon predstavlja skraćeni naziv za tangentan trigon koji, u procedentnoj logokodusnoj teinometriji, služi da se traženi titenalan cirkulus konstruira na temelju triju procedentnih točaka $_{\Delta}A_n$, $_{\Delta}B_n$, $_{\Delta}C_n$ trigona, primjenom prvog postulata konstruiranja Apolloniosovih problema.

Vrhovi tantrigona predstavljaju točke u kojima traženi titenalan cirkulus dodiruje zadane formoide (obličja) titenacije, po čemu se i naziva tantrigon, kako prikazuje primjer na slici 15.



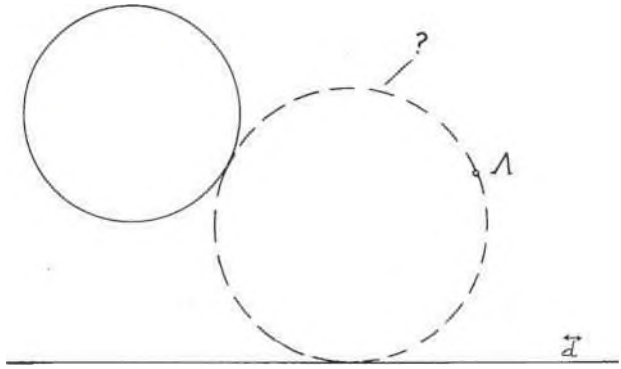
Sl. 15.: Tantrigon $_{\Delta}$ABC titecirkulusa $_{t}$Cir

Tantrigon predstavlja osnovnu konstrukciju adekvatnog logokodusa procedencije i u svakoj slijedećoj konstrukciji ciklusa logokodusa mijenja svoj oblik koji se postupno približava veličini cirkulusa u limesu, u čemu se sastoji procedencija tantrigona.

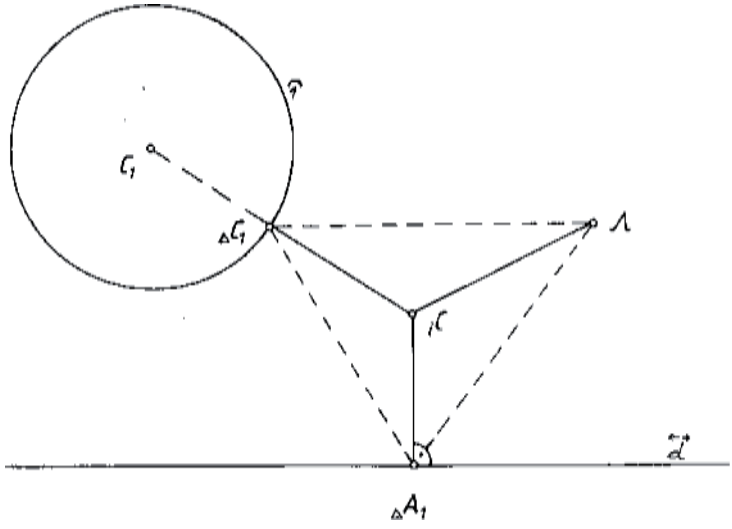
Simetrale stranica tantrigona određuju u logokodusu novi centar titenalnog cirkulusa, čime se postiže procedencija ka limesu solveruma. Vrhovi tantrigona se konstruiraju konstrukcijom radijala prema zadanim formoidima iz centra titenalnog cirkulusa. Radijale su uvijek okomite na tangente zadanih formoida.

Titenacija cirkulusa primjenom tantrigona može se zorno prikazati na slijedećim primjerima koji ujedno predstavljaju konstrukcije solveruma za tri Apolloniosova problema.

1. Primjer: Titenacija cirkulusa između zadanih formoida: točke Λ (lokus), direktusa d i cirkulusa Cir_1, slika 16.

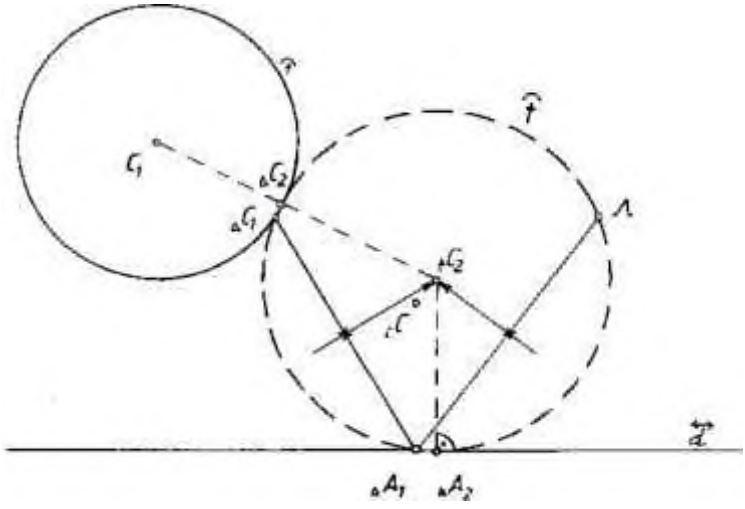


Slika 16. a) Apolloniosov problemum titenacije cirkulusa



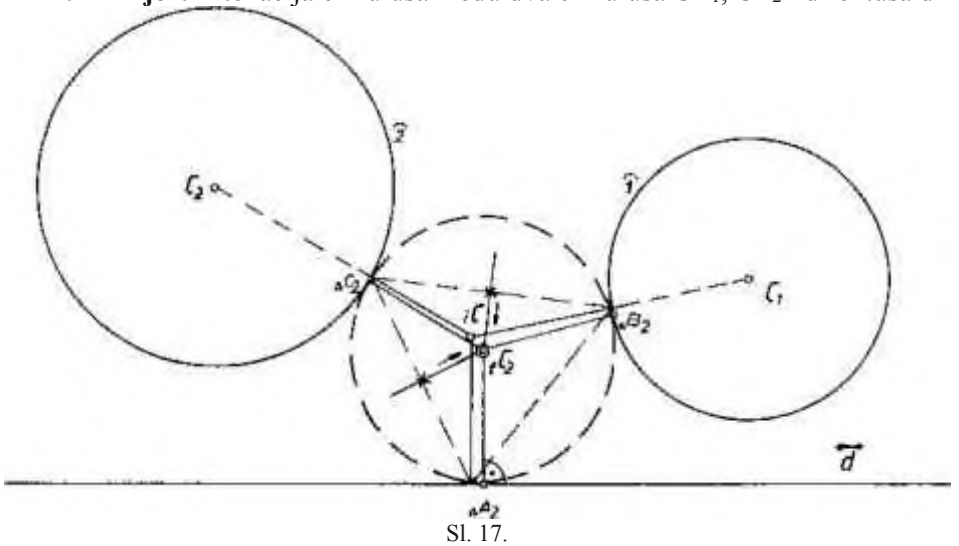
Sl. 16.b) Konstrukcija vrhova tantrigona $_{\Delta}A_1 \Lambda {}_{\Delta}C_1$

Logokodus titenacije cirkulusa ima svoje karakteristične faze konstrukcije. Konstrukcija logokodusa započinje proizvoljnim određivanjem točke centra početnog inicijalnog titenalnog cirkulusa $_{i}$Cir u regiji (području) u kojoj se predviđa njegovo mjesto u limesu. Iz tako određenog inicicentra povlače se radijale i konstruira prvi tantrigon čije simetrale stranica (tenuza) određuju novi centar $_{t}C_2$ titenalnog cirkulusa, što prikazuju slike b) i c) na slici 16.



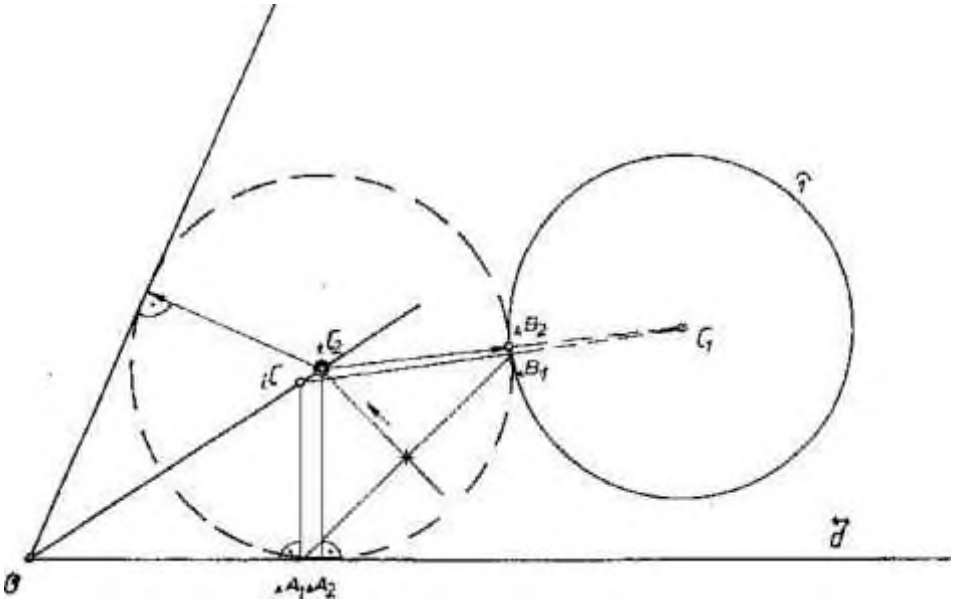
Sl. l6. c) Konstrukcija slijedećeg centra $_{t}C_2$ titecirkulusa

2. Primjer: Titenacija cirkulusa među dva cirkulusa Cir_1, Cir_2 i direktusa d



Sl. 17.

3. Primjer: Titenacija cirkulusa između cirkulusa Cir_1 i gonala (krakova) gonusa

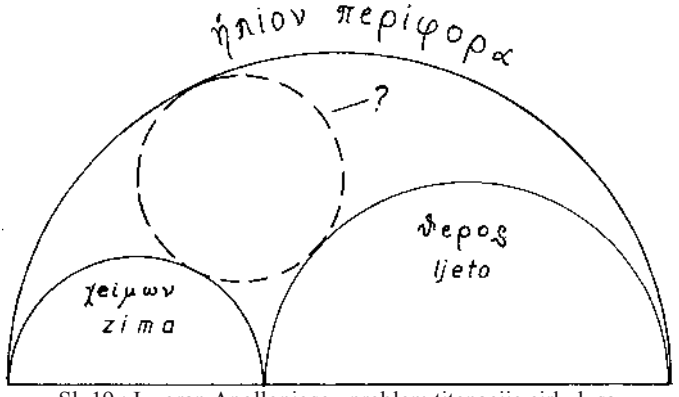


Sl. 18.

4. Solverumi izvornih Apolloniosovih problema

4.1. Titenacija cirkulusa između hemicirkulusa

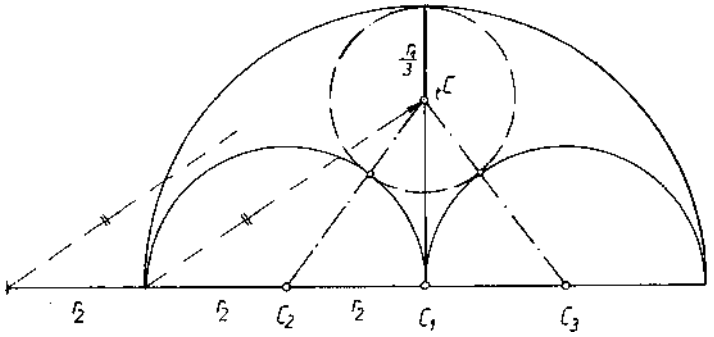
Problem se sastoji u tome kako konstruirati cirkulus ispod Talesovog Sunčevog svoda zvanog perifora, tako da dodiruje još dva hemicirkulusa ispod perifore. Jedan hemicirkulus predstavlja putanju Sunca iznad horizonta zimi u položaju perihela a drugi predstavlja dulju putanju Sunca ljeti u položaju afela.



Sl. 19.: Izvoran Apolloniosov problem titenacije cirkulusa

Problem s dva jednaka hemicirkulusa riješio je još Apollonios tako da je ustanovio da radius $_tr$ titecirkulusa $_t$Cir treba iznositi trećinu radiusa hemicirkulusa perifore.(sl.20.)

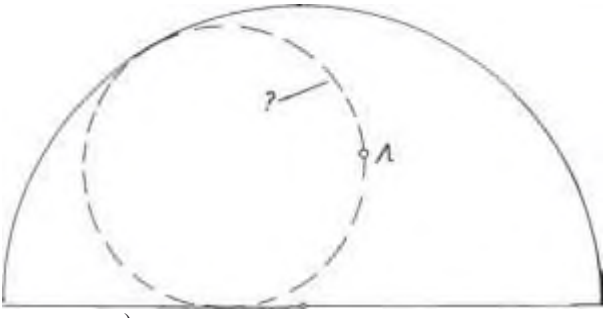
Ova Apolloniosova konstrukcija bila je na papirusnom svitku pohranjena u glasovitoj knjižnici u Aleksandriji i izgorjela je u požaru 640. godine nove ere. Naime, u knjižnicu su upaljenim bakljama upali Arapi s Istoka i zračna struja kojom su se prozračivali tuneli knjižnice povukla je plamen baklji na papiruse



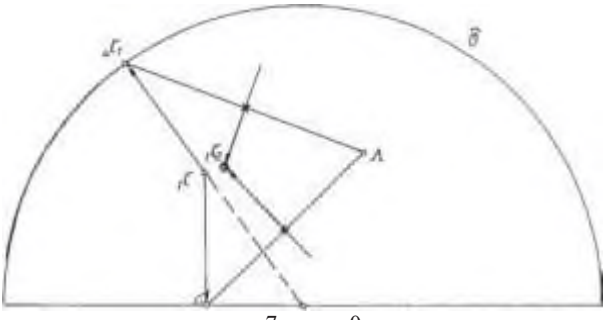
Sl. 20.: Apolloniosova apsolutna konstrukcija cirkulusa između tri hemicirkulusa

i zapalila ih. Konstrukcija je ostala zapamćena generaciskom predajom Apolloniosovih učenika u Srednjoj Aziji.

Konstrukcije ostalih slučajeva titenacije cirkulusa između tri hemicirkulusa su procedentne. One se temelje na konstrukciji logokodusa s procedentnim tantrigonom i prikazuju ih slike 21, 22, 23, 24, 25 i 26.

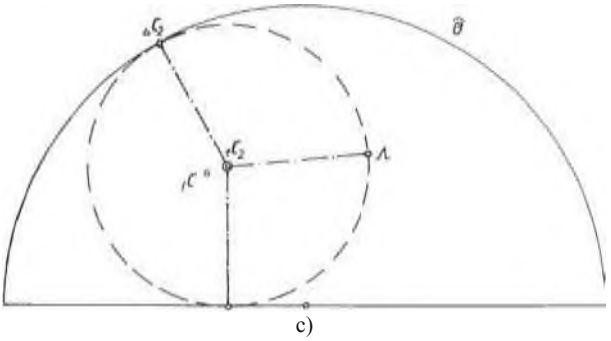


a)



„»7 0

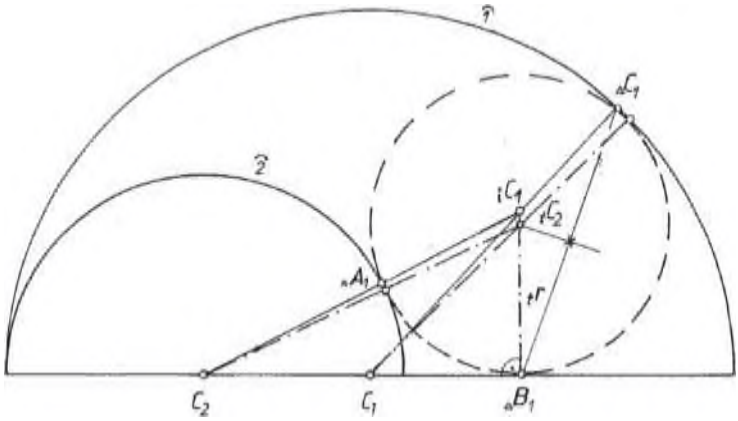
b)



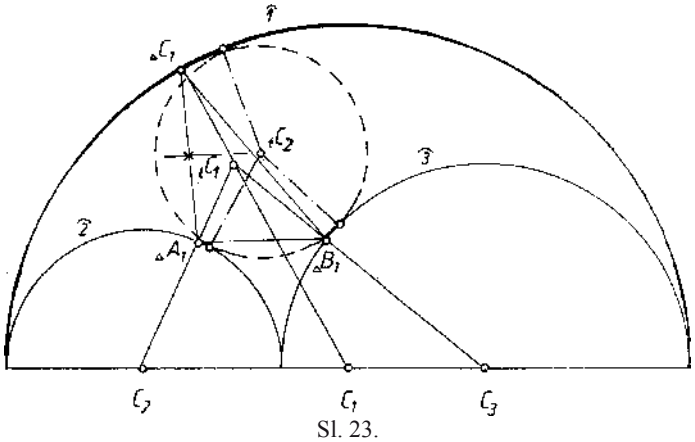
c)

Sl. 21.

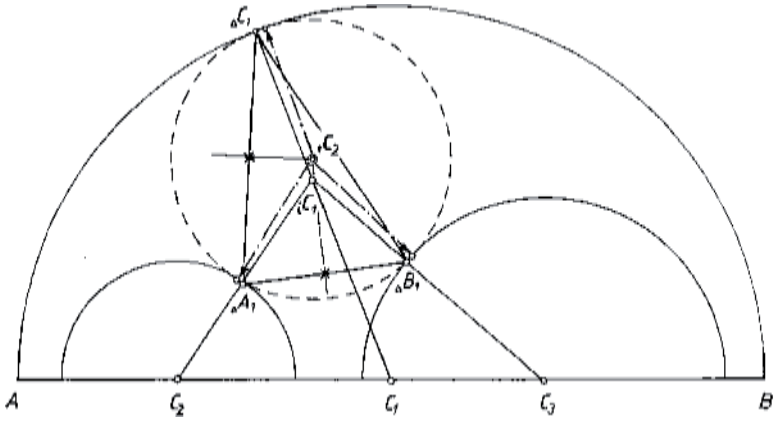
Sl. 24.

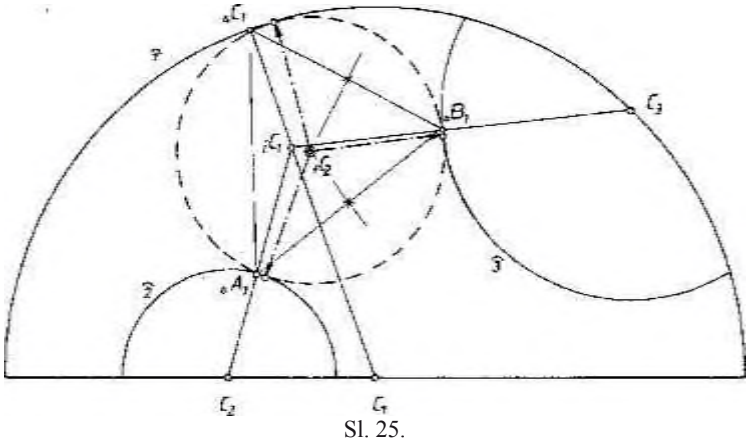


Sl. 22.: Titenacija cirkulusa između dva hemicirkulusa

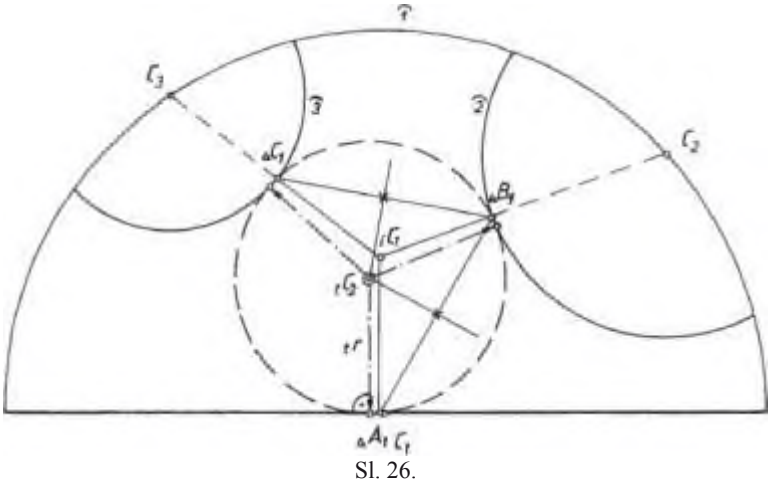


Sl. 23.





Sl. 25.



Sl. 26.

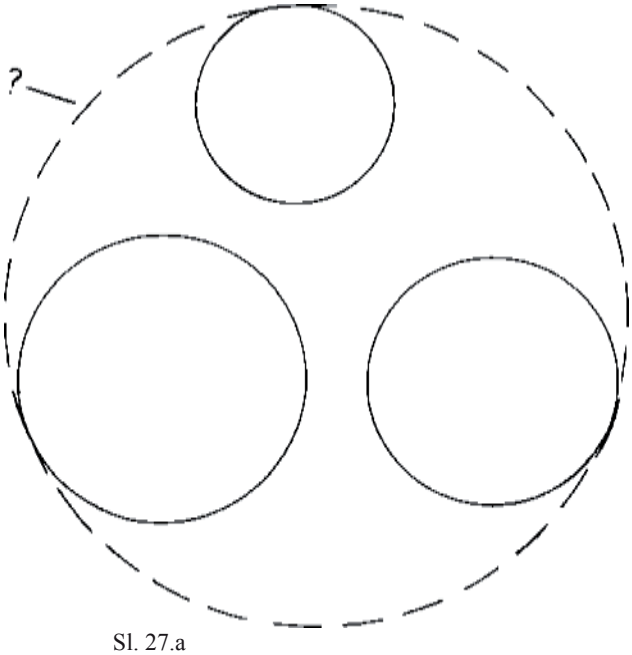
4.2. Titenacija cirkulusa između tri cirkulusa

Za Apolloniosove probleme s trima cirkulusima ne mogu postojati apsolutne konstrukcije već se ti problemi mogu optimalno riješiti primjenom proceden- tne logokodusne teinometrije. Tako se u strojarstvu ne mogu okretati tri zupčanika koji se međusobno dodiruju, temeljno je svojstvo diskretne materije kosmosa, u kojem je kontinuum samo privid (R. Bošković).

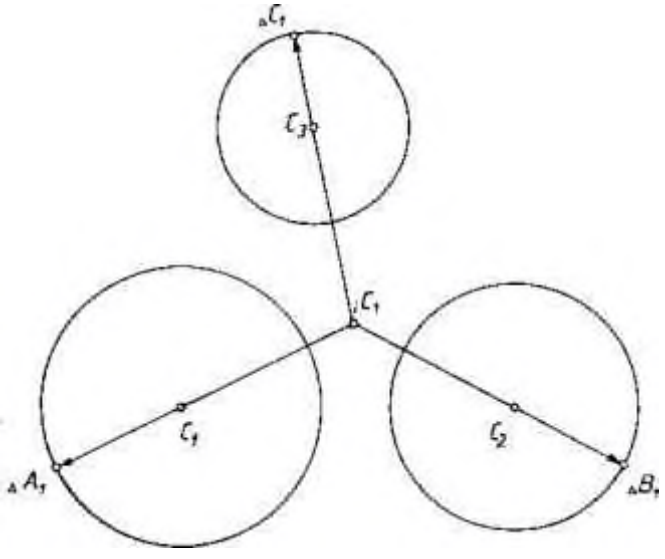
Svi se ovi solverumi konstruiraju čisto teinometriski šestarom i ravnalom istim logokodusom i redosljedom faza konstruiranja koje su: proizvoljno odabiranje centra ${}_iC_1$, zatim konstruiranje adekvatnog tantrigona ${}_\Delta A_{1\Delta}B_{1\Delta}C_1$ i konstruiranje slijedećeg centra ${}_tC_2$ titecirkulusa ${}_t$Cir simetralama stranica tantrigona.

Sl. 24.

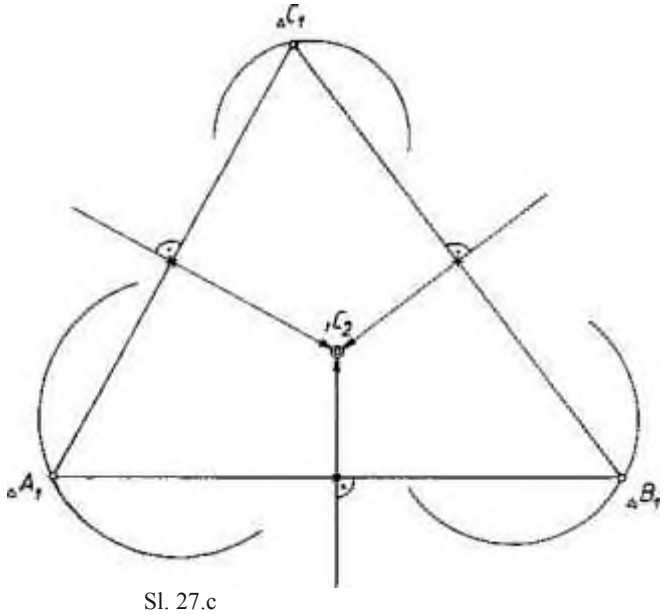
Konstrukcije solveruma izvornih Apolloniosovih problema triju cirkulusa prikazane su po fazama konstruiranja na slikama 27, 28, 29 i 30.



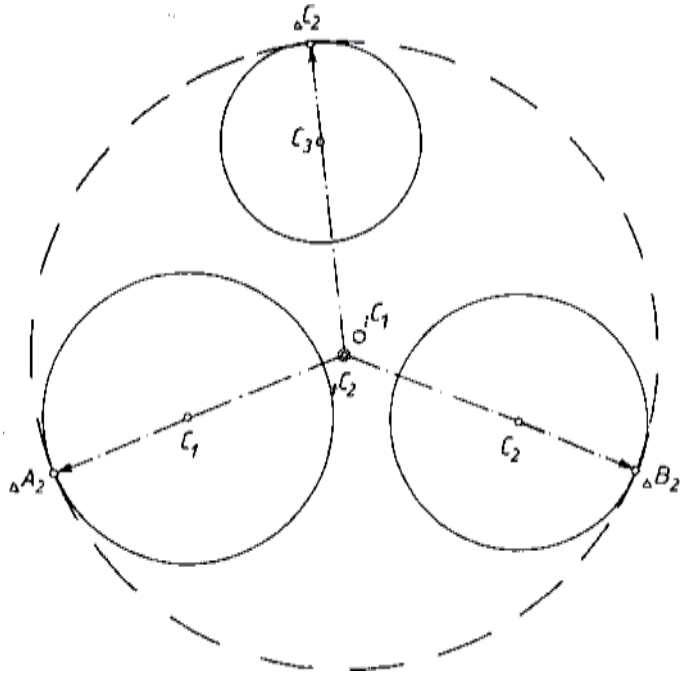
Sl. 27.a



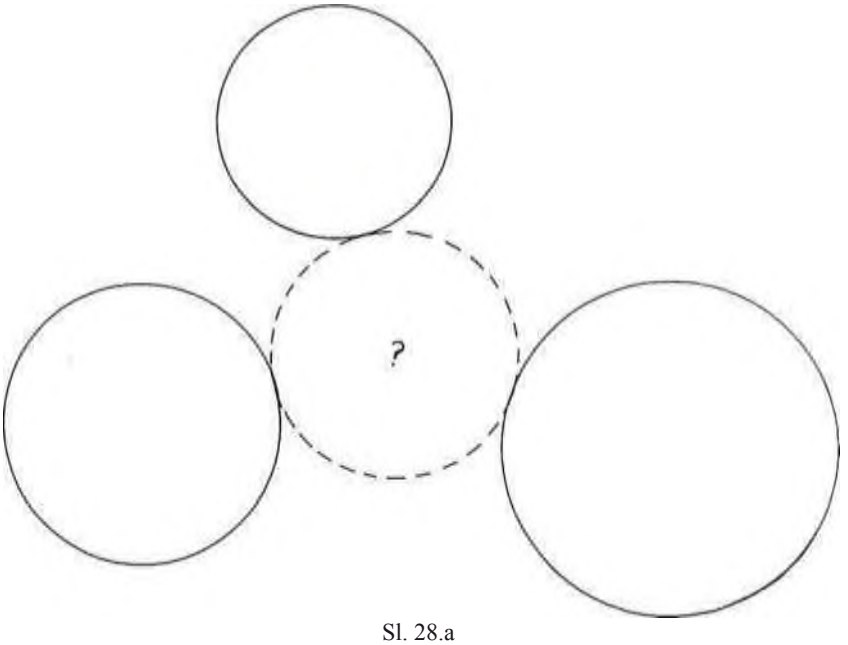
Sl. 27.b


$_{\Delta}C_1$
$_{\Delta}C_2$
$_{\Delta}A_1$
$_{\Delta}B_1$

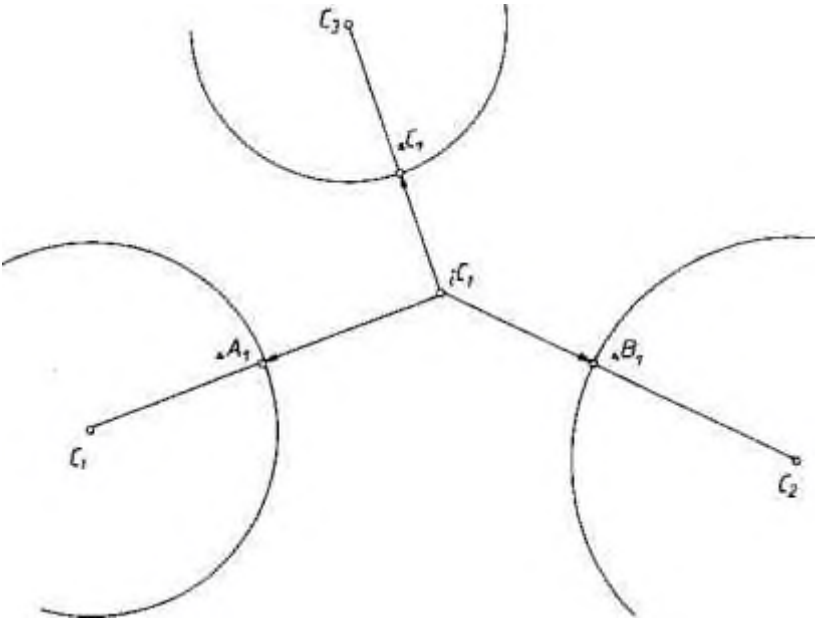
Sl. 27.c


$_{\Delta}C_2$
C_3
O'
$_{\Delta}C_1$
$_{\Delta}C_2$
C_1
C_2
$_{\Delta}A_2$
$_{\Delta}B_2$

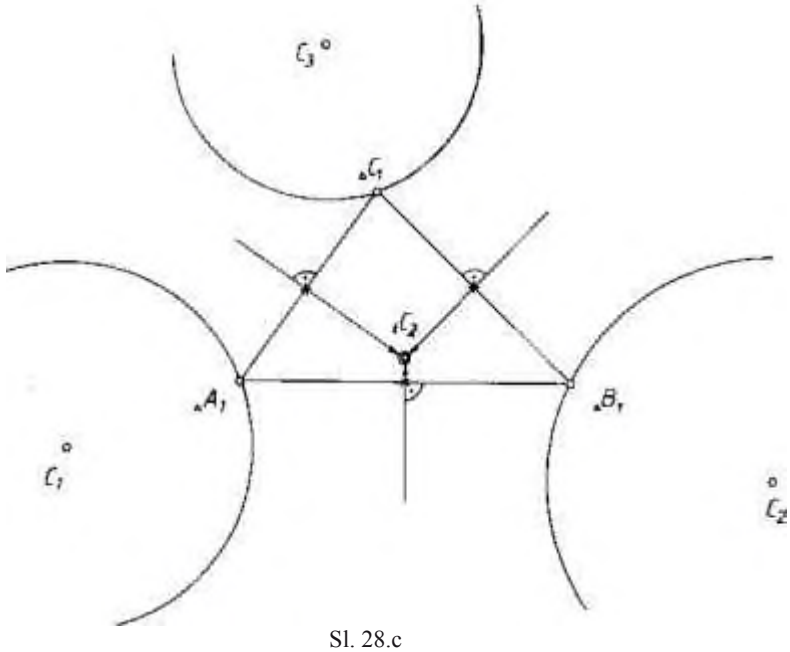
Sl. 27.d



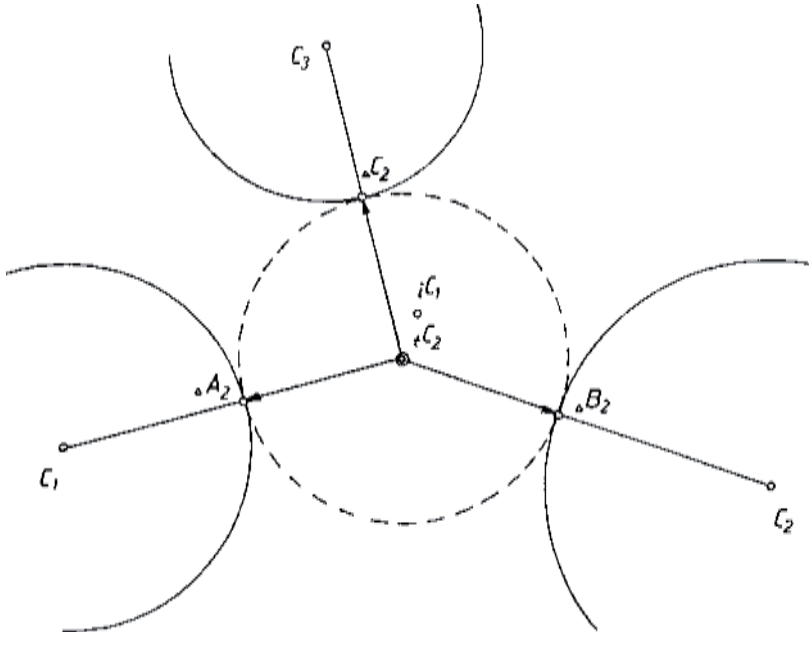
Sl. 28.a



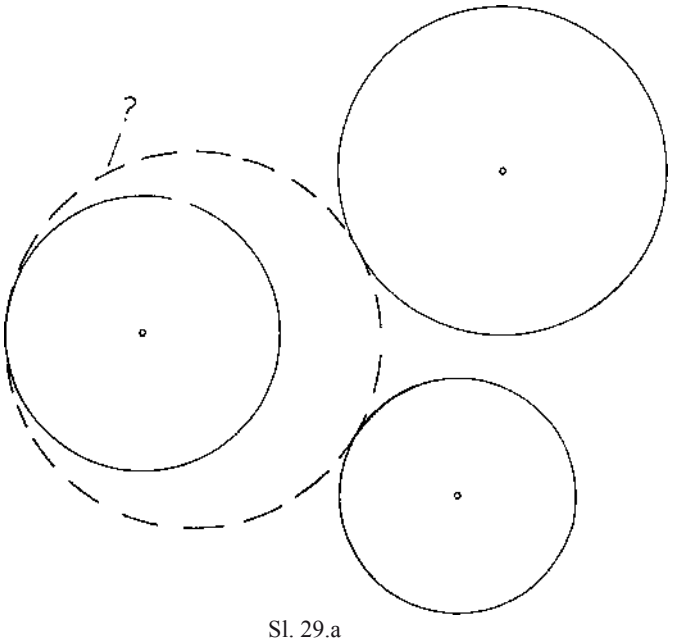
Sl. 28.b



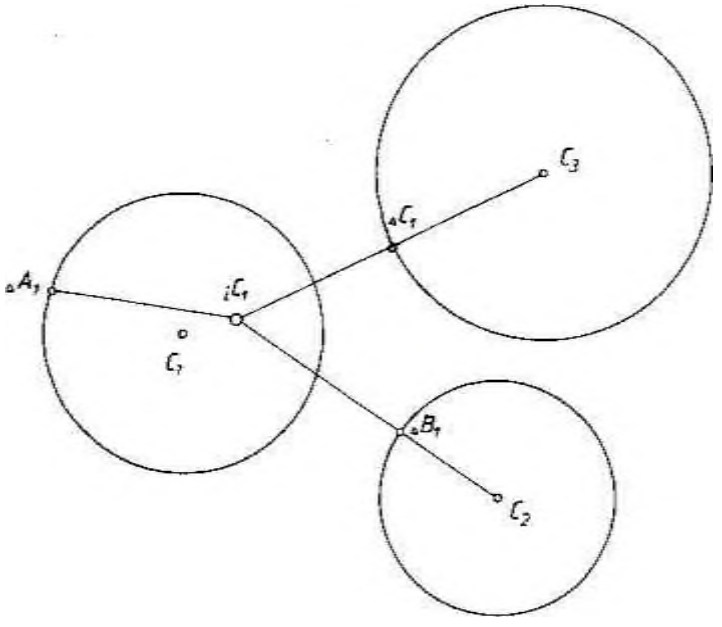
Sl. 28.c



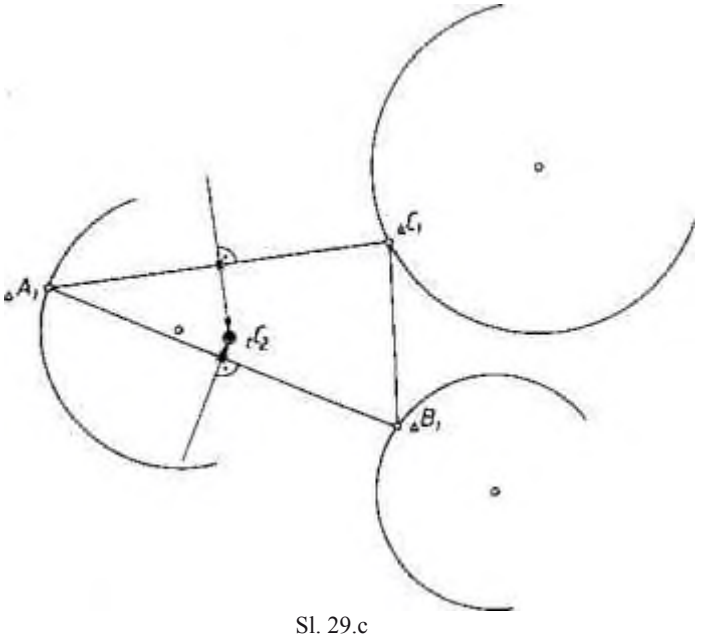
Sl. 28.d



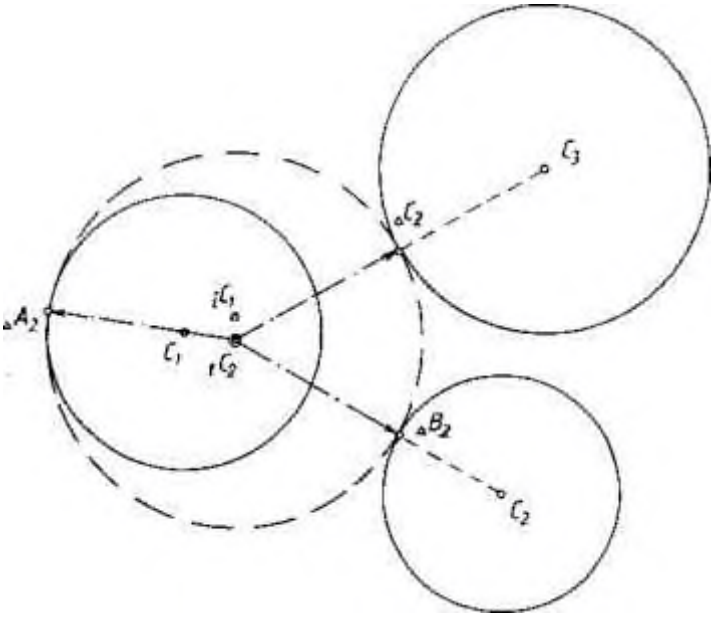
Sl. 29.a



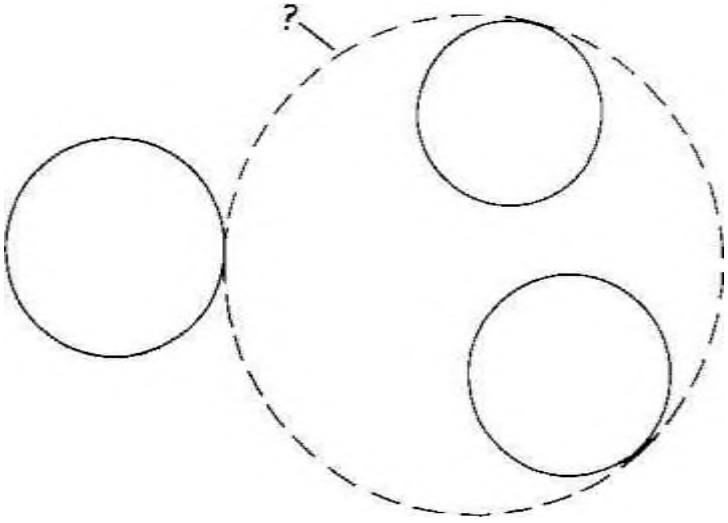
Sl. 29.b



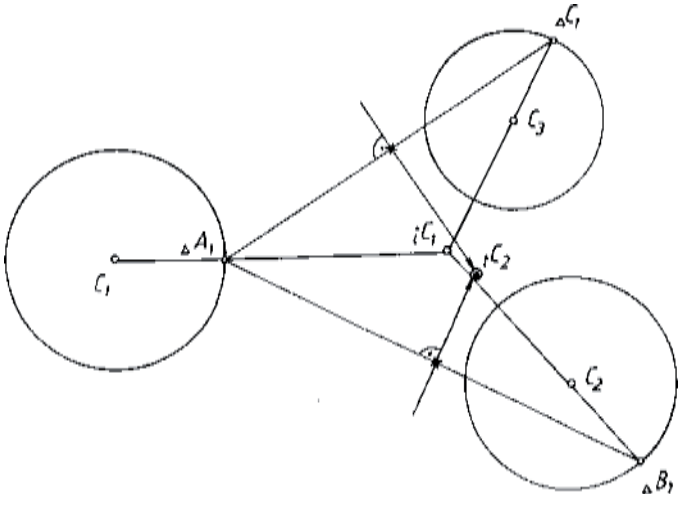
Sl. 29.c



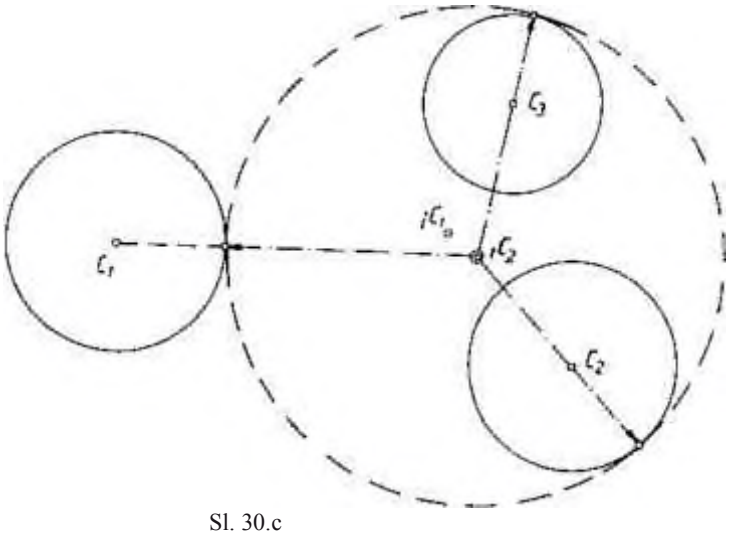
Sl. 29.d



Sl. 30.a



Sl. 30.b



Sl. 30.c

Nakon više od dva milenija od pojave Apolloniosovih problema ostaje radost konstruiranja njihovih solveruma budućim generacijama.

Zaključak

Izvorni Apolloniosovi problemi u III. stoljeću pr.n.ere zajedno s kasnije donesenim novim problemima i njihovim rješenjima krajem XVI. i krajem XX. stoljeća su danas svi rješivi šestarom i ravnalom optimalnim konstrukcijama i s minimalnim brojem teinometriskih poteza, Konstrukcije solveruma mogu biti 'apsolutne' koje su matematički točne u svojoj konačnosti i 'procedentne' koje su po prirodi nužno aproksimativne i čija se točnost može programirati. Procedentne konstrukcije imaju svoje adekvatne logokoduse, programe, procedencije koji pouzdano vode procedenciju preko željene točnosti u traženi limes. Procedentne konstrukcije praktično završavaju na debljini crte konstrukcije na kojoj se grafički beskonačno ponavljaju.

Znanstveni ideali naših predaka matematičara postaju tako radost ostvarenja prosperiteta stvaralaštva i zalog za uspješne znanstvene budućnosti *homo ingeniussa*, inženjera.

"Bijeli cvijet raste tamo gdje ga nitko ne traži." *Vladimir Devide*

Literatura

1. Aristotel: *Metafizika i fizika*, prijevod izvornika, Tomislav Ladan, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1985. - 1987.
2. Blanuša Danilo: O nekim problemima smještavanja u geometriji, (titenacija, *Eibettung*, *immersion*, *imbeddings*), *Zbornik radova Srpske Aka.*, Mat. inst., knj. I. 1951., 91-100.
3. Blanuša Danilo: Einige Resultate Uber die Einbettung zweidimensionaler Raumformen konstanter Krumung in hohere Raume konstanter Krumung, *Proc. of the Int. Congress of Math.*, Vol. II, Amsterdam, 1954., 204-205.
4. Blanuša Danilo: Immersion de tores euclidiens à parallelogramme. fondamental de forme que conque dans une space spherique ou elliptique a trois dimensions, *Glasnik mat.-fiz. i astr*. T.9,1954., 15-25.
5. Blanuša Danilo: Uber die Einbettung hyperbolischer Raume in euklidische Raume, *Monatsh. f. Math*., 59, Wien, 1955., 217-229.
6. Blanuša Danilo: Immersion des spaces elliptiques dans des espaces euclidiens a l'aide de coordonnees de Weierstrass, *Glasnik mat.-fiz. i astr*., 10, 1955.,181-182.
7. Blanuša Danilo: Međusobno izometričko smještanje prostora od neizmjerno mnogo dimenzija s konstantnom zakrivljenosti, *Rad Jug. Aka.*, 302,1955., 87-111.
8. Blanuša Danilo: Quelques identites algebriques concernant les moyennes aritmetriques et geometriques, *Glasnik mat.-fiz. i astr.* T.11., 1956., 17-22.
9. Blanuša Danilo: A Simple Method of Imbedding Elliptic S|pace in Euclidean Space, *Glasnik mat.-fiz. i astr.*, T.12,1957.,189-200.
10. Blanuša Danilo: C-Isometric Imbednigs of the Hiyperbolic Plane and of Cylinders with Hyperbolic Metric in Spherical Space, *Annali di Matematica pura ed appli- cata* (IV), Vol.LVII, 1962., 321-337.
11. Blanuša Danilo: Isometric Imbedding of the Hyperbolic *n*-Space in a Spherical (6*n*-4) Space, *Glasnik mat.-fiz. i astr*., 19,1964., 55-61.
12. Blanuša Danilo: Imbeddings of some 3-dimensional Euclidean Spatial Forms in Spaces of Constant Curvature, *Rad JAZU*, Vol.531, 1965., 257-262.
13. Blanuša Danilo: *Viša matematika u četiri toma*, Tehnička knjiga , Zagreb,1963.-1974.
14. Borić Marijana: Marin Getaldić između tradicionalnog i novovjekovnog pristupa znanosti, 7. *simpozij Povijest i filozofija tehnike*, Kiklos - krug knjige, Zagreb, 2018.
15. Bronstein I. N. - Semendjajev K. A.: *Spravočnik po matematike dlja inženjerov i učaščihsja vtuzov*, Moskva,1980.
16. Dadić Žarko: *Razvoj matematike*, Školska knjiga, Zagreb, 1975.
17. Devide Vladimir: *Matematička logika*, Matematički institut, Beograd,1964.,1972.
18. Getaldić Marin: *Apollonius Redivivus seu restituta Apolonii Pergaei*, Venezia, 1607.
19. Getaldić Marin: *Supplementum Apollonii Galli seu exsuscitata Apollonii Pergaei*, Venezia, 1607.
20. Getaldić Marin: *Apollonius Redivivus, seu restitutae Apolonii Pergaeide inclinationibus geometriae, liber secundus*, Venezia, 1613.
21. Heiberg J.L.: *Apollonii Pergaei quae graece extant cum commentariis antiques*, Lipsiae, 1891. - 93.
22. Kalin Boris: *Povijest filozofije*, Školska knjiga, Zagreb, 1982.
23. *Matematičeskij enciklopedičeskij slovar*, Moskva, 1988.
24. Ogilvy C. Stanley: Unterhaltsame Geometrie, Friedr. Viewag&Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1979.

25. Šonc B. Zoran: *Principi titenalne teinometrije (geometrije smještenja), konstrukcije šestarom i ravnalom*, rukopis, Zagreb,1991, 2007, 2017.
26. Šonc B. Zoran: *Principi i praksa logokodusne teinometrije mutoidije (mijene)*, rukopis, Zagreb, 1999.
27. Šonc B. Zoran: *Teinomatrija, geometrija, korotacije približavanja i udaljavanja molekula materije*, rukopis, Zagreb, 2014.
28. Šonc B.Zoran: *Solverumi* (*rješenja*) *Malfattijevog problema titenacije (smještenja) tricirkulusa u trigon šestarom i ravnalom,* rukopis, Zagreb, 2019.
29. Šonc B. Zoran: *Konstrukcija Steinerovog moniloida* (*ogrlice*) *šestarom i ravnalom*, rukopis, Zagreb, 2018.
30. Šonc B. Zoran: Lexikon euklidike i novoeuklidike, termini i konstrukcije, rukopis, Zagreb, 2019.
31. Tesla Nikola: *Moji pronalasci*, Jugoslovenska akademija znanosti i umjetnosti, Školska knjiga, Zagreb,1977.
32. Van der Waender Bartel Leerdert: *Probuždajuščajasja nauka, Matematika drevnog Egipta, Babilona i Grčke*, ruski prijevod s holandskog, Mat. Moskva, 1959.

ZAHVALE

- Izričitu zahvalnost upućujem visoko cijenjenom i poštovanom sveučilišnom profesoru dr.sc. Darku Fischeru na transponiranju logokodusa konstrukcije Apollonijevih problema u suvremen kompjuterski medij, čime je brojem iteracija logokodusa omogućeno programirano postizavanje željene grafičke točnosti, do najtanje crte, konstrukcija primjenom samo kružnice i dužina.

- Trajno i srdačno zahvaljujem kolegi s fakulteta sveučilišnom profesoru dr. sc. Zvonku Benčiću, glavnom uredniku zbornika PIFT-e, na urednoj, brižljivoj i požrtvovnoj ediciji mojih članka i uvođenja novih termina u novoj logokodusnoj geometriji.

Znanost i proizvodnja

Marijan Ožanić

Priča o KONČAR-SUS-u, o nastanku, razvoju i propasti Končareve tvornice oružja

Sažetak: U tekstu se govori o osnivanju, rastu, razvoju i propasti SUS-a, Končareve tvornice oružja. Prikazan je taj važan dio Končareve povijesti, ali i važan dio hrvatske povijesti s početka 1990-ih. Rezultati koje su ostvarili i vrhunska oružja koja su u Končaru proizvodili tijekom četiri godine Domovinskog rata fascinantni su, a razlozi propasti poduzeća teško razumljivi. U tekstu se govori o vojnoj industriji u Hrvatskoj, a težište je stavljeno na razvoj proizvodnje oružja u Končaru kroz nekoliko faza.

Prva faza bila je u "starom" Končaru, a počela je 1985. godine ugovorom o proizvodnji raketnog protuzrakoplovnog sustava po sovjetskoj licenciji. Svi su končarevci taj sustav zvali samo 'Strela, sustav S-10'[1]. Ta je faza trajala do kraja 1990. i završila stečajem Končareva Instituta koji je bio nositelj razvoja raketnog sustava. Druga faza počinje 1991., u novom Končaru, osnivanjem poduzeća KONČAR − Specijalni uređaji i sistemi d. o. o., koji su svi zvali SUS. U novom je poduzeću nastavljen razvoj i proizvodnja raketnog sustava, uz stalna poboljšanja i modernizaciju. Usto je proizveden veliki broj raznih novih oružja: od raketa, minobaca*ča, topova do mina. To je bilo zlatno doba* povijesti SUS-a, koje završava 1995. godine smjenom direktora. Treća faza traje od 1995. do 2000., a karakterizira je pad proizvodnje, problemi s financiranjem, poslovna kriza i nemogućnost isplate plaća. *Četvrta* se faza odvija 2000. godine, kad počinje štrajk, poduzeća, radnici odlaze na burzu i poduzeće je prodano. Na kraju se analiziraju uzroci uspona i pada SUS-a.

[1] Končareva varijanta raketnog sustava nazvana je 'Strijela 10 CRO'

Ključne riječi: povijest industrije, vojna industrija, Končareva tvornica oružja, SUS, raketni protuzrakoplovni sustav, Strijela 10 CRO, razna oružja, štrajk, stečaj

Uvod

Krajem srpnja 2019. gotovo u isto vrijeme zbila su se dva događaja čija je veza vrlo simbolična. Najprije su mediji 30. srpnja izvijestili da je i dalje aktualna ideja o sudjelovanju države u investiciji i gradnji tvornice streljiva, da se traži partner i lokacija, a tijekom posjeta hrvatske predsjednice Izraelu ponovno je najavljeno da Izrael kani ulagati u gradnju tvornice streljiva u Hrvatskoj. U to sam vrijeme završio i na svojem portalu objavio vrlo opsežan tekst o nastanku, razvoju i propasti Končareve tvornice oružja.

To je zanimljiva i uzbudljiva priča o našoj proizvodnji oružja u ratnim godinama. Končareva je tvornica tijekom Domovinskog rata proizvodila sofisticirana oružja: od samohodnih raketnih lansera, minobacača, topova, mina do raketa. O tome se gotovo ništa ne zna i zato ta priča treba biti zabilježena da se



Sl. 1.: Završna gađanja plotunom Končareva raketnog protuzrakoplovnog sustava S-10 CRO A1 na Rtu Kamenjak kod Pule. (Izvor slike: prospekt Strijela 10 CRO A1)

ne zaboravi. Pet godina nakon svojeg vrhunca u poslovanju i proizvodnji najsuvremenijih oružja poduzeće KONČAR − Specijalni uređaji i sistemi d. o. o., koje smo svi zvali SUS, otišlo je u stečaj, radnici su štrajkali pet mjeseci, nisu ništa postigli i poduzeća više nema. I taj je dio priče važan za razumijevanje razvoja našeg društva i gospodarstva 1990-ih.

Kad se govori i piše o Domovinskom ratu težište se stavlja na vojnike i časnike, na vojne operacije, na stradanja civila, na teške bitke koje su se vodile, a rijetko se spominju tisuće stručnjaka, inženjera i radnika koji su radili dan i noć i u teškim uvjetima proizvodili oružje da bi naša vojska imala čime ratovati. U tim ratnim uvjetima pokazivali su nevjerojatnu inicijativu, domišljatost, inovativnost i stručnost i u vrlo kratkom vremenu razvijali nove proizvode, nova oružja. U Končarevu je SUS-u za vrijeme Domovinskog rata razvoj novih proizvoda bio je mnogostruko brži i efikasniji nego u Končarevu Institutu u mirnodopsko vrijeme.

Oružje se nije proizvodilo samo u velikim i manjim tvornicama. I mnogi su ljudi postali poduzetnici i masovno se uključili u proizvodnju oružja i pokazali nevjerojatnu inicijativu i sposobnost. Da su se taj zanos, ta nevjerojatna sposobnost, hrabrost, poduzetnost i kreativnost održali i poslije rata u vremenu mira, Hrvatska bi bila "kao Švicarska". Zašto se to nije dogodilo i što se dogodilo trebao bi biti predmet posebnih znanstvenih istraživanja.

Ja se ne bavim temom proizvodnje oružja u cijeloj Hrvatskoj, jer je to preopširna tema za koju nisam kompetentan, pa sam se usredotočio samo na poduzeće KONČAR − Specijalni uređaji i sistemi d. o. o., na Končarevu tvornicu oružja.

Zašto pišem o povijesti industrija

U današnjem se društvu industrija slabo razumije, o industriji se jako malo zna, a o povijesti industrije još manje. U našim industrijskim poduzećima početkom 1990-ih odvijale su se nevjerojatne, turbulentne, radikalne i bolne promjene. I o tome se malo zna, malo se proučava i sve se svodi na novinarske nestručne, površne i često zlonamjerne tekstove. Upravo je žalosno, često čak na nekim znanstvenim skupovima ili u znanstvenim časopisima, čuti ili pročitati komentare koji pokazuju potpuno nepoznavanje činjenica ili korištenje "činjenica" koje su pročitali u novinama. Posebno me ogorčilo kad sam takva "lupetanja" mogao pročitati o Končaru. Zato sam počeo proučavati povijest industrije i pisati o njoj s težištem na Končaru jer ga najbolje poznajem i imam najviše dokumenata o toj temi.

Arhivar sjećanja

Ovaj tekst o SUS-u radio sam na isti način kao što sam se bavio razvojem tiristorske lokomotive. Gdje sam mogao koristio sam dokumente, a većinu informacija dobio sam od kolega koji su mi ispričali svoja sjećanja. Vojna proizvodnja svugdje potpada pod vojnu tajnu pa sam našao jako malo dokumenata i zapisa, gotovo ništa. Zato sam se oslonio na sjećanja sudionika mnogih zanimljivih događaja iz života SUS-a. Naravno, sjećanja su uvijek subjektivna, a osim toga prošlo je oko 30 godina od vremena o kojem su govorili. Mnogo toga zaboravljeno je, a zapamte se samo pojedini segmenti događaja. Tako je i kod sve memoarske literature koja je zanimljiva zbog različitih, često uzbudljivih sjećanja sudionika, ali i pati od manjka objektivnosti. Sva su naša sjećanja subjektivna, mi govorimo ono čega se sjećamo, a sjećamo se često selektivno, iz osobnog kuta gledanja.

Ovaj moj tekst nema pretenziju biti znanstveni rad. Uostalom, memoari nisu nikad znanstveni radovi. Ja sam samo "arhivar sjećanja", ali vjerujem da su ta sjećanja važan prilog u pisanju naše povijesti. Svjestan sam da je u tim ratnim godinama, pod embargom, bilo svega i svačega i o mnogim detaljima sudionici ne žele govoriti. A neki se i nakon toliko godina boje govoriti o pojedinim detaljima. Ali, i ono što su mi rekli daje zanimljivu priču,važnu u našoj povijesti industrije iz vremena stvaranja hrvatske države.

Vojna industrija

Hrvatska u bivšoj državi nije imala specijalizirane tvornice oružja. One su uglavnom bile koncentrirane u Srbiji i Bosni i Hercegovini (BiH). U nekoliko vojnih tvornica izgrađenih u BiH proizvodilo se teško oružje, eksplozivi i avioni. Pristup toj proizvodnji nije bio moguć svakomu. Postojala je razgranata kooperacija razmještena po ostalim republikama, gdje su se pod nadzorom oficira stručnjaka proizvodile komponente, lijevali i obrađivali dijelovi koji su iz cijele države isporučivani samo u tvornice u Srbiji i BiH. U nešto je povoljnijem položaju bila slovenska industrija. U Hrvatskoj nije izgrađena ni jedna vojna tvornica, a jedine vojne investicije bile su gradnja nekoliko novih izdvojenih i strogo nadziranih pogona u poduzećima Končar u Zagrebu, Đuro Đaković u Slavonskom Brodu, Imostroj u Imotskom, Torpedo u Rijeci i pogon u Šibeniku, te pogon poduzeća ELKA u Tugonici kraj Zlatara. Končar je krajem 1980-ih u okviru Instituta počeo preuzimati proizvodnju protuzrakoplovnog raketnog sustava za JNA po sovjetskoj licenciji.

Tijekom Domovinskog rata velikim poduzetničkim angažmanom "stvoreno" je oko 40 domaćih proizvođača oružja. Nakon Domovinskog rata većina je tih poduzeća propala.

Faze razvoja proizvodnje oružja u Končaru

Razvoj proizvodnje oružja u Končaru odvijao se u nekoliko faza. **Prva faza** bila je u "starom" Končaru, a počela je 1985., kad je Ante Marković, predsjednik SOUR-a Rade Končar, potpisao sa Saveznim sekretarijatom za narodnu obranu Jugoslavije (SSNO) ugovor o proizvodnji raketnog protuzrakoplovnog sustava za djelovanje na malim/srednjim visinama, po sovjetskoj licenciji 9K35M Str'ela-10M. Svi su končarevci taj sustav zvali samo 'Strela, sustav S-10'. Ta je faza trajala do kraja 1990. i završila stečajem Končareva Instituta, koji je bio nositelj razvoja raketnog sustava.[2] **Druga faza** počinje 1991. godine, u novom Končaru, osnivanjem poduzeća KONČAR − Specijalni uređaji i sistemi d. o. o., koje su svi zvali SUS. U novom je poduzeću nastavljen razvoj i proizvodnja raketnog sustava, uz stalna poboljšanja i modernizaciju. Usto je proizveden velik broj raznih novih oružja: od raketa, minobacača, topova do mina. To je bilo zlatno doba povijesti SUS-a, koje završava 1995. smjenom direktora. **Treća faza** traje od 1995. do 2000., a karakterizira je pad proizvodnje, problemi s financiranjem, poslovna kriza i nemogućnost isplate plaća. **Četvrta faza** odvija se 2000. godine, kad počinje štrajk, stečaj, radnici odlaze na burzu i poduzeće je prodano.

Početak u "starom" Končaru – izrada prototipa

Končar je ugovorom sa SSNO-om preuzeo sovjetsku licenciju za proizvodnju samohodnog raketnog lansera. To je kompletan lansirni uređaj na oklopnom vozilu koji koristi protuavionske rakete. 'Strela' je bila namijenjena za zaštitu od napada iz zraka i kao potpora oklopnim formacijama u kretanju. Koristila je samonavođene rakete duge 2,30 m. Lanser je imao četiri lansirna mjesta i još četiri nosača za kontejnere raketa u vozilu. Borbeni komplet sadržavao je osam raketa – četiri u lanserima i četiri u unutrašnjosti vozila. Projekt je u Končaru razvijan pod oznakom A85. Taj program razvoja i usvajanja proizvodnje A85 vodio je OOUR KONČAR − Elektrotehnički institut (ETI). Za voditelja

[2]Končarevci su raketni sustav napravljen po sovjetskoj licenciji zvali 'Strela', a kad su proizveli svoju varijantu nazvali su ga 'Strijela 10 CRO'.

programa postavljen je mr. sc. Boris Gvozden, a za usvajanje proizvodnje angažirani su stručnjaci proizvodnih poduzeća s lokacija Borongaj i Sesvetski Kraljevec kraj Zagreba.

Kao što je bio običaj u ono vrijeme, u proizvodnji tako značajnih proizvoda angažiran je velik broj kooperanata iz cijele države. Sve ih je Končar koordinirao i sve komponente kontrolirao i ugrađivao u konačni proizvod koji je završavan i ispitivan u Končaru. Glavni kooperanti su bili: Teleoptik iz Beograda, Fabrika kablova Svetozarevo (FKS), Zrak iz Sarajeva, Rudi Čajavec iz Banja Luke, Autoelektrika iz Gorice, Famos iz Sarajeva, Tvornica automobila iz Maribora (TAM), Radioindustrija Zagreb (RIZ) i Končar-Elektroagregati iz Rijeke. Končar je zajedno s njima trebao finalizirati:

- lansirni uređaj na oklopnom transporteru na gusjenicama
- posebnu pokretnu radionicu za kontrolu cijelog sustava
- elektroagregat za napajanje energijom više vozila kako na vježbama ne bi morala koristiti vlastite motore.

Tijekom usvajanja proizvodnje po licenciji pokrenuto je moderniziranje našeg dijela sustava. U izvorno dobivenoj dokumentaciji koristila se zastarjela tehnologija, elektroničke komponente bile su sovjetske. Sve se moralo preraditi na novu, zapadnu tehnologiju koju su u Končaru već imali, odnosno dobili licencijom od švedske ASEA-e. Taj je postupak nazvan "prevođenje ruske licence na našu, zapadnu tehnologiju", što nisu najbolje prihvatili u SSNO-u.



Sl. 2.: Samohodni raketni lanser, ruska 'Strela' (9K35M Str'ela − 10M) od koje je sve počelo. Snimljeno u radionici u novoj zgradi za vojnu proizvodnju u Končaru. (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)

Trebalo je prepoznati što to Sovjeti hoće u svojoj dokumentaciji, a onda sve modernizirati. Po mišljenju Končarevih stručnjaka, to je bila katastrofalna razina. Dizajn je bio toliko star da se moralo puno toga novog napraviti. Kod prevođenja dokumentacije uočen je zanimljiv detalj. Na nacrtima je bilo puno njemačkih riječi i pojmova koje su Sovjeti naslijedili od Nijemaca, zarobljenika koji su kod njih radili.

Prototip su končarevci završili šest mjeseci prije roka. SSNO im je trebao isplatiti, zbog skraćenja roka, oko 10 posto vrijednosti dotad utrošenih financijskih sredstava na programu (vše od tri milijuna dolara). Nažalost, končarevci ih nisu nikad dobili.



Sl. 3.: Prototip Končareve 'Strele' na oklopnom transporteru Fabrike motora Sarajevo (Famos). Snimljeno za vrijeme tehničkog pregleda u Zrakoplovno-tehničkom zavodu (ZTZ) (danas: Zrakoplovno-tehnički centar, ZTC) u Velikoj Gorici. (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)

Tijekom proizvodnje provodila su se rigorozna ispitivanja svih dijelova i sklopova i kod kooperanata se išlo na preuzimanje svih podsustava koji se ugrađuju u lansirni uređaj. Gotovo vozilo odvezlo bi se na ispitivanje u veliku klima-komoru u Nikince u Vojvodini. Kod ispitivanja prvo se išlo na +50 °C, a

iza toga na −30 °C, pa kiša, vjetar... Kad se ispitivalo na −30 °C, a prije toga ispitivalo se "pod kišom", moralo se krampovima razbijati led da se uopće može ući u vozilo.

Nakon toga išlo se na konačna ispitivanja na vojni poligon na Prevlaci, gdje su se gađali 'imitatori cilja'. To su bile svjetleće rakete koje su se izbacivale u zrak. U momentu kad bi sustav na vozilu "zahvatio" taj imitator, lansirala bi se raketa koja se glavom za samovođenje automatski kretala prema cilju i pogađala ga.



Sl. 4.: Prevlaka, rt Oštro gdje se nalazi vojni poligon (Izvor slike: http://jna-sfrj.forumbo.net/t3233p30-prevlaka-poligon-toc-a-tehnickog-opitnog-centra)

Zadnje ispitivanje u Nikincima bilo je 1991. godine, kad je rat već bio na pomolu. I JNA oficiri gledali su končarevce s velikim nepovjerenjem.

Krajem 1980-ih, nakon dobrih rezultata koje je ostvario prototip 'Strele', JNA je Končaru dala kredit za financiranje izgradnje nove zgrade i kupnju specijalnih, najsuvremenijih strojeva, obradnih centara, tokarilica, vibratora, laserskih rezača, klima-komora i elektroničke opreme za ispitivanje.

Krajem 1980-ih cijeli je Končar sve teže poslovao i kriza je dolazila na vidjelo. Elektrotehnički institut otišao je 21. prosinca 1990. u stečaj. Stečaj je tad doživjela i grupa radnih organizacija u Končaru, među kojima je bila i



Sl. 5.: Ekipa končarevaca na poligonu na Prevlaci gdje su gađali imitatore cilja u letu. Gornji red − Milivoj Samojlović, Branko Ćorić, Željko Mesar. Donji red – Vladimir Mucko, Gordan Kurelac, Miroslav Palčić, Kecman i Rusić. (Izvor slike: arhiva Gordana Kurelca)

Radna organizacija Elektrouređaji, koja je zajedno s Institutom sudjelovala u proizvodnji raketnog lansera.

Osnivanje SUS-a i početak proizvodnje

Končar je potkraj 1990. dobio novu organizaciju i postao je holding, KONČAR – Elektroindustrija d. d. Nakon stečaja Instituta, sektor koji se bavio vojnom proizvodnjom izdvojen je i na tom programu i s tim ljudima u travnju 1991. osnovano je novo poduzeće za proizvodnju oružja, KONČAR − Specijalni uređaji i sistemi d. o. o., poznato kao SUS. U to novo poduzeće ušao je i dio ljudi iz Poduzeća posebne namjene (PPN) iz Borongaja i Sesvetskog Kraljevca. Prvi direktor tog novog poduzeća bio je Dimitar Manđurov, dipl. inž.

U proljeće 1991. godine JNA je prestala financirati vojni program u Končaru, čime je prekinut i rad na sustavu S-10. U vrijeme proglašenja samostalnosti Republike Hrvatske u SUS-u se nalazila projektna dokumentacija, tri lansirna vozila (novi M90, te sovjetski 9A34M i 9A35M koji su dopremljeni s

licencnom dokumentacijom), jedan lansirni uređaj viška, izrađen za interno ispitivanje i moguću modernizaciju, različiti manji dijelovi i sklopovi te materijal za proizvodnju. Kako nije bilo posla (ni financijskih sredstava), najveći dio djelatnika bio je na godišnjem odmoru.

Dr. sc. Blago Brkić postao je direktor SUS-a u srpnju 1991. godine. SUS je u kolovozu 1991. imao 99 radnika. Krajem 1992. godine SUS je imao 155 radnika, a Plan za 1993. bio je 165 radnika.

JNA dolazi po raketne sustave

Djelatnici SUS-a koji su radili na programu S-10 bili su uvjereni da će JNA pokušati preuzeti iz Končara dovršena borbena sredstva iz vojnog programa. Da bi se to onemogućilo, svi su raketni sustavi potkraj srpnja ili početkom kolovoza potpuno rastavljeni. Krajem kolovoza 1991. pred KONČAR je stigla naoružana JNA s "labudicama" kako bi odvezla ruske 'Strele' i CNC strojeve. Končarevci su ih uspjeli uvjeriti da su ruske 'Strele' rastavljene, nisu pokretne i da je potrebno nekoliko mjeseci kako bi ih doveli u ispravno stanje za transport. Za strojeve su tvrdili da su u fazi montaže u proizvodnoj hali. Varka je uspjela.

Odmah po odlasku JNA, Končar je obavijestio MUP o oklopnim vozilima i lanserima. Tad je ekipa djelatnika SUS-a u kratkom roku odmah osposobila raketne sustave S-10 za borbeno djelovanje, provela završna ispitivanja i spremila ih za isporuku. Sredinom rujna 1991. dolazi u KONČAR − SUS tridesetak odabranih pripadnika Zbora narodne garde (ZNG) za protuzračnu obranu na obuku za rukovanje s tri raketna sustava S-10 koja smo tad imali. Cijelo to vrijeme borbena sredstva u tajnosti su skrivana i premještana unutar Končara.

Nakon što je potkraj rujna postignut sporazum o odlasku jugoslavenske vojske s područja Zagreba, dogovoreno je s našom Protuzračnom obranom (PZO) odvoženje borbenih sredstava bez službene primopredaje, kao da ih je naša vojska preotela. Raketni sustavi odvezeni su u bazu 1. brigade ZNG-a u Petruševcu i ondje su ih parkirali u šumarku. Nekoliko dana kasnije sredstva su razmještena na području grada Zagreba.

Prvi novi proizvodi ciljničke naprave

Kad su se susovci vratili s godišnjih odmora, tražili su što bi počeli raditi za obranu RH jer za proizvodnju 'Strijele 10' poduzeće nije imalo novca. Iz



Sl. 6.: Ciljnik UN-1 za minobacač (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)

Slovenije su nabavili nekoliko skica za izradu ciljničkih naprava za minobacače. U vojarnama je ostalo dosta minobacačkih cijevi, ali bez ciljnika. Krajem kolovoza 1991. pokreće se razvoj i proizvodnja minobacačke ciljničke naprave UN-1 i počinje izrada konstrukcijske i izvedbene dokumentacije. Za ukupno 20 dana izrađeni su nacrti i naručeni odljevci. U Alatnici su obradili dijelove jer u SUS-u još nisu instalirali sve strojeve. I za manje od jednog mjeseca pokrenuta je serijska proizvodnja. Sve ciljničke naprave odmah su išle na ratište jer je naša vojska imala dosta cijevi, a malo ciljničkih naprava. Nakon toga počela je proizvodnja ostalih tipova ciljničkih naprava za minobacače i bestrzajne topove.

Dolazak predsjednika Tuđmana u SUS

Predsjednik Republike dr. Franjo Tuđman, ministar obrane Gojko Šušak i većina članova Vlade RH u svibnju 1992. posjetili su SUS i obišli proizvodnju proizvoda specijalne namjene uključujući i proizvodnju ‘Strijele 10 CRO’. Izrazili su zadovoljstvo viđenim i dali potporu daljnjem razvoju ‘Strijele 10 CRO’ i ostalih projekata.



Sl. 7.: Predsjednik Franjo Tuđman i ministar Gojko Šušak u posjetu SUS-u u svibnju 1992. godine. (Izvor slike: knjiga *Ime trajnog sjaja*)

Nova Strijela na oklopnom vozilu na kotačima

Nakon što je SUS osnovan i kad su došli prvi novci, nastavljena je proizvodnja samohodnog raketnog lansera (SRL), 'Strela', ali uz mnoga unapređenja i poboljšanja. U jesen i zimu 1991. godine PZO postrojbe HV-a imale su uglavnom topove malih kalibara i prijenosne lake lansere 'Strela-2M' za lansiranje s ramena te nekoliko pretežno starijih samohodnih lansera s raketama S-1. Ruske 'Strele-10M2J' na oklopnom vozilu 9A34M, isporučene iz Končara, bile su najsuvremenija sredstva u HV-u. Zbog činjenice da bi raketni sustav

‘Strijele 10’ znatno ojačao PZO HV-a, odlučeno je nastaviti razvoj i usvajanje proizvodnje.

Radi financijske pomoći SUS-u potpisan je u studenom 1991. prvi ugovor između Ministarstva obrane Republike Hrvatske (MORH, Sektor za razvoj, proizvodnju i znanost − SRPZ) i KONČAR − SUS-a za kompletiranje i stavljanje u funkciju triju originalnih lansera Strela-S10 na oklopljenom vozilu.

Tijekom proizvodnje mehaničkih dijelova prototipne serije ‘Strijele’, po licencnoj dokumentaciji u SUS-u je napravljen jedan lanser više (četvrti lansirni uređaj) s namjerom da se koristi za interna ispitivanja i modernizaciju. Tako je početkom Domovinskog rata u SUS-u bio lanser “viška”, no SUS nije imao borbeno vozilo.

Modificirana vozilaM80 iz tvornice Famos iz Sarajeva nisu više bila dostupna. Kad je u studenom 1991. oslobođena vojarna u Jastrebarskom, susovci su ondje zatekli jednu šasiju TAM-150, s kotačima i motorom u vrlo lošem stanju. Kočnice su bile neispravne, neki kotači oštećeni i skinuta mjenjačka kutija. U nedostatku boljeg, šasija je otpremljena u servis i nakon popravka dovezena u prostor KONČAR − SUS-a krajem studenog 1991., a do travnja 1992. godine napravljen je kompletan oklop. Ljudi u SUS-u radili su dan i noć, u subote i nedjelje, svaki dan do 10 navečer. Imali su po 300 prekovremenih sati.

U izradi tako kompliciranog sustava surađivali su kolege od tehnologa, programera (softver), elektroničara, električara, zavarivača, tokara, glodača, lakirera, ispitivača... U oklopno vozilo trebalo je smjestiti lanser, tri ili četiri člana posade (vozač, zapovjednik vozila, operater sustava i, u slučaju zapovjednog vozila, još jedan član) i spremište za jedan borbeni komplet (četiri rakete) u stražnjem dijelu vozila. Visina vozila trebala je biti oko 2 m pa su vozač i zapovjednik smješteni ispred prednjih kotača.

Isprva je korišten sovjetski pancir-lim[3] koji je trebalo zakaliti, a onda je pancir-lim HPA-10 kupljen u Krmelju u Sloveniji. Kamioni za ostale proizvedene SRL S-10 CRO kupovani su u poduzeću TAM u Mariboru. Najuočljivija promjena na Strijeli bila je zamjena gusjenica kotačima. Korištena je šasija s kotačima i motorom vozila TAM 150. Prototip nove Strijele na kotačima dobio je oznaku SRL S-10 CRO. Prototip Strijele 10 CRO 001 dovršen je u proljeće 1992. godine.

Prototip je ispitan na više lokacija. Vozilo je testirano u Zagrebu, na pisti ispred ZTZ-a (Zrakoplovno-tehnički zavod) Velika Gorica i na poligonu u Jastrebarskom, a lansirni uređaj na poligonu *Gakovo* na Bilogori. Završno ispitivanje s gađanjem provedeno je na poligonu Rt Kamenjak nedaleko od Pule.

[3] **pancir-lim**, neprobojni lim



Sl. 8.: Prototip modernizirane Strijele 10 CRO na kotačima u radionici SUS-a, montaža lansera. (Izvor slike: arhiva Borisa Gvozdena)



Sl. 9.: Strijela 10 CRO na kotačima (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)



Sl. 10.: Lansiranje rakete na sustavu Strijela 10 CRO A1 na Rtu Kamenjak (Izvor slike: prospekt Strijela 10 CRO A1)



Sl. 11.: Plotun iz raketnog sustava SRL S-10 CRO/A1 na Rtu Kamenjak (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)



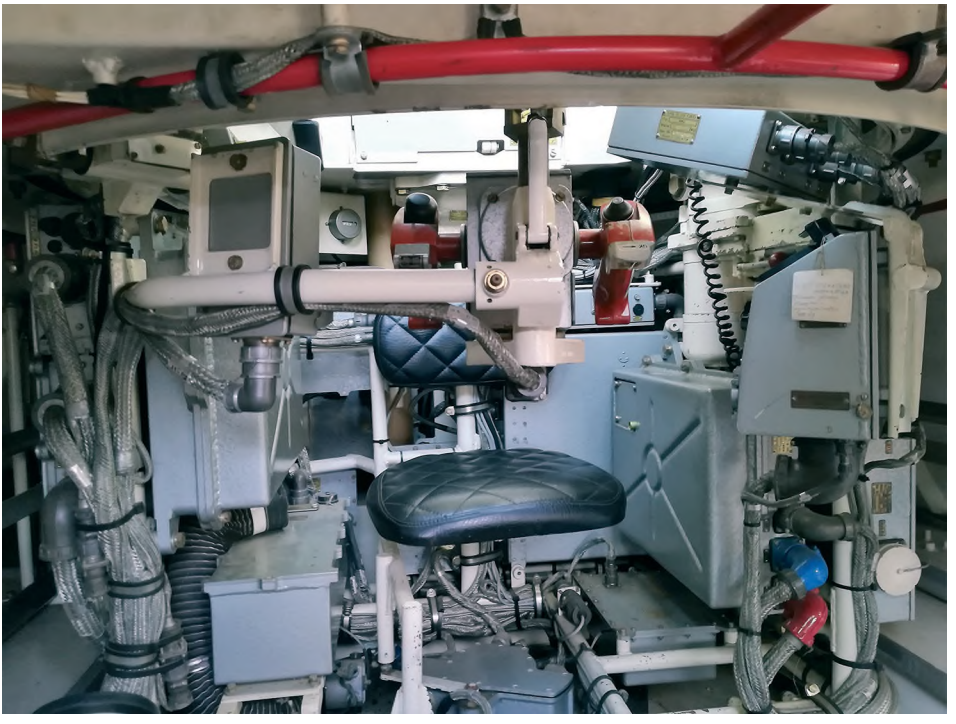
Sl. 12.: Ekipa končarevaca iz SUS-a na gađanju na Rtu Kamenjak 1993. godine. Slijeva nadesno: Boris Gvozden, Miroslav Palčić, Željko Mesar, Milivoj Samojlović i Miroslav Vučetić. (Izvor slike: arhiva Borisa Gvozdena)

Proizvodnja nove, modernije Strijele SRL S-10 CRO/A1

Tijekom rata konstantno je razvijan i poboljšavan cijeli sustav Strijele S-10 CRO. Uvedena su nova i modernija tehnička rješenja i zadnja A1 serija ulazi u rang najboljih raketnih sustava u to vrijeme u svijetu.

Serija A1 razlikovala se od raketnih sustava iz serije S-10 CRO izmijenjenim oblikom prednjeg i stražnjeg kraja oklopnog tijela. To je učinjeno radi ugradnje nove opreme. U prednjem dijelu poboljšan je prostor za vozača, a na zapovjednikovu mjestu ugrađen je pult, monitor, videorekorder, dodatna radiostanica (uz zapovjednikovo računalo) za primanje 'naznaka' s osmatračkog (motrilačkog) radara o dolasku zrakoplova (uz onu za komunikaciju među posadom), GPS uređaj i kompas te inklinomjer za nagib vozila.

Najvažnije poboljšanje A1 u odnosu na prva dva vozila bilo je preuzimanje 'naznake' o cilju s radara i automatsko pozicioniranje lansera na cilj. Za to je moderniziran i lansirni uređaj. Dotadašnji optički ciljnik zamijenjen je televizijskom kamerom (s monitorom i *zoomom* kod operatera) i ugrađen je enkoder[4] i



Sl. 13.: Unutrašnjost vozila. Mjesto operatera slikano iz sredine vozila. (Izvor slike: arhiva autora)

[4] **enkoder** (engl. *encoder*), pretvornik pomaka, davač pomaka ili osjetilo pomaka, uređaj ili senzor (mjerno osjetilo) koji fizikalne veličine pretvara u električne signale detektiranjem pomaka

operaterovo računalo. Na lansirni uređaj postavljen je radarski daljinomjer koji je razvila tvrtka Radar-ing iz Tehnološkog parka Zagreb. Usvojen je također glavni ležaj lansirnog uređaja te radarski daljinomjer. Treba napomenuti da su rađena ispitivanja s termovizijskom kamerom i laserskim daljinomjerom, ali to nije realizirano.

Iz domaćih poduzeća stigli su i dijelovi središnjeg računala, sustav pogona za pozicioniranje lansera i komunikacijski sustav. U suradnji s poduzećem Radar-ing modernizirana su tri motrilačko-akvizicijska radara Mk IV, kao i automatizirana vizualna postaja.

Sustav je uspješno ispitan i na Rtu Kamenjak.

Prestanak rata smanjio je interes MORH-a za raketni sustav. Zbog toga su sa zakašnjenjem proizvedene još samo tri modernizirane Strijele iz serije SRL S-10 CRO/A1, po jednau proljeće 1997., u proljeće 1998. i u proljeće 1999. godine. Ugovori s MORH-om raskinuti su 1999. godine.

Mnogo novih proizvoda tijekom rata

SUS-om sam se počeo baviti jer sam tražio odgovor na dva pitanja − zašto je jedno uspješno poduzeće vrlo brzo nakon rata i svojeg poslovnog i proizvodnog vrhunca propalo i kako je bilo moguće da su u vrijeme rata, u samo četiri godine uspjeli razviti i proizvesti tridesetak novih proizvoda kakve prije nikad nisu radili.

Budući da znam što znači razviti proizvod, koliko znanja, iskustva, novca i vremena treba za to, bio sam impresioniran velikim brojem različitih proizvoda od topova, radara, bacača raketa do bespilotnih letjelica. A nitko od SUS-ovaca nije se prije rata tim bavio. U razgovorima sam stalno kolege gnjavio da mi objasne kako su to uspjeli napraviti. Na kraju sam došao do određenih zaključaka, iako još mnogo toga, mnogo raznih procesa nisam uspio dokučiti (vjerojatno i neću). Mislim da su bitni čimbenici njihova uspjeha:

a) **Znanje** – osnovno znanje za proizvodnju i razvoj raketnog sustava Strijela stečeno je još u "starom" Končaru kod usvajanja licencne dokumentacije i izrade prototipa sovjetske izvedbe na gusjenicama. Končarevi stručnjaci su tijekom rada u Institutu i nekim drugim Končarevim tvornicama, posebno tijekom rada na projektu tiristorske lokomotive stekli znanje koje je uključeno u modernizaciju i razvoj Strijele. Uz njih su uključeni i stručnjaci izvan Končara do kojih se moglo doći. Specifična znanja o eksplozivima, topovima i raznim drugim oružjima u velikoj mjeri donijeli su stručnjaci iz BiH. U Vitezu, Travniku, Sarajevu i drugim mjestima bile su izgrađene velike i dobre tvornice oružja. U njima su na mnogim odgovornim mjestima radili stručnjaci, Hrvati. Kad je

počeo rat ti ljudi su samoinicijativno ili po pozivu iz Zagreba s obiteljima prešli u Zagreb, došli u SUS i bili uključeni u proizvodnju oružja.

b) **Novac** – u svakom ratu gospodarstvo, financije i cijela država služe kao logistika za djelovanja na bojišnici i za vojnu proizvodnju. Koliko god je država bila u financijskim problemima, novca za vojsku je moralo biti. Novac je kolao u velikim količinama, brzo se odlučivalo, nije se kompliciralo u donošenju odluka i nije se previše pazilo na birokratska pravila i pisanje papira i računa. To je omogućilo efikasnost u financiranju, ali katkad i "mračne putove" novca, što će kasnije doći na naplatu. Ali u ratu se na to nije mislilo.

c) **Materijali i dijelovi** – zbog embarga i ratnog stanja mnogo je uobičajenih, legalnih putova nabave bilo zatvoreno. Zato su se često dijelovi i materijali nabavljali švercom, uz puno snalažljivosti, što je bilo opasno, a nabavljači su stalno bili na rubu da završe u zatvoru.

d) **Proizvodni i tehnološki resursi** – Hrvatska nije imala tvornice oružja i nije imala na jednom mjestu svu tehnologiju, opremu, strojeve i logistiku potrebnu za proizvodnju vrlo složenih proizvoda. Svi dijelovi oružja proizvode se s vrlo visokom točnošću, u strogim tolerancijama, prema vrlo strogim standardima i zahtjevima. Zato je angažirano mnogo kooperanata koji su proizvodili različite dijelove. Angažirani su i veliki proizvodni pogoni, ali i mnogobrojni mali obrtnici. Tijekom Domovinskog rata velikim je poduzetničkim angažmanom stvoreno oko 40 proizvođača oružja. Divim im se kako su uspjeli u tim ratnim, turbulentnim uvjetima održati visoku kvalitetu proizvoda.

e) **Organizacija** − u ratnim uvjetima, kad je trebalo brzo i fleksibilno djelovati postavljena je organizacija koja nije bila kruta i čisto hijerarhijska, nego se temeljila na projektima. Svaki proizvod, svako oružje koje se proizvodilo bio je jedan poseban projekt koji je imao svoje ciljeve i rokove, svojeg voditelja, svoju ekipu, nabavu materijala i svoje financije. Naravno, svi ljudi iz raznih projekata međusobno su surađivali, a neki su radili na nekoliko projekata. Sve te mnogobrojne projekte koordinirao je direktor SUS-a koji je ugovarao poslove i održavao kontakte s MORH-om.

f) **Menadžment** – zbog specifičnih uvjeta menadžment je morao biti efikasan s jasnim, brzim linijama odlučivanja bez prevelikih kompliciranja. A ljudi koji su vodili pojedine projekte (svako novo oružje bio je poseban projekt) imali su veliku slobodu u djelovanju. Definiran im je zadatak, cilj i rok u kojem sve treba biti završeno.

g) **Entuzijazam i golem angažman** – možda je ipak najvažnija činjenica da su svi uključeni u proizvodnju oružja u SUS-u i kod kooperanata sve radili s iznimnim domoljubljem i entuzijazmom, bez radnog vremena, dan i noć, i pokazali maksimalnu kreativnost, poduzetnost, marljivost i inicijativu. Kreirali su se inovativni proizvodi, osmišljavale nove ispitne metode i organizirala proizvodnja u nemogućim uvjetima.

Dolazak stručnjaka iz Bosne

Končar je imao vrhunske stručnjake, strojarske i elektrostruke, elektroničare i informatičare koji su radili u Institutu i tvornicama na razvoju i proizvodnji elektromotora, generatora, transformatora, aparata i raznih uređaja. Imao je i stručnjake koji su radili na raketnom lanseru, ali nije imao specijaliste za eksplozive, topove, mine, rakete, upaljače i ostala oružja koja je SUS za vrijeme rata trebao proizvoditi. Zato su počeli dovoditi stručnjake s raznih strana, s Tehničke vojne akademije u Zagrebu, s Brodarskog instituta, a mnogo je stručnjaka došlo iz BiH. Došli su iz Viteza, Travnika, Bugojna, Sarajeva i ostalih gradova u BiH u kojima su bile tvornice oružja. Stručnjaci, Hrvati, donosili su znanje, dokumentaciju, dijelove, a iz Viteza su švercali stotine kila eksploziva.

Mnogo novih proizvoda u kratko vrijeme

Osim samohodnog raketnog sustava, SUS je tijekom Domovinskog rata razvio i proizveo tridesetak vrsta novih oružja, od raketa, minobacača,



Sl. 14.: Bestrzajni top kalibra 82 mm na poligonu za gađanje u dvorištu Končara, u Sesvetskom Kraljevcu, 8. srpnja 1994. godine. Na slici slijeva nadesno: Miha Verem, Damir Maltar i Marijan Klasan. (Izvor slike: arhiva Mihe Verema)

bestrzajnih topova, mina, raketnih lansera, VBR-ova, višecijevnih bacača, ciljničkih naprava, radara, do mnogo vrsta različitih upaljača.

Topovi i rakete ispitivani su na poligonima u blizini Zagreba, Veleševcu i na Bizeku. Osim na Trešnjevci, SUS je oružja proizvodio na više lokacija u Zagrebu, Samoboru, Sesvetskom Kraljevcu. Zanimljivo je da je vojna proizvodnja bila i kraj Svačićeva trga, u centru Zagreba, a za nju nitko od susjeda nije znao.



Sl. 15.: Parkiralište i zgrade kraj Svačićeva trga gdje je za vrijeme Domovinskog rata bila tvornica oružja (Izvor slike: arhiva Alde Raića)

U SUS-u se stalno razmišljalo o proizvodnji poslije rata pa su razvili niz civilnih proizvoda od frekvencijskih pretvarača za upravljanje asinkronih motora do prototipa SUSmobila, invalidskog vozila najveće brzine deset kilometara na sat, samo s ručnim komandama za invalide i starije osobe. Nažalost, sa stečajem SUS-a sve su se te aktivnosti ugasile i nisu dobile priliku da se pokažu na tržištu.

Početak poslovnih problema

Zlatno doba SUS-a završava potkraj 1995. i tad se počeo "rušiti". Te se godine SUS pripremao za proizvodnju vojne opreme i naoružanja za akciju oslobođenja istočne Slavonije. MORH je naručio 80 000 raketa 128 mm. Naravno, kod takve situacije najprije treba nabaviti potreban materijal. Končarevo

dvorište oko SUS-a bilo je puno cijevi za višecijevni bacač raketa (VBR) i ostalih materijala, na koje se potrošilo mnogo novca. Odustajanjem od akcije i mirnom reintegracijom istočne Slavonije SUS-u su ostale goleme količine materijala u dvorištu. Pokušali su to naplatiti od MORH-a, ali nisu uspjeli.

Osim toga, SUS je stalno bio u sukobu s Upravom Končara jer je direktor SUS-a odbijao uplaćivati novac u "zajedničku blagajnu". Nakon Oluje direktor SUS-a našao je otkaz na svojem stolu. Uprava Končara postavila je na čelo SUS-a nove direktore.

SUS izlazi iz sustava KONČAR

Ugovorom o razmjeni dionica između KONČAR − Elektroindustrije d. d. i Hrvatskog fonda za privatizaciju od 11. svibnja 1998. godine, dionice SUS-a iz portfelja Končara prenesene su na tadašnji Hrvatski fond za privatizaciju. Nakon što je SUS izišao iz portfelja Končara, budući da se radilo o vojnoj proizvodnji namijenjenoj obrani Republike Hrvatske, za društvo je resorno bilo nadležno Ministarstvo obrane. Ubrzo nakon toga nova Uprava SUS-a dala je ostavku i postavljen je novi direktor.

Štrajk

Nakon što mjesecima nisu primali plaću i kad su u ponedjeljak 6. ožujka 2000. naišli na lancima zatvorena ulazna vrata u poduzeće, u SUS-u je organiziran štrajk. Končar je htio preseliti svoje poduzeće INEM iz Jankomira na lokaciju Trešnjevka i zato su htjeli SUS preseliti na lokaciju u Sesvetski Kraljevec. Radnici se s tim nisu složili, stupili su u štrajk, ostali su u zgradi i živjeli su u tim nenormalnim uvjetima 147 dana.

Pisali su predsjedniku Vlade i predsjedniku Republike, svim medijima, nastupali na televiziji, ali u konačnici nisu postigli ništa. Kako ni jedan problem tijekom pet mjeseci štrajka nije riješen, a neimaština u obiteljima bila je sve veća, radnici su bili prisiljeni prihvatiti MORH-ovu ponudu da im plati samo 2.000.000,00 kuna kako bi se isplatilo 12 minimalnih plaća. Na takvo su rješenje pristali nakon obrazloženja predstavnika MORH-a da žele suradnju sa SUS-om kao s poduzećem od posebnog interesa za obranu Republike Hrvatske te da su zainteresirani za SUS-ov glavni proizvod. Nakon toga radnici su se s opremom preselili u jednu halu na Borongaju.

KONČAR SUS U ŠTRAJKU Zaposlenici jučer provalili u prostorije poduzeća na Fallerovom šetalištu

Radnici se zabarikadirali u tvornici i odlučili u njoj noćiti

Osim što nisu dobili plaće već punih jedanaest mjeseci, radnike Končar SUS-a brine hoće li uopće biti nastavka proizvodnje jer im Ministarstvo obrane duguje 5,8 milijuna kuna

Piše **Elma Katana**

Zaposlenici Končar-SUS-a, nakon što su jučer ujutro, kao i nekoliko prijašnjih dana, ponovno vraćeni s tvorničkog ulaza, ipak su uspjeli ući u poduzeće. Tridesetak najupornijih radnika čak je odlučilo noćiti unutar pogona, dok se ne riješi njihova sudbina.

Zaposlenici Končareva pogona za proizvodnju vojne opreme uspjeli su iskoristiti jučerašnji posjet tvornici predstavnika Ministarstva obrane RH Zdravka Pavelića i članice Uprave Končar-Elektroindustrije Marine Kralj i ući iza njih. Unatoč molbama direktora Končar SUS-a, Juraja Miličića, radnici nisu htjeli napustiti tvornicu.

- Kolegice s posla bile su s nama cijelo vrijeme, a poslije su otišle kućama i donijele nam hranu. Ugodno nas je iznenadila i pošiljka hrane od članice Uprave Marine Kralj. Mi smo odlučili ostati do kraja i boriti se za svoja prava. Uprava nas se želi riješiti i baciti nas na ulicu, no mi ćemo biti uporni - rekao nam je jedan od voditelja projekta u SUS-u Dalibor Burnać.



KRISTINA PAZINIĆ

Radnici se jučer nisu dali istjerati iz tvorničkog kruga

Naime, drama na Fallerovu šetalištu počela je prekjučer, kad je Uprava Končar-Elektroindustrija lancima zatvorila ulaz u radne prostorije jer priprema preseljenje pogona u Sesvetski Kraljevec. Također, prema nekim informacijama, vojska bi uskoro trebala odvesti svu opremu.

- Končar-Elektroindustrija prodala je prostor i tu želi smjestiti poduzeće INEM-Končar iz Jankomira. Nismo to zaslužili jer smo mi jedini proizvodili najjače raketne lansere u Hrvatskoj. Prisiljeni smo ovako reagirati zato što dosadašnje akcije nisu dale rezultate - izjavio je Boris Gvozden. Osim što nisu dobili plaće jedanaest mjeseci, radnike brine i to hoće li uopće biti nastavka proizvodnje jer im Ministarstvo obrane duguje 5,8 milijuna kuna. Prosvjed u Končar SUS-u nastavlja se i danas, a na ponovni skup zaposlenika pozvani su i predstavnici sinidikata metalaca.

Sl. 16.: Članak u *Jutarnjem listu* od 8. ožujka 2000. godine (Izvor slike: arhiva Dalibora Burnaća)

Stečaj

Jedan mjesec nakon preseljenja na Borongaj došla je odluka MORH-a da nije zainteresiran za nastavak proizvodnje. I tako je agonija završila. Stečaj nad SUS-om otvoren je 6. studenog 2000. i Trgovački sud dodijelio mu je stečajnu upraviteljicu.

Prodaja SUS-a

Stečaj je završio tako da je stečajna upraviteljica prodala svu preostalu SUS-ovu imovinu − dokumentaciju, strojeve, laser za rezanje, vibrator, klima-komore, liniju za SMD[5] montažu, sve alate i naprave za montažu lansera i oklopnog tijela, 1 montiran lanser, 3 kamionske šasije, kompletni pancirni lim,

[5]**SMD** (engl. *surface mounted device*), sklop ili uređaj koji se lemi na površinu tiskane pločice

puno repromaterijala, veliku količinu elektroničkih komponenata, namještaj itd. Za kupnju se javio samo TIBO − 3. maj iz Matulja kraj Rijeke 2001. godine i sve kupio za oko 2,2 milijuna kuna.

Nezainteresiranost MORH-a za sudbinu SUS-a vidi se i u tome što ga nije zabrinjavala činjenica da će se prodajom poduzeća prodati i dokumentacija za proizvodnju oružja. Tijekom postojanja SUS-a mnogi su podaci bili klasificirani kao vojna tajna. I neki kolege ustručavali su se govoriti mi o detaljima jer nisu znali koliko trebaju čuvati tajne. A onda su najosjetljiviji podaci došli bez problema na tržište.

Na kraju puno otvorenih pitanja

Ima li danas ljudi (osim onih koji su radili u SUS-u) koji su svjesni rezultata što ih je SUS ostvarivao i sposobnosti njegovih stručnjaka koji su u kratko vrijeme, u ratnim uvjetima proizveli toliko najsloženijih oružja za Hrvatsku vojsku?

− Kako je bilo moguće u kratko vrijeme okupiti stručnjake, organizirati ih, voditi projekte razvoja novih oružja, organizirati kooperante, nabavljati materijale u vrijeme embarga i proizvoditi kvalitetna, nova oružja?

− Kako je bilo moguće da su se domaći proizvođači oružja za vrijeme rata stalno morali boriti protiv uvoznog lobija koji je htio uništiti domaću industriju?

− Hoće li se tko zapitati kako je moguće da je takav potencijal kao što je bio SUS propao i tko je odgovoran za to?

− Je li odgovoran MORH, obje uprave Končara ili Fond za privatizaciju? Ili si je SUS sam kriv za svoju sudbinu?

Hoćemo li ikad dobiti odgovore na ta pitanja? Zanimaju li uopće koga odgovori na ta pitanja? Hoće li jednom doći nova generacija inženjera i profesora na tehničkim fakultetima koji će željeti upoznati rezultate rada svojih prethodnika, naših vrhunskih inženjera koji su radili na velikim projektima kao što je razvoj tiristorske lokomotive, samohodnog raketnog sustava, magnetskih leća i na velikim projektima u RIZ-u, Tesli, Jedinstvu, Prvomajskoj, Đuri Đakoviću i ostalim našim vodećim industrijskim poduzećima?

Literatura

[1] http://www.sveopoduzetnistvu.com/index.php?main=clanak&id=197

[2] Bilandžić, Dušan: *Historija Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije: glavni procesi: 1918. –1985*., 3. dopunjeno izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1985.

[3] Buchberger, Milovan: Hrvatska vojna industrija I. dio, *Hrvatski vojnik*, 5(1995) 1, 1995., str. 8–17.

[4] Buchberger, Milovan: Hrvatska vojna industrija II. dio, *Hrvatski vojnik* 5(1995) 2, 1995., str. 8–19.

[5] Havliček, Milena: Ime trajnog sjaja − prilog povijesti elektroenergetske industrije Hrvatske, Binosa Press, Zagreb, 2008.

[6] http://www.dnevno.hr/vijesti/hrvatska/ispravak-clanka-objavljenog-na-portalu-dnevno-hr-3-sijecnja-2017-989367/#axzz4UaPNu36y

[7] http://tehnika.lzmk.hr/vojna-industrija/

The story about foundation, development and downfall of Končar weapon factory

Abstract: The text analyses the foundation, development and downfall of Končar weapon factory. It describes this important segment of history of Končar, as well as Croatian history during the 1990s. The results they acheived and the quality of weapons produced in Končar during the four years of Homeland War are fascinating. The reasons of factory's downfall are, however, hard to understand.

The text examines military industry in Croatia by focusing on the development of weapon production in Končar through several phases. **The first** phase was in the time of the so-called old Končar and began in 1985 with a contract to produce anti-aircraft missile system under Soviet licence. This system was nicknamed Strela, S-10 system. This phase lasted until the end of 1990 and ended with the bankruptcy of Končar Institute which was in charge of the development of missile system. **The second** phase started in 1991 in the so-called new Končar with the establishment of KONČAR Special Machines and Systems, Ltd. (Specijalni uređaji i sistemi or SUS in Croatian). The development and production of missile system continued in the new factory, along with constant improvement and modernisation. In addition, a great number of various new weapons were produced, from missiles, mine throwers, cannons and mines. That was the "golden age" in the history of SUS which ended in 1995 with the replacement of its director. **The third** phase lasted from 1995 until 2000, and it was marked with a production decline, financial problems, business crisis and inability to pay salaries. **The fourth** phase occurred in 2000 when a strike began. The company ended in bankruptcy, workers were fired and the company sold. The text ends with analysing the reasons for the rise and fall of SUS.

Keywords: anti-aircraft missile system, bankruptcy, KONČAR − Special Machines and Systems, Ltd. (Specijalni uređaji i Sistemi or SUS), Končar weapon factory, history of industry, military industry, strike, Strijela 10 CRO, weapons

Ivan Dujnić

O Tvornici poluvodiča RIZ

Sažetak: U članku je ukratko opisana Tvornica poluvodiča RIZ (TPV), koja je službeno postojala od 1971. do 1989., kad je prestala raditi. Navedeni su razlozi osnivanja i prestanka rada Tvornice te način rada i, na kraju, postignuća.

Ključne riječi: čip, kvaliteta i pouzdanost, tehnologija, tranzistor

Uvod

Šezdesetih godina prošlog stoljeća poluvodička tehnologija počela je istiskivati klasičnu vakuumsku tehnologiju zbog prednosti poluvodiča. Prve poluvodičke komponente bile su građene na kristalu germanija i to legiranjem. Tu je tehnologiju usvojila tvornica EI-Niš. Međutim, tehnologija ima velik nedostatak, a to je da je vrlo teško kontrolirati prodor dopanata u bazu, a time karakteristike tranzistora. Također, karakteristike tranzistora na višim frekvencijama nisu zadovoljavale. Zato je tranzistor razvijen na kristalu silicija novom, planarnom tehnologijom, vrlo brzo istisnuo germanijevu tehnologiju.

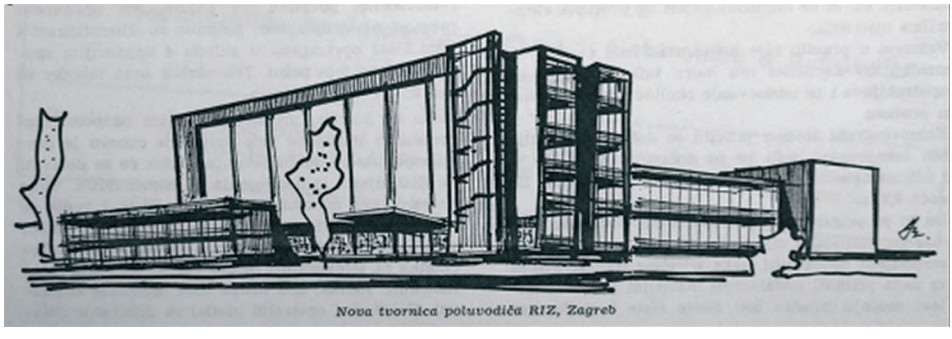
U to je vrijeme u Jugoslaviji postojala elektronička industrija (Radioindustrija − Zagreb, Iskra − Kranj, Elektronska industrija Niš, *Rudi Čajavec*, *Rade Končar*, *Nikola Tesla* i nekoliko manjih tvornica. Bila je prisiljena uvoziti poluvodičke komponente jer domaća proizvodnja nije postojala. Važno je napomenuti da je većina spomenutih tvornica imala odjele koji su proizvodili i vojnu opremu. Stoga je u RIZ-u vrlo brzo sazrela spoznaja da treba i internoj proizvodnji, kao i cjelokupnoj domaćoj industriji, ponuditi poluvodičke komponente proizvedene u zemlji, a u skladu s potrebama i novim trendovima. Odlučeno

je da počne razvoj i proizvodnja silicijeve tehnologije, koja je puno više obećavala od germanijeve.

Razvoj je počeo suradnjom RIZ-a s Institutom za fiziku Sveučilišta u Zagrebu (IFS), gdje je postojala i vrlo skromna oprema i kadrovi nužni za početak. Počela je i suradnja sa Zavodom za elektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu.

Osim najvažnijeg, procesnog dijela, bilo je važno svladati i tehnologiju montaže. Zato je uskoro, kao prvi korak, sklopljen ugovor s tvrtkom General Electric (GE) o montaži tranzistora. Predviđeno je da se GE-ovi čipovi ugrađuju u metalna, hermetička kućišta TO-18, TO-5 i TO-39. S tim je ciljem kupljen dio opreme od GE-a, kao i prostor u dijelu zgrade Poduzeća *Banija* u Zagrebu, gdje je uskoro počeo raditi RIZ − OOUR Tvornica poluvodiča. Istodobno su se stjecale vještine i iskustva u klasifikaciji i kontroli kvalitete. Polako su i napori na razvoju procesa uznapredovali do točke kad je uspješno projektiran i procesiran vlastiti tranzistor, što je bio vrlo važan događaj. Otad postupno počinje proizvodnja tranzistora vlastitog projekta.

U drugoj polovini šezdesetih počinje gradnja nove zgrade, slika 1., gdje uskoro počinje proizvodnja. Tvornica poluvodiča 1971. i službeno je otvorena. Tad je bila tehnološki i kadrovski zaokružena iako je suradnja s IFS-om, uglavnom zbog razvoja, i dalje trajala. Godine 1973. sklopljen je s tvrtkom Texas Instruments ugovor o montaži tranzistora. Ta je suradnja potrajala nekoliko godina i rezultirala je daljnjim tehnološkim napretkom, posebno na području osiguranja kvalitete.



Sl. 1.: Nova Tvornica poluvodiča RIZ

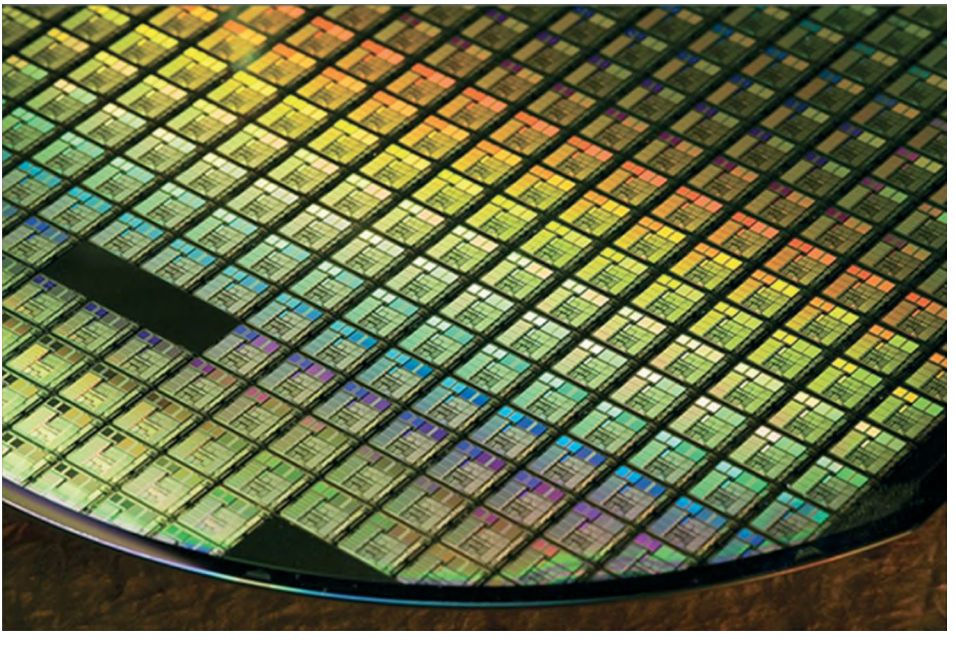
Polako počinje rasti i izvoz. Osim u Poljsku, Čehoslovačku i DR Njemačku, TPV je izvozio i u zemlju licencnih partnera − SAD, te u SR Njemačku. Naravno da opseg tog izvoza nije bio velik, ali važno je da su naši partneri bili zadovljni kvalitetom.

1. Proizvodnja

Organizacija TPV-a bila je jednostavna, podijeljena na sektore:
– Proizvodnja (difuzija i montaža)
– Komercijala
– Razvoj
– Upravljanje kvalitetom
– Finomehanička radionica
– Održavanje zgrade i opreme
– Administracija.

Postupak proizvodnje tranzistora dijelio se na:
– procesni dio (difuziju), koji je od silicijevih pločica proizvodio čipove
– montažu − ugradnju čipova u kućišta (podnožja)
– klasifikaciju (sortiranje)
– nadzor kvalitete (provodio ga je sektor kontrole kvalitete).

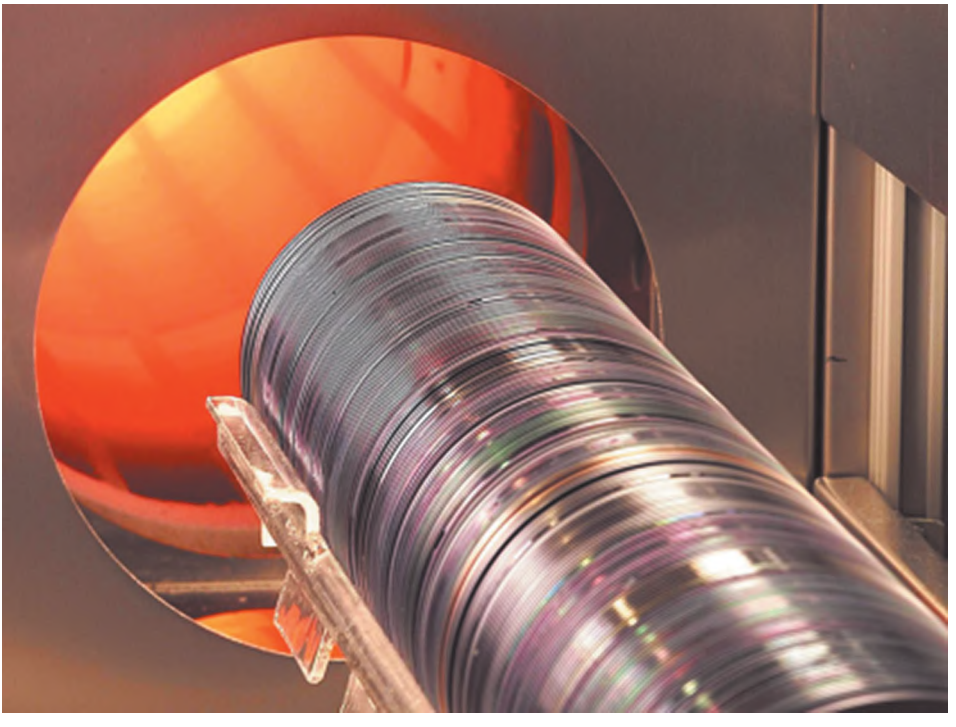
Osnovni repromaterijal od kojeg se proizvodio tranzistor bila je pločica vrlo čistog monokristala silicija (engl. *wafer*). U TPV-u su korištene pločice promjera 5 cm, slika 2., iz kojih se moglo dobiti od nekoliko stotina do 3000 čipova, ovisno o veličini pojedinog čipa.



Sl. 2.: Čipovi tranzistora nakon procesiranja na pločici monokristala silicija



Sl. 3.: Nanošenje fotoemulzije



Sl. 4.: Uvlačenje *wafera* u peć





Sl. 5.: Peći za difuziju (starija izvedba peći bila je u TPV-u)



Sl. 6.: Grijač za difuzijsku peć

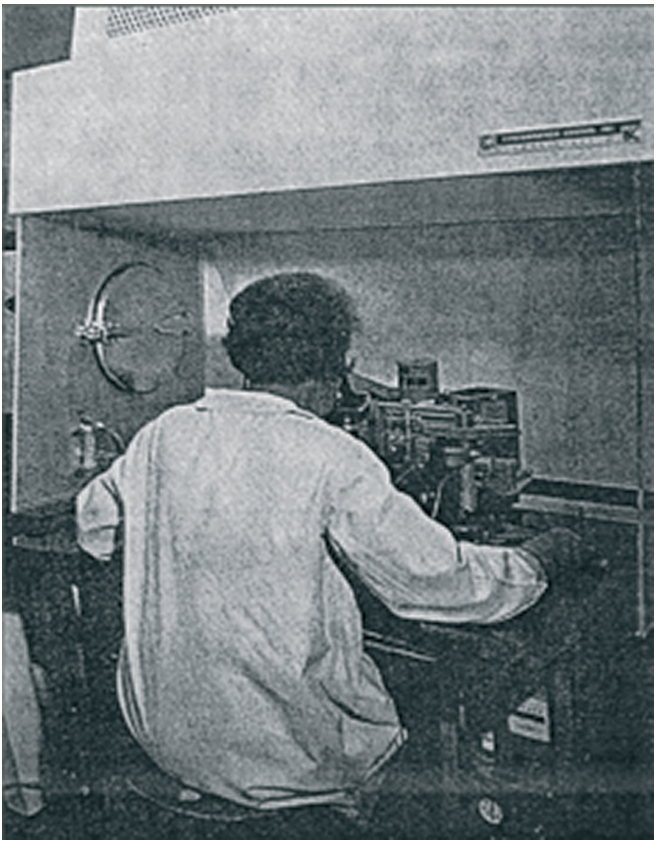


Sl. 7.: Kremena cijev za difuzijsku peć

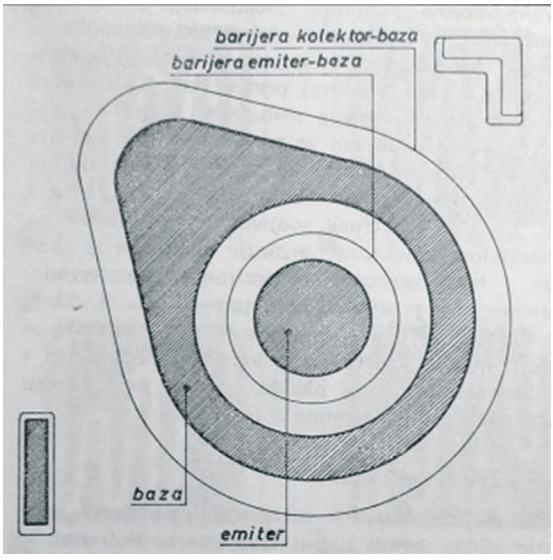
U procesnom dijelu proizvodnje (difuziji), na pločice su se višekratnim fotopostupkom, slika 3., maskirala područja s ciljem da se na površini difundiraju područja baze i emitera. Najprije je maskirano područje baze, nakon čega je pločica stavljena u peć za difuziju, slika 4. Na slici 5. prikazan je vanjski izgled peći te njezini dijelovi, na slici 6. grijač, a na slici 7. kremena (kvarcna) cijev.

Nakon difuzije baze provedena je električna kontrola. Zatim je na jednak način maskirano područje emitera uz pažljivo poravnavanje, slika 8., kako bi emiter bio difundiran unutar baze. Slijedila je difuzija emitera, ali drugim dopantom i u drugoj cijevi.

Potom se nanosila maska za metalizaciju, koja se provodila aluminijem, s pomoću elekronskog topa, i služila je za spajanje s vanjskim priključcima. Slika 9. prikazuje gotov čip s vrlo jednostavnom geometrijom. Slika 10. prikazuje radno mjesto za kontrolu električnih parametara. Loši čipovi označavani su magnetskom tintom.



Sl. 8.: Poravnavanje maski na *waferu*



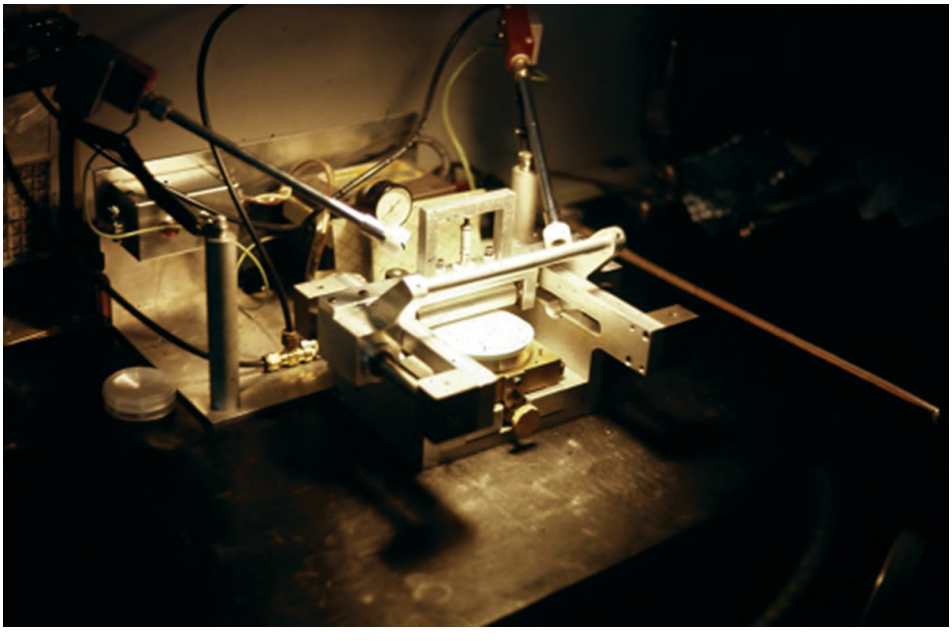
Sl. 9.: Maska jednog tipa tranzistora



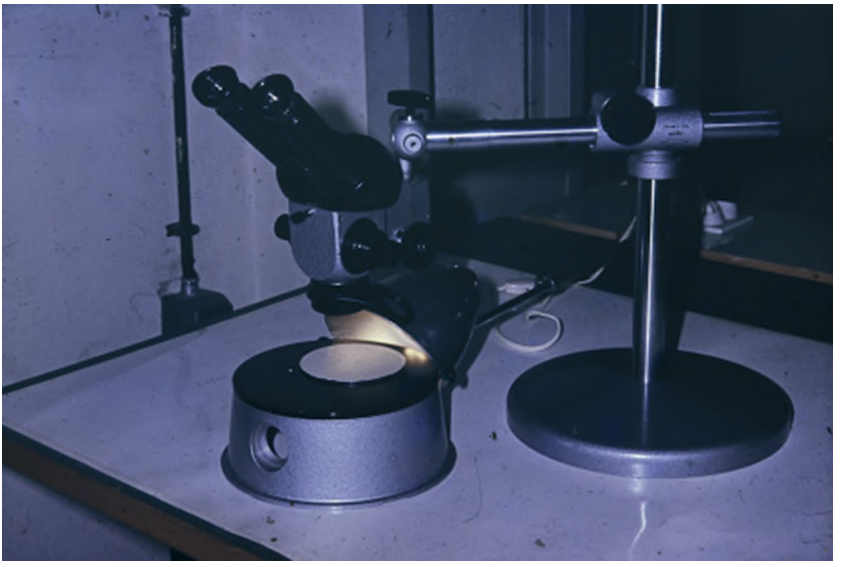
Sl. 10.: Električno ispitivanje *wafera* u procesu difuzije



Sl. 11.: Uređaj za zacrtavanje



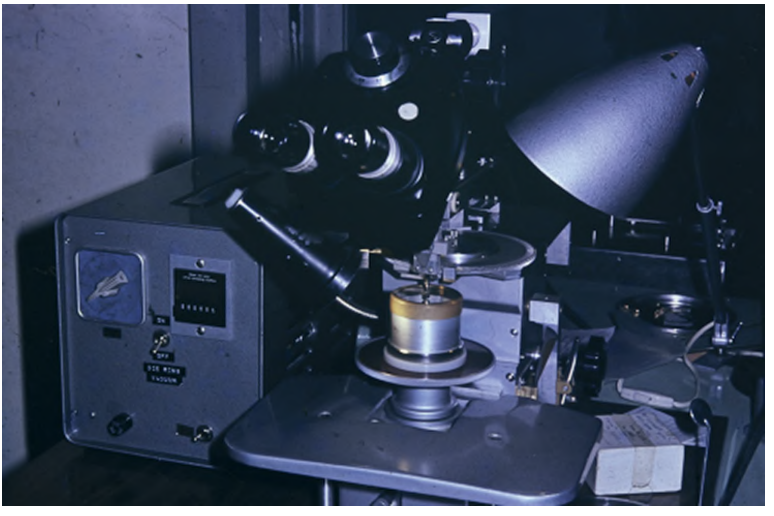
Sl. 12.: Lomilica *wafera*



Sl. 13.: Kontrolno mjesto za izlučivanje loših čipova

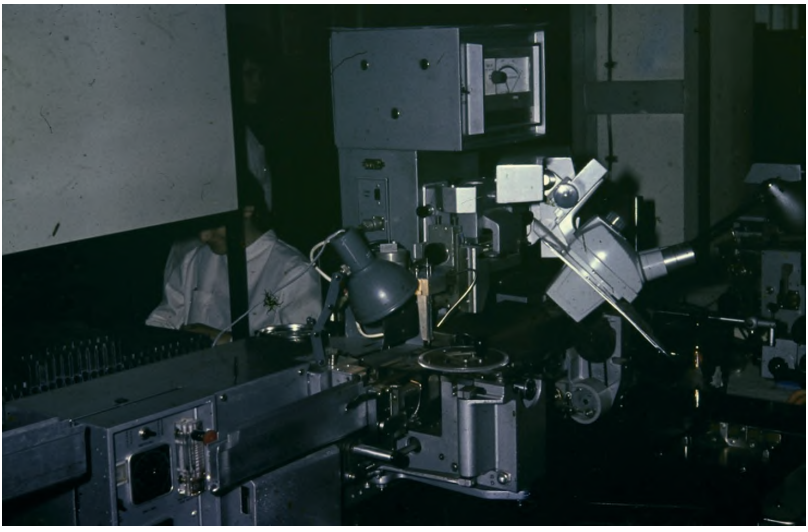
Nakon toga *wafer* bi se s pomoću uređaja za zacrtavanje (engl. *scriber*) zaparao dijamantnim nožem, slika 11., te razlomio, slika 12., čime su čipovi međusobno odvajani. Loši čipovi izvlačili su se s pomoću magneta, slika 13.

Montaža čipova u kućišta odvijala se s pomoću posebnih uređaja *die bonder*, postupkom tzv. eutektičkog legiranja, koje je osiguravalo odličan električni i toplinski spoj. Na slici 14. prikazan je ručni, a na slici 15. automatski *die*



Sl. 14.: Uređaj za legiranje čipova na podnožje

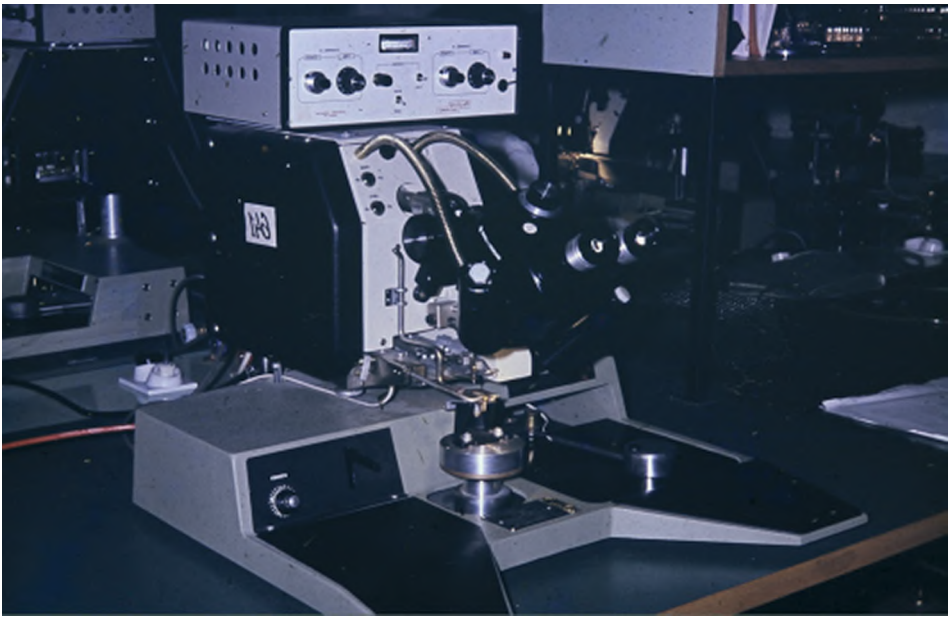
bonder. Slika 16. prikazuje punjenje redenika za automatski *die bonder*. U TPV-u se za spajanje koristila zlatna i aluminijska žica, obje promjera 25 µm i 38 µm. Slika 17. prikazuje ultrazvučni uređaj za spajanje aluminijskom žicom, a slika 18. uređaj za spajanje termokompresijom (za spajanje zlatnom žicom). Slika 19. prikazuje tranzistor prije pokrivanja kapicom.



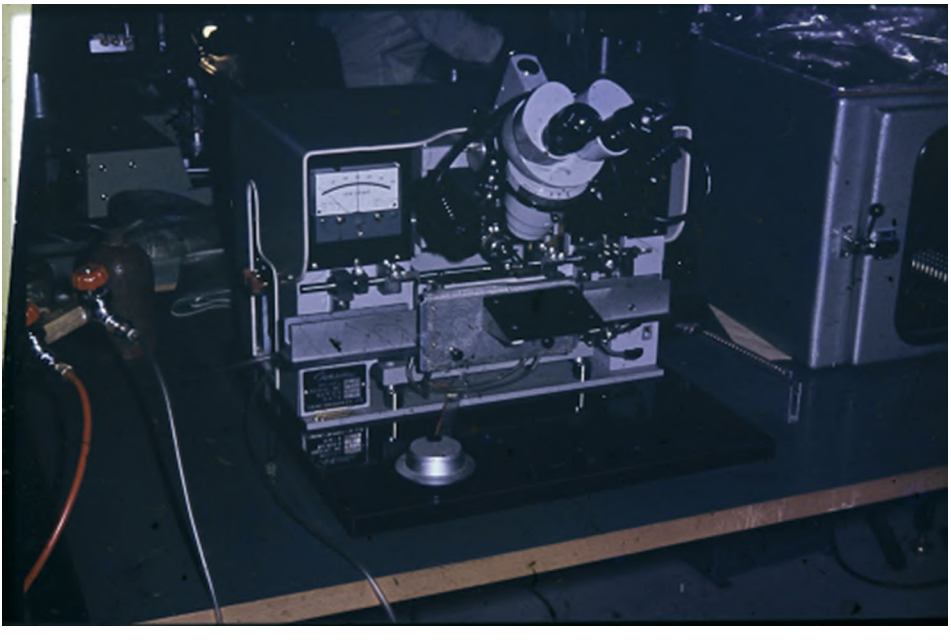
Sl. 15.: Uređaj za legiranje čipova na podnožje



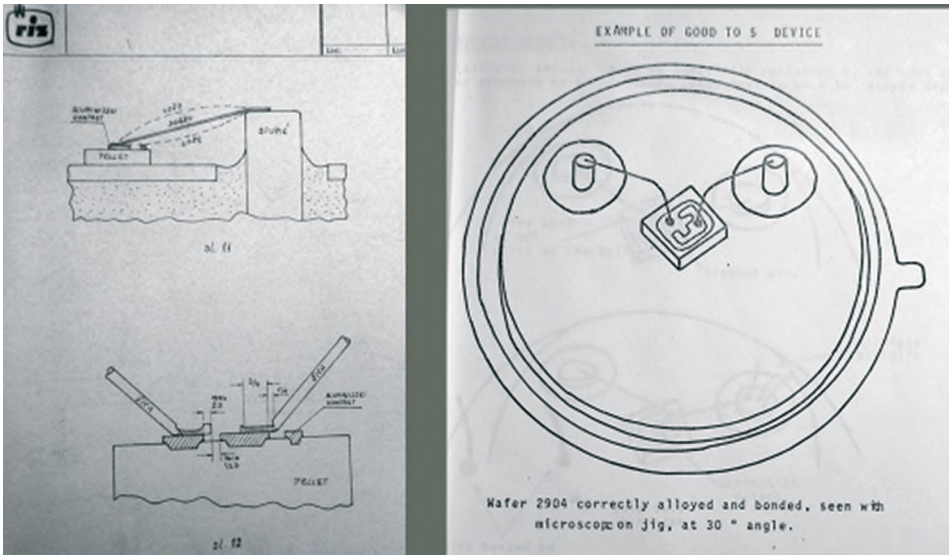
Sl. 16.: Punjenje redenika za *die bonder*



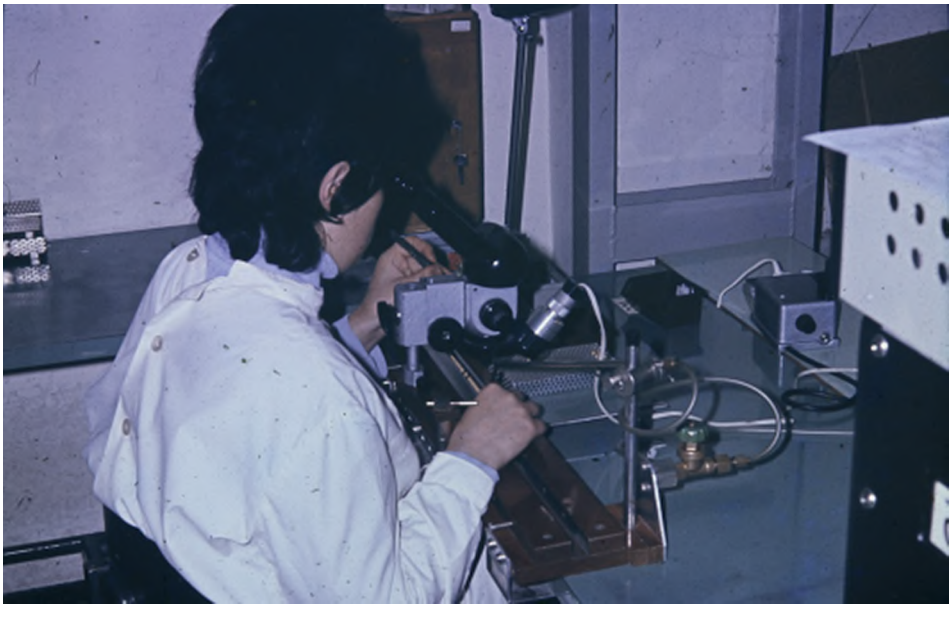
Sl. 17.: Stroj za spajanje žicom *wire bonder*



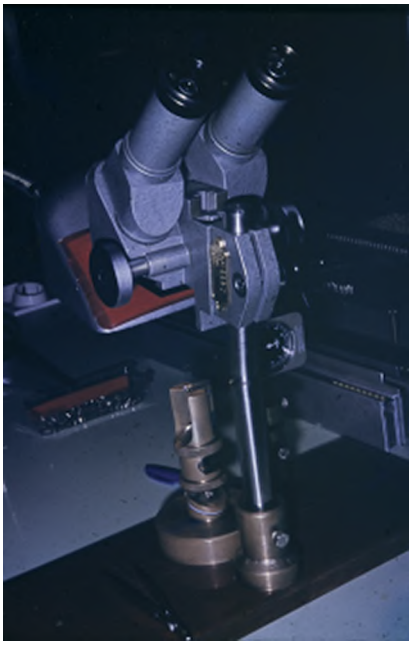
Sl. 18.: Uređaj za termokompresijsko spajanje žice



Sl. 19.: Spajanje žicom − bondanje



Sl. 20.: Vizualna kntrola spojeva



Sl. 21.: Kontrolno mjesto za čvrstoću spoja



Sl. 22.: Vakuumska peć

Na slici 20. prikazano je radno mjesto za kontrolu čvrstoće spojeva propuhivanjem, a na slici 21. za kontrolu s pomoću malog dinamometra s kukicom, nakon čega se budući tranzistori pokrivaju niklenim kapicama i stavljaju u vakuumsku peć kako bi se temeljito prosušili, slika 22.

Iz peći se prebacuju izravno u komoru za zavarivanje, slika 23., gdje se vrlo jakom strujom zavaruju kapice. Tranzistori se zatim izlažu visokoj temperaturi (stabilizacija, sl. 24.), a onda i mehaničkom udarcu bacanjem na tvrdu podlogu. Otpornost na povećanu akceleraciju (20 000 *G*) ispitivala se s pomoću centrifuge, slika 25. I hermetičnost se ispitivala metodom uzoraka i to na grubo (ubacivanjem u vrući freon) i fino curenje s pomoću masenog spektrometra, slika 26.

Tranzistori su zatim išli na električno ispitivanje, odnosno klasifikaciju. Koristio se poseban uređaj na kojem je bilo moguće programirati svaki test, slika 27. Budući da postoji prirodno rasipanje parametara, iz svake se šarže moglo izvući nekoliko tipova. Primjerci koji nisu zadovoljavali ni jedan tip smatrani su škartom. Uz taj uređaj dodan je i dio za automatsko rukovanje tranzistorima, izrađen u vlastitoj radionici (nije na slici). Klasificirani tranzistori išli su na tiskanje oznake i na skladište odnosno u isporuku.

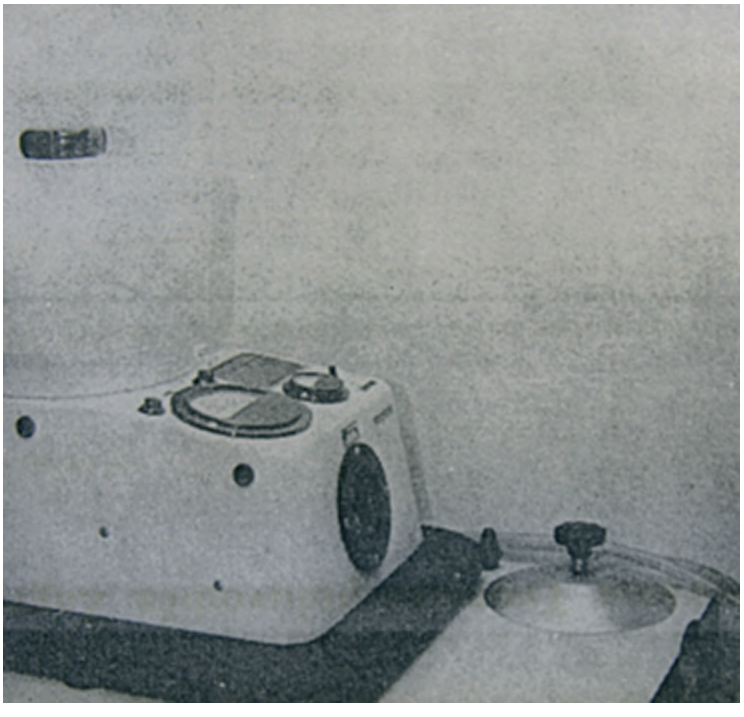
Iz navedenog je vidljivo da je postupak proizvodnje vrlo osjetljiv i složen. Postoji bezbroj faktora koji mogu dovesti do pojave masovnog škarta. Inverzna struja najkritičniji je parametar te je stalno nadzirana metodom uzoraka, slika 28. Uzorci su uzimani prema AQL (engl. *acceptance quality level*) tablicama.



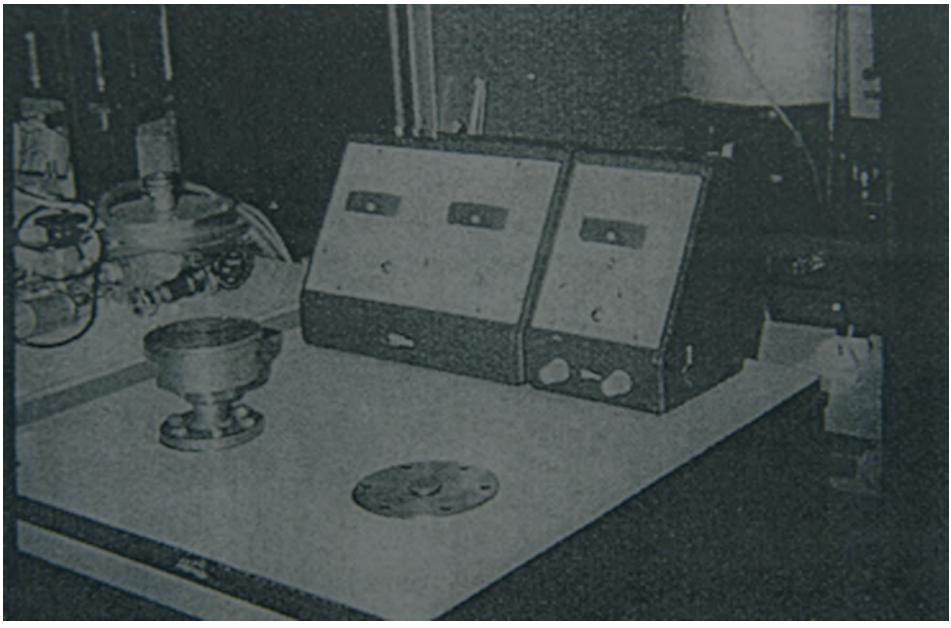
Sl. 23.: Zavarivanje kapica na podnožja



Sl. 24.: Peć za stabilizaciju



Sl. 25.: Centrifuga 20 000 *G*



Sl. 26.: Maseni spektrometar za mjerenje hermetičnosti



Sl. 27.: Uređaj za električnu klasifikaciju tranzistora



Sl. 28.: Uređaj za mjerenje inverzne struje tranzistora

2. Upravljanje kvalitetom

Tvornica je imala i poseban sektor za upravljanje kvalitetom i pouzdanošću. Kupci su imali različite zahtjeve pa su u vezi s tim bile određene tri razine kvalitete i pouzdanosti:

a) široka potrošnja
b) profesionalna
c) vojna.

Vojna razina dalje se dijelila na tri podrazine:

a) JAS 1
b) JAS 2
c) JAS 3.

JAS 1 je razina na kojoj otkaz tranzistora prouzročuje materijalnu štetu. JAS 2 je razina na kojoj otkaz može prouzročiti veću štetu, a JAS 3 ona koja može izazvati ljudske žrtve.

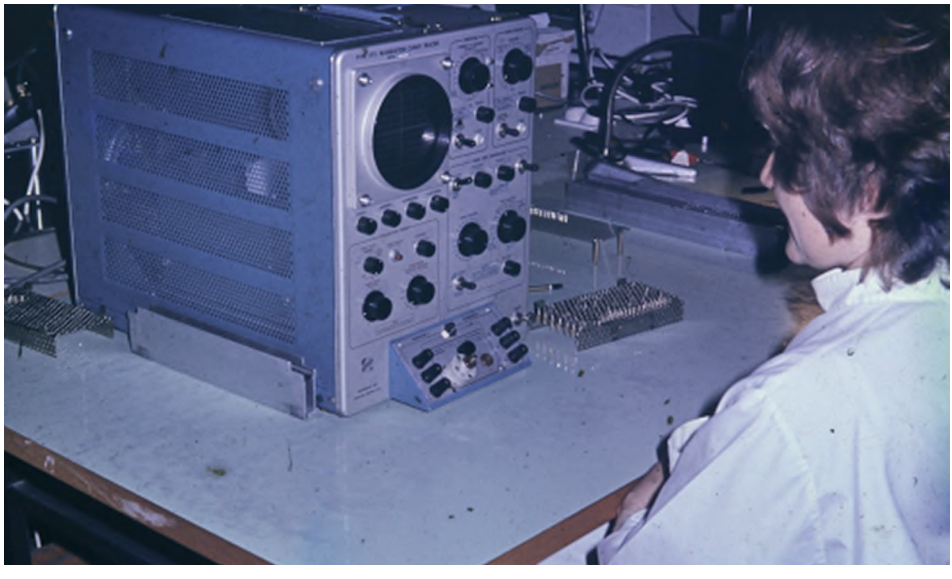
Da bi se smanjile štete, a kupci bili zadovoljni, organizirana je integrirana kontrola kvalitete prema Feigenbaumu, američkom stručnjaku za to područje. Osnovna je ideja takve kontrole, osim osiguranja željene kvalitete i pouzdanosti, da cijena proizvoda odabrane razine kvalitete bude kupcu prihvatljiva, a proizvođaču isplativa. Važno je voditi računa i o samoj cijeni kvalitete jer se

ona odražava i na cijenu proizvoda. Smatralo se prihvatljivim ako su troškovi manji od 1,5 % u odnosu na ukupnu realizaciju na godišnjoj razini.

Tipska ispitivanja bila su od posebne važnosti za vojnu proizvodnju. Osim navedenih, postavljani su i zahtjevi za otpornost na klimatske uvjete, robusnost i pouzdanost. Zbog toga su 100 % ispitivani na mehaničke udarce, temperaturno cikliranje, izlaganje slanoj atmosferi i mjerenje životnog vijeka. O rezultatima je ovisio projekt, izbor materijala, proces itd.

Životni vijek ispitivao se tako da se određena količina tranzistora (u našem slučaju 1000 komada) sukcesivno mjerila i opterećivala maksimalno dopuštenom snagom u posebno građenom uređaju vlastite izrade, slika 30. Primjerci koji su otkazali, tj. izišli izvan dopuštenih granica, zabilježeni su kao nepouzdani. Ako se nacrta ovisnost frekvencije otkaza o vremenu, dobiva se Weibullova krivulja, slika 31., na kojoj se razlikuju tri jasno izražena područja: najprije područje tzv. dječjih bolesti, unutar kojeg otkazuju primjerci koji imaju neki defekt; slijedi dug i nizak dio, životni vijek; na koncu slijedi porast broja otkaza zbog istrošenosti. Mjerenja na nekim tipovima pokazala su samo jedan otkaz na 1 000 000 komponent-sati, što je vrlo dobar rezultat.

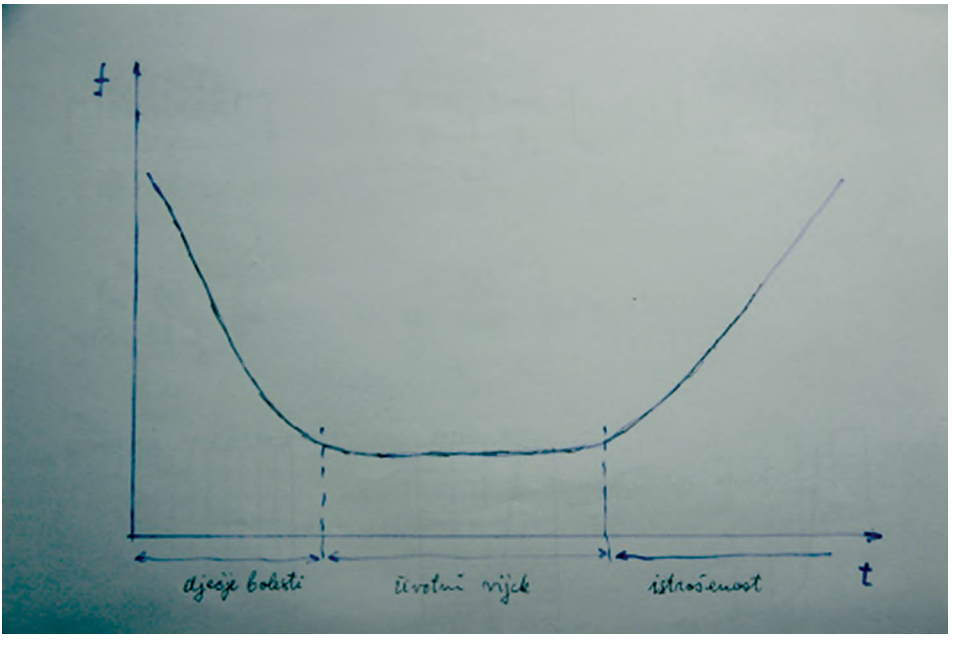
Tipovi za razinu JAS 2 i JAS 3 prolazili su 100 % vizualnu kontrolu čvrstoće legiranja čipa te spoja žice dinamometrom. Nadalje, postojao je i zahtjev za pouzdanost. Zbog toga su podvrgnuti postupku predopterećivanja (tzv. *Screening*, koji se također provodio na spomenutom uređaju za ispitivanje životnog vijeka). Svrha je eliminiranje otkaza iz područja dječjih bolesti i na taj je način osigurana pouzdanost.



Sl. 29.: Električna kontrola tranzistora prije zavarivanja kapice

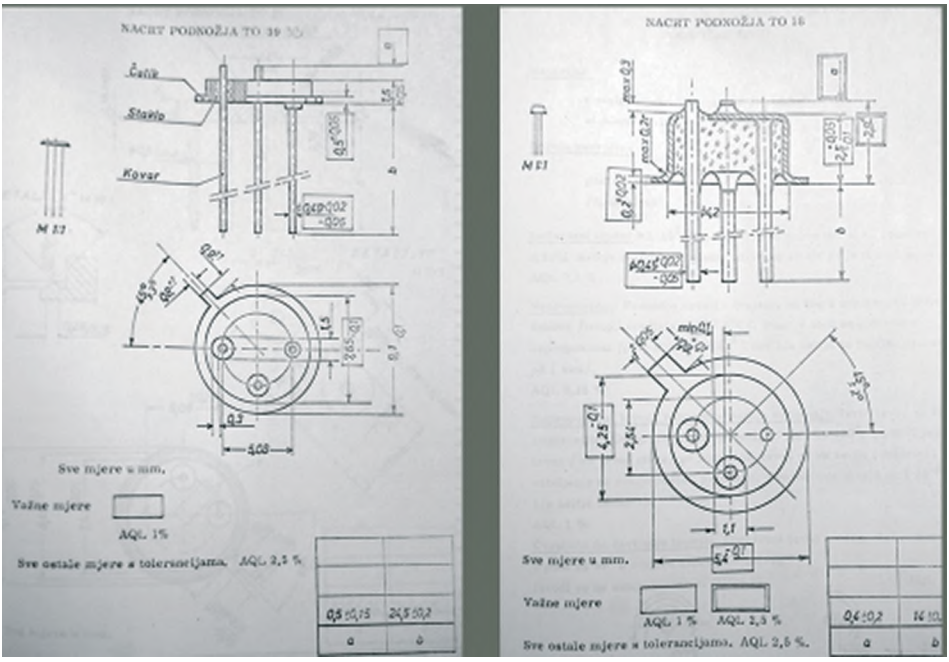


Sl. 30.: Ispitivanje životnog vijeka tranzistora

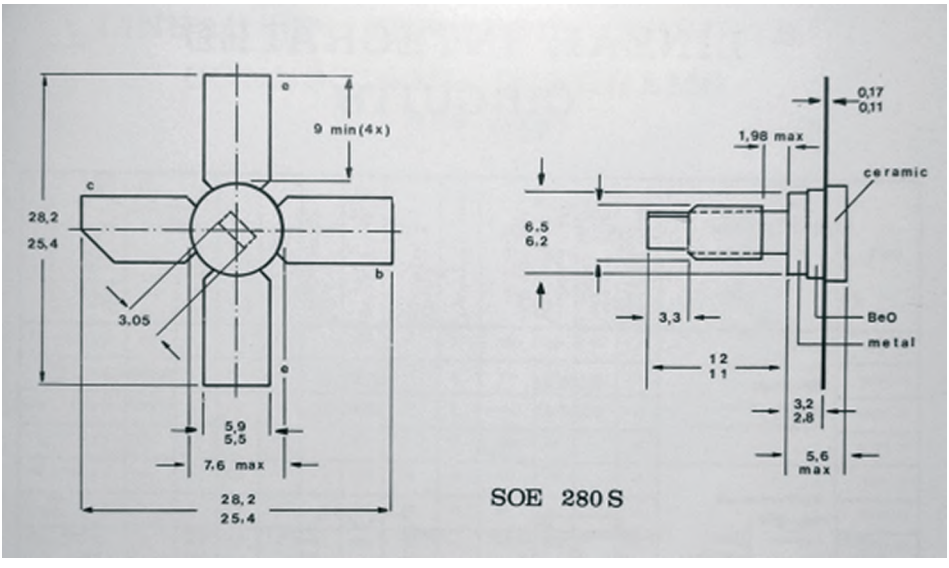


Sl. 31.: Weibullova krivulja

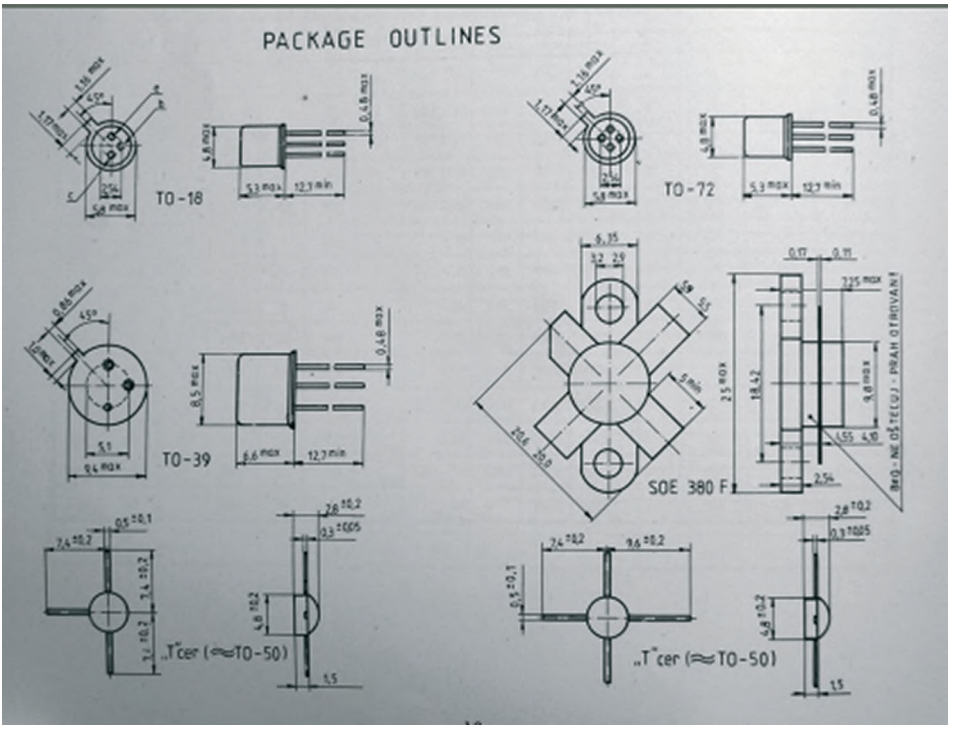
3. Razvoj − tehnološka postignuća



Sl. 32.: Kućište TO-39 i TO-18



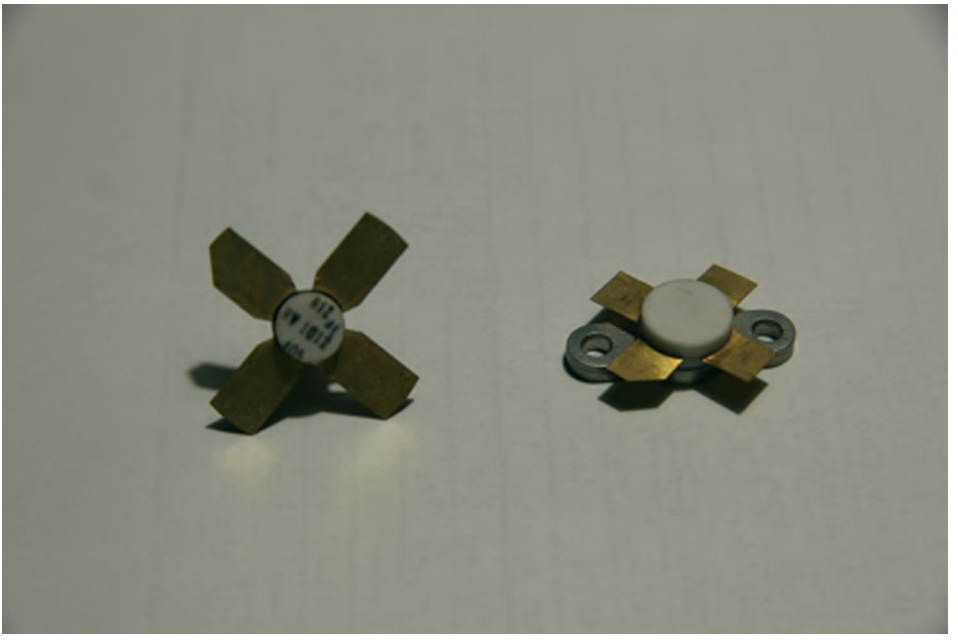
Sl. 33.: Kućište RF tranzistora snage



Sl. 34.: Kućišta Tvornice poluvodiča



Sl. 35.: Uređaj za ispitivanje digitalnih integriranih sklopova



Sl. 36.: VF tranzistori snage



Sl. 37.: Mjerni sklop za tranzistor 150 W, 30 MHz

Glavni proizvod Tvornice poluvodiča bili su bipolarni tranzistori male i srednje snage. Osim u kućištima TO-18, TO-39 i TO-72, slika 32., koja su bila metalna (kovar) i pozlaćena, osamdesetih godina počela je i proizvodnja tranzistora u plastičnom kućištu. Uspješno je razvijen P-kanalni i N-kanalni JFET, PUT te tiristor male snage. Također su razvijeni VF tranzistori snage, i to u rasponu od 2 do 150 W te u području frekvencija od 30 do 400 MHz. Ti tranzistori zahtijevali su kućišta od metala i keramike, slike 33. i 34. Tvornica je proizvodila i integrirane sklopove niskog stupnja integracije, nekoliko tipova digitalnih, kao i linearnih, u plastičnom te keramičkom kućištu. Slika 35. prikazuje uređaj za ispitivanje digitalnih integriranih sklopova. Dobro je napredovao razvoj operacijskog pojačala μA 709, kao i razvoj stereopojačala 2 × 2 W.

Slika 36. prikazuje tranzistor 10 W / 150 MHz i tranzistor 150 W / 30 MHz, a slika 37. sklop za ispitivanje. Uz njega je bio i uređaj (nije na slici), koji je opterećivao tranzistor pri nedostatku tereta. Nakon tog ispitivanja snaga je smjela pasti za samo 10 %. Nažalost, iako je razvoj tih tranzistora uspješno završen, proizveden je relativno mali broj komada jer je tvornica uskoro prestala raditi.

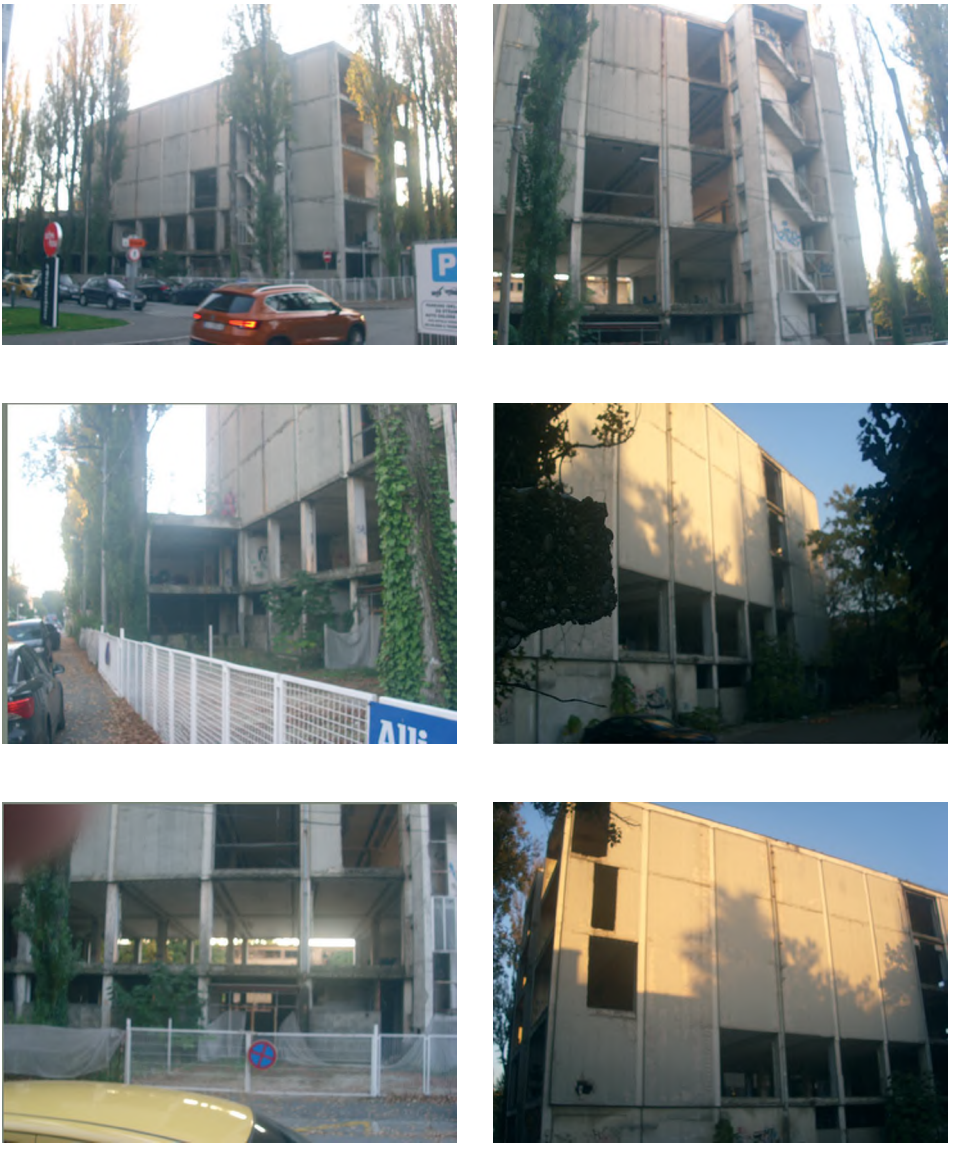
Zaključak

Tvornica je počela rad u vrijeme kad je Jugoslavija bila u fazi industrijskog rasta. Doduše, postojala je konkurencija među nekim tvornicama, ali, uglavnom zahvaljujući entuzijazmu nekoliko djelatnika RIZ-a, TPV je ipak krenuo. Ključna osoba bio je inženjer Zdravko Bendeković, koji je okupio oko sebe skupinu mladih inženjera, većinom iste generacije i vrlo motiviranih (Magda Balaša-Šribar, Branka Bogdanović, Jasminka Ćupurdija, Antonija Delač, Ivan Gložinić, Mladen Hren, Brigita Mestnik, Vlatka Radić, Rudi Ročak, Ivan Šmalcelj, Srebrenka Ursić…).

Vrlo je važna bila i suradnja s ETF-om (danas FER) i prof. dr. sc. Petrom Biljanovićem, koja se odnosila najvećim dijelom na projektiranje procesa (tj. difuzije) i geometrije u cilju postizanja zahtijevanih parametara. Prof. Biljanović aktivno je sudjelovao i u planiranju razvoja.

Proizvedeni tranzistori bili su visoke kvalitete, što su potvrdili kupci iz inozemstva, domaći kupci, kao i vlastita ispitivanja. Nažalost, ni republičke ni državne strukture u to vrijeme nisu imale sluha za takvu vrstu proizvodnje. Onda je osamdesetih godina došlo i do recesije, koja je poslovanje Tvornice ozbiljno ugrozila. Padom Berlinskog zida prestao je postojati istočni blok, a time je otpao i najveći dio vanjskog tržišta. Tu je, nažalost,bio kraj TPV-a.

Tvornica je bila radno intenzivna (na vrhuncu je zapošljavala 550 radnika), pa njezinu važnost ne treba gledati samo s točke profita. Bila je tehnološka baza za elektroničku industriju, kao i rasadnik kadrova. Time bi bio potaknut i razvoj



Sl. 39. a, b, c: Ostaci Tvornice poluvodiča RIZ danas

elektroničke industrije. Osamdesetih godina u svijetu su postojala svega četiri proizvođača VF tranzistora snage. Da je preživjela, Tvornica bi vjerojatno danas bila peta, u prvom redu zato što je bila orijentirana na proizvodnju skupih i kvalitetnih komponenata (gdje VF tranzistori snage svakako spadaju), jer se s masovnom proizvodnjom jeftinih tranzistora već onda nije moglo konkurirati inozemnim proizvođačima. Šteta da ni hrvatska država nije našla interes u

nastavku proizvodnje u TPV-u, koja sad više bez državne pomoći ne bi mogla opstati, slika 38.

Članak je pisan na temelju sjećanja. Od zatvaranja TPV-a prošla su tri desetljeća i bilo je teško pronaći materijale. No, bolje i ovako skromno, nego da pokušaj uvođenja jednog domaćeg visokotehnološkog proizvoda potpuno zaboravimo. Sl. 39. a, b, c prikazuje kako danas izgledaju ostaci TPV-a.

Literatura

[1] Časopis *Elektrotehnika*, svibanj 1971.
[2] Zbornik radova MIPRO MIEL, Konferencija o mikroelektronici, 1979.
[3] Borislav Juzbašić: *Elektronički elementi*, Školska knjiga, Zagreb, 1975.

About RIZ Semiconductor Factory

Ivan Dujnić

Abstract: In this article Semiconductor Plant (TPV) in Zagreb, Croatia, will be briefly described together with reasons for founding and closing it and how it worked, and, at last, technological achievments. TPV worked officially from 1971 to 1989.

Keywords: transistor, chip, technology, quality and reliability

Darko Fischer, Ivan Matejašić

Računalna tranzicija

Sažetak: S pojavom osobnih računala prije četrdesetak godina došlo je do bitne promjene u tehnikama programiranja, načinu obrade, korisničkoj ulozi u obradi te do znatnog povećanja broja korisnika računala. Rad opisuje izazove s kojima su se suočili profesionalni informatičari, raniji korisnici računala na velikim centralnim uređajima i novi korisnici.

Ključne riječi: globalne računalne mreže, mikroprocesori, obrada podataka, osobna računala, programiranje, programska podrška, računalno sklopovlje

Uvod

Sad već povijesni i legendarni radovi Stevea Jobsa i Stephena Wozniaka [1] iz sredine 1970-ih prošlog stoljeća bili su početak računalne tranzicije, pretvorbe u kojoj su dotad nenadmašiva velika računala (engl. *mainframe computers*) počela ustupati pred sve moćnijim osobnim računalima (engl. *personal computer*, PC).



Sl. 1.: Stolno računalo HP 9830A iz 1972. godine

Još dok su velika računala bila jedini takvi uređaji, pokazala se potreba da se računalo približi korisniku, da korisnik na svojem stolu i nadohvat ruci ima računalo i to ne samo terminal vezan na veliko računalo tad još nepouzdanim daljinskim vezama nego da ima vlastiti samostalni uređaj. Tako je, primjerice, već 1972. tad poznati proizvođač elektroničkih mjernih instrumenata Hewlett Packard izradio stolno računalo model HP 9830A, slika 1. U to vrijeme takva računala nisu ni imala pravi operacijski sustav, nego je *basic interpreter* imao ulogu sistemske programske podrške i jedinog programskog jezika na uređaju.

1. Prva osobna i kućna računala

Početkom 1980-ih proizvođači su se utrkivali tko će napraviti pristupačnije i cijenom povoljnije računalo. Popularni su bili Sinclair ZX 81 i Spectrum modeli inovativnog engleskog pronalazača Clivea Sinclaira [2]. Popularni su bili i modeli proizvođača Commodore i mnogih drugih. Čak je i u Hrvatskoj bila pokrenuta proizvodnja kućnih računala [3].

Tehničke značajke takvih računala bile su vrlo skromne. Najčešće su se koristili 8-bitni mikroprocesori [4]. Za pohranu podataka na magnetski medij mogao se kod nekih modela koristiti i standardni kasetofon, a kao ekranska izlazna jedinica koristio se i televizijski prijamnik. Tako su se ta prva jeftina kućna računala sastojala od tipkovnice uz koju je bila centralna jedinica i priključci za ostale vanjske jedinice. Istodobno su se pojavili skromni i jeftini matrični igličasti pisači (engl. ***M**atrix **D**ot **P**rinters*). Ipak, osim rijetkih iznimki, tako sastavljen sustav još nije mogao biti dovoljno pouzdan da bi ugrozio komercijalne obrade na velikim računalima.

Do znatnog preokreta došlo je sredinom 1980-ih, kad se jedan od vodećih proizvođača velikih računala upustio u uspješnu proizvodnju osobnih računala. IBM-ov model XT (engl. *e**X**tended **T**echnology*) postao je gotovo standard u daljem razvoju osobnih računala, slika 2. Prvi model XT koji se na tržištu



Sl. 2.: IBM-ov model XT iz 1982. godine

pojavio 1981. godine imao je u središnjem dijelu dvije disketne jedinice. Diskete (engl. *floppy disk*) bile su dimenzija 5,25 inča i kapaciteta 1,2 MB. Uz središnji dio spajala se tipkovnica i monokromni monitor na kojem su se mogli prikazati samo znakovi. Postojao je i priključak za pisač. Uskoro je to računalo poboljšano upotrebom čvrstog diska (najprije kapaciteta svega 20 MB), disketa od 3,5 inča i 1,44 MB kapaciteta, monitorom u boji i grafičkom karticom za prikaz crteža.

Operacijski sustav nalazio se na disketi i zvao se DOS (engl. *disc operating system*), no računalo je, po uzoru na neke ranije modele, moglo raditi i samo s *basic interpreterom* koji je bio pohranjen u ROM-u (engl. *read only memory*). Svojstvo operacijskog sustava, za razliku od imenjaka DOS-a na velikim IBM-ovim računalima, bila je njegova baziranost na datotekama (engl. *file*) koje su bile razmještene u stablastu strukturu skupova datoteka zvanih 'direktoriji'. Takav se princip zadržao do današnjih dana.

Operacijski sustavi brzo su od proceduralnih postali interaktivni s grafičkim sučeljem prema korisniku. Komunikacija korisnika i operacijskog sustava odvijala se preko ponuđenih izbornika i sličica (engl. *graphic user interface* − GUI). Za korisnike bila je sretna okolnost što se u upotrebi zadržalo samo nekoliko operacijskih sustava, koji su u svojim sučeljima međusobno slični, te je korisnicima bilo razmjeno lako ovladati korištenjem te programske podrške. Bio je to bitan napredak u odnosu na velika računala iz 1960-ih i 1970-ih, kad su operacijski sustavi različitih proizvođača bili znatno različiti [5].

Sklopovske mogućnosti osobnih računala neprestano su se povećavale. Napredak mikroelektronike bio je vrlo brz i integrirani sklopovi s pomoću kojih su pravljene i memorije i mikroprocesori postajali su sve manjih dimenzija i sve većih mogućnosti.

2. Poslovna primjena osobnih računala

Prema sjećanju I. Matejašića (jednog od autora članka) prva iskustva s osobnim računalom u Osijeku imali smo 1977. godine, kad je Ante Lauc, tadašnji profesor na Ekonomskom fakultetu u Osijeku, iz SAD-a donio prva dva primjerka osobnih računala ambiciozno namijenjena i poslovnoj primjeni. U siječnju 1977. računalna tvrtka Commodore stavila je na tržište svoju CBM PET seriju. Bio je to uređaj složen oko procesora 6502 i memorije 4 KB ili 8 KB, "naoružan" kasetnom jedinicom, programskim jezikom BASIC 2.0 i solidno integriran u limeno kućište. Kao podsjetnik, računalo Apple II lansirano je u travnju 1977. godine. Nedugo zatim i u Zagrebu se pojavio jedan Apple II (zahvaljujući zagrebačkom elektroničaru i informatičaru B. Makancu).

Što smo mogli razviti na tako skromnim kapacitetima? Mnogo više od onog što se može pretpostaviti. U to je vrijeme na Ekonomskom fakultetu u Osijeku bilo mnogo znanstvenih istraživanja u kojima je trebalo obrađivati ankete krostabulacijom. Uzorci su bili od nekoliko stotina upitnika s više desetaka pitanja i odgovora. Jasno je da unutarnja memorija računala nije bila dovoljno velika da se takav uzorak (matrica) odjednom učita i obradi. Programerskom dovitljivošću razvijen je algoritam koji u jednom učitavanju podataka s tračne jedinice istodobno stvara onoliko krostabulacije[1] i analize koliko dopušta unutarnja memorija. Za dodatne krostabulacije i analize ponavlja se učitavanje s tračne jedinice te se takvim ponavljanjem može dobiti proizvoljno mnogo tablica. Naravno, na tim računalima poslije smo razvili programe za razne druge statističke obrade (regresijske analize, analize varijance), ali bez diskovnih jedinica nije bilo moguće razvijati poslovne aplikacije za pohranu i transakcijsku obradu podataka.

Prva ozbiljnija naznaka moguće primjene osobnih računala u poslovnom svijetu javlja se 1985., kad je Jack Tramiel preuzeo tvrtku Atari, koja je dotad bila poznata kao proizvođač uređaja za igru. U to vrijeme na tržištu je već postojao Appleov Macintosh (1984.), ali bio je slabo raširen uglavnom zbog visoke cijene. Jack Tramiel imao je nekoliko sjajnih poteza – računalo je bilo složeno oko moćne Motorole 68000 – 16-bitnog mikroprocesora, 512 MB RAM-a, imalo je sjajan Yamahih zvučni čip, zbog kojeg dandanas rijetki fanatici koriste Atari u glazbenoj produkciji. Uveo je nekoliko integriranih krugova (ST GLU, ST MMU, ST DMA, ST Shifter), koji su performanse računala podignuli na razinu koju i danas osobno računalo teško dostiže, slika 3.



Sl. 3.: Atari ST stolno računalo

[1] **krostabulacija**; tablični prikaz odnosa između više varijabli

Operacijski sustav (OS), tzv. TOS (engl. *tape operating system*) ima posebnu povijest. Iako je bilo pregovora s Microsoftom da Windowsi, koji su u to vrijeme bili u razvoju, postanu OS za Atari, zbog dalekog datuma izlaska beta verzije Tramiel se odlučio razvoj povjeriti tvrtki Digital Research. Digital Research razvijao je operacijski sustav temeljen na CP/M OS, ali s grafičkim sučeljem (GEM). Cijeli razvoj (*hardware* i OS) bio je dovršen u pet mjeseci, što je gotovo nedostižno. Računalo je bilo nevjerojatno dobro prihvaćeno u cijelom svijetu i ubrzo je razvijena široka paleta različitih aplikacija – od programa za obradu teksta, DTP-a (engl. *desktop publishing*), kalkulatora, grafičkih programa. Njemačka tvrtka Steinberg prvu je verziju danas najpoznatijeg alata za glazbenu produkciju Cubase razvila za Atari ST seriju. I cijena je bila fantastična. Jedna usporedba iz prosinca 1985. navodi da je Atari s početnom cijenom od 800 dolara prepolovio cijenu u odnosu na Appleov Macintosh jednakih performansi. Tandy je u to vrijeme za 1200 dolara prodavao osobno računalo (Tandy 1000) sa skromnih 128 KB memorije.

I mi smo se okušali u poslovnoj primjeni Atari ST računala. Opremljen tvrdim diskovima od 20 MB, 40 MB i 60 MB (da MB, nije pogreška) i koristeći odlični XBase sustav dBMan razvili smo vrlo ozbiljne aplikacije za upravljanje tehnologijom (baze operacijskih listova, strojeva, postupaka), lansiranje radnih naloga, praćenje i obračun proizvodnje, upravljanje zalihama materijala i gotovih proizvoda. Sve je bilo razvijeno u grafičkom sučelju po normama kojih se ni danas ne bi postidjeli uspoređujući ih s Windows i *web*-sučeljem. Ti su programi uspješno primijenjeni u Industriji modne konfekcije (IMK) *Slavonija*, Osijek, od 1986. do 1991. godine. Verzija na ruskoj ćirilici, prevedena na mongolski jezik, primijenjena je 1998. u Mongolskoj Narodnoj Republici, u Ulan Batoru, u tad najvećem kombinatu kožnate konfekcije, a 1990. godine adaptirana verzija u tvornici *jeans* odjeće, također u Ulan Batoru. Kompletan razvoj i primjenu tog sustava izvela je tadašnja razvojna grupa tvrtke Industrija modne konfekcije *Slavonija*, koja je poslije postala jezgra tvrtke Spin Informatica.

Jedini je nedostatak sustava Atari to što nikad nije integrirao i razvio mrežnu karticu i mrežne protokole unutar OS-a. Razni su korisnici pokušali tomu doskočiti korištenjem *peer-to-peer* mreža kroz MIDI port/protokol, korištenjem osobnih računala s Novell mrežom kao *host* računalom, ali nije nikad postignuta zadovoljavajuća razina upotrebljivosti.

I konačno, IBM-ovo osobno računalo pobjeđuje. Dvije stvari bile su presudne: arhitektura (engl. *open standard*), koja je dopuštala nadogradnju i proširenje arhitekture karticama, uključujući mrežne kartice tipa ARCNet i Ethernet, *multiport* kartice RS232, grafičke kartice i kartice za upravljanje diskovima. Drugi je ključni moment što se računalo moglo slagati od komponenti različitih proizvođača, što je u cijelu industriju uključilo velik broj specijaliziranih i

neovisnih proizvođača. To je utjecalo na višestruko smanjenje cijene s početnih (u današnjim iznosima) od 4000 do 7500 dolara 1981. godine za model IBM PC 5150 na približno 2200 dolara u 1987. godini za nešto jači model (CPU Intel 80286, 10 MHz, 640 KB), [6] i [7]. Konačno se koncem 1980-ih taj model računala (od modela 286) ustaljuje kao standardna strojna podloga za razvoj poslovnih aplikacija na osobnim računalima.

Operacijski sustavi, osim standardnog IBM DOS sustava kao podrške za rad pojedinačnog računala, tražili su rješenje za umrežavanje osobnih računala. Prvi je na scenu stupio Novell s Netware specifičnim *server-client* rješenjem, gdje je na jednom računalu bio zajednički datotečni sustav, a ostala su mu računala pristupala kao klijenti. U međuvremenu su se pojavile i *peer-to-peer* mreže koje su dopuštale umrežavanje i dijeljenje resursa svih računala u mreži. Jedna je od najboljih *peer-to-peer* mreža Lantastic. Na toj se platformi (Intel procesorima) uspješno moglo instalirati i nekoliko verzija UNIX operacijskog sustava od SCO UNIX-a do QNX UNIX-a. To je otvorilo mogućnost da se na odličnoj UNIX platformi i sklopovlju osobnih računala razvijaju mrežne poslovne aplikacije. U to vrijeme postojali su i programski alati koji su jednako dobro radili i na IBM DOS i UNIX platformama. Na tom je polju posebno dobar alat bio i FOX Base, budući FOX PLUS, kojeg je poslije kupio Microsoft kao podlogu za svoj alat VisualFOX.

Razvoj mrežnih operacijskih sustava zaključio je Microsoft, plasiravši 26. srpnja 1993. poznatu verziju Windows NT 3.1, koji je na najboljim iskustvima UNIX OS napravio univerzalni mrežni OS koji do danas dominira serverima. Nužno je spomenuti i LINUX kao *open source* koncept koji drži manji dio (13 %) tržišta mrežnih OS-a, ali nije poznato kakav je udio u striktno poslovnim rješenjima.

Jačim prodorom internetskih veza u drugoj polovini 1990-ih godina razvija se koncept virtualnih privatnih mreža (engl. *virtual private network* − VPN). Korištenjem javnih servisa davatelja internetskih usluga razvijaju se protokoli koji omogućavaju izgradnju privatnih tunela unutar javnih mreža na kojima smo počeli povezivati osobna računala bez obzira na lokaciju i udaljenost. Dotad je takav koncept omogućavala WAN koncepcija (engl. *wide area network*), ali ona je zahtijevala unajmljene vodove i dodatnu infrastrukturu. To su si mogle priuštiti samo velike kompanije i banke, a mali i srednji poduzetnici o tome su mogli sanjati. Prvu poslovnu WAN mrežu izgradili smo za tvrtku Žito d. o. o. Osijek 1999. godine na skromnom širokopojasnom *framerelayu* od 64 KB i time otvorili vrata mrežama osobnih računala na svakoj lokaciji koja ima pristup internetu.

Kako smo u to vrijeme (1980. – 1986.) istodobno radili i na *host* računalima (IBM 360, HP 1000) zanimljivo je promatrati promjenu u paradigmi računalne obrade, dizajna aplikacija i programiranja. Kod *host* koncepcije [4]

uglavnom je preferirana grupna (engl. *batch*) obrada – karakteristična po prikupljanju podataka u centru obrade, prijenosu na medije (kartice, diskete), kontroli, obradi, pohrani i distribuciji obrade (uglavnom na papiru). Primjena osobnih računala razbila je taj koncept tako što je procesorsku moć donijela na stol korisnika, koji je unosio, obrađivao i koristio rezultate obrade.

U početnoj fazi, bez umreženih osobnih računala, nije postojao koncept integralnog informacijskog sustava. Postojali su otoci koji su eventualno komunicirali disketama (engl. *frisbeenet*), a tek potom mrežnim protokolima. Dizajn se odnosio ponajprije na dizajn pojedinačnih aplikacija, a dizajn informacijskog sustava još nije postojao. Tek kasnije, pojavom relacijskih baza (xBase, Oracle, MS SQL Server) počinje se razmišljati o integralnim sustavima i odvajanju slojeva aplikacije (engl. *3-tiered application model*).

Dizajn sučelja također se drastično mijenja – u grupnoj obradi naglasak je bio na poštivanju tijeka radnog procesa (engl. *workflow*). Formalnim kontrolama u kontrolnim programima nastojala se ukloniti mogućnost da podatak s korisničkom pogreškom dođe u samu obradu. U obradi na osobnom računalu i na njemu napravljenom sučelju također je trebalo ukloniti pogreške korisnika, operatera. Korisnika je trebalo upozoriti na pogrešku već pri samom interaktivnom unosu podataka. U programiranju aplikacija zahtijeva se puno veći broj linija koda koje kontroliraju interakciju korisnika i programa. To je dovelo i do promjene u konceptu alata za razvoj programa – od proceduralnog programiranja fokus se polako premjestio na vizualne alate za objektno orijentiran razvoj. Objektno programiranje nastalo je kao odgovor na povećanu kompleksnost interakcija korisnik – program i povećanje kompleksnosti aplikacija. Nova paradigma nastoji stvoriti samoodržive objekte koji enkapsuliraju određene metode i s vanjskim svijetom komuniciraju samo preko striktno definiranih svojstava.

Prezentacija podataka pretrpjela je drastičnu promjenu – osobna računala, umjesto listova papira ili u najboljem slučaju prikaza podataka na znakovnim monitorima, donijela su boju, grafiku visoke rezolucije, zvuk i interakciju s podacima. Ta sposobnost osobnih računala da prezentiraju podatke na dotad neviđene načine s prihvatljivim cijenama osigurala je prevlast osobnih računala u poslovnoj primjeni.

Danas se razvojna spirala ponovno vraća u neke točke iz prošlosti, ali na puno višoj razini. Ponovno svjedočimo trendu centraliziranja resursa za pohranu i obradu podataka u velikim *dana*-centrima (ili *data*-centrima), koji tehnologijama virtualizacije pružaju neslućene količine resursa po prihvatljivim cijenama. I u takvim uvjetima osobna računala ili slični uređaji zadržavaju svoju dominantnu ulogu u prezentaciji podataka korisniku. Unos podataka "migrira" na sasvim novu platformu, koju nismo sretali ni u *host* ni u PC eri. U to vrijeme osnovna je dvojba bila gdje se podaci unose u informacijski sustav, u centru obrade podataka ili na radnom stolu korisnika. Danas se ta dvojba polako gubi

i podatke više ne unose ljudi ni na svojim radnim mjestima nego podaci sami dolaze putem raznih IoT-a (engl. *Internet of Things*) uređaja u realnom vremenu i prostoru.

Pošteno bi bilo reći i da su u vrijeme *host* računala postojale koncepcije distribuirane obrade – obuhvat podataka na mjestu nastajanja, obrada u realnom vremenu, distribucija rezultata) koju je posebno zastupao UNIVAC Sperry Corp i HP, ali ipak 1980-ih u svijetu poslovnih aplikacija dominirala je koncepcija i arhitektura grupne obrade nastala na IBM-ovim platformama.

3. Moderna osobna računala

Zahvaljujući moćnim mikroprocesorima i memorijama velikog kapaciteta na vrlo malom prostoru, napravljena su već početkom XXI. stoljeća osobna računala, slike 3. i 4., koja su svojim mogućnostima nadmašila ne tako davno korištena velika računala. Tomu je pridonijela i moderna tehnologija pohrane podataka na magnetske diskove koji su na malim dimenzijama (obično 3,5 inča promjera) dosegnuli kapacitete i do jedan TB. Moderniji komunikacijski standardi (kao *universal serial bus* − USB; ili *high definition multimedia interface* − HDMI) omogućili su jednostavnije i brže povezivanje perifernih jedinica. Pojavile su se jeftine memorije u obliku memorijskih štapića (engl. *memory stick*) ili kartica koje se mogu priključiti na računalo preko standardnih komunikacijskih međusklopova. Također je omogućeno da se mnogi elektronički uređaji koji se svakodnevno koriste, kao fotoaparati, televizori i zvučni uređaji mogu koristiti kao periferne jedinice osobnog računala. Zahvaljujući malim



Sl. 4.: Stolno osobno računalo, oko 2015.

dimenzijama i maloj potrošnji energije kao i razvoju LCD tehnologije (engl. *liquid-crystal display*) za prikaz slike, osobna računala dobila su i prijenosne oblike (engl. *lap top computer*, računalo koje se drži na koljenima).

Ovako napravljena osobna računala (nazvana IBM kompatibilna) postala su vrlo popularna, a njihove su se mogućnosti vrlo brzo povećavale. Uskoro su ti uređaji postali sveprisutna pomagala u proizvodnim pogonima, uredima, školama, na sveučilištima, u istraživačkim ustanovama i laboratorijima. Njihova cijena postala je pristupačna i pojedincima, a razvojem računalnih i komunikacijskih mreža (npr. *world wide web* ili *www*) postali su primjereni za kućnu upotrebu jer su na jednostavan način omogućili ne samo pristup golemoj količini informacija nego i međusobnom komuniciranju korisnika putem servisa kakav je, na primjer, elektronička pošta i različite društvene mreže.

Brzo širenje tih uređaja potaknulo je usavršavanje postojeće i izradu sasvim nove programske podrške. Vrlo brzo, već sredinom 1980-ih, napravljena je programska podrška za relacijske baze podataka. Za potrebe uredskog poslovanja napravljeno je nekoliko alata koji se u velikoj mjeri koriste do danas. Od jednostavnih uređivača teksta (engl. *text editors*) razvili su se i upotrebi su efikasni programi za pisanje i uređivanje teksta kao i programska podrška za stolno izdavaštvo (engl. *desk top publishing* − DTP). Na temelju originalne zamisli Dana Bricklina, koji je napravio prvi tablični kalkulator (engl. *spreadsheet*) nazvan VisiCalc, razvili su se moderni tablični kalkulatori svestrane primjene pa se i danas koriste na osobnim računalima i pametnim telefonima. Važnu pomoć na predavanjima imaju za tu svrhu napravljeni programi koji omogućuju korisniku jednostavno pripremanje prezentacija (kolokvijalno zvanih *PowerPoint*, prema



Sl. 5.: Prijenosno (*laptop*) osobno računalo

komercijalnom imenu jednog takvog programa). Brzim razvojem digitalne fotografije, na osobnim računalima postali su dostupni mnogi programi za obradu slike i fotografije koji širokom krugu korisnika daju mogućnosti uređivanja i pohrane. Također su nastali brojni programi za izradu crteža, koji su (kao npr. *AutoCAD*) donijeli veliko poboljšanje pri izradi tehničkih crteža. Servisi za pretraživanje golemih količina podataka omogućuju korisniku da preko osobnog računala i globalne komunikacijske mreže nađe gotovo svaku informaciju koja ga zanima. Zbog tako svestrane primjene osobnih računala i velikog broja programa iz različitih područja, opravdano je naglasiti da su preko tih uređaja korisniku dostupna gotovo sva znanja koja su se kumulirala kroz povijest.

U području programiranja, zahvaljujući mogućnostima i neposrednom dodiru s osobnim računalima, nastale su znatno efikasnije metode interaktivne izrade programa. Dok je na velikim računalima dugo prevladavao grupni način izrade programa i proceduralni programski jezici [5], s grafičkim mogućnostima (engl. *graphic user interface* − GUI) osobnih računala razvila su se i objektna i grafička sučelja za izradu programa (engl. *applications programming interface* − API). Te su nove tehnologije postale primjenjive i za postojeće (Fortran, Basic, Pascal), i za nove programske jezike (C++, Jawa, Python), koji su dosta brzo potisnuli starija programska rješenja.

Zajedno s razvojem globalnih mreža, preko osobnih računala postale su dostupne mrežne stranice (engl. *web page)* koje korisnicima nude mnoge zanimljive informacije. Izrada mrežnih stranica postala je novo područje programiranja. Davatelji mrežnih usluga omogućuju korisnicima smještaj (engl. *hosting)* mrežnih stranica koje tako postaju sveopće dostupne korisnicima globalne mreže nazvane internet. Nastala je potreba da se na razmjerno jednostavan način mogu izraditi – programirati – mrežne stranice. To se obavlja preko tekstualnih jezika (engl. *script*). Osim osnovnog HTML (engl. *hyper text markup language*) jezika, razvili su se i mnogi drugi programski sustavi koji korisnicima omogućuju izradu, ali i nadopunjavanje mrežnih stranica bez posebnog znanja programiranja. Za pregled sadržaja na globalnoj mreži (internet) korisnik na osobnom računalu može imati preglednike mrežnih stranica (engl. *Internet browser*) koji imaju svojstvo da mrežne stranice napisane u HTML jeziku prikazuju u obliku teksta i slika te interaktivnog prometa s raznim davateljima usluga. Tako su se zahvaljujući novim mogućnostima razvile mnoge usluge pa korisnici s pomoću osobnih računala povezanih na globalnu mrežu mogu kupovati, plaćati račune (internetsko bankarstvo), prijavljivati se za dobivanje različitih usluga i dobivati u digitalnom obliku na svojem osobnom računalu razne dokumente.

Preko osobnih računala razvile su se i razne vrste komunikacije među korisnicima. Osim spomenute elektroničke pošte, razvili su se komunikacijski oblici zvukovnog i slikovnog komuniciranja i slanja statičkih i pomičnih slika (filmova).

Zaključak

Nezahvalno je prognozirati daljnji razvoj u području primjene osobnih računala. Prema trenutačnim nastojanjima velikih proizvođača programske podrške i sklopova, može se očekivati da će se računalni kapaciteti sve više smještati na virtualne uređaje i virtualne baze podataka kako bi se omogućilo korisniku da s bilo kojeg uređaja umreženog u takav virtualni sustav može doći do svojih podataka i obavljati svoje obrade iako kod sebe ima samo uređaj manjih mogućnosti.

Uzimajući u obzir navedena svojstva osobnih računala, s pravom možemo utvrditi da su njihova pojava i vrlo brz razvoj prouzročili jednu od najvažnijih promjena u društvenom i ekonomskom životu. To se može usporediti s velikim promjenama koje su nastale serijskom proizvodnjom osobnih automobila, koji su postali dostupni velikom broju korisnika i time promijenili njihove mogućnosti, navike i način života. Opravdano je zato smatrati 'računalnu tranziciju' jednim od najvažnijih događaja s kraja XX. i početka XXI. stoljeća.

Literatura

[1] Isaacson, Walter: *Steve Jobs*, Simon & Schuster, New York, 2011.

[2] Dale, Rodney: *The Sinclair Story*, London, 1985.

[3] *Halasz, Boris:* Proizvodnja računskih pomagala u Hrvatskoj, PIFT 2019, Zagreb, 2019.

[4] https://www.tutorialspoint.com/8-bit-microprocessors

[5] Fischer, Darko: Razvoj primjene računala u istočnoj Hrvatskoj, PIFT 2019, Zagreb, 2019.

[6] Chronology of IBM Personal Computers by Ken Polsson http://kpolsson.com/ibmpc/ibm1987.htmi USA Today

[7] https://eu.usatoday.com/story/tech/2018/06/22/cost-of-a-computer-the-year-you-were-born/36156373/

Computer Transition

Darko Fischer, Ivan Matejašić

Abstract: With the advent of personal computers forty years ago, there was a significant change in programming techniques, processing methods, user role in processing and there was a significant increase in the number of computer users. The paper describes the challenges faced by professional IT workers, former users of big host computers and new PC users.

Keywords: computer, data processing, hardware global computer networks, microprocessors, personal computers, programming, software

Denis Jurečić, Petar Miljković, Vilko Žiljak, Jana Žiljak Gršić

Transformacija proizvodnje ambalaže do digitalne integracije 3P: *prepress*, *press*, *postpress*

Sažetak: Integrirani sustav proizvodnje ambalaže poboljšava njezinu efikasnost te je ključan za smanjenje troškova i sigurnost u finalnim procesima pakiranja. Predlaže se *infrared* praćenje proizvodnje dualnim ZRGB[1] kamerama na bazi INFRAREDESIGN® postupaka[2] za kontrolu kvalitete proširenih informacija na današnjoj ambalaži. Sustav 3P (engl. *prepress*, *press*, *postpress*)[3] okruženje je za *online* proizvodnju ambalaže koja teži kompletnoj automatizaciji svih procesa: od konstrukcije do otiskivanja i finalizacije pakiranog proizvoda. Razvijenim standardima poput JDF[4]-a dodajemo našu IRD tehnologiju[5], čime se unapređuju protokoli za opis svih koraka u proizvodnji ambalaže.

Ključne riječi: INFRAREDESIGN®, digitalizacija tiskarstva, blizanci bojila, ZRGB kamere, tiskarska sigurnost, ambalaža

Uvod

Gutenberg je unio nova znanja u izradu tiskovne forme. Uveo je "pomična slova". Ta inovacija temelji se na postupku izrade kalupa za lijevanje slova od olova. Slova su slagana u retke, a površina na koju je naneseno bojilo pod

[1] **ZRGB kamera**

[2] **INFRAREDESIGN® postupak**, metoda ispisa skrivene informacije na različitim medijima

[3] **3P** (engl. *prepress*, *press*, *postpress*), priprema za tisak, tisak, dorada

[4] **JDF** (engl. *job definition format*); (1) Vrsta zapisa kao standard za prijenos jednog zapisa u prilagođeni zapis za neki drugi, drugačiji, tiskarski stroj. Prva standardizacija u digitalnom tiskarstvu. (2) Upravljanje zapisima failova koji su poslani različitim tiskarskim uređajima za izradu tiskovne forme (CTP) uvjetovano tehnikom tiska *heatset* ili *coldset*, *heat folder* distribuira kao odvojene dokumente.

[5] **IRD tehnologija** (engl. *infrared design*)

pritiskom, otiskuje se na papir. Uveden je princip tehničke materijalne tiskarske forme. Tisak "Gutenbergovom prešom" ponavljao se više puta, a s iste tiskovne forme. Nakon umnožavanja jedne stranice slova bi se razložila, a potom koristila za slaganje neke druge stranice. Umnožavanje knjiga postalo je višestruko praktičnije od ručnog prepisivanja. S pomoću olovnih slova stvoren je novi oblik tiska koji se proširio prema novoj tehnici ilustracije. Na istoj su stranici izvođeni ukrasi, crteži, dorade u različitim kombiniranim tehnologijama. Višestruka naklada znatno je pomaknula i unaprijedila različite načine uveza knjige.

Ideja Gutenbergovih pomičnih slova raširila se svijetom i ostala pet stoljeća, sve do digitalne definicije slovnog znaka. Niz novosti u XX. stoljeću oslonjen je na programska rješenja u tipografiji, manipulaciji bojama i drugim vrstama grafičkih poslova: od slaganja slova, samog tiska i uveza knjižnog bloka [1]. Novi je Gutenbergov pokret digitalni tisak, gdje je tiskovna forma nematerijalna. Gutenbergu se uvijek možemo sentimentalno vraćati kao našem temeljnom odgoju.

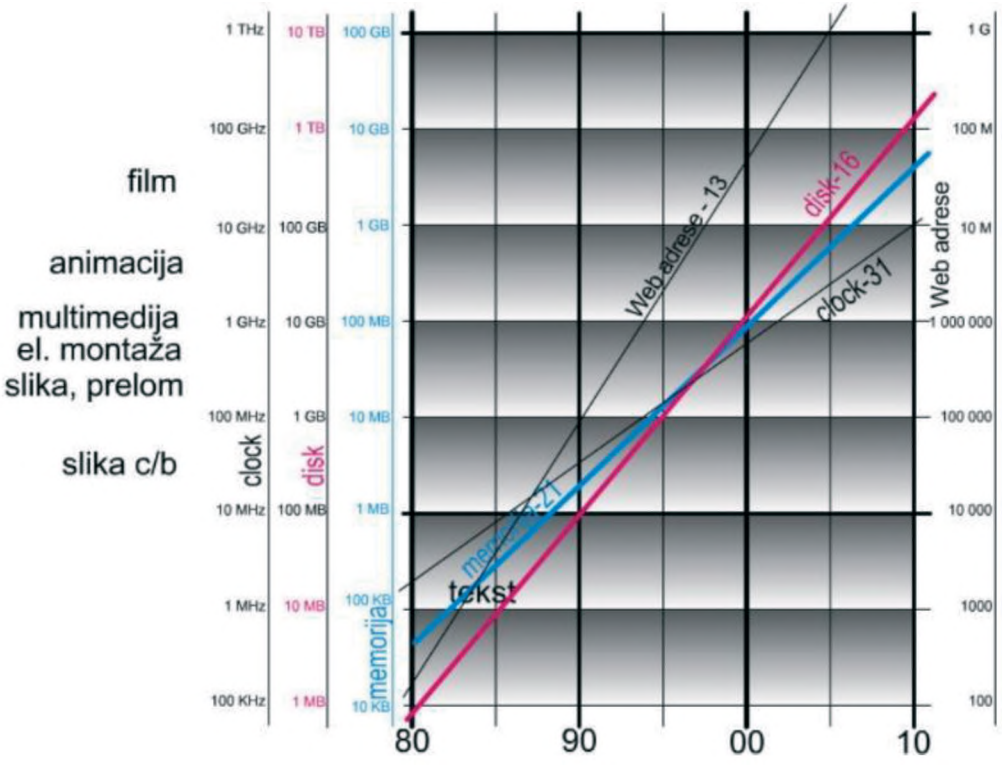
Prije tridesetak godina, čitamo u nomenklaturi zanimanja, u udžbenicima srednjoškolskog zanimanja za grafičko tiskarsku industriju, bilo je pedesetak različitih zanimanja, prema čemu se odvijao raspored djelatnika u tiskarama. Zanimanja su bila autonomna, nepovezana. Sindikalno strogo razdvojena: slagar, tiskar, montažer, reprofotograf[6], rezač, jetkač itd. A u odjelima ambalaže su oni koji, npr. pakiraju, lijepe, savijaju, štancaju, miješaju boje.

Koncem XX. stoljeća automatizacija i robotika ugnijezdile su se u tiskare. Izrada CTP (engl. *computer to plate*)[7] tiskarske forme doživjela je nekoliko generacija u kratkom vremenu. Automatizacija te nova i nova softverska rješenja su se izmijenili, izbacili svaku pomisao na temu 'nomenklature zanimanja'. Uz svaku tehnološku izmjenu počinje učenje, trening o novom načinu upravljanja. "Filozofija proizvodnje" mijenja se brže od prakse i prekvalifikacije. Veći dio tadašnjih znanja i iskustava više nije potreban. Dogodile su se bitne promjene u samo desetak godina. Postavlja se pitanje: Zašto knjiga nije jeftinija, zašto novine nisu pojeftinile?

Knjiga, novinske vijesti pišu se na različitim mjestima, dislocirano. Novine se tiskaju u gradu gdje je isporuka; u kiosk, dućan, na kućnu adresu (individualizacija). Dnevne papirnate novine u istom se trenutku, primjerice, počinju prodavati u Zagrebu, Osijeku i Frankfurtu. Danas ih prati i e-izdanje, što smanjuje brojeve tiskane naklade, a spajaju se softverske računalne vještine s postupcima u njihovoj tehničkoj izradi.

[6] **reprofotografija (reprodukcijska fotografija)**, dio grafičke pripreme u kojem se jednotonske i višetonske ilustracije (npr. crteži i fotografije) prevode u oblik prikladan za tisak

[7] **CTP** (engl. *computer to plate*), izrada tiskovne forme: materijalna kao ofsetna ploča ili digitalna u *inkjet* pisačima ili pisačima s tonerom (prah)

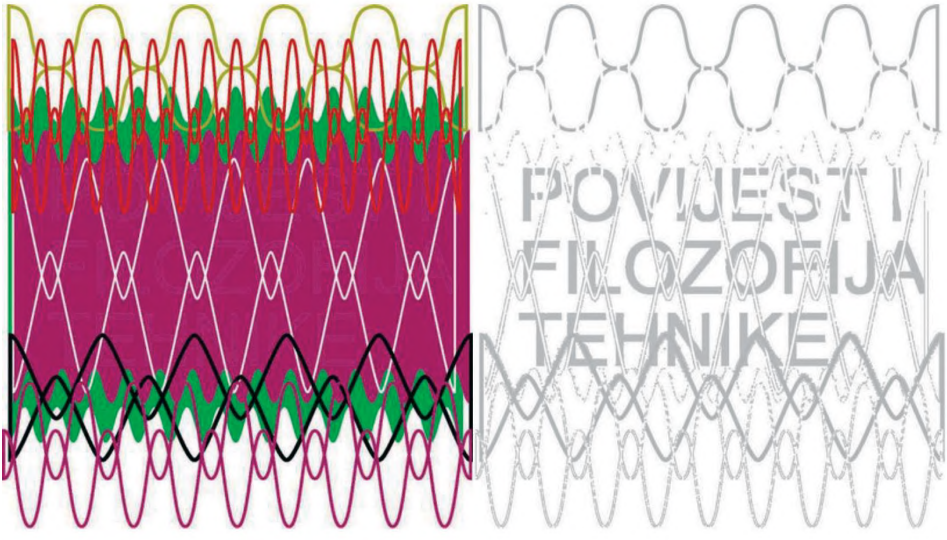


Sl. 1.: Grafička, tiskarska industrija ovisno o razvoju tiskarstva (na apscisu upisati "godina")

Promjene u tiskarskoj tehnici paralelne su s razvojem i primjenom računalne tehnike. Grafičko je područje obilježeno novim načinom rada, novim strojevima u poglavljima: digitalizacija crno-bijele slike, prijelom stranice s integracijom slike u boji i teksta, multimedijsko prikazivanje knjige i novina, animacija sve do filmske proizvodnje. Kompjuterska akceleracija predstavlja se veličinama: brzina, memorija, diskovi, internet. Napredak je takav da se jedino na logaritamskoj skali može prikazati trend razvoja osobnih računala, slika 1. Postavljeno je pitanje: Za koliko će mjeseci će biti dvostruko veće vrijednosti svake pojedine varijable (uz jednake novčane investicije)? Udvostručenje se postiže za 21 mjesec kad se promatra memorija računala, 31 mjesec kad se promatra brzina računala, 16 mjeseci za diskove, a samo 13 mjeseci za *web* – internetsku primjenu. Logaritamski oblik linearne regresije određen je podacima od 1980. do 1999. godine. Na grafikonima, slika 1., povučena je ekstrapolacija do 2010. godine. Danas će mjerenja i neke nove varijable pokazati drugačiji trend, ali još uvijek eksponencijalni razvoj.

1. Novi postupci sigurnosnog tiska

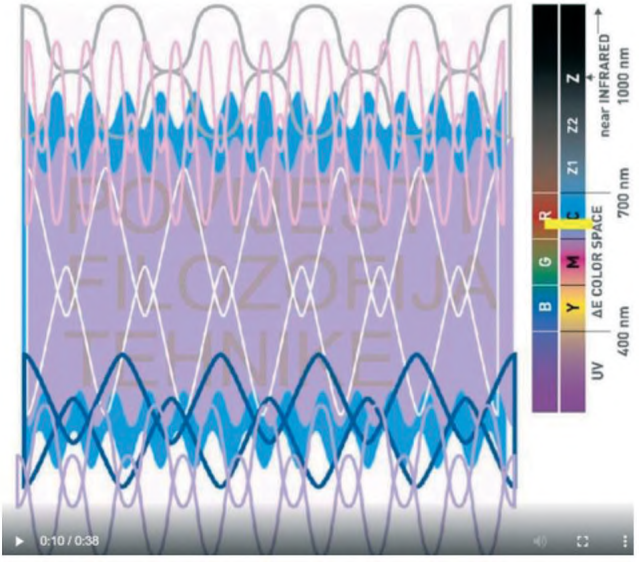
Prijašnja je zaštita vrijednosnica uvodila posebne spot boje[8] i višestruke vrste tiska na istom dokumentu. Za izradu linijske grafike korištene su mehaničke naprave koje su ponavljale, njihale svjetlosni izvor pri osvjetljavanju filma (giosh). Današnje grafike izvode se programiranjem, najpreciznije u *PostScriptu*[9]. Novost je proširenje kao softversko ugnježđenje više slika na istom mjestu, koje se prepoznaju s različitim filtrima, barijerama svjetlosti u vizualnom, ultraljubičastom i infracrvenom spektru. Tehnika fotografiranja (reflektografija) proširena je s filtrima u području od 260 mm do 1000 nm. Primjena je u dokazivanju originala dokumenata, potpisa, pa sve do forenzičkog ispitivanja umjetničkih slika. Naša je ideja da reprodukcije, monografije za lijepu umjetnost, promijene tehnologiju umnožavanja knjiga koje nose informacije o vrijednim radovima koji su nastali u dalekoj povijesti. Uključuju se nova znanja o tisku koja simuliraju bojila i u infracrvenom spektru. Sva bojila, sve tvari, imaju vlastita svojstva apsorpcije, refleksije i transparencije svjetla, i u vizualnom, i u bliskom infracrvenom spektru. Dizajn današnje linijske grafike prikazan je na slici 2. kao skup sedam vinjeta koje skrivaju kratak tekst, a koji se otkriva tek nakon 800 nm.



Sl. 2.: Sigurnosne vinjete u a) vizualnom, b) bliskom infracrvenom spektru

[8] **spot boje**, miješane boje, osnovni tonovi boja fizički se miješaju prije procesa tiska kako bi se dobila određena nijansa miješane boje

[9] **PostScript,** programski jezik za programiranje laserskih pisača



Sl. 3.: Transformacija boja vinjete (640 nm) (/cigra20.mp4)

Na slici 3. prikaz je vinjete s blokadom svjetla na 640 nm. U toj blokadi nema više žutog svjetla, ima malo crvenog. Zelena je boja u vizualnom spektru bez žute komponente pa je ta vinjeta prikazana kao plava. Vinjeta je skenirana s 24 blokade svjetlosti. Spojene fotografije prezentiraju se kao animacija na adresi www.vilko.ziljak.hr/cigra20a.mp4. Učimo o svjetlosti, o bojama i bojilima te o mogućoj raskoši današnje sigurnosne grafike.

Novosti su danas IRD separacije boja, računalno programsko slaganje tiskarskih bojila, individualizirani rasterski oblici, stohastika u mikroprogramiranju [2]. Linijska vektorska grafika postiže se isključivo ciljanim redoslijedom slaganja bojila. Vinjeta na slikama 2. i 3. sastoji se od bojila čije su recepture dane u tablici 1.

Tablica 1.: Redoslijed tiska *over print* i podaci za komandu *setcmykcolor* u *Postscriptu*

	Spot bojila i recepture	C, M, Y, K %
1.	vinjeta, podloga, zelena	100, 0, 100, 0
2.	pozadina teksta, crveno	30, 100, 30, 0
3.	tekst, crveno	0, 70, 0, 30
4.	bijela vinjeta	0, 0, 0, 0
5.	vinjeta smeđa, gore	0, 0, 100, 35
6.	vinjeta crna, dolje	100, 100, 100, 30
7.	vinjeta crveno, dolje	30, 100, 30, 0
8.	vinjeta crvena, gore	0, 100, 100, 0

Boje 2., 3. i 8. blizanci su crvene boje, koje skrivaju tekst "POVIJEST I FILOZOFIJA TEHNIKE". Bojila koja sadrže 30 % karbon crne komponente apsorbiraju svjetlost na 1000 nm, slika 2. Redoslijed prekrivanja vinjeta, simulirajući redoslijed tiska, odgovoran je za međusobno presijecanje linija koje se detektiraju u vizualnom i NIR spektru. Poseban naglasak dajemo bijelom bojilu koje ima redoslijed 4. To bojilo presijeca i dijelove teksta koji je tiskan prije nje (3.). Bijela vinjeta (4.) presijecana s bojilima 6. i 7. Planiranje linija i njihovih bojila, slike 2. i 3., prijedlog je dizajniranja sigurnosnih dokumenata. Takav otisak nije moguće fotokopirati s namjerom reproduciranja ili krivotvorenja.

2. Ambalaža DJ[10]

Početkom XXI. stoljeća još je u povojima bio digitalni tisak, s malom primjenom i malom količinom prerade papira. Programira se elektroničko upravljanje nanosa količine tonera ili tinte. Tehnike konvencionalnog tiskarstva smanjuju se u korist digitalnog doba izdavaštva. Jedino je grafička dorada, proizvodnja ambalaže, ne samo ostala nego se i povećala. Svjedoci smo nove stepenice, novog kuta u razmišljanju i primjeni robotike u proizvodnji tiska, rezanja, savijanja, lijepljenja i pakiranja.

Prije trideset godina razdvojeno je dvadesetak zanimanja za tehničke poslove u odjelima ambalaže, tzv. doradni poslovi. Svakoj specijalizaciji pridružen je opis pa su kroz takve dokumente sindikati vodili borbu protiv poslodavaca. Danas je ista osoba uz računalo, na praćenju odvijanja tiska, aktivna u prepoznavanju podataka koji dolaze iz kompleksne integrirane tehničke doradne linije.

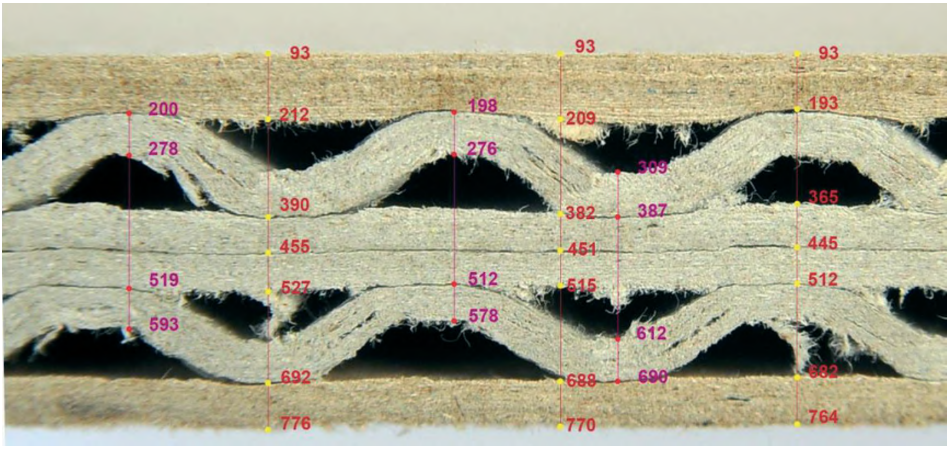
2.1. Ambalaža od valovitog kartona

Ilustrirajmo današnju doradu kroz proizvodnju kutija koje će se upotrebljavati u pakiranju voća i povrća. U neposrednom vremenu razrađuje se razredba, terminologija i rječnik "čvrstoće ambalaže od valovitog kartona". Za izradu ravnih slojeva korišteni su papiri: *šrenc*[11], smeđi *testliner*[12], bijeli *testliner* i

[10] **DJ** (engl.)

[11] **šrenc papir**, običan papir za zamatanje, slabih mehaničkih svojstava i lošeg izgleda, služi za pakiranje, a najviše kao unutarnji ravni sloj u valovitom kartonu

[12] **testliner-papir** ili **kraftliner papir**, ravni donji i gornji dio sloja ambalažnog papira gramature 110-225 g/m^2. Koristi se za višeslojnu (troslojna, peteroslojna) valovitu ljepenku u ambalaži. Uzimajući u obzir vizualni izgled i tehničke značajke, pogodan je za tisak kutija da bi se bolje istaknuo logo, poruka, kod ili reklama.



Sl. 4.: Mikroskopska fotografija komponenti valovitog kartona u "piksel mjerenju"

kraftliner[13], dok su za izradu valovitih slojeva korišteni *semi-chemichal* papiri. Ispitani su različiti uzorci valovitog kartona. Kutije su izrađene na automatskom stroju za štancanje *Bobst* te na automatskom stroju za formiranje kutija lijepljenjem *Teco 2*. Tijekom ispitivanja uzorci kutija vade se iz hladnjače, gdje su kondicionirani uvjeti vlage i temperature te se izlažu vanjskim (dnevnim) klimatskim uvjetima. Jedan ciklus podrazumijeva boravak kutija u komori hladnjače 24 sata pri konstantno niskoj temperaturi od 2 do 4 °C i visokoj relativnoj vlažnosti zraka od 75 do 85 %. Nakon toga dolazi kratkotrajno izlaganje (15 minuta) u promjenjivim vanjskim uvjetima, uglavnom relativno visoke ljetne temperature i relativno niske vlažnosti zraka uz prisutnost snažnog sunčeva zračenja. Time se simulira stvarna situacija pri distribuciji. Rezultat tih promjena apsorpcija je i desorpcija vlage iz zraka, kojima valoviti karton svakim ciklusom postaje sve slabiji.

Mehano-apsorpcijske deformacije koje nastaju u valovitom kartonu posljedica su tlačnog puzanja (engl. *creep*) kutija. Ispitivanje sastavnica peteroslojnog valovitog kartona podrazumijeva mjerenje svih komponenata: vanjski ravni sloj, vanjski valoviti sloj, srednji ravni sloj, unutarnji valoviti sloj, unutarnji ravni sloj. Uveli smo optička mjerenja, fotografska preciznost. Postavlja se pitanje: Kako će izgledati valoviti karton na početku, zatim nakon tretmana vlagom, transporta, te kolika je trajnost u svakom od uporabne promjene? Na slici 4. prikazan je presjek kartona uz informacije o mikrodebljinskim veličinama.

Ispituje se gramatura, debljina, otpornost na prskanje, otpornost horizontalne površine valovitog kartona na tlačnu čvrstoću, otpornost vertikalne površine kartona, sadržaj vlage u kartonu, otpornost valovitog kartona na dinamičko

[13] **kraft-papir**, papir od dugih četinjačkih vlakana sulfatne celuloze, najboljih je mehaničkih svojstava, služi za izradu papirnatih vreća i kao ravni sloj valovitog kartona

probijanje, otpornost kutije na tlačnu čvrstoću, relativna vlažnost zraka u hladnjači, relativna vlažnost zraka u okolišu, temperatura hladnjače i temperatura okoliša. Postavljamo nova programska rješenja kao osnovu za izračunavanje deformacija nastalih zbog invazivnih djelovanja na valoviti karton, te izučavanje meteoroloških utjecaja koji mijenjaju geometriju mikrostrukture takvog ambalažnog materijala. Svi takvi podaci postaju važni u trenutku kad se ambalaža prijavi za dokazivanje ispravnosti glede čvrstoće, podlijeganja transportnim manipulacijama ili krivotvorenja.

2.2. Označivanje ambalaže IRD postupkom

Budući da tiskara ima mogućnost uvesti individualnu IRD sigurnost, dodajemo opis i praksu zaštite proizvoda realiziranog u tiskari. Uvodi se softverska, individualna infracrvena sigurnosna informacija. Budući da Z (infracrvena) slika nije vidljiva, ona ne remeti zadani dizajn ni zadane tekstove, slike i obvezne grafike kao, npr., dvostruki barkod. Prijedlog sigurnosti ambalaže temelji se na uvođenju separacije boja nakon provedenog GCR[14] postupka razdvajanja procesnih bojila.

3. Automatizacija i novi postupci u tiskarskoj tehnologiji

Današnje grafičke tehnologije imaju nov ustroj u upravljanju tehnikom tiska, razvijanju programa za obradu slike, korištenju baza podataka, spajanju slike i teksta. CIP3[15] (engl. *prepress*, *press*, *postpress*) spojio se. Do prije desetak godina postojale su odvojene radne jedinice: one koje su se usavršile za slaganje teksta, za tisak, za poslove uveza. Radni tok se promijenio. Već na prvom planu (engl. *prepress*) dodaje se informacija o završnim poslovima na izradi ambalaže: savijanje, užljebljivanje, etiketiranje, pakiranje za otpremu. Tok proizvodnje definiran je na početku prilikom definiranja radnog naloga. Naglašavamo povezanost jer je isti djelatnik u poslovima pakiranja, tiska, izrade separacije boja i slaganja teksta.

[14] **GCR** (engl. *gray component replacement*); zamjena sive komponente; smanjivanje CMY vrijednosti dodavanjem crne boje obuhvaća cijeli vizualni spektar; tri bojila C, M i Y s jednakim količinama postaju crnog tona pa se zamjenjuju crnom bojom; ušteda bojila, posebno u novinskom tisku visokih naklada. To je početak naše digitalne separacije VZ koja provodi zamjenu C, M i Y bojila crnom, ali sa zadanim svojstvima karbon crne boje u NIR spektru.

[15] **CIP3** (engl. *International Cooperation for Integration of prepress, press and post press*), međunarodna organizacija osnovana u svrhu spajanja proizvodnih faza: od pripreme za tisak (engl. *prepress*), preko tiska (engl. *press*), do dorade i pakiranja (engl. *postpress*)

Stalna usavršavanja, kao i potrebne prekvalifikacije, nužni su zbog napretka tehnologije kao i prilagodbe novim algoritamskim rješenjima. Strojevima novije generacije koji su kompatibilni s mrežnom integracijom pridružuju se programska rješenja u distribuciji informacija o zadanom proizvodu.

Specijalizacije nestaju, znanja se proširuju, a treninzi o novim vještinama za konkurentnu proizvodnju su svakodnevni. U proteklih četrdeset godina nastala je velika promjena u tehnici tiskarstva, novi strojevi, visoka robotika. Novosti su u korelaciji s razvojem računalne tehnike, nova su razmišljanja o upravljanju grafičkom industrijom. Računala su prvotno integrirana u odjele pripreme računalnog sloga. *Vjesnik*, dnevne novine, instalirao je fotoslog 1973. godine. Na uređajima fotosloga postavljeni su fontovi, tipografija najsloženijih područja: višejezična pisma, matematički slog već sedamdesetih godina. Na malim, osobnim računalima, takvi su fontovi instalirani tek sredinom osamdesetih, kao pokret pod nazivom DTP[16] "stolno izdavaštvo". Zamjena olovnog sloga u tiskarama završena je sredinom osamdesetih godina.

Današnja proizvodnja nameće potrebu za sveobuhvatnom automatizacijom koja je dovoljno fleksibilna da podržava radne tokove koji integriraju standarde zapisa u PDF (engl. *portable document format*), tj. u oblik zapisa za izmjenu podataka u tekstu ili slikama neovisno o platformi na kojoj je instaliran programski sustav. Grafike i tekst vektorskog su opisa, što ne utječe na rezoluciju tiskarskog uređaja (PDF/X-1a). To je standard za izmjenu informacija koji limitira prostore obojenja koji nisu kompatibilni s procesima reprodukcije. Jezik *PostScript* (PS) postao je osnova za opis stranice i izradu operacijskih programa. Ispis je neovisan o uređaju gdje je referentni prostor obojenja u skladu s CIE (International Commision on Illumination) standardom. Dobro zamišljen TIFF format (engl. *tagged image file format*) za opis slika integrira svjetlinu i nijansu svakog piksela te se koristi već četrdeset godina.

Renderiranje[17] i interpretacija opisa grafičke stranice preko deskriptivnog jezika ovisi većinom o hardverskim mogućnostima. Novija tehnologija programskog RIP-a (engl. *raster image processor*), tj. rastriranje kompozitnih PDF zapisa, puno je učinkovitija za automatizam proizvodnje od hardverske inačice koja je prvotno namijenjena za programski opis stranice.

Programska podrška uključuje i uporabu N-boja, odnosno HiFi (engl. *high fidelity color − hexacrome* tiska s ugradnjom ICC profila), sustava boja kao i odvojen prikaz spotnih boja od procesnih. Računalna sučelja omogućavaju upravljanje separacijama boja koje integriraju ICC profile[18](CMYK to CMYK), kao i spotne boje neovisno o izlaznom uređaju. Označivanje više objekata

[16] **DTP** (engl. desktop publishing), stolno izdavaštvo

[17] **renderiranje**, postupak stvaranja slike od nekog 3D modela s pomoću posebnog programa

[18] **ICC profile**, skup podataka koji karakterizira ulazni / izlazni uređaj za boje ili prostor boja u skladu s normama koje je objavio Međunarodni konzorcij za boje (International Color Consortium – ICC), udruženje tvrtki osnovano s ciljem izrade i promoviranja otvorenog, primjenjivog na različite platforme i neutralnog sustava za upravljanje bojom.

istodobno (*grayscale*, sivi klin u rasponu od 0 do 255, CMYK[19], RGB[20]), zahtijeva ugradnju zasebnog profila boja kako bi se kalibrirala svaka za zasebni prostor, odnosno za ukupno tri profila. Ulazni profil modulima osigurava preslikavanje boja u neovisni prostor, čime se stvara mogućnost izrade tiskovne forme postupkom CTP[21], ili fizičke ploče ili digitalne forme za digitalni tisak neovisno o izlaznom uređaju odnosno o hardverskoj komponenti. Osigurana je transformacija izlaznih tonova boja zapisom PDF te se prosljeđuje RIP-u (engl. *raster image processor*) za digitalno uređenje supstrata za otiskivanje. Konfiguriranje ulaznih mapa za ispis datoteka ovisi o korisnicima, gdje RIP nakon obrade briše svaki zapis (*hot folder* proces automatizacije) u slanju PDF-a na izlaznu CTP jedinicu s unaprijed definiranim postavkama. Osigurano je upravljanje zapisima prema više različitih izlaznih uređaja ovisno o tehnici tiska (engl. *heatset* ili *coldset* tiskarskim strojevima) ili se prebacuju u zasebni direktorij (engl. *folder*).

Administriranje programskog sučelja osigurano je korisnicima prema prioritetu ili statusu upravljanja. Odabiru se kriteriji koji utječu na tijek rada, ali svi se poslovi pohranjuju kako bi se smanjile naknadne korekcije. CTP uređaji podliježu algoritmima "postavkama boja" za svaki materijal i tehniku tiska posebno, a određuje se pokrivnost raster tonskih vrijednosti. Konverzije različitih ulaznih informacija moguće je korigirati, modificirati korektivnim krivuljama koje se ispisuju na *proof* pisačima velikog formata. Područja korekcije odnose se na slike u boji, tekst, PDF zapise u cjelini ili ulazne parametre u PPF-u[22].

Algoritamska INFRAREDESIGN® separacija bojila određuje povećanje ili smanjenje udjela CMY komponente u odnosu na crni kanal ΔZ (infracrvena slika u rasponu mjerena na 900 nm) i približne jednakosti prema ΔE (mjerena veličinom razlike u boji) [3]. Izrada inačice GCR metode zahtijeva točnu vrijednost crnog kanala radi naknadne reprodukcije u IR području valne duljine Z1 (od 700 nm do 800 nm) i Z2 (od 800 nm do 1000 nm) [4].

Digitalna potvrda (kontrola) otiska (engl. *digital proofing*) kompatibilna je s profilima za ispis na ofsetnu ploču kao dokaz nematerijalne kvalitete odnosno podudarnosti s originalom. Linearizacija sustava osigurava iste kvantitativne vrijednosti ulaznih i izlaznih parametara koji se postižu konvencionalnim načinom reprodukcije. Potrebna kalibracija uređaja utječe na krivulju prirasta raster tonske vrijednosti koja je predviđena na *soft proof*[23] otisku nakon svake izmjene podloge otiska (papir, karton, polipropilen).

---

[19] **CMYK (**engl. *cyan*, *magenta*, *yellow*, *black*), suptraktivna metoda miješanja boja, bojila u tiskarskoj praksi kojima se simuliraju svi ostali tonovi vizualnog spektra

[20] **RGB** (engl. *red*, *green*, *blue*), aditivna metoda miješanja boja (kamera, zasloni, televizori) za naše RGB oči (vizualni spektar)

[21] **CTP** (engl. *computer to plate*), proizvodnja tiskarskih ploča izravno iz računala

[22] **PPF** (engl. *print production format*), izvršni format za računalnu pripremu, tisak i grafičku doradu

[23] engl. soft proof, na zaslonu računala simulirana slika slike kakva bi se dobila na nekom drugom uređaju, primjerice korištenjem pisača

4. Doba računalne grafike i nove tehnike tiska

Grafički listovi dobivaju novi stil, posebnost, "miris računala". Početkom sedamdesetih godina promoviraju se kod nas izložbe novog doba, "nova Gutenbergova galaksija". U to doba razvijaju se sučelja za spajanje osobnih računala i videokamera. Eksperimentira se namjenskim elektroničkim računalima za vizualizaciju slike. Mnogi radovi ušli su u posebne primjene na televiziji: kao animirani filmovi, špice, najave novih tema u računalstvu i umjetnosti. Galerija suvremene umjetnosti šalje naše "digitalno slikarstvo" po svijetu s grafikama Vilka Žiljka.

Nije čudo da je dvadeset godina kasnije baš njemu predložio naš veliki grafičar Miroslav Šutej suradnju u kreiranju i dizajnu našeg novca 'kune' (krune). Pobijedili su na natječaju. Na kunske novčanice uvedeno je desetak modernih sigurnosnih grafičkih postupaka. Forsirana je vektorska grafika, nevidljive UV[24] boje te bojila koja ne apsorbiraju svjetlost iznad 700 nm. Mikrotekstom i mikrografikom izvedeni su hrvatska himna i grb te oznaka nominale u foliotehnici mikroleća. Izdvojena je IR grafika (do 1000 nm) na polovini nominale [5].

Skrivena infragrafika nastala je početkom XXI. stoljeća upravo u Zagrebu. Izvedeni su računalni modeli nove separacije boja prijelaza od RGB u CMYK pod nazivom IRD (INFRAREDESIGN®), CMYKIR [6]. Nevidljiva slika s ulogom individualne zaštite primjenjuje se na svim tipovima računala, za sve tehnike tiska, s konvencionalnim bojilima. Njoj manjka neki dio, točnije, ona mjesta gdje nema boje kao bjeline među slovima. Prihvaća se kompromis smanjenja skrivene grafike Z kako bi vizualni dizajn bio nepovrijeđen. Smjer računalnog grafičkog dizajna može biti i suprotan. Podrediti dizajn budućem IRS alatu (S, oznaka postizanja sivih bojila s jednakim količinama procesnih komponenti [6]).

Uvodimo sigurnosni tisak u sve tehnike tiska. Do inovacije IRD sigurnosni IR tisak (IRT) bio je privilegija i podređen kontroli države – nacionalnih banaka. Mi smo razotkrili, otvorili taj prostor, jer smo nova znanja o tiskarskim bojilima primijenili za izradu softverskog upravljanja izradom tiskovne forme, i digitalne i materijalno mehaničke (CTP). Uvedeni su novi pojmovi: 'blizanci bojila', 'IRD skrivena slika'. Zbog programiranja računalnog rastriranja, bojila se opisuju numeričkim veličinama uz korištenje spektroskopije o apsorpciji svjetla u vizualnom i bliskom infracrvenom području [2]. Do pojave IRD-a zaštićena slika planirana je kao samostalna na izdvojenom mjestu na vrijednosnici, neovisno o ostalim grafikama. Uvodi se slika u slici s inovacijom u algoritmu računalne grafike. Osvojeno je do danas 130 nagrada na svjetskim izložbama inovacija [https://www.infraredesign.net].

[24] **UV** (engl. *ultraviolet*), ultraljubičasto područje ispod vidljivog dijela spektra

Razvili smo novu tiskarsku i slikarsku praksu koja uključuje vizualno (V) i blisko infracrveno (Z) promatranje dvostrukih neovisnih grafika. Uključuje nove VZ metode i postupke u dizajnu, tehnikama tiska, zaštiti grafičkog proizvoda. Izrađeno je nekoliko vrsta odjeće koja nosi skrivenu informaciju, skrivenu sliku [7]. U likovnu umjetnost uvode se forenzičke metode u postupak stvaranja, čuvanja i dokazivanja originalnosti likovnog djela. Svakom bojilu pridružuje se numerička Z vrijednost apsorpcije svjetla na 1000 nm. Slikar koristi ne samo kist nego i tehnička pomagala, NIR[25] kameru. On nanosi bojila na platno i stvara umjetničko djelo koje ima dvije slike za dva svjetlosna područja. Uvedene su nove metode u eksperimentalne procedure mjerenja parametara koji određuju opis boje kao i podatke o komponentama njihovih mješavina. Objavljuju se recepture kao linearni modeli izvedeni regresijskim analizama na temelju inovativnih postupaka mjerenja jednakosti boja: ΔEVZ umjesto ΔE, a po kojem rade mnogi noviji instrumenti u tiskarstvu, posebno ugrađeni u tiskarske strojeve. Eksperimentalno utvrđene numeričke veličine procesnih komponenata podređene su materijalima i tehnici tiska. Digitalni tisak omogućio je individualizaciju svakog proizvoda koji na sebi ima skrivenu sliku "izvučenu" iz baza računalnih "skladišta". Današnja tehnika tiskarstva podrazumijeva: stohastičke modele u dizajnu, VZ separacije boja, kontrolu apsorpcije svjetla, svojstva bojila i u vizualnom i u bliskom infracrvenom spektru [2].

PAG[26] reflektografija [2] novi je postupak u IRR-u[27], mnogo filtara i izbora blokada svjetlosti. Rezultat su 24 sekcije digitalnih zapisa unutar UV − NIR svjetlosnog prostora. Današnji grafički inženjer ušao je u prostor gdje su potrebna aktualna znanja, stalne dokvalifikacije, specijalizacije, treninzi.

5. INFRAREDESIGN® na ambalaži

Sigurnosni modeli u tiskarstvu podijeljeni su u dva programska modela. U prvom poglavlju članka predložen je model s vektorskom grafikom. U ovom se poglavlju INFRAREDESIGN® predstavlja kao višetonska slika (portret) za tisak s procesnim C, M, Y K bojilima. IRD je naš softver za sigurnosnu grafiku temeljenu na ideji spajanja slika u visokoj rezoluciji. Razrađene su metode "vibracije boja", "zbrajanje" vektorske i piksel grafike, blizanci boja sa "šiljastim" rasterskim oblicima (IRS, VZ) [8]. Tisak skrivenog koda, skrivene informacije izvodi se klasičnim četverobojnim tiskom: ofsetom ili digitalnim.

[25] **NIR** (engl. *near-infrared*), blisko infracrveno područje, područje infracrvenog dijela spektra (od 750 nm do 1100 nm) koje se koristi u bliskoj infracrvenoj spektroskopiji

[26] **PAG**, kamera s 24 filtra u rasponu od 260 nm do 1000 nm

[27] **IRR**, InfraRed reflektografija

Grafika izvedena GCR postupkom ne može se skenirati. Skeneri i fotoaparati su RGB zapisi. Čak i u forenzičkim instrumentima. Kako izvesti CMYK tisak, ponoviti? Kod fotografiranja s dvije kamere za V i Z stanje slike, teškoće stvara geometrija i osvjetljenje podređeno filtrima, izvorima svjetla za uska valna područja. Programiranje aberacija u fotografijama koje treba spojiti u pripremu jedinstvene tiskarske forme prouzročilo je opširne zadatke u prilagodbi numeričkih metoda obrade slike, kao i iscrpna eksperimentiranja s recepturama bojila dualiteta.

Razvijena je nova sigurnosna grafika, novi sigurnosni tisak. Bojilo S sastoji se od jednakih količina V bojila. Takvo je bojilo 'spot bojilo', ima jednak ton bojila kao i karbon crno bojilo K koje apsorbira svjetlost u NIR spektru [6]. Oba bojila, S i K, miješaju se softverski u planu dizajna. Neke tehnike tiska zahtijevaju miješanje bojila tek u dotoku bojila na valjke za razribavanje bojila. U takvom su slučaju bojila pripremljena prije tiska kao spot bojila.

5.1. Dva koda na istom mjestu ili skriveni kod

Na ambalaži svakog proizvoda nalazi se štapićasti kod: EAN[28] ili transportni kod. Na ambalaži ne smiju biti dva vizualna različita koda. Ako postoji plan za uvođenje dvaju ili više kodova na ambalažu, tad drugi kodovi moraju biti skriveni od čitača na blagajni. Naš je prijedlog uvođenje višestrukih informacija na ambalažu u obliku skrivenih IRD kodova, posebno kao QR kod[29] koji može nositi opširne tekstualne informacije [9]. Ideja je da se drugi kod, ili drugi kodovi, smjeste u zonu nevidljivosti. Infracrveni IRD/VZ tisak (IRT) naše je rješenje, što ovdje demonstriramo i kao tisak i kao NIR pogled. Ideja o skrivenom QR kodu polazi od želje da se opsežne informacije o proizvodu dohvate preko mobitela, a da sama grafika koda ne remeti vizualno rješenje ambalaže.

Tekstna informacija koju nosi skriveni QR čita se dodatnom NIR-Z kamerom (iznad 800 nm) i programom (i-nigma) koji imamo u mobitelu. Za opširne informacije dodaje se *web* adresa u QR kod. U dizajnu ambalaže dodaju se, u nevidljivu zonu, opširni podaci o proizvodu uključujući slijednost izrade proizvoda, katalozi kojima se potiče kupnja.

Višetonska slika i kodovi na ambalaži, slika 5., u V i Z dizajnu, slika 6., ilustriraju translaciju linijske grafike koje skrivaju QR kod: www.vilko.ziljak.hr/cigra20b.mp4. Adresa IRA[30] novi je dodatak tiskanom proizvodu. Na ambalaži je dvostruko više podataka koji su sadržajno dani u dvije razine

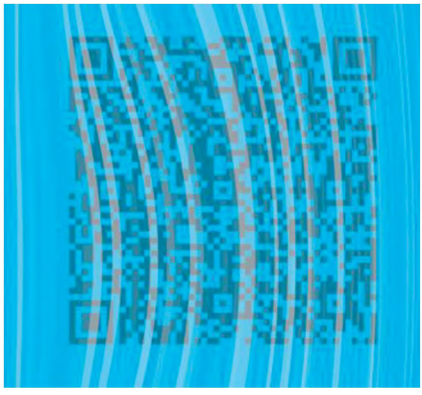
[28] **EAN** (engl. *European article number*), europski broj proizvoda

[29] **QR** (engl. *quick response code*), matrični štapičasti kod

[30] **IRA** (engl. *infrared art*), novi postupci u slikarstvu u vizualnom dizajnu (razvijeni u Hrvatskoj), slike u dualitetu (vizualna i skrivena Z slika) za blisko infracrveno područje



Sl. 5.: Skriveni jednotonski QR kod s višetonskim portretom na ambalaži



Sl. 6.: Skriveni QR kod, animacija 400 do 1000 nm

vizualizacije. Vezano uz dualitet IRT-a, ostavljamo čitateljima da razvijaju ideje o području primjene. IRT je isključivo stvar bojenja u sustavu blizanaca pigmenata. Oba koda mogu biti crna: S i Z [6]. Zbog crno-bijelog tiska ove knjige, elektroničko izdanje s bogatim rasponom boja daje se kroz animaciju.

Zaključak

IRT je ideja da se u sve vrste tiska uvede IR sigurnosna komponenta. To je softversko rješenje koje integrira piksel i vektorsku grafiku te multimedijske pristupe informacijama o proizvodu. Novi način slaganja slova, slike u svim vizualnim tehnikama. Skriveni tekst, skrivena slika imaju dvije novosti: a) skrivena je, ali postoji tisak s vidljivim bojilima a slika se ne vidi; b) takva struktura

ne omogućuje skeniranje ni kopiranje, a da bi se zadržale informacije u dva spektra.

Unatrag trideset godina tiskarska se tehnika drastično promijenila. U liniji realizacije grafičkog proizvoda spojeno je nekoliko posve raznorodnih tehnika: plošni tisak, duboki i visoki tisak, sitotisak, lijepljenje, UV sušenje. Na kraju je i digitalni tisak sa svojim najvažnijim svojstvima: individualizacija bojom, numeracija ili povlačenje slike iz baza podataka. U takvoj je proizvodnoj liniji pakiranje, adresiranje, priprema za transport. Svaka faza ima svoje vremenske odrednice, ograničenja. Grafički inženjer usko surađuje s programerom i planerom na zajedničkom zadatku: optimizaciji proizvodnje.

Infrared tisak tek je počeo svoj razvoj. On intrigira svojom istovjetnom vidljivošću i nevidljivošću. Otvara posve nove mogućnosti koje su do datuma otkrića bile nezamislive. Otkriće budi interes, nudi brojne mogućnosti rješavanja dizajnerskih zadataka i uključivanje različitih tiskarskih tehnika. *Infrared* tiskarstvo motivira nas da razmišljamo o primjeni u sustavu zaštite od krivotvorenja. Istraživanja i realizacije pokazuju da se primjenom IRT-a ravnopravno i jednako kvalitetno mogu izvoditi rješenja u zaštiti dokumenata, vrijednosnica ili brendova. IRT funkcionira i to je ono što nas je potaknulo da se tim bavimo. Na kraju, IRT tiskarstvo baštini ponešto od svojih Gutenbergovih prethodnika, IRT je odraz svojeg doba, doba računalne tehnike i novog znanja o pigmentima i tiskarstvu.

Literatura

[1] Vilko Žiljak: State of the art in engineering of printing and graphic art, *Act graphica*, Zagreb, srpanj, 2002.
https://www.ziljak.hr/vilko/VZbiografija/Clanak ATZ 03 en.htm
https://www.ziljak.hr/vilko/VZbiografija/Clanak ATZH 03 hr.htm
www.vilko.ziljak.hr/cigra20a.mp4animacija vinjete
www.vilko.ziljak.hr/cigra20b.mp4animacije QR coda

[2] Jana Žiljak Gršić, Denis Jurečić, Vilko Žiljak: Bliska infracrvena spektroskopija sivih bojila za sigurnost računalne grafike, *Povijest i filozofija tehnike: 8. simpozij PIFT* 2019., Zagreb, urednik Zvonko Benčić, Kiklos-krug knjige, str. 1101-1114.

[3] Klaudio Pap, Ivana Žiljak, Jana Žiljak-Vujić: Image reproduction for near infrared spectrum and the infraredesign theory, *Journal of Imaging Science and Technology*, vol. 54, no. 1, 2010., pp. 10502-1-10502-9(9).
DOI: https://doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2010.54.1.010502

[4] Vilko Žiljak, Klaudio Pap, Žiljak-Stanimirović I. & Žiljak-Vujić J.: Managing dual color properties with the Z-parameter in the visual and NIR spectrum, *Infrared physics & technology*, Elsevier B.V., 55(4), 2012., str. 326-336.
https://doi:10.1016/j.infrared.2012.02.009

[5] Jana Žiljak Vujić, Ivan Pogarčić, Zvonimir Sabati: Digital print of documents containing the infrared protection of information; Juraj Dobrila University of Pula, Faculty of Educational Sciences; *New Possibilities of ICT in Education*, edited by Maja Ružić-Baf, Janko Žufić, Pula, 2016, pp 103-112.

[6] Jana Žiljak Gršić: Near infrared spectroscopy in print technology, *Polytechnic & Design*,vol. 5, no. 1, 2017., pp. 32-36.
https://DOI:10.19279/TVZ.PD.2017-5-1-05-en

[7] Vilko Žiljak, Kladio Pap, Ivana Žiljak: CMYKIR security graphics separation in the infrared area, *Infrared Physics and Technology*, Elsevier B.V., vol. 52., no.2-3, DOI:10.1016/j.infrared.2009.01.001, pp. 62-69. http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350449509000103

[8] Vilko Žiljak, Jana Žiljak Gršić, Denis Jurečić, Tonči Jeličić: Near-infrared spectroscopy and hidden graphics applied in printing security documents in the offset technique, *Tehnički glasnik*, 13, 4(2019), p. 311-314.
https://doi.org/10.31803/tg-20191004140247

[9] Jana Žiljak Gršić: Double QR code with cross color twins for visual and infrared spectrum, Polytechnic & Design Vol. 6, No. 3, 2018. p. 159-165. DOI: 10.19279/TVZ.PD.2018-6-3-14
https://hrcak.srce.hr/file/307077

[10] Ivana Žiljak Stanimirović, Jana Žiljak Vujić, Branka Morić, Maja Rudolf: Security printing with colorant control in the UV, visual and infrared spectrum; *TTEM*, 2013., vol 8, no.2,5/6, pp. 480-485.

[11] Denis Jurečić, Vilko Žiljak, Mensura Kudumović, Božica Kelčec Pester: Packaging with dual information for visual and infrared spectrum; *Acta Graphica*, 2018.,vol. 29, no. 2., pp. 41-46.
https://hrcak.srce.hr/file/314843
http://www.actagraphica.hr/index.php/actagraphica/article/view/158/122

[12] Klaudio Pap, Ivana Žiljak, Jana Žiljak-Vujić: Process color management for producing double images, *Annual 2008 of the Croatian Academy of Engineering*, Book Series: Annual of the Croatian Engineering, Zagreb, (ed. Z. Kniewald); pp. 395-410.

[13] Jana Žiljak Gršić, Denis Jurečić, Branka Morić Kolarić, Tonči Jeličić: The technique of security print on textiles with a hidden sign in the near-infrared spectrum, *Tehnički vjesnik/Technical Gazette*, 2020., vol. 27, no. 2., pp. 633-637.
https://doi.org/10.17559/TV-20191001173959

[14] Ivana Žiljak Stanimirović, Rajendrakumar Anayath, Anastasios E. Politis, Branka Morić Kolarić: Reprodukcija monografije umjetničkih djela uključujući vizualni i blisko infracrveni tisak, *Međunarodni znanstveni skup Tiskarstvo i dizajn* 2020, Grafički fakultet, Zagreb, 4. Lipnja 2020.
www.tiskarstvo.net/printing&design2020;
https://www.tiskarstvo.net/printing&design2020/index2radovi.html

Transformation of packaging production to digital integration 3P; Prepress, Press, Postpress

Denis Jurečić, Petar Miljković, Vilko Žiljak, Jana Žiljak Gršić

Abstract: The integrated system of packaging production increases its efficiency and is crucial for cost reduction and security in the final packaging processes. We propose infrared monitoring of the production with dual ZRGB cameras based on INFRAREDESIGN® procedures for controlling the quality of expanded information on today's packaging. The 3P system (Prepress, Press, Postpress) is the environment for the "online production of packaging", which aims to completely automate all processes, from the construction to the printing and the finalization of the packaged product. We add our IRD technology to established standards such as JDF (Job Definition Format), which improves the protocols for describing all steps in packaging production.

Keywords: INFRAREDESIGN®, printing digitization, twin colorants, ZRGB cameras, security print, packaging

Davorin Brkić[1]

Sustavsko mišljenje i elektroenergetsko tržište u teoriji

Sažetak: Hrvatski elektroenergetski sustav početkom XXI. stoljeća postupno je ulazio u stanje višeumnosti. Stanje višeumnosti podrazumijeva više samostalnih subjekata koji imaju međusobne interakcije i individualne interese (neki podskup subjekata može imati zajedničke interese). Razmatranje korištenja tehnika u elektroenergetskom sustavu i njegovo projektiranje (ne samo fizičkog dijela) u takvom je stanju usloženo. Ne olakšava ga ni utjecaj tehnika čije prognoze imaju veće pogreške (inputi iz solarnih i vjetroelektrana, električnih automobila itd.), kao ni uvođenje dodatnih koncepata (npr. energetske zajednice). Uz neodgovarajući način mišljenja i simboličkog označavanja (prepoznavanja) pojmova (uloge, interakcije, pojave) razumijevanje takvog stanja je otežano. Time se pojavila potreba za korištenjem sustavskog mišljenja koje se u radu primjenjuje i djelomično opisuje. Njim je u svrhu olakšanja u razumijevanju definiran simbolički model označavanja pojmova (grafičko i tekstualno) s primjerima. U radu se podrazumijeva zonalni pristup i samostalni dispečerski model.

Ključne riječi: sustavsko mišljenje, energetika, uravnoteženje, električna energija

Uvod[2]

Definicija sustavskog mišljenja (razmišljanja, *mindset*) preuzeta je iz knjige Jamshida Gharajedaghija[3][1]. Taj način mišljenja traži poznavanje apstraktnih

[1] Stavovi izneseni u radu osobna su mišljenja autora, nisu obvezujući za poduzeće/instituciju u kojoj je autor zaposlen te se ne moraju podudarati sa službenim stavovima poduzeća/institucije.

[2] U tekstu: riječi u polunavodnicima predstavljaju nazive za pojmove koji su definirani i dosljedno primjenjivani u radu. U dvostrukim su navodnicima riječi u prenesenom značenju te nazivi pojmova koji su korišteni za specifičan kontekst; koriste se kraći nazivi za pojmove definirane u radu (npr. operator za 'operatora prijenosnog sustava').

[3] Jamshid Gharajedaghi (r. 1940.), iransko-američki organizacijski teoretičar i savjetnik za menadžment

pojmova (npr. jednoumni sustav, višeumni sustav[4]). Primjena sustavskog mišljenja podrazumijeva razdvajanje sustava (u mišljenju) na dovoljan broj uloga i pojava (djeljivi / modularni pristup, lat. *bene docet, qui bene distinguit*). Promatra interakcije u različitim stanjima (npr. sukob, konkurencija). Ono razmatra rješenja sukoba kod interakcija na različite načine (npr. "riješiti", "razriješiti"[5]). To mišljenje sagledava: interakcije između subjekata (npr. diplomacija); subjekata i pojava (npr. operatora prijenosnih sustava i velikog ispada proizvodnih jedinica, slika 6.); i pravilnosti između pojava (npr. objedinjeni trojni odnos cijena odstupanja, cijena regulacijskih energija i odstupanja subjekata [3]). Sustavsko mišljenje podrazumijeva i bavljenje sustavom koristeći neuobičajene koncepte (npr. "izranjajuće svojstvo", "multidimenzionalnost[6], "kontrainutitivnost"). Ono preusmjerava specijalizaciju s dijelova sustava na sustav kao cjelinu[7]. Sustavski pristup ne može se svesti na analitički (ako se koristi samo analitički način mišljenja riječ je o jednodimenzionalnosti). Izlazi na kraj sa stanjem gdje "sve" ovisi o "svemu ostalom" (koncept "otvorenosti" uz primjenu "holizma").

Planiranje, izgradnja i održavanje elektroenergetske mreže; izgradnja i priključenje postrojenja za proizvodnju električne energije na mrežu; priključenje instalacija potrošača na mrežu; proizvodnja električne energije koja se isporučuje u mrežu; te isporuka i naplata energije 'potrošačima' uvelike su "samorazumljive"[8] (planiranje donekle).

---

[4] U [1] su *uni-minded* i *multi-minded* prevedeni s "jednorazumski" i "višerazumski", a ovdje su ti pojmovi prevedeni s jednoumni i višeumni, jer se po postavkama sustavsko mišljenje bavi "izranjajućim svojstvima" i načelom "svrhovitosti" kao kriterijima po kojima se odlučuje. Naime, pojam razum (*ratio*) ograničen je diskurzivnom spoznajom (spoznajnom prirodnih znanosti), a um (*intellectus*) može dosegnuti i intuitivnost (humanističke znanosti, op. "izranjajuće svojstvo", "svrhovitost"), T. Ivančić, "*Fides et ratio* nakon deset godina", Bogoslovska smotra, Vol. 78 No. 4, 2008., https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=50450, pristup 28. 10. 2020.

[5] "riješiti" znači dati najbolji ishod za jednu stranu na trošak druge strane, a "razriješiti" znači ići k tijeku događaja koji će barem minimalno zadovoljiti obje strane [1]

[6] "multidimenzionalnost" je sposobnost razmatranja dopunjujućih odnosa koji imaju suprotstavljajuće tendencije i stvaranje skladnih cjelina iz neprikladnih dijelova {npr. "kompromis", op. kompromisima se prema Slobodanu Prosperovu Novaku (r. 1951.) bavio Nikola Vitov Gučetić (r. 1549.) u knjigama *Governo della Famiglia* i *Dello stato delle Repubbliche*} [1], npr. u elektroenergetici "[i]*n comparison to other investigated combinations of the price components this solution is considered to provide the best trade-off between the conflicting objectives* (op. suprotstavljajuće tendencije) *of low balancing cost and sufficient incentive to submit bids for direct activation*" [16]. Za stvaranje skladnih cjelina iz neprikladnih dijelova koristi se kod tržištâ pojam *seams*, Florence School of Regulation (2017), *Seam issues in electricity market integration, US vs EU | Online debate recording*, https://www.youtube.com/watch?v=UerHK6DQH64, pristup 4. 8. 2020.

[7] *"I hold it impossible to know the parts without knowing the whole, or to know the whole without knowing the parts in detail"*, *The Thoughts of Blaise Pascal*, 1669., https://oll.libertyfund.org/, pristup 15. 2. 2020.

[8] Oko samorazumljivosti pojmova: fizičar Warner Haisenberg upitao je filozofa Martina Heiddegera "Što je to fizika?", Nino Raspudić 20. prosinca 2019., HTV *Peti dan*.

U sustavu postoje subjekti čije djelatnosti nisu samorazumljive, a oni se trude biti što učinkovitiji (što se odražava na financijske rezultate njihova poslovanja). Time dovode vlastito poslovanje, a idejno i sustav do optimalne točke (projektiranje tržišnog modela, optimalni energetski miks, *security of supply*[9], *Pareto efficiency*[10] i sl.). Ideja je bila definirati uloge i djelatnosti subjekata čije su zadaće manje poznate, kako bi se prepoznali načini za olakšavanje njihova djelovanja k širem društvenom blagostanju (lat. *obliti privatorum publica curate*, engl. *social welfare*). To je u radu i učinjeno, a u podrubnicama se mjestimično upozorava na relevantne materijale šireg sadržaja.

Korišten je univerzalni modela uloga na tržištu električne energije koji razvijaju tijela za: trgovanje (EFET), prijenosne sustave (ENTSO-E) i razmjenu poslovnih informacija (ebIX) (*The harmonised electricity role model*)[11] [2]. Taj model nije bio službeno prihvaćen (propisan) u Hrvatskoj, a njegova je svrha normizacija kod razmjene poslovnih podataka među subjektima. Tim se modelom mogu uvelike razjasniti europski tržišni modeli (pa i hrvatski) te je stoga u radu iskorišten. Tu je fokus (kao i u radu) stavljen na projektiranje modela interakcija između subjekata (‘apstraktni sustav’), umjesto na fizičku elektroenergetsku mrežu kao pseudozadanu stavku (‘fizički sustav’). Iz tog modela mogu proizići tržišni modeli (engl. *market models*) različitih složaja (“struktura”) s različitim funkcijama koji bi mogli biti prikladni za različite procese (koncepti: “množina funkcije”, “množina strukture”, “množina procesa” [1]).

Ideja je bila napisati rad koji ne traži predznanje o sustavima (ni hrvatskom), a čiji se simbolički sustav može koristiti za njihovo opisivanje (pojam *lower-context culture* koji je uveo Edward T. Hall 1976.[12]). Tako su izbjegnuti službeni nazivi i pojmovni sustav kad je to pridonosilo toj ideji. Ideja simboličkog sustava bila je predstaviti mogućnosti od kojih je trenutačno stanje u Hrvatskoj podskup. Stoga, simbolički sustav ni ostali sadržaj rada ne treba brkati s interpretacijama pozitivnih propisa u Republici Hrvatskoj jer rad (iako je napisan u prezentu) ne predstavlja trenutačno stanje u Republici Hrvatskoj nego zamišljene teorijske opise (‘apstraktnog sustava’). Također, primjeri u sadržaju

---

[9] Prema *International Energy Agency* (IEA) *security of supply* podrazumijeva i pristupačnu cijenu energenata (engl. *affordable price*), izvor: https://www.iea.org/topics/energysecurity/, pristup 01. 08. 2018. Stanje gdje “sigurnost opskrbe” nije bila ispunjena bilo je 1971., kad je 7,8 % godišnje potrošnje Republike Hrvatske bilo prisilno ograničeno u tri mjeseca, Cvetković Zorko (2009), *Život s elektroprivredom*, Kigen.

[10] To stanje se definira kroz postojanje složaja subjekata, uvjeta i uloga, u kojem se korist jednog subjekta može smanjiti samo na način da se smanji korist nekog drugog subjekta. Razlikuje se od *Nash equilibrium*, kod kojeg niti jedan subjekt ne može povećati svoj profit jednostranom prilagodbom svoje odluke (op. npr. u monopolu može), Kirschen S. Daniel, Strbac Goran (2019.), *Fundamentals of power system economics*, drugo izdanje, John Wiley & Sons Ltd.

[11] EFET − *European Federation of Energy Traders*, ENTSO-E − *European Network of Transmission System Operators*, ebIX − *European forum for energy Business Information eXchange*.

[12] https://en.wikipedia.org/wiki/High-context_and_low-context_cultures, pristup 29.11.2019., Edward T. Hall (r. 1914.), američki antropolog

rada odnose se gotovo isključivo na nevažeće (povijesne) propise.

Rukovodilo se načelom Josepha Ratzingera[13] po kojem čiste činjenice bez riječi, bez osmišljenja, tonu u ništavnost jednako kao i čiste riječi kojima ne odgovara nikakva stvarnost [4]. Prema tom načelu, uz teorijski opis modela istomjesno su mjestimično naznačene činjenice iz hrvatske i strane prakse. To je učinjeno i stoga jer se sadašnjosti pojedinačnih ljudi razlikuju jedna od druge (sv. Augustin) [4]. Tako su za mjesta gdje se očekuju različita poimanja, pridružene činjenice koje potkrepljuju izneseno.

Razvoj simboličkog sustava inspiriran je radovima [1], [2], [5-7] i [11].

Za razmatranje modela u odsječku 2. nije nužno razmatrati tri primjera u odsječku 1. Ti primjeri sustavsko mišljenje opisuju situacijama umjesto konstatacijama. U prvim pododsječcima odsječka 2. uglavnom se nabraja pojmove uz pripadna objašnjenja što smanjuje čitkost, dok se uz pretpostavku poznavanja tih pojmova u zasebnom pododsječku daje sažet opis sustava. Čitkost teksta veća je preskoči li se sadržaj u zagradama koji nije nužan za početno upoznavanje sa simboličkim sustavom.

Sadržaj ovoga rada u boji u opširnijem obliku dostupan je u elektroničkom obliku na Miljokazu HRO CIGRÉ-a uz 9. simpozij Povijest i filozofija tehnike, ovdje https://hro-cigre.hr/wp-content/uploads/2021/11/Sustavsko-misljenje-i-elektroenergetsko-trziste-u-teoriji-v2.pdf i ovdje https://shorturl.ae/JH4us [23]. U odnosu na tu opširniju inačicu u ovoj su u kontekst simboličkog sustava stavljena dodatna tri rada [20-22].

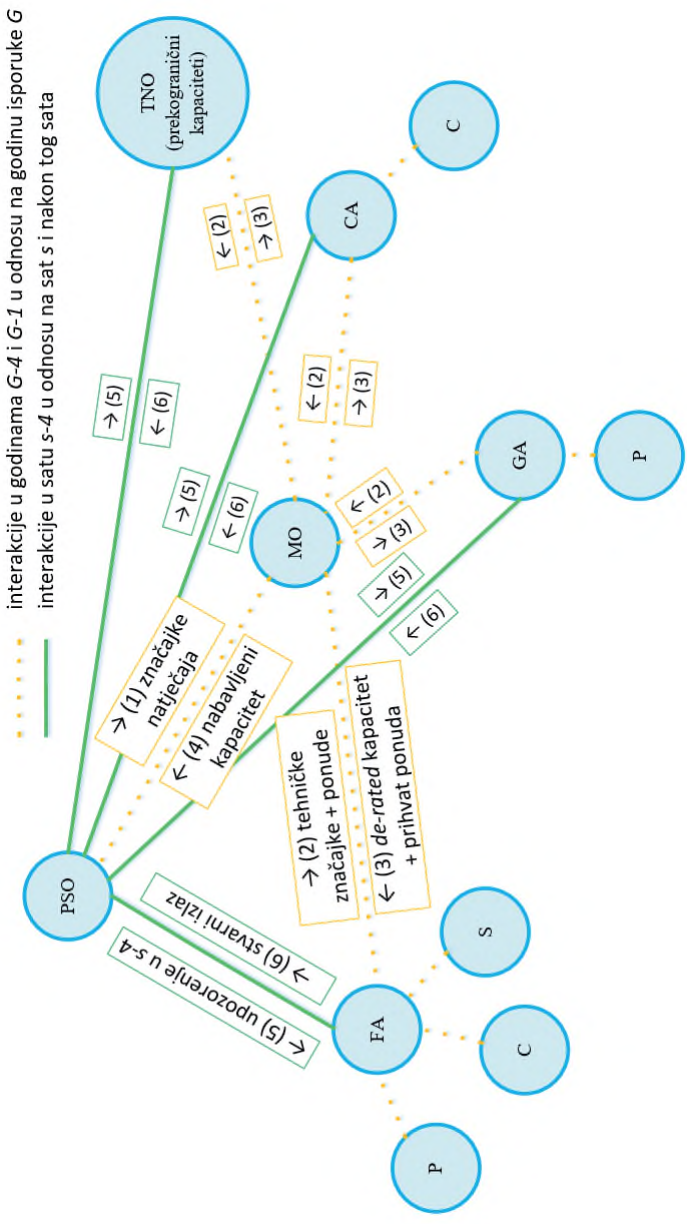
1. Primjeri sustavskog mišljenja

1.1. Britansko-francuski pristup sadašnjoj budućnosti

U radu autora iz *EDF Energy*, *EDF Research and Development* i *R&D UK Centre* [5] objavljenom 2016. godine prikazani su rezultati primjene metodologije na jedanaest stranica. Cilj te metodologije bio je stvoriti objedinjenu i sustavnu viziju uloga i interakcija. Razrađeni su scenariji elektroenergetskog sustava za jedno i pol desetljeće unaprijed (od 2016. do 2030.).

Rad tekstualno i grafički (šest slika, četiri tipa slika) objedinjuje: elektroenergetska tržišta (engl. *forward market*, *retail market*, *day ahead energy market*, *balancing market*, *ancillary market* i sl.), vremenske epohe (engl. *long term*, *medium term*, *short term*, *post delivery*), funkcije vođenja (engl. *maintenance schedule programming*, *power flow management* i sl.), sekundarne podsustave (engl. *energy efficiency*, CO_2 *market*, *green certificates*, *other pollutant markets*, *guarantee of production origins*) te obračunski dio (engl. *settlement for all layers*). Primjer jednog od četiri tipa grafičkih prikaza daje slika 1.

[13] Joseph Ratzinger (r. 1927.), njemački teolog, papa Benedikt XVI.



Sl. 1.: Tržište kapaciteta: uloge (P − proizvođač, C − potrošač, S − skladište, FA − objedinitelj fleksibilnosti, CA − objedinitelj potrošnje, GA − objedinitelj proizvodnje, TNO − operator prijenosnog sustava, PSO − operator snage sustava *Power System Operator*, MO − operator tržišta) i interakcije, prevedeno i preuzeto iz [5][14]

[14] Slika je dopunjena kvadratičnim oblačićima na tri zelene crte i u legendi, a brojevi su prilagođeni rednim brojevima koraka postupka.

Na toj se slici daje sustavski prikaz tržišta kapaciteta (engl. *capacity market*) u tom primjeru[15]. Dugoročna vremenska epoha (engl. *long term*) za to tržište iznosi od četiri do jedne godine prije razdoblja za koje se odvija isporuka proizvoda ("*G*-4", "*G*-1" za "*G*"[16]). To je podsustav kojim se osigurava (potiče) raspoloživost kapaciteta za kritične situacije (engl. *stress period*) (npr. to je bitno za Belgiju[17]).

Takvi se podsustavi uvode kad u sadašnjoj budućnosti istodobno postoji: i procjena potrebe za novim kapacitetima (ILI za ostankom postojećih neisplativih kapaciteta) s ciljem namirenja potrošnje (ciljno stanje fizičkog sustava); i procjena da bez tog podsustava subjekti u sustavu (zbog neisplativosti) neće imati osigurane kapacitete do potrebne razine za sustav (manjkavost apstraktnog sustava za postizanje sustavskog optimuma, engl. *market faliure*). Tu je riječ o postizanju "dugoročnog optimuma" u projektiranju tržišta (npr. dugoročna sigurnost opskrbe) koji možebitno smanjuje "kratkoročni optimum" (npr. povećanje potrošačke cijene uz jednaku srednjoročnu sigurnost opskrbe). Opisivanje te svrhe je primjena koncepta "svrhovitosti" [1].

Prema [5] uloga PSO nabavlja kapacitet posredno preko uloge MO od posrednika (FA, GA i CA)[18]. Nakon što je nabavljen kapacitet, kod potrebe za

[15] Europska komisija (EC) je (2016) utvrdila 36 različitih "mehanizama" za razvoj kapaciteta u jedanaest razmatranih država članica. Podijelila ih je na tri vrste "ciljnih" (strateške rezerve – zadana količina kapaciteta stavlja se van tržišta i koristi u kritičnim situacijama, pozivi na podnošenje ponuda za novi kapacitet – za ulagače u nove projekte zadanog kapaciteta, plaćanja za korištenje kapaciteta temeljena na cijeni – administrativna cijena se isplaćuje podskupu kapaciteta na tržištu) i tri vrste "na razini tržišta" (modeli središnjeg kupca – središnji kupac kupuje zadani kapacitet za potrošače u ime obračunatelja, programi decentralizirane obveze – obračunatelji imaju obvezu sami ugovoriti zadani kapacitet za potrošače, plaćanja za korištenje kapaciteta temeljena na cijeni – administrativno plaćanje dostupno svim sudionicima na tržištu). Od njih razlikuje "programe upravljane potrošnje" (*demand-response schemes*) utvrđene u šest od jedanaest država. "Završno izvješće o sektorskom istraživanju o mehanizmima za razvoj kapaciteta", https://ec.europa.eu/competition/sectors/energy/capacity_mechanisms_final_report_hr.pdf, pristup 23. 10. 2020., popratni dokument: https://ec.europa.eu/competition/sectors/energy/capacity_mechanism_swd_en.pdf, str. 50-51.

[16] *G* ovdje označava godinu na koju se odnosi isporuka proizvoda, a brojevi označavaju broj godina od te godine.

[17] Podaci o isplativosti plinskih elektrana po godinama u Belgiji, str. 33., CREG (2019), *Study on the functioning and price evolution of the Belgian wholesale electricity market – monitoring report* 2018., dostupno na: https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Studies/F1958EN.pdf, pristup 10.12.2019. Sustavi prije 2019., str. 46.-47., ACER (2019), *ACER Market Monitoring Report 2018 – Electricity Wholesale Markets Volume*, https://www.acer.europa.eu, pristup 27. 11. 2019. Najava iz 2019. o dodatnom sustavu poticanja, CREG (2019), *Note on the implementation of a scarcity pricing mechanism in Belgium*, https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Notes/Z1986EN.pdf, pristup 16. 12. 2019. To je primjer u paradigmi sa zonalnim pristupom gdje uz tržište energije postoji dodatan sustav za kapacitete, a on može postojati i u čvorišnom pristupu.

[18] Uloga FA je posrednik za sve tipove kapaciteta P, C i S; uloga GA za tip P; uloga CA za tip C; "TNO (prekogranični kapaciteti)" za kapacitete izvan nacionalnog sustava, nazivi oznaka su uz naziv slike.

aktivacijom četiri sata prije aktivacije uloga PSO obavještava posrednike o potrebi za aktivacijom. Nakon toga slijedi aktivacija pa nakon isporuke obračun za količine energije iz aktivacije.

1.2. Gharajedaghi i Commonwealth

Vijeće europskih regulatora energije (CEER) pozabavilo se "izranjajućim svojstvima"[19] kao čimbenicima koji odvraćaju potrošače od prelaska povoljnijim 'obračunateljima na sučelju s mrežom' (osjećaj o nedovoljnoj novčanoj uštedi u odnosu na trud uložen u promjenu 'obračunatelja', manjak povjerenja prema 'obračunateljima', zadovoljstvo i odanost prema trenutačnom obračunatelju)[20]. Postoje takvi europski primjeri glede obrade izranjajućih svojstava. Ipak, odabran je rad američkog autora jer u jedinstvenom sadržaju cjelovitije obuhvaća dionike.

U knjizi [1] opisano je iskustvo do preoblikovanja energetskog sustava Commonwealtha. Sustav je preoblikovan uz polazište da je sustav, uz nepromijenjenu okolinu, uništen preko noći (op[21] apstraktni, a ne fizički sustav). U ovom odsječku ukratko će se predstaviti gledišta dionika koji su bili izravno pogođeni izvedbom sustava, a koji su mogli imati utjecaj na stvaranje tadašnje budućnosti tog sustava. To je dio sadržaja koji opisuje Gharajedaghijevo iskustvo u Commonwealthu. U ovom su primjeru, dakle, opisane psihološke pojave kod interakcija u elektroenergetskom sustavu (izranjajuća svojstva).

Dioničari su zbog promjena koncesija i promjena u poslovnoj okolini prestajali smatrati ulaganje u sustav energije Commonwealtha sigurnim. Donositelji pravila bili su izloženi dvama različitim očekivanjima. Očekivanjima političara i očekivanjima boraca za zaštitu okoliša koji su promicali skupe socijalne mjere. Što se tiče tih mjera, javnost i političari tražili su smanjenje takvih mjera, s ciljem zadovoljenja korisnika (op. potrošača) i s ciljem promicanja ekonomskog razvoja. Tako su donositelji pravila tražili nekoga tko će ponuditi inovativna rješenja. Javnost je bila zabrinuta zbog prijetnji proizvodnje i potrošnje

[19] "izranjajuća svojstva" (npr. život, ljubav, sreća, uspjeh i sl.) ona su koja se ne pokoravaju ni jednom od pet čovjekovih osjetila; ne mogu se izravno mjeriti; ako je mjerenje potrebno mogu se mjeriti samo njihove manifestacije (op. npr. donekle anketama); ne mogu biti analizirana; ne može im se manipulirati analitičkim alatima; ne pokoravaju se uzročnim objašnjenjima; ne mogu biti ni sačuvana ni pohranjena za buduću upotrebu; nestanu ako ih se ne održava; ona su svojstva cjeline, a ne svojstva dijelova [1].

[20] CEER (2017), *Retail Markets Monitoring Report*, https://www.ceer.eu/documents/104400/6122966/Retail+Market+Monitoring+Report/56216063-66c8-0469-7aa0-9f321b196f9f, pristup 15. 01. 2019., str. 41-44.

[21] "op." označava umetnutu opasku autora.

energije okolišu te je podržavala korake k zaštiti od onečišćenja. Javnost je smatrala da ti potezi mogu biti uz manju cijenu [1].

Zaposlenici Commonwealtha željeli su stalan posao i kvalitetu radnog života u kojem se mogu razvijati. Shvaćali su da se vremena mijenjaju, a osjećaj sigurnosti im je bio ugrožen zbog novih trendova. Htjeli su ovlasti za put k novim idejama, željeli su biti razlikovani na temelju vlastite izvedbe i željeli su sposobnost gradnje produktivne karijere [1].

Korisnici (op. potrošači) su željeli usluge uz najmanju moguću cijenu, a smatrali su da je cijena održavanja i poboljšavanja nerazumno visoka. Industrijskim su korisnicima dobavljači (op. 'obračunatelji', "opskrbljivači") obećavali niže cijene ako im donositelji pravila omoguće izbor. Korisnici su odobravali preoblikovanje jer su očekivali veći izbor. Neki od korisnika bili su frustrirani kad im je sustav prethodno nudio ograničenu ponudu jer njihovi zahtjevi nisu spadali u kategoriju uobičajenih usluga [1].

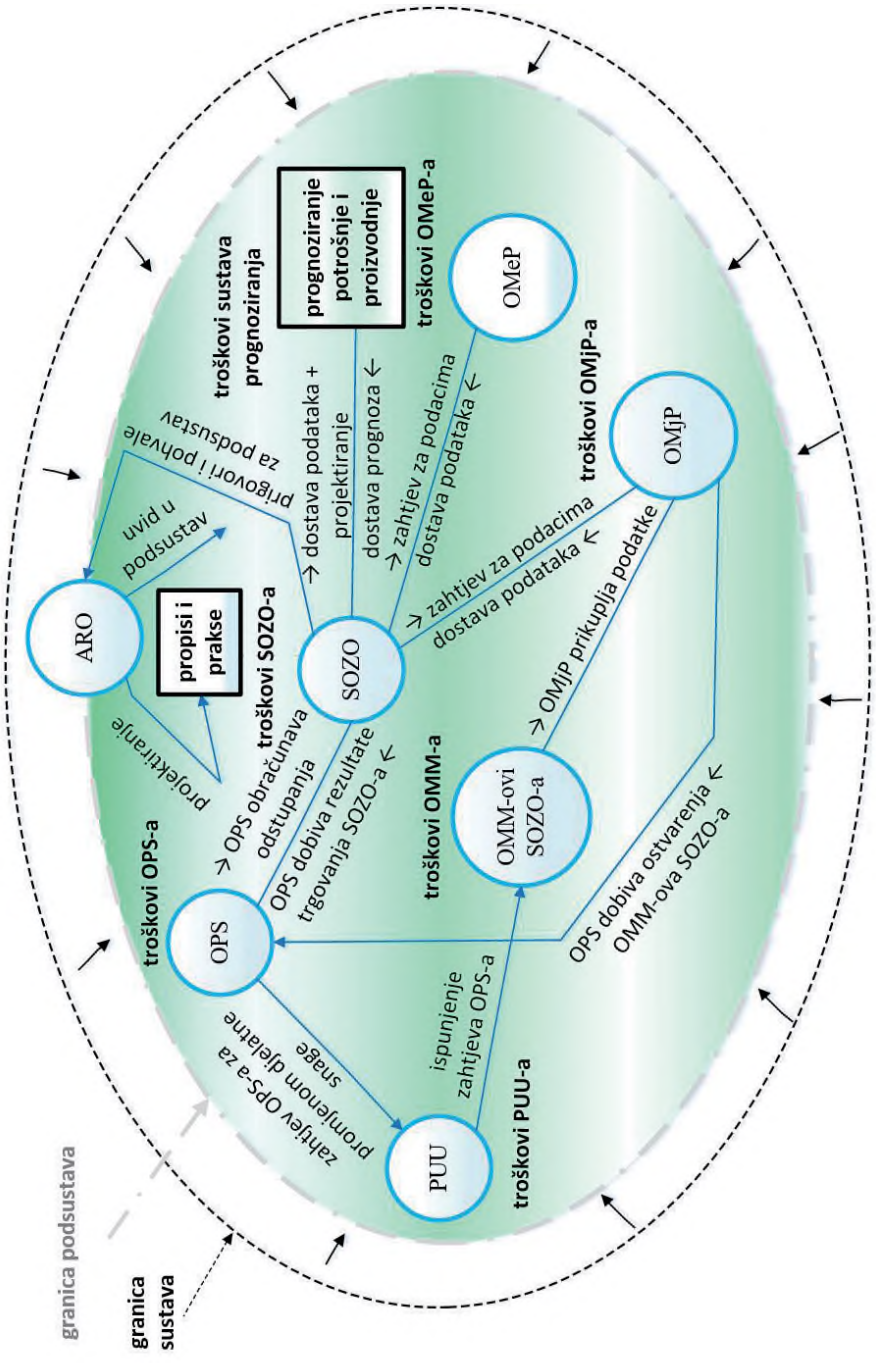
Dobavljači su shvaćali da im nova konkurencija i prevelika ponuda povećava neizvjesnost i nesigurnost. Htjeli su ostati dio sustava i imati uloge u uspjehu sustava, pa su željeli biti uključeni u strateške planove. Dobavljači su željeli ući u poduzetničku igru, ali očekivali su poštenje i jednake prilike pružanja svoje usluge [1].

U Commonwealthu je Gharajedaghi, u kontekstu pristupa korisnicima energije, zatekao barijere koje su napravile međusobno odvojene stručnjake za plin i električnu energiju. Smatrao je da treba izbjeći zatvorene normizacije unutar organizacijske jedinice koja se bavi pojedinim izvorom energije (struja, plin), eda bi se iskoristile prilike koje pruža stvarni svijet [1].

1.3. Kratkoročno prognoziranje potrošnje i proizvodnje

Radom [6] iz 2018. autor je s koautorima naslovni problem stavio u kontekst sa sedam uloga (odsječak 2. uloge u elektroenergetskom sustavu). Uz to je opisan utjecaj ograničenja mjerne opreme (fizički sustav) na sustav (u praksi i općenito). Obrađivao se odnos dviju radnji: projektiranje[22] sustava te prognoziranje potrošnje i proizvodnje (apstraktni sustavi). Osmišljenje rada potrošačkih i proizvodnih objekata (fizički sustav), kao i odvijanje interakcija (apstraktni sustav) u elektroenergetskom sustavu između subjekata temelji se i na tom prognoziranju potrošnje i proizvodnje. U prognoziranju se izlazi na kraj s činjenicom da je elektroenergetski sustav "otvoreni sustav" s "nekontroliranim varijablama" (npr. vjetar kao izvor električne energije) [1]. Prognoziranjem se primjenjuje načelo "pripremi i predvidi", čime se koristi "otvorenost" kao načelo sustavskog mišljenja [1].

[22] U [1] se koristi riječ "dizajn" koja je dobivena prilagodbom riječi *design* iz engleskog jezika.



Sl. 2.: Prikaz nekih interakcija bitnih za prognoziranje proizvodnje i potrošnje električne energije

Uloge su u radu definirane na tri stranice tako da su opisane njihove obveze, međusobne interakcije i njihovi interesi. Po Ratzingeru je čovjekovo vlastito "biti" prisutno u drugima kao krivnja ili milost (op. izranjajuća svojstva [1]). Njegovo je "biti" povezano s drugima, a čovjek je tako on sam u drugima s drugima i po drugima. Drugim riječima, čovjek je relacioniran [4], a to onda "zakonito" vrijedi i za subjekte u elektroenergetskom sustavu i na temelju ovog primjera.

Kao dopuna tom radu i za ilustraciju dijela njegova sadržaja može služiti slika 2. Na njoj su djelomično prikazane interakcije tih sedam uloga. Te uloge su: subjekt za obračunsko mjerno mjesto (OMM), operator kontrolnog područja (OPS), subjekt odgovoran za odstupanja (SOZO), pružatelj fleksibilnosti na obračunskom mjernom mjestu (PUU), osiguravatelj elektroenergetskih podataka (OMjP), osiguravatelj meteoroloških podataka (OMeP) i arhitekt regulatornog okvira (ARO). Uloge su označene plavim kružićima, prostor podsustava zelenom bojom, a ostatak sustava bijelom bojom. Prošaranost bijelom bojom označava utjecaje izvan podsustava na njega (ilustracija učinjenog redukcionizma i "otvorenosti" sustava).

Četvrtasti oblačić "prognoziranje potrošnje i proizvodnje" simbolizira informatički sustav s algoritmom koji iz inputa izrađuje prognoze[23]. Rezultati dobiveni tim algoritmima prognoziranja prilično su zastupljeni u stručnim i znanstvenim radovima, izgledno uslijed prividne deterministčke prirode te djelatnosti (mogućnost simuliranja algoritama i ocjena kvalitete prognoza na povijesnim podacima) jer inženjeri uglavnom imaju sklonost determinizmu. Tom sustavu SOZO šalje inpute za prognoziranje interakcijom "→ dostava podataka + projektiranje", a njom SOZO ujedno prilagođava algoritam prognoziranja[24]. Četvrtasti oblačić "propisi i prakse" sadrži sve propise koji definiraju interakcije između navedenih sedam uloga, ali i nepisanu praksu koju u vidu treba imati subjekt s ulogom ARO.

[23] Neki algoritmi kojima se iz sadašnje prošlosti može određivati potrošnja za blisku sadašnju budućnost su npr. u Ibrahim Moghram, Saifur Rahman:"Analysis and evaluation of five short-term load forecasting techniques", *IEEE on Transactions on Power Systems*, Vol. 4., No. 4., listopad 1989.

[24] Npr. HROTE je testirao primjenu "statističkog modela" i "fizikalnog modela" prognoziranja proizvodnje te se nakon analize odlučio za "fizikalni model", Andrea Brajko, Hrvoje Klipcer (2017): "Kombiniranje modela planiranja proizvodnje električne energije za EKO bilančnu grupu", HRO CIGRÉ, C5-10.

2. Simbolički sustav

2.1. Subjekti, uloge, područja i pojave

Za uloge (*role* [2]) u modelu se koriste i sljedeći nazivi: ‘sučelje s mrežom’ (engl. *party connected to the grid*, *accounting point*, *billing agent* [2]), ‘obračunatelj na sučelju s mrežom‘ (engl. *balance supplier, billing agent* [2]), ‘trgovatelj’ (engl. *trader*, *billing agent* [2]), ‘pružatelj resursa’ (engl. *resource aggregator*, *resource provider*, *balancing service provider* [2]), ‘odgovoran za odstupanja’ (engl. *balance responsible party, reconciliation accountable* [2]), ‘operator prijenosnog sustava’ (engl. *LFC operator*, *system operator*, *imbalance settlement responsible*, *reconciliation responsible*, *billing agent* [2]), ‘operator tržišta’ (engl. *market operator* [2])[25]. Postoji još uloga. Svaka pridružena uloga iz zagrada mogla bi se posebno koristiti (k većoj općenitosti i manjoj čitkosti). Mjestimično se uloga ne odnosi na sve uloge iz zagrade. Uloga se u izričaju uglavnom poistovjećuje sa subjektom (engl. *actors* [2]) koji ju obavlja.

Subjekt na objektu koji je priključen na ‘sučelju s mrežom’ je: ‘potrošač’ (engl. *consumer* [2]) kad u svoje instalacije preuzima tok energije (snagu) iz mreže[26]; ‘proizvođač’ (engl. *producer* [2]) kad iz instalacija u svojem objektu isporučuje tok energije u mrežu; i proizvođač i potrošač kad ima obje mogućnosti na jednom ‘sučelju s mrežom’ (u pravilu svaki objekt s mogućnošću isporuke u mrežu). Pod proizvođačem ni pod potrošačem ne podrazumijeva se nužnim da kao subjekti imaju ulogu ‘trgovatelj’.

Poseban su slučaj granična sučelja s mrežom (crveno sučelje s mrežom, sl. 4.) između operatorova ‘bilančnog područja’ i susjednih mu bilančnih područja (koja vode drugi operatori). Među područjima se kroz ta sučelja razmjenjuje tok energije po fizikalnim zakonima bez aktivne težnje (bez obveze) operatora k postizanju predodređene razmjene po pojedinoj granici tijekom dijela vremena (iznimke su npr. istosmjerni vodovi). Ipak, operator za dio vremena ima aktivnu težnju pri upravljanju mjerene netorazmjene svog područja (kao cjeline) k zacrtanoj vrijednosti netorazmjene [fizička neravnoteža (manjak/višak energije i snage) u bilančnom području je određena i mjerenom netorazmjenom područja (engl. *measured actual real time power interchange value*) prema zacrtanoj razmjeni (engl. *control program*), gdje se zacrtana razmjena može mijenjati tijekom ‘dijela vremena’ uslijed raznih procesa].

---

[25] Do 2006. u Republici Hrvatskoj bi subjekti bili: na ‘sučelju s mrežom’ ”povlašteni kupci”, “tarifni kupci”, HEP − Proizvodnja d.o.o. i TE Plomin d.o.o.; ‘obračunatelji na sučelju s mrežom’ HEP − Opskrba d.o.o. i HEP − Distribucija d.o.o. za ‘potrošače’, te HEP d.d. za ‘proizvođače’; ‘trgovatelj’ je bio HEP d.d.; ‘pružatelj resursa’ HEP − Proizvodnja d.o.o.; ‘operator prijenosnog sustava’ su HNOSIT d.o.o. i HEP − Prijenos d.o.o.; ‘operator tržišta’ HNOSIT d.o.o. [7].

[26] U [5] se skladištenje energije (baterije, crpne hidroelektrane i sl.) posebno iskazuje, a ovdje se to gleda kao preuzimanje iz mreže isto kao i za potrošnju energije koja se ne skladišti.

Može biti ‘razdjelno područje’ (“distribucijsko područje”) unutar bilančnog područja koje je povezano s preostalim dijelom bilančnog područja preko rubnih sučelja s mrežom. Ta se sučelja koriste za utvrđivanje razmijenjene energije za svaki ‘dio vremena’. Onda se količina razmjene koristi kao input za pridruživanje odgovornosti za energetsku bilancu razdjelnog područja po bilančnim grupama (to se čini kod razmjene utvrđene za svaki dio vremena), za sučelja koja nemaju izmjerenu razmjenu i za preostalu potrošnju (npr. gubitci u vodovima, krađa) (npr. razmjena tih sučelja s “gubitcima” čini vrijednosti pod pojmom “preostalo opterećenje” u [6]). To razdjelno područje sadrži unutarnja sučelja s mrežom (potrošači, proizvođači, skladišta) koja nisu rubna. Razmjene energija između sučelja unutar razdjelnog područja, kao i razmjene razdjelnog područja s preostalim bilančnim područjem (putem rubnih sučelja), subjekt koji vodi razdjelno područje suosigurava s operatorom prijenosnog sustava[27]. Ne primjenjuje se koncept postizanja zacrtane razmjene energije razdjelnog područja s preostalim bilančnim područjem (nema radnji s ciljem postizanja zacrtane razmjene tijekom dijela vremena). Pojam razdjelno područje dalje se zanemaruje.

‘Obračunatelj na sučelju s mrežom’ (“opskrbljivač”, “otkupljivač”) je subjekt koji *ex post* obračunava: bilo isporučenu energiju u mrežu (proizvođaču); bilo “preuzetu”[28] energiju iz mreže (potrošaču); bilo netorazmjenu na sučelju s mrežom (obično jednom mjesečno, gdje se u obračunu ako nema izmjerenih koriste neizmjerene/procijenjene količine energija). Na temelju procijenjenih troškova i prihoda on *ex ante* nudi cijene (proizvođačke, potrošačke) subjektima za razmjene s mrežom te ih ugovara (potrošači, proizvođači, uvažavajući njihovu možebitnu ulogu ‘trgovatelja’ gdje im obračunava netokoličinu[29]). Obra-

[27] Za moderna gledišta oko njihove suradnje na primjeru zagušenja i otklanjanja neravnoteža pogledaj CEDEC, ENTSO-E, GEODE, E.DSO, EURELECTRIC (2019), *TSO – DSO Report an integrated approach to active system management with the focus on TSO – DSO coordination in congestion management and balancing*, https://eusew.eu/sites/default/files/programme-additional-docs/TSO-DSO_ASM_2019_190416.pdf, pristup 21. 06. 2019. Operator razdjelnog područja bi trebao imati mogućnost veta na sučeljima svoje mreže u postupku aktivacije regulacijske energije, pogotovo u rubnim uvjetima pogonske sigurnosti svoje mreže.

[28] Riječ “preuzeta” je u navodnicima, jer u pravilu nije moguće izmjeriti koliko je energije fizički preuzeto na svim ‘sučeljima s mrežom’ za dio vremena (npr. na rezoluciji od 15 minuta) za koji se provodi obračun {*profiled accounting points* [2], riječ *profiled* se odnosi na potrebu da se uslijed nedostupnog mjernog podatka (ILI iz drugih razloga) za dio vremena konvencijom određuje razmjena energije na sučelju s mrežom (*accounting point*), npr. u RH su to i brojila koja nisu “intervalna brojila” npr. “elektromehanička brojila”}. Riječ “isporučena” nije u navodnicima, jer su proizvođači opremljeni boljim mjerilima, iako kod njih mjerni podaci mogu biti manjkavi.

[29] Ovo je prepoznat slučaj prema [2] gdje je to vidljivo u definiciji uloge ‘obračunatelj’ (dio s *“firm energy contracts”*): “*A party that markets the difference between actual metered energy consumption and the energy bought with firm energy contracts by the Party Connected to the Grid. In addition, the Balance Supplier markets any difference with the firm energy contract (of the Party Connected to the Grid) and the metered production”*. Dio s *actual metered energy consumption* podrazumijeva da su sva sučelja opremljena tako da su na njima izmjerene, zabilježene i dostupne razmjene energija po dijelovima vremena za obračune, što se u praksi može samo slučajno dogoditi.

čunatelj izdaje račun (kad mu potrošač plaća za energiju) ILI mu se izdaje račun (kad plaća proizvođaču za energiju) za sučelje s mrežom (engl. *billing agent* [2]). To je 'obračun razmjene' koji se provodi *ex post*. Obračunatelj može provoditi obračun razmjena sučeljima s mrežom čije su virtualne (ILI[30] izmjerene) razmjene u 'dijelovima vremena' (izračunate, izmjerene) inputi koji pripadaju različitim bilančnim grupama (inputi za svrhu obračuna 'odstupanja' što će se poslije objasniti)[31]. Energija dobivena iz virtualnih razmjena u dijelovima vremena (npr. za potrebe obračuna odstupanja) ne mora odgovarati količini energije koju obračunatelj koristi u obračunu razmjene sučeljima s mrežom [npr. kad zbroj energija iz 2.976 'dijelova' sječnja (31 dan, 24 sata, 4 četvrti sata) za obračun odstupanja ne odgovara očitanoj potrošnji na tim sučeljima istog mjeseca za obračun razmjene, a za nastalu razliku ΔE_A postoji poseban obračun koji će se kasnije razjasniti][32]. Subjekt koji obavlja ulogu obračunatelja obično ima i ulogu trgovatelja kojom *ex ante* za svaki dio vremena: kupuje (ILI prodaje) energiju za svoje potrošače (ILI skladišta); ILI prodaje (ILI kupuje) za svoje proizvođače; ILI za njihovu netorazmjenu na sučeljima s mrežom (u pravilu svakodnevno na temelju osvježenih rezultata iz sustava za prognoziranje potrošnje ILI proizvodnje).

'Trgovatelj' je onaj koji *ex ante* trguje energijom s drugim trgovateljima[33] ili za neke ili za svake dijelove vremena (engl. *imbalance settlement period*) (trguje s onima unutar i izvan 'područja', u kojem ili posredno ili izravno odgovara svojem operatoru). Prilikom pregovora o cijeni trgovatelji ne moraju *ex ante* pregovarati o razmjeni energija na sučeljima s mrežom (to nije predmet njihovih interakcija, osim možebitno procjena mogućnosti naplate). Njihovih se pregovora ne tiču niti razmjene procijenjene *ex ante* niti utvrđene *ex post* na sučeljima s mrežom. Kad trgovatelj daje ponude bilo za kupnju bilo za prodaju

[30] ILI pisano velikim slovima je istoznačnica za "i/ili" čime se označava logičko "ili" (I ILI N = I; N ILI I = I; I ILI I = I; N ILI N = N).

[31] Prema ebIX-u 'sučelje s mrežom' je označeno s četiri oznake od kojih jedna određuje pripadnost 'odgovornom za odstupanja', a jedna pripadnost 'obračunatelju na sučelju s mrežom' (*Business Requirements for Upfront Request for Metering Point Characteristics*, str. 6., lipanj 2018., https://mwgstorage1.blob.core.windows.net/public/Ebix/ebIX_Business_Requirements_for_Upfront_request_for_Metering_Point_Characteristics_v3r2B_20180605.pdf). Osim toga, definirana su dva postupka za te dvije oznake na pojedinom 'sučelju s mrežom': promjena 'obračunatelja na sučelju s mrežom' (*Business Requirements for Change of Supplier*, 2018. https://mwgstorage1.blob.core.windows.net/public/Ebix/ebIX%20BRS%20for%20change%20of%20Supplier%20v4r0A%2020200223.pdf) i promjena 'odgovornog za odstupanja' (*Business Requirements for Change of Balance Responsible Party*, 2018., https://mwgstorage1.blob.core.windows.net/public/Ebix/ebIX_Business_Requirements_for_Change_of_Balance_Responsible_Party_v3r2B_20180605.pdf).

[32] Pogledati odsječak 2. u D. Brkić (2015), "Pogled na mogući tijek razvoja obračuna energije uravnoteženja subjektima odgovornim za odstupanje", HRO CIGRÉ, Šibenik, C5-03 i [20]

[33] Kad se trguje na burzi (engl. *power exchange*) ponude 'trgovatelja' koje oni dostavljaju burzi su anonimne.

burzi energije (engl. *electricity exchange*, *power exchange*)[34], burzu ne brinu njegova sučelja s mrežom (ni *ex ante* ni *ex post*, ako ih uopće kao subjekt i ima). Rezultati trgovatelja s "fizičkom isporukom" moraju biti 'uredno'[35] prijavljeni i uvršteni u planove vođenja bilančnog područja ('operatoru tržišta' koji ih dostavlja operatoru, engl. *physical delivery*, *firm contract*). Te planove operator koristi za razne svrhe (npr. procjena mogućnosti održavanja "programa razmjene", opterećenja dalekovoda)[36]. Ako se ne uvrste u te planove, onda im količina energije iz te kupoprodaje neće biti priznata kao input u obračunu odstupanja. Operator može *ex ante*: zabranjivati; ILI ograničavati; ILI određivati planove razmjene (ako to radi u velikoj mjeri sustav prelazi u središnji dispečerski sustav); ILI upravljati razmjenama na sučeljima s mrežom tijekom pogona (npr. zbog preopterećenja dijelova mreže, engl. *congestion*).

Trgovatelji su u pravilu ograničeni količinama kojima mogu trgovati i to podsustavom za osiguranje plaćanja koje *ex ante* daju operatoru (jamstvo financijske odgovornosti za odstupanja[37]), a burzi ako na njoj trguju (jamstvo plaćanja kupljene energije od burze, npr. "polog s garancijama trenutačne naplate" [8]). Trgovatelj može *ex ante* prodati energiju koju prethodno prodaji nije ni od koga kupio, niti koju može sam proizvesti niti netko za njega. Naime, u nekim slučajevima prodaju energiju koju nisu kupili *ex ante*, pa tu energiju kroz

[34] Burza za trgovanje dan unaprijed (engl. *day ahead*) je uloga koja prikuplja ponude (engl. *bid*) 'trgovatelja', omogućava provođenje algoritma koji odabire ponude i određuje cijene u bilančnom području za svaki dio vremena idućeg dana. Nakon toga burza za odabrane ponude kupuje energiju od jedne skupine 'trgovatelja' i prodaje drugim 'trgovateljima' po tim cijenama. Pritom burza štiti anonimnost ponuda tih 'trgovatelja'. Ona javno objavljuje postignute cijene koje su u istom 'dijelu vremena' (u 'bilančnom području') iste sve koji su odabrani (koji su dostavili ponude burzi *ex ante*). Unutardnevna trgovina na burzi razlikuje se od toga jer se trgovanje odvija kontinuirano za neki 'dio vremena' sve do zatvaranja tržišta za dio vremena (engl. *intraday gate closure time*), pa se mogu stalno pojavljivati nove razmjene energija i nove cijene za neki dio vremena.

[35] Istoznačnica za taj pojam je "uravnotežen ugovorni raspored", članak 69. *Pravila organiziranja tržišta električne energije* (*Narodne novine,* broj 121/15., 48/16. i 50/18.) (koja su prestala važiti u studenom 2019.). 'Trgovatelji' iz svojeg bilateralnog ugovora trebaju svaki za sebe *ex ante* prijaviti istu količinu za isti 'dio vremena' 'operatoru tržišta', a ako to ne učine provodi se standardna procedura (npr. spuštanje količine energije na nižu vrijednost).

[36] Prema [2] samo subjekt koji ima ulogu *balance responsible party* ima mogućnost "nominacije" energije na "veleprodajnom tržištu" (*"this is the only role allowing a party to nominate energy on a wholesale level"*). U modelu se omogućuje trgovateljima prijava rezultata trgovanja operatoru tržišta. Ti se rezultati na unaprijed definiran način kao inputi pridružuju algoritmu za izračun odstupanja 'odgovornog za odstupanja'. Iako, trgovatelji s odgovornim za odstupanja mogu imati dogovor prema kojem samo odgovoran za odstupanje "nominira" energiju.

[37] Npr. *"gibljivo finančno kritje"* koje se daje *"Organizatoru trga"* (op. s ulogom *imbalance settlement responsible* [2] umjesto 'operatoru prijenosnog sustava'), člen 142. slovenskih *Pravila za delovanje organiziranega trga z električno energijo* (*Uradni list RS*, št. 98/09, 97/11 in 17/14 – EZ-1) koja su se primjenjivala do 31. prosinca 2015.

odstupanje kupuju *ex post* od operatora po 'cijeni odstupanja'[38] (ili ako su je kupili, a nisu prodali, prodaju je operatoru po 'cijeni odstupanja')[39].

'Odgovoran za odstupanja' subjekt je koji se mora brinuti o sljedećem: eda količine iz kupoprodaje njegovih trgovatelja *ex ante* s jedne strane (s učincima 'pružatelja resursa'), što više odgovaraju s druge strane utvrđenom ostvarenju s pomoću inputa koji mu se pridružuju iz sučelja s mrežom (utvrđenim *ex post* za 'dio vremena': isporuka u mrežu, "preuzimanje" iz mreže). Razlika između te dvije strane odstupanje je koje odgovornom za odstupanje obračunava operator (engl. *imbalance settlement*[40] [2]). Za odstupanja koja određuju i inputi iz tih sučelja s mrežom je taj odgovoran za odstupanja *ex ante* preuzeo financijsku odgovornost. Preciznije, pod odstupanjem se 'bilančne grupe' *j* misli na *ex post* utvrđenu razliku za 'dio vremena'[41] $\Delta E_{\mathrm{ODST},j} = E_{\mathrm{TRG},j} - E_{\mathrm{OST},j}$, i to: između $E_{\mathrm{TRG},j}$ što je ostvareno trgovanje s "fizičkom isporukom" utvrđeno *ex ante* (uz *ex post* uključene količine uslijed možebitnih intervencija operatora 'regulacijskom energijom' i drugim energijama u intervalima dijela vremena[42]) te $E_{\mathrm{OST},j}$ što je ostvarenje razmjena s mrežom utvrđeno *ex post* (isporuke u mrežu ILI "preuzimanja" iz mreže, od čega je dio izmjeren, a dio utvrđen dogovornim načinom, npr. izračunat "pravilima primjene nadomjesnih krivulja opterećenja"[43] ILI nadomještanjem/"krpanjem" nedostajućih podataka iz mjerenja[44], čime se 'apstraktnim sustavom' izlazi na kraj s ograničenjima 'fizičkog sustava'). Kad svi odgovorni za odstupanja uredno vrše svoju dužnost glede odstupanja, onda se u bilančnom području ne pojavljuju prekomjerni viškovi ni manjkovi energije.

---

[38] Od 1. rujna 2016. do 31. prosinca 2019. 'cijene odstupanja' su se određivale *Metodologijom za određivanje cijena za obračun električne energije uravnoteženja* (*Narodne novine*, broj 71/16. i 112/16.).

[39] Trgovatelji koji nisu imali ni potrošače ni proizvođače imali su odstupanja u RH kao 'odgovorni za odstupanja'. Primjeri takvih individualnih odstupanja: 26. 11. 2016. 08:00 do 09:00 0,4 MWh; 23. 11. 2016. odstupanja tijekom petnaest sati od 0,2 do 0,5 MWh; 12. 12. 2016. od 16:00 do 17:00 40 MWh.

[40] *"settlement of the difference between the contracted quantities and the realised quantities of energy products for the Balance Responsible Parties in a Scheduling Area"* [2].

[41] Npr. 2019. je u Njemačkoj 'dio vremena' za koji se računalo odstupanje trajao 15 minuta, a u Republici Hrvatskoj 60 minuta, dok su hrvatski i njemački operatori odgovarali drugim operatorima za svoja bilančna područja za 'dio vremena' koji je iznosio jedan sat (koji je, dakle, u Njemačkoj sadržavao četiri 'dijela' za izračun odstupanja).

[42] Posljednja dva člana u matematičkom izrazu članka 19. stavka 1. *Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava* (HOPS, 5/2016. i 3/2017.) (koja su se primjenjivala do 31. prosinca 2019.) predstavljala su input kod izračuna 'odstupanja' uslijed aktivirane 'regulacijske energije'.

[43] Npr. od 1. travnja 2011. do uključivo 2016. *Pravilima primjene nadomjesnih krivulja opterećenja* (HEP-ODS, 2011.), uz primjenu "faktora korekcije *k*" iz Izmjena i dopuna *Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava* (*Narodne novine,* broj 135/11.) i uz primjenu *Pravila o mjernim podacima* (HEP-ODS, 2008.).

[44] Npr. pogledati algoritam validacije i nadomještanja mjernih podataka u VND (2006), *VDN-Richtlinie Metering Code 2006*, https://www.swneumarkt.de/fileadmin/user_upload/MeteringCode_2006.pdf, pristup 3. 3. 2020., str. 47-50.

Elektroenergetski sustav sastoji se od 'bilančnih područja' (engl. *LFC area*, *bidding zone*, *scheduling area* [2], npr. to je teritorij Republike Hrvatske), a bilančno područje sadrži 'bilančne grupe' (engl. *balance group*[45] [2]). S tim se dvama konceptima postiže pridruživanje odgovornosti i preduvjeti za uredan rad sustava. Unutar bilančnog područja u dijelu vremena jednaka je: i cijena odstupanja[46] (u *imbalance area*) i trgovačka cijena na burzi dan unaprijed (engl. *day ahead electricity exchange*) (to je engl. *zonal pricing*). Za kupoprodaju s "fizičkom isporukom" u tom 'području' (to je engl. *bidding zone* [2] i engl. *zonal pricing*) u pravilu nema ograničenja trgovanja (tu se mogu pojaviti interna "zagušenja" nakon trgovanja, engl. *intra-zonal congestion*). Kod razmjena energija s drugim bilančnim područjima operatori za trgovatelje, prije ostvarenja trgovanja između 'područja', utvrđuju ograničenje na granici sa svakim područjem za svaki smjer posebno (npr. s metodom engl. *flow based capacity caluclation method* ILI s metodom engl. *available transmission capacity*, ATC)[47]. To ograničenje se zove prekogranični prijenosni kapacitet, a ima svrhu prevenirati probleme u pogonu. Veća potražnja za kapacitetom u odnosu na ponudu je zagušenje (engl. *inter zonal congestion*). Bilančna grupa unaprijed je definiran algoritam korištenja pridruženih joj inputa (iz sučelja s mrežom, iz protrgovanih količina trgovatelja i 'pružatelja resursa', debele smeđe crte, sl. 4.) za izračun odstupanja 'odgovornog za odstupanja' (koji je odgovaran 'operatoru' bilančnog područja)[48]. U bilančnu grupu uvire podskup inputa bilančnog područja, jer u pravilu postoji više parova bilančnih grupa i odgovornih za odstupanja u istom bilančnom području. Jedan operator može voditi više bilančnih područja[49] što se u razmatranju zanemaruje za 'dio vremena'.

Određivanje granica (engl. *delineation*) 'bilančnih područja' (engl. *bidding zone*) predmet je optimizacije (engl. *bidding zone review process*, k smanjenju zagušenja unutar zona), a granice bilančnih područja rijetko se mijenjaju[50]. Tr-

[45] *"an energy account under responsibility of a Balance Responsible Party used to determine imbalance considering predefined inputs and outputs within a specific Scheduling Area"*.

[46] Tu se misli na isti način kojim se iz inputa određuju 'cijene odstupanja', prema kojem će subjekti u istim stanjima u istom 'dijelu vremena' imati 'cijene' jednakog iznosa. Model može biti takav da sva 'odstupanja' u istom 'dijelu vremena' u istom 'bilančnom području' imaju cijenu jednakog iznosa (engl. *single imbalance price*).

[47] Mogućnost je 'trgovateljima' uskratiti izravnu bilateralnu trgovinu s "fizičkom isporukom" između bilančnih područja, te im to trgovanje omogućiti posredno putem burzi.

[48] Naziv "bilančna grupa" se u hrvatskom jeziku pridruživao pojmu koji je označavao skup subjekata ('obračunatelji na sučelju s mrežom', 'trgovatelji', 'proizvođači') za čiji je zbroj individualnih "odstupanja" financijski ispaštao 'odgovoran za odstupanja' ("voditelj bilančne grupe").

[49] Pogledati dokument https://epgprojesi.com/wp-content/uploads/2019/01/GME-Italian-Electricity-Market.pdf, pristup 27. 2. 2020. talijanske burze *Gestore Mercati Energetici* (GME) na str. 17-18. Za talijanski slučaj u [14] piše *"LFC area, which includes several bidding zones: This is the case of LFC block/area IT"*.

[50] Npr. za razdvajanje austrijsko-njemačko-luksemburškog 'bilančnog područja' pogledati tehnička obrazloženja u dokumentu, ACER (2016), *Technical Justification document for the inclusion of the border between Germany/Luxembourg and Austria in the determination of CCRs*, https://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/ANNEXES_CCR_DECISION/Annex%20IV.pdf, pristup 19. 03. 2020.

govačke cijene u alternativnoj paradigmi (engl. *nodal pricing*[51]) nisu iste u unaprijed definiranom 'području' (skupu svih čvorova mreže u njemu), nego se ovisno o "zagušenjima" razlikuju po grupama čvorova mreže (engl. *hubs*, ILI općenitije u pojedinim čvorovima). Operator tu u pravilu određuje razmjene na čvorovima temeljem troškova koje mu dostavljaju proizvođači (što se tiče ponuda za kupnju na čvoru možebitno i potrošači), ograničenja u mreži i troškova gubitaka. U paradigmi s *nodal pricing* ("čvorišni pristup") ne očekuju se (veća) "zagušenja" nakon "trgovanja", a očekuje se složenija izvedba sustava[52] ("multidimenzionalnost"), jer se uz tržišne kriterije kod izračuna cijena cjelovitije uvažavaju tehnički kriteriji (bez zahtjeva za istom cijenom u širem području, veća zrnatost, engl. *granularity*). U radu se podrazumijeva *zonal pricing*. Čvorišni pristup, za razliku od zonalnog pristupa, po definiciji ne razlikuje interna zagušenje i zagušenja između zona.

Pretpostavlja se "samostalni dispečerski model" (engl. *self dispatch model*) umjesto "središnjeg dispečerskog modela" (engl. *central dispatch model*)[53]. U središnjem modelu operator trajno i značajno umanjuje samostalnost u odlučivanju nekim proizvođačima i potrošačima na sučeljima s mrežom (npr. uslijed trajnih predmnijevanih tehničkih ograničenja ako se sloboda u određivanju razmjena s mrežom prepusti slobodi dionika). Time operator umanjuje samostalnost 'odgovornih za odstupanja'. Samostalnost im je umanjena u mjeri u kojoj operator (u svojem bilančnom području) nalaže zahtijevanu razmjenu energija na sučeljima s mrežom nekih proizvođača i nekih potrošača (npr. prethodno trgovanju ILI nakon što je trgovanje već izvršeno, npr. nakon tržišta dan unaprijed, str. 26. u [15]). U središnjem modelu operator: prognozira cjelokupnu potrošnju i proizvodnju; procjenjuje količine iz samostalnih 'sučelja s mrežom';

[51] U Europi se određuje 'trgovačka cijena' za unaprijed zadana 'bilančna područja' (u Europi je to *zonal pricing*), a to nije slučaj kod četiriju tržišta u SAD-u (PJM, Texas, Midwest ISO, California) gdje se određuju cijene na čvorištima (gdje je to *nodal pricing*), pogledati: [17], International Renewable Energy Agency (2019), *Innovation landscape brief: Increasing space granularity in electricity markets*, Abu Dhabi, dostupno na https://www.irena.org/, pristup 6. 3. 2020. i *Nodal and Zonal pricing* autora Andersa Plejdrupa Houmøllera na http://www.houmollerconsulting.dk, pristup 6. 3. 2020. U SAD-u su svi počeli sa zonalnim pristupom, a čvorišni pristup za koji je temelje postavio Schwippe F. C. 1988. u knjizi *Spot Pricing of Electricity* je uveden u SAD-u 1998. u PJM-u, a prije toga na Novom Zelandu 1997. Nakon uspješne implementacije čvorišnog pristupa Federal Energy Regulatory Commision (FERC) ga je učinio standardnim u SAD-u, Antonopoulos, G. Vitiello, S. Fulli, G. Masera, M. (2020), *Nodal pricing in the European Internal Electricity Market*, EUR 30155, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-17571-1, doi:10.2760/41018, JRC11997, https://publications.jrc.ec.europa.eu, pristup 20. 10. 2020.

[52] Za posljedice pojave "zagušanja" u zonalnom pristupu pogledati analizu i stavove belgijskog energetskog regulatora, CREG (2019), *Study on the best forecast of remedial actions to mitigate market distortion*, (F)1987, https://www.creg.be/sites/default/files/assets/Publications/Studies/F1987EN.pdf, pristup 27. 10. 2020. Tu se koriste pojmovi: *curative redispatching*, *preventive redispatching*, *structural congestion* i *infra-marginal rent*.

[53] U [17] se europski modeli tržišta električne energije nazivaju *decentralised electricity markets* (do 2001. su Engleska i Wales, a do 2018. je Irska imala *centralised market*), a modeli u SAD-u s *nodal pricing* ujedno su i *centralised electricity markets* (PJM, Texas, MISO, California).

i brine se o pokrivanju ostatka energije u svakom 'dijelu vremena'[54]. Operatoru se u središnjem modelu dostavljaju troškovi nesamostalnih sučelja kako bi operator odredio razmjene nesamostalnim sučeljima tehno-ekonomskom optimizacijom (npr. u Poljskoj se postupak zove *day ahead security constrained unit commitment and economic dispatch*[54]). Kod postojanja samostalnih i nesamostalnih sučelja očituje se primjena načela sustavskog mišljenja ("multidimenzionalnosti") prema kojem nije pitanje treba li sustav centralizirati ili ne, nego odrediti što treba centralizirati (nesamostalna sučelja s mrežom) a što ne (samostalna sučelja s mrežom) [1]. Pretpostavi li se čvorišni pristup (što nije slučaj u radu), tad operator kod traženja optimuma primjenjuje središnji model za određivanje razmjena sučelja i cijena na čvorištima (kojih može biti na stotine / tisuće diljem mreže, a uslijed *uplift payments* i više cijena na istom čvoru [17]), gdje koristi inpute koje dobiva od sučelja (npr. u SAD-u proizvođači uglavnom dostavljaju *start-up costs*, *no-load costs* i *marginal costs* [17]), podatke o mreži i vlastite procjene, iako se u čvorišnom pristupu može omogućiti sučeljima s mrežom da samostalno određuju razmjene[55]. Kod čvorišnog pristupa mora se odrediti okvir za preslikavanje dobivenih čvorišnih cijena (engl. *locational marginal price*) na 'obračun razmjena' potrošačima (djelomično obrađeno u [17]).

Zadaća je operatora prijenosnog sustava (među ostalim) u zonalnom pristupu osiguravanje približnog ispunjenja zacrtane razmjene radne snage (ili energije) u 'dijelovima vremena'[56] (koji su slijedni i nepreklapajući, *imbalance*

[54] *"sum of schedules of generating units that are not centrally dispatched, as provided by generators"* i *"sum of available generating capacities of centrally dispatched units as declared by generators"*, citati iz poljskog slučaja središnjeg dispečerskog modela opisivanog na str. 46-49, ACER (2019), *ACER decision on Core CCM: Anney I Day-ahead capacity calculation methodology of the Core capacity calculation region*, https://acer.europa.eu, pristup 9. 3. 2020. i na str. 35-40 dokumenta na https://consultations.entsoe.eu/markets/core-da-ccm/user_uploads/explanatory-note-for-core-da-fb-cc-public-consultation_fv.pdf, pristup 9. 3. 2020. Osim Poljske, Italija i Grčka imaju središnji dispečerski sustav, str. 55. i 81. *ENTSO-E Balancing Report 2020*, https://eepublicdownloads.azureedge.net/clean-documents/Publications/Market%20Committee%20publications/ENTSO-E_Balancing_Report_2020.pdf, pristup 1. 7. 2020.

[55] U [17] se navodi da Novi Zeland primjenjuje *nodal pricing* i *decentralised day ahead market*. U već navedenom radu Antonopoulos, G. Vitiello, S. Fulli, G. Masera, M. (2020), *Nodal pricing in the European Internal Electricity Market* navodi se kako je u čvorišnom pristupu moguć slučaj gdje proizvođači samostalno određuju svoju proizvodnju (*self-scheduling of resources*) bez javljanja operatoru svojih troškova na temelju kojih bi on odredio proizvodnju, autori se pozivaju na rad Petera Cramtona (2017), "Electricity Market Design", Oxford Review of Economic Policy.

[56] 'Dijelovi vremena' označavaju nepreklapajuće i slijedne vremenske intervale koji počinju u 00:00:00 u dogovorenom trajanju (npr. 15 minuta, < 00:00:00, 00:15:00], < 00:15:00, 00:30:00], < 00:30:00, 00:45:00] itd.). Za te se 'dijelove' mjere ILI računaju ostvarenja razmjena energija na 'sučeljima s mrežom'. Potom se pridružuju 'odgovornom za odstupanja' koji za te intervale *ex ante* brine eda ostvarenje odgovara količinama trgovanja (s "fizičkom isporukom") u njima. Za 'dijelove vremena' 'operator' idejno smanjuje 'neravnotežu' sustava k nuli i za nju odgovara drugim 'operatorima'. Korišteni sinonim za taj pojam u [10] je "stvarno vrijeme" (engl. *real time*), koji je ovdje izbjegnut jer asocira na analogno vrijeme, a vrijeme je ovdje diskretno.

settlement period), njegova bilančnog područja s njemu susjednim bilančnim područjima. To operator osigurava intervencijama u razmjene sučelja s mrežom gdje za to postoje tehničke mogućnosti. Osim toga, brine se o sigurnosti mreže otklanjanjem bilo predmnijevanih problema (npr. *preventive redispatching*) bilo trenutačnih problema u pogonu (npr. *curative redispatching*). Funkcioniranje međudjelujućih 'područja' ovisi o suradnji operatora i ispunjavanju njihovih obveza (npr. skupni doprinos regulaciji zajedničke frekvencije). 'Operatori' imaju definirane procedure za izradu plana razmjena svih elektroenergetski povezanih područja (od bilančnog područja pa šire) uz provjeru mogućnosti izvedbe[57], što se u radu ne obrađuje. Uloga operatora u radu se pobliže definira kroz njezine interakcije s drugim subjektima (ulogama).

'Pružatelj resursa' je i onaj subjekt koji ima tehničke mogućnosti (jedinice za proizvodnju ILI trošenje ILI skladištenje energije) koje je provjerio[58] operator (iza sučelja s mrežom, engl. *reserve resource* [2]), kojima može po zahtjevu operatora u intervalima *i* 'dijela vremena' mijenjati djelatnu snagu na sučeljima s mrežom. Radi li se o mijenjanju djelatne snage (bilo povećanjem bilo smanjenjem proizvodnje ILI potrošnje ILI skladištenjem) na sučelju s mrežom za potrebe postizanja zacrtane razmjene s drugim 'područjima' (i za regulaciju frekvencije), energija nastala tim postupkom naziva se 'regulacijska energija'[59] $\Delta E_{\mathrm{f,re}}$. Spremnost za proizvodnju 'regulacijske energije' koju jamči pružatelj resursa *ex ante* operatoru (potencijal) kvantificira se kroz dimenzioniranje i rezerviranje tipova 'rezervi snage' P_{rez} (operator za nju plaća kn/MW po ostvarenju spremnosti u 'dijelu vremena', a i za 'regulacijsku energiju' kn/MWh). Uspostavlja se u registrima podataka veza između sučeljâ s mrežom i pružateljâ resursâ[60]. To se čini s ciljem utvrđivanja količine promjene energije (ΔE_{f}, engl. *flexibility*) (mora biti traženog profila snage), a u svrhu obračunâ za 'dio vremena'[61]. Nedobrovoljno pružanje 'regulacijske energije' za vođenje

[57] Npr. 'operatori' iz jedanaest država s Republikom Hrvatskom surađuju u okviru *TSCNET Services* u koordiniranim analizama sigurnosti sustava blisko 'dijelu vremena' za dio vremena, https://www.tscnet.eu/about/, pristup 19. 03. 2020.

[58] Dokumenti za taj postupak ("verifikacijski postupak") bili su dostupni na https://www.hops.hr/verifikacijski-postupak, pristup 4. 12. 2019. U [9] je to podskup procedure *Get pre-qualification from System Operator* na str. 21.

[59] Naziv "energija uravnoteženja" se u hrvatskom govornom području u drugom desetljeću XXI. stoljeća tijekom razvoja terminologije pridruživao različitim pojmovima, npr. u službenom nazivlju prema *Pravilima o uravnoteženju elektroenergetskog sustava* (*HOPS*, 5/2016 i 3/2017) (koja su se primjenjivala do 31. prosinca 2019.) označavao je i 'regulacijsku energiju' i druge energije za vođenje 'neravnoteže' sustava k nuli.

[60] Dokument eBIx-a [9] sadrži obradu ovog pitanja.

[61] Kad se ta energija $\Delta E_{\mathrm{f,re}}$ koristi za vođenje 'neravnoteža' k nuli, kao posljedice njezine aktivacije razlikuju se: energija koja se koristi za obračune između 'operatora' (engl. *TSO-TSO settlement*), energija koja se koristi u obračunu između 'operatora' i 'pružatelja resursa' (engl. *TSO-BSP settlement*) i energija koja se koristi za izračun 'odstupanja', npr. "(...) *the TSO-TSO settlement* (op. obračun između operatora) *for the intended exchange of a FRR* (...) *will be based on the corrected demand* (...) *while the aFRR TSO-BSP settlement* (op. obračun između operatora i pružatelja resursa) (...) *will be based on locally accepted volume*." str. 38. [16].

'neravnoteža' k nuli (bilo kod isporuke u mrežu bilo kod preuzimanja iz mreže) poseban je slučaj stvaranja 'regulacijske energije' (engl. *curtailement*). Od te energije treba razlikovati nedobrovoljne promjene energije ΔE_{f} u druge operatorove svrhe (isto *curtailement*)[62].

Osim za vođenje neravnoteža sustava (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta \mathrm{E}_{\mathrm{bp},n_t}$) k nuli regulacijskom energijom ($\Delta E_{\mathrm{f,re}}$), pružatelj resursa mijenja fizičku razmjenu i u druge svrhe. Tad ta energija ne spada pod pojam 'regulacijska energija' ($\Delta E_{\mathrm{f,ds}}$ npr. za otklanjanje preopterećenja dalekovoda, engl. *congestion management*; interno anuliranje odstupanja i interna optimizacija sučelja s mrežom polunezavisna od operatora; druge svrhe svrstane u tri kategorije su u [9] na str. 5. prema USEF[63]-u). Trgovanje i obračun promjenama energija ne mora biti ograničen na odnos pružatelj resursa i operator, nego može postojati između pružatelja resursa i drugih subjekata (npr. između trgovatelja s ΔE_{f} na tržištu *ex ante*).

Količina 'regulacijske energije' $\Delta E_{\mathrm{f,re}}$ za obračun ne određuje se nužno iz mjerenja na sučelju s mrežom, nego gdjegod iz mjerenja unutar objekta priključenog na sučelje s mrežom (npr. jedinice za proizvodnju[64], skladištenje, potrošnju). Stanje može zahtijevati približno određivanje isporučene regulacijske energije za obračune (npr. kad ju pružaju brojni manji potrošači pa se određuje prema njihovoj očekivanoj potrošnji bez aktivacije: npr. po principu "što bi bilo kad bi bilo", engl. *baseline*[65]). Regulacijska energija može se pružiti iz 'rezerve snage'[66] koju operator nije rezervirao. Regulacijsku energiju ne treba brkati s

[62] Npr. u Njemačkoj je količina prisilno ograničene energije u 2017. bila 0,9 TWh na mreži prijenosa (za uzrok u prijenosnoj mreži) i 4,6 TWh na razdjelnoj mreži (od toga 0,6 TWh za uzrok u razdjelnoj mreži) (*"network levels of curtailments and cause of feed-in management measures in 2017"*), a od toga se 5,3 TWh odnosilo na vjetroelektrane koje su proizvele 103,7 TWh, Bundesnetzagentur (2018), *Report Monitoring report 2018*, pristup https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/BNetzA/PressSection/ReportsPublications/2019/MonitoringReport2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1, pristup 17. 01. 2020. Prisilno ograničenje razmjene na jednom čvoru mreže i anuliranje k bilanci na drugom čvoru mreže za jednak iznos moglo bi se zvati preraspodjelom razmjena ("redispečing"), što treba razlikovati od slučaja kad se prisilno mijenja proizvodnja zbog neravnoteže područja.

[63] *Universal Smart Energy Framework*, YouTube, *USEF: the Universal Smart Energy Framework*.

[64] Npr. u hidroelektrani HE Zakučac 'rezerva snage' pratila se na razini generatora {*"In this process the Flexibility Service Provider verifies and prepares (all) the Resource(s)* (op. generator HE Zakučac) *at the Accounting Point* (op. 'sučelje s mrežom')*, that are involved in the intended flexibility service(s)"*, str. 20. [9]}.

[65] Ovakav je pristup primijenjen u hrvatskoj praksi za DS Smith Belišće Croatia d.o.o. u 2018., a u konkretnom je slučaju nazvan "mjerenje prije/mjerenje poslije", izvor: Andrić Antun, Tadin Tonči, Sipl Dalibor, Jurčević Josipa (2018), "Pilot projekt upravljanja potrošnjom − iskustva i daljnji razvoj", HRO CIGRÉ 2018. Rovinj, 2-15. U [9] na str. 9. je za to bitan naziv *reference line* koji je čini se istoznačnica za *baseline* (zanemarujući način njihova određivanja).

[66] Tu se ne misli na pokretanje proizvodne jedinice iz izvanpogonskog stanja bez prisutnosti mrežnog napona u stanje spremnosti za sinkronizaciju ("crni start"), niti na sigurno podnošenje opterećenja između tehničkog minimuma i trajne snage u izdvojenom dijelu elektroenergetskog sustava ("otočni pogon").

ostalim energijama koje se razmjenjuju između sustava za vođenje 'neravnoteža sustava' k nuli $\Delta E_{\text{ost},i}$, a koje ne podrazumijevaju promjene proizvodnje ILI potrošnje u sustavima (npr. kod "razmjena neravnoteža sustava" u dijelu vremena, engl. *imbalance netting cooperation*). Oskudno korištenje skladišta električne energije u sustavu uz potrebe za skladištenjem (npr. za ΔE_{f}), zahtijevaju dizajn koji bi iskoristio prisutni potencijal skladišta (tu treba razlikovati skladišta s ponovnim vraćanjem energije u mrežu, npr. baterije, od skladišta koja ne podrazumijevaju nužno tu mogućnost, npr. *power to gas*).

Nedovoljna briga 'odgovornog za odstupanja' za 'odstupanja', dovodi ili do financijskih gubitaka u poslovanju ili do smanjenja novčane dobiti dionika[67]. Može dovesti i do nepovoljnih učinaka po neravnotežu područja za operatora[68]. Neodgovarajuće trenutačno stanje proizvodnje i potrošnje u području gdje vlada ista frekvencija, dovodi do trenutačnih "odstupanja frekvencija" od nazivne (npr. što može dovesti do razdvajanja sustava[69], kašnjenja satova[70], uništenja generatora [17] i sl.).

2.2. Pogreške, odstupanja i neravnoteže

'Odgovoran za odstupanja' prilikom osmišljenja svoje djelatnosti organizira za svaki 'dio vremena' prognoziranje (i planiranje) potrošnje i proizvodnje, naprema količinama iz trgovanja. Uz to, on djelomično upravlja isporukom u mrežu (npr. termoelektrane) i preuzimanjem iz mreže (npr. pumpne hidroelektrane) unutar objekata čije su instalacije priključene na sučelja s mrežom (čije su mu razmjene inputi koji se koriste u izračunu odstupanja). Upravljanje i planiranje nije potpuno autonomno jer gdjegod ovisi o odobrenju operatora (npr. za veće elektrane, za neki portfelj sučelja s mrežom). Ne ulazi se dalje u

[67] U [2] se uz financijsku odgovornost navodi i pravna odgovornost (engl. *brought to rights, legally and financially*).

[68] Razdiobe apsolutnih i relativnih 'neravnoteža' sustava u 2011. za Republiku Sloveniju, Bosnu i Hercegovinu i Republiku Hrvatsku {čija su 'bilančna područja' zajedno u "kontrolnom bloku" (*LFC block* [2])} grafički su prikazane na str. 41. godišnjeg izvješća slovenskog operatora prijenosnog sustava ELES za 2011., dostupno na: https://www.eles.si/Portals/EN/Publications/ELES-LP-2011-ANG.pdf, pristup 18. 12. 2019.

[69] Npr. 28. 9. 2003. *blackout* u Italiji; 4. 11. 2006. razdvajanje (engl. *network split*) u UCTE-u (Europa); 14. 1. i 8. 5. 2012. razdvajanje u Turskoj, 30. 3. i 31. 3. 2015. razdvajanje u Turskoj s *blackoutom* u Turskoj 31. 3. 2015. [14], razdvajanje europske mreže UCPTE dogodilo se 1991. na I. zonu i na II. zonu, što je trajalo do 2004. Razdvajanje se dogodilo u Europi 2021. [19].

[70] Npr. neravnoteže LFC bloka u kojem su bili Srbija, Kosovo i Crna Gora od sredine siječnja 2018. bile su uzrok "odstupanja frekvencije" "kontinentalne Europe" što je dovelo do kašnjenja satova od šest minuta, manjak energije objavljen 6. ožujka 2018. bio je 113 GWh, izvor: https://www.entsoe.eu/news/2018/03/06/press-release-continuing-frequency-deviation-in-the-continental-european-power-system-originating-in-serbia-kosovo-political-solution-urgently-needed-in-addition-to-technical/, pristup 4. 12. 2018. U sinkronom području »kontinentalne Europe« od 1995. do 2013. stalnim se trendom pogoršavala kvaliteta frekvencije po broju sati izvan granica 49,9 i 50,1 Hz, pogoršanje u 2013. s obzirom na 1995. bilo je 10,4 puta [10]. To se povezuje s integracijom sunčanih i vjetroelektrana koja je smanjivala tromost elektroenergetskog sustava na promjene frekvencije.

unutarnju organizaciju subjekata koji posredno prouzročuju ‘odstupanja’ za koja je ispred operatora neki subjekt ‘odgovoran za odstupanja’. Ne ulazi se u mogućnosti tehnoloških procesa u proizvodnji električne energije (npr. tehnički minimum, trajanje ulaska u pogon) ni u utjecaj okoline na mogućnosti proizvodnje električne energije (nužnost proizvodnje hidroelektrane eda bi se izbjegla poplava, uskraćenje rada termoelektrani zbog temperature rijeke, engl. *must run generation*). ‘Pogreške’ u prognoziranju (prijedlog za engleski naziv: *error*, npr. u primjeni *mean absolute error*) treba, u istom dijelu vremena za istog odgovornog za odstupanja, razlikovati od ‘odstupanja’ (prijedlog za engleski naziv: *deviation*).

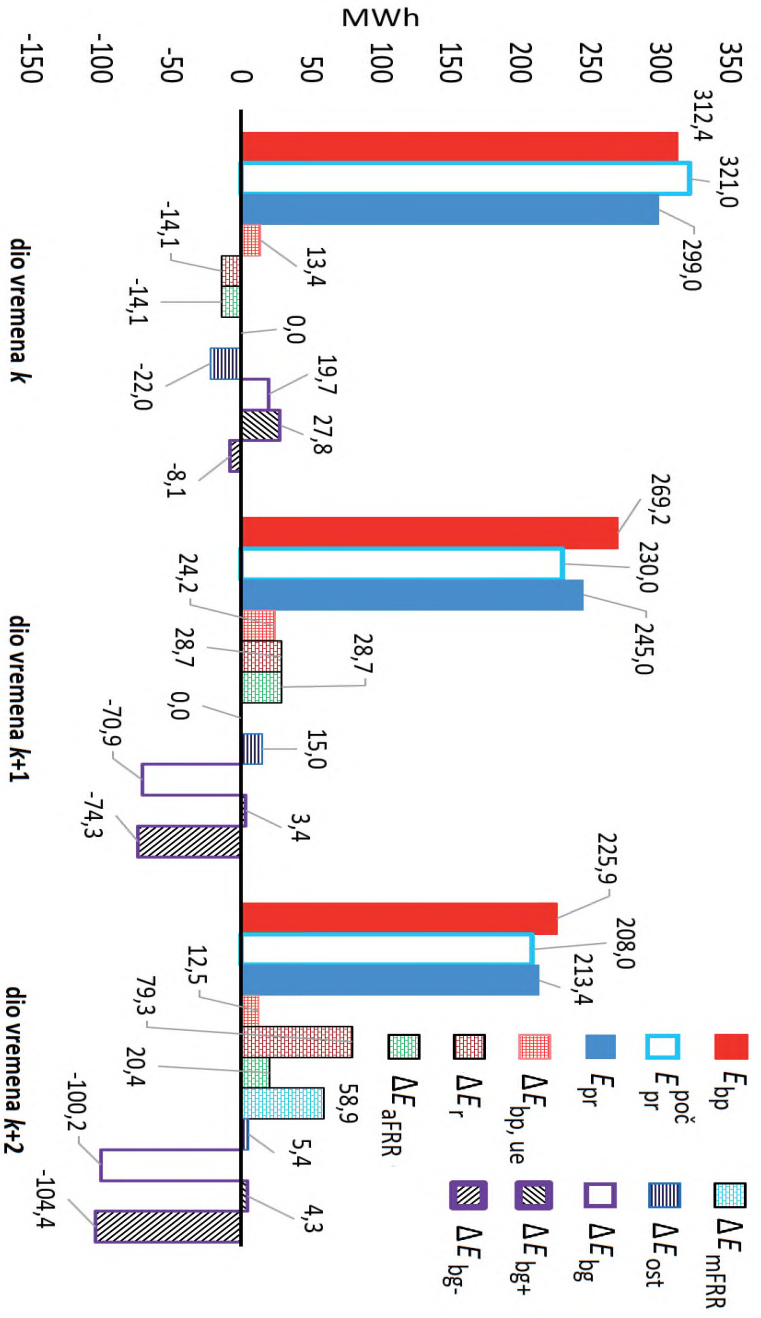
‘Neravnotežu’ $\Delta E_{\mathrm{bp,ue}}$ (prijedlog za engleski naziv: *imbalance*[71]) prouzročuje zbroj individualnih ‘odstupanja’ ΔE_{bg}. Pritom treba razlikovati: zbroj svih ‘odstupanja’ $\Delta E_{\mathrm{ODST},j}$ svake j-te od n_{bg} bilančnih grupa za ‘dio vremena’ $\Delta E_{\mathrm{bg}} = \sum_{j=1}^{n_{\mathrm{bg}}} \Delta E_{\mathrm{ODST},j}$; ‘neravnotežu' srednje snage intervala i (trajanja Δt) u ‘dijelu vremena’ $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$; ‘neravnotežu’ energije od prvog intervala $i = 1$ ‘dijela vremena’ do nekog intervala $i = n_{\mathrm{t}}$ u tom istom ‘dijelu vremena’ $\Delta E_{\mathrm{bp},n_{\mathrm{t}}} = \sum_{i=1}^{n_{\mathrm{t}}} \Delta P_{\mathrm{ACE},i} \cdot \Delta t$; ‘neravnotežu’ energije od $i = 1$ do posljednjeg intervala ‘dijela vremena’ $i = n_{\mathrm{uk}}$, koja se koristi u obračunu između operatora za ‘dio vremena’ $\Delta E_{\mathrm{bp,ue}}$ (te su tri neravnoteže prikazane na slici 6.)[72]. Pritom se odgovornost za ‘odstupanje’ odnosi na energiju za cijeli ‘dio vremena’, a ne na snage koje stvaraju ‘odstupanje’, pa u ‘dijelu vremena’ mogu postojati ‘neravnoteže’ u snazi $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ iako je energije odstupanja ΔE_{bg} jednaka nuli.

Virtualna ‘pseudoneravnoteža’ ($\Delta E_{\mathrm{ACE\ OL}}$, engl. *area control error open loop*) dobivena anuliranjem ‘neravnoteže' ($\Delta E_{\mathrm{bp,ue}}$) s količinom energija za vođenje ‘neravnoteže’ k nuli (ΔE_{r}) je, za ‘dio vremena’ (ako nema manjkavosti u dizajnu ni velikih odstupanja frekvencije), približno jednaka zbroju ‘odstupanjâ’ ‘odgovornih za odstupanja’ u ‘području’ ‘operatora’, $\Delta E_{\mathrm{ACE\ OL}} = \sum_{i=1}^{n_{\mathrm{uk}}} \Delta P_{\mathrm{ACE\ OL},i} = \Delta E_{\mathrm{bp,ue}} - \Delta E_{\mathrm{r}} \approx \Delta E_{\mathrm{bg}}$[73]. Njezinu energiju treba razlikovati od njezina profila snage $\Delta P_{\mathrm{ACE\ OL},i} = \Delta P_{\mathrm{ACE},i} - \Delta P_{\mathrm{f,re},i} - \Delta P_{\mathrm{ost},i}$ u intervalima i ‘dijela vremena’. Tu je $\Delta P_{\mathrm{f,re},i}$ profil snage ‘regulacijske eneergije’ [čiji se profil iz zahtjeva (engl. *setpoint*) bilježi, a njezin odziv se mjeri], a $\Delta P_{\mathrm{ost},i}$ ostalih energija za vođenje neravnoteže k nuli ($\Delta P_{\mathrm{r},i} = \Delta P_{\mathrm{f,re},i} + \Delta P_{\mathrm{ost},i}$). Slika 3. ilustrira

[71] Nazivi *error*, *deviation* i *imbalance* ne koriste se u tom značenju u [2], npr. riječ *imbalance* se u nazivima iz [2] odnosi na ‘odstupanja’ (engl. *imbalance settlement responsible*), a riječ *deviation* na ‘neravnotežu’ $\Delta E_{\mathrm{bp,ue}}$ (engl. *compensation of unintentional deviation*), dok se riječ *error* inače koristi za ‘neravnotežu’ $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ (engl. *area control error*).

[72] U [3] se u izričaju za ‘odstupanje’ uporabio izraz *“deviation (the “imbalance”)”*, dakle dva naziva (*deviation*, *“imbalance”*) od kojih su autori jedan stavili u navodnike; za ‘neravnotežu’ snage u intervalu i dijela vremena koristi se naziv *system imbalance* kao i naziv ACE.

[73] Zbroj neto odstupanja $\Delta E_{\mathrm{bg}} = \sum_{j=1}^{n_{\mathrm{bg}}} \Delta P_{\mathrm{bg},j}$ i ukupno upotrijebljene energije od strane HOPS-a za vođenje neravnoteže k nuli ΔE_{r}, bio je jednak za dio vremena neravnoteži $\Delta E_{\mathrm{bg,ue}}$ ($\Delta E_{\mathrm{bp,ue}} = \Delta E_{\mathrm{bg}} + \Delta E_{\mathrm{r}}$), izvor HOPS (2019), https://www.hops.hr/obavijesti/javno-savjetovanje-veza-no-uz-prijedlog-pravila-o-uravnotezenju-elektroenergetskog-sustava, pristup 21. 11. 2019.



Sl. 3: Vrijednosti za tri dijela vremena dana 1. siječnja 2020. za RH (ΔE_{bg+} zbroj pozitivnih odstupanja bilančnih grupa, ΔE_{bg} zbroj negativnih odstupanja bilančnih grupa, ΔE_{aFRR} i ΔE_{mFRR} su regulacijske energije iz procesa aFRP i mFRP) – vrijednosti idu redoslijedom u svim dijelovima vremena kao što je označeno za dio vremena *k*

neke od ovih vrijednosti za tri dijela vremena ($k = 1, 2$ i 3).

2.3. Cijene

Koriste se sljedeći nazivi za cijene: 'potrošačka cijena', 'proizvođačka cijena', 'proizvodna cijena' (ona koja sadrži varijabilne troškove OPEX i investicijske troškove CAPEX elektrane), 'trgovačka cijena' (koja se za 'dio vremena' razlikuje kroz tijek vremena, 'bilančna područja' i mjesta trgovanja; tijek vremena: npr. *forward market*, *day ahead*, *intraday*, mjesta: npr. bilateralno, na burzi), 'cijene regulacijskih energija' (te se cijene razlikuju u istom 'bilančnom području' u istom 'dijelu vremena' ovisno o tipu postupka koji aktivira energiju, dok se ovisno o dizajnu u istom 'bilančnom području' u istom 'dijelu vremena' u istom postupku mogu razlikovati: u obračunu između operatora; od cijena u obračunu između 'operatora' i 'pružatelja resursa'[74]), 'cijena odstupanja' (koja može ovisno o dizajnu biti ili jednaka za sva 'odstupanja' ili nejednaka za 'odstupanja' u istom 'bilančnom području' u istom 'dijelu vremena' ili složaj tih dvaju pristupa ovisno o stanju sustava). Postoji još cijena.

'Potrošačka cijena' ona je koju potrošač plaća 'obračunatelju' za "preuzetu" energiju iz sučelja s mrežom (uz sastavnice za energiju sadrži sve druge poreze i naknade). 'Proizvođačka cijena' ona je koju obračunatelj plaća proizvođaču za isporučenu energiju u mrežu iz sučelja s mrežom. Tu je riječ o *ex post* 'obračunu razmjena'. Ne ulazi se u troškove koje ima proizvođač ('proizvodna cijena').

'Trgovačka cijena' ona je kojom se trguje na burzi (engl. *power exchange*) ILI bilateralno (engl. *over the counter*, OTC). To je ona cijena čije količine energije podliježu odgovornosti za odstupanja (energija koja se prijavljuje 'operatoru tržišta', uz nju idu ostale količine koje su inputi za izračun odstupanja). 'Cijena regulacijske energije' cijena je koja se ili plaća ili je plaća 'pružatelj resursa' za energiju ostvarenu iz 'rezerve snage' za 'dio vremena', a koja se kod njezine razmjene među područjima obračunava i između operatora[75]. 'Cijena odstupanja' ona je cijena po kojoj 'odgovorni za odstupanja' ili plaćaju operatoru ili im plaća operator za 'odstupanje' za neki dio vremena (operator prijenosnog sustavatu ima ulogu "*imbalance settlement responsible*" [2]).

[74] Npr. "[d]*ue to dynamic effects of the controllers and the aFRR delivery of locally accepted bids not selected by* [*activation optimisation function*] *(...) might either show higher price than the cross border marginal price specified by* [*activation optimisation function*](...)", str. 35. [16] ILI zbog lokalnih aktivacija nestandardnih proizvoda po volji 'operatora' koje nisu posljedica aktivacijsko-optimizacijske funkcije str. 42. [16]. 'Dio vremena' u postupku aFRP-a može biti podijeljen na pod-dijelove vremena (engl. *optimisation cycle*) gdje svaki pod-dio u 'bilančnom području' ima svoju 'cijenu regulacijske energije' uz pridruženu mu količinu 'energije' str. 37. [16]. Cijene su općenito različite od ponuditelja do ponuditelja koristi li se model *pay-as-bid* u odnosu na ovdje pretpostavljeni model *marginal pricing*.

"Prošireni razmjer" (npr. $a : b : c = k_1 : k_2 : k_3$, $a : b : c = 100 : 50 : 20$) procijenjenih ILI ostvarenih novčanih iznosa imao je 2018. u Republici Hrvatskoj sljedeće vrijednosti: 100,0 (ostvareni iznos po potrošačkoj cijeni bio je 14,4 milijarde kuna, usporedno s tim bruto domaći proizvod Republike Hrvatske bio je 383 milijarde kuna[76]): 57,2 (procijenjeni iznos troška trgovačke cijene izračunat za isporuku potrošačima s gubitcima po dijelovima vremena po pripadnim cijenama CROPEX-a) : 37,6 (ostvareno iz naknada za korištenje mreže koje sadrže trošak energije gubitaka: na operatora razdjelne mreže odnosi se 26,7, a na operatora prijenosne mreže 10,9) : 48,4 (ostvareni iznos koji potrošači plaćaju 'obračunateljima' za energiju) : 0,5 (ostvareno za 'regulacijsku energiju') : 0,2 (ostvareno za energije u cilju vođenja 'neravnoteže sustava' k nuli, koje nisu 'regulacijska energija') : 1,3 (ostvareno po 'cijenama odstupanja'): 1,9 (ostvareno za 'rezervu snage'): 0,4 (ostvareno za usluge operatoru koje nisu ni energije za vođenje 'neravnoteže' k nuli ni 'rezerva snage') :17,0 (ostvareno prema proizvođačkim cijenama u sustavu poticanja za količinu u iznosu od 13,5 % isporuke potrošačima iz mreže s tehničkim gubitcima) : 8,2 (ostvareni iznos koji po trgovačkoj cijeni 'obračunatelji' plaćaju za energiju iz sustava poticanja) :12,6 (ostvareni iznos koji su potrošači platili za energiju iz sustava poticaja kroz naknadu) : 11,5 (porez na dodanu vrijednost u potrošačkoj cijeni) : 1,5 (za solidarnu naknadu) : 5,8 (ostvareno za gubitke u prijenosu i razdjeli energije) : 10,2 (ostvarene investicije u prijenosnu i razdjelnu mrežu) : 0,8 (ostvareno po 'cijenama odstupanja' uslijed sustava poticanja, što je činilo 4,4 % u proizvođačkoj cijeni te energije[77])[78].

U radu naziva "Cijene električnih energija i snaga na mjestima trgovanja kroz vrijeme u teoriji i sustavski prikaz za neke dionike" [21] je uz upotrebu simboličkog sustava iz ovoga rada dan pregled cijena električne energije. Tu su opisani teoretski primjeri iz perspektiva dionika prilikom formiranja cijena uvažavajući povezanost različitih cijena električne energije i energenata.

ACER-ovo izvješće iz 2022. [22] analizira europski model veleprodajnog tržišta električne energije u kontekstu višestrukog povećanja 'trgovačke cijene' električne energije u 2021. Povećanje ove cijene ACER je označio kao simptom višestrukog povećanja cijene prirodnog plina: "(…) *the root cause of the current situation (gas prices) rather than the symptoms (electricity prices)*". Tu se ukazuje na jamstava koja su potrebna za dugoročno trgovanje (*collateral needs*).

[75] Za 'dio vremena' moguće je aktivirati 'regulacijsku energiju' prije nego što 'dio vremena' počne (npr. u 00:10:10 za 'dio vremena' < 00:15:00, 00:30:00]) kad se to zove "proaktivnim pristupom" (npr. sl. 6. RRP), a dio aktivirane 'regulacijske energije' za dio vremena može biti isporučen i u sljedećem 'dijelu vremena' (npr. sl. 6. mFRP).

[76] Izvor za BDP: https://www.hnb.hr/statistika/glavni-makroekonomski-indikatori, pristup 22. 01. 2020.

[77] Za precizniji iznos troška, koji ovdje nije iskazan, potrebno je uvažiti "oportunitetni trošak" kako je to naznačeno u odsječku 6.1., D. Brkić, S. Žutobradić, M. Poljak (2016), "Moguće podloge za odlučivanje u pogledu elektroenergetskog sektora", HRO CIGRÉ, C5-03.

[78] Izvor podataka za izračun "proširenog razmjera" je Godišnje izvješće HERA-e Hrvatskom saboru za 2018., https://www.hera.hr/hr/docs/HERA_izvjesce_2018.pdf, pristup 24. 01. 2020.

2.4. Grafički prikaz interakcija unutar operatorova područja

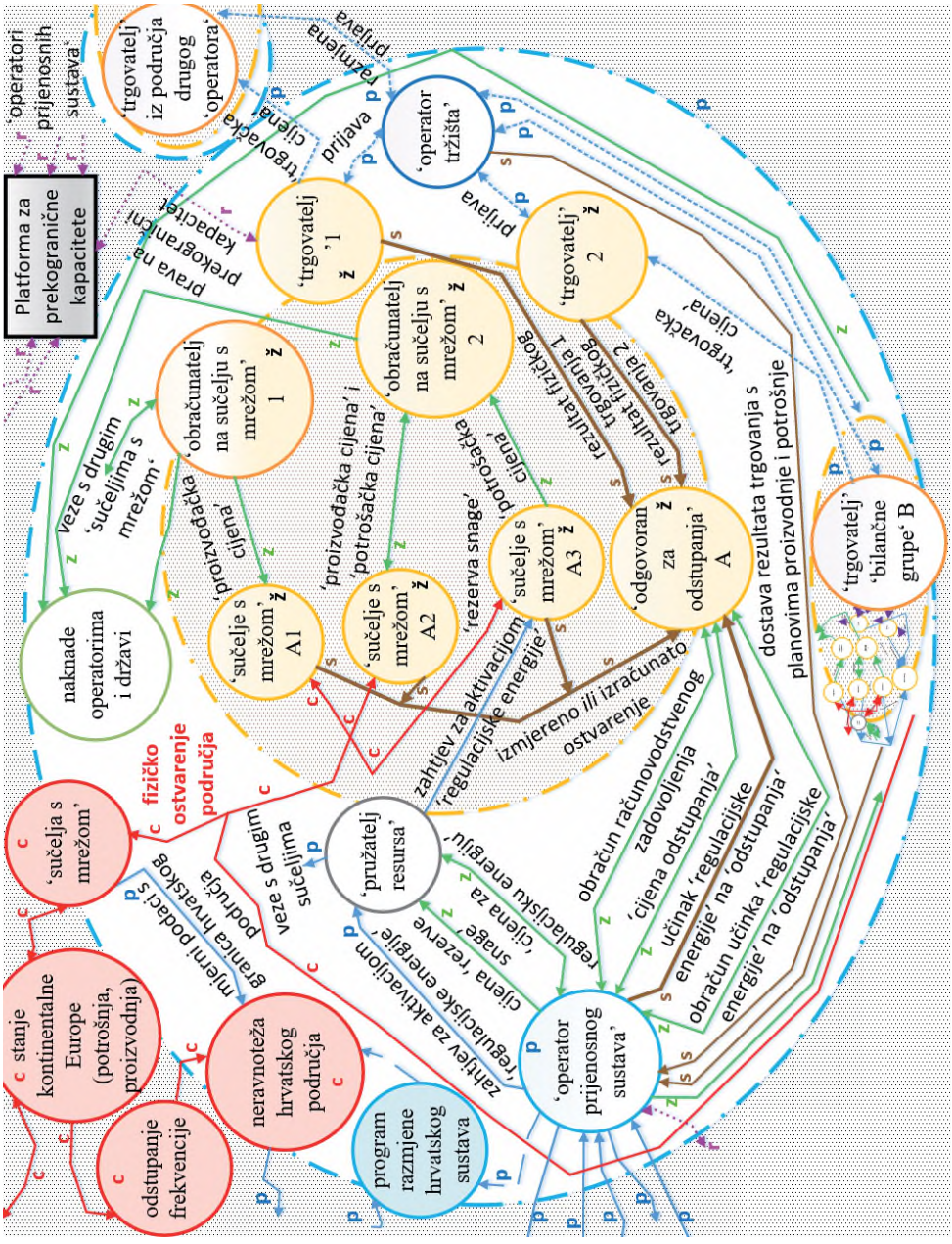
Na slici 4. unutar isprekidanog plavog oblika prikazane su neke uloge, interakcije i pojave unutar bilančnog područja operatora prijenosnog sustava. Žuto ispunjeni kružići simboliziraju subjekte koji imaju usko 'povezane' (engl. *affiliated*)[79] uloge s 'bilančnom grupom'. U pravilu ima više bilančnih grupa u području operatora (npr. jedno od njih je manje područje na slici obuhvaćeno žutim isprekidanim oblikom). Površina okružena najvećim plavim isprekidanim oblikom podskup je područja koje ima istu frekvenciju u iznosu i vremenu ("sinkroniziranu" frekvenciju) kao i područje izvan njega označeno crnim točkicama (do granica s nesinkroniziranim 'područjima', sl. 5.).

Crveni kružić "neravnoteže hrvatskog sustava" označava: trenutačnu 'neravnotežu' u intervalu i ($\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$); neravnotežu od početka 'dijela vremena' do intervala $i = n_{\mathrm{t}}$, a koja proizlazi iz $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$-ova ($\Delta E_{\mathrm{bp},n_{\mathrm{t}}}$); te neravnotežu za 'dio vremena' ($\Delta E_{\mathrm{bp,ue}} = \sum_{i=1}^{n_{\mathrm{uk}}} \Delta P_{\mathrm{ACE},i} \cdot \Delta t$). Nju u mjestu upravljanja vidi operator prijenosnog sustava'. Operator vidi te neravnoteže pa preko 'pružatelja resursa' aktivira 'regulacijsku energiju' $\Delta E_{\mathrm{f,re}}$ u objektima (proizvodne jedinice, trošila, skladišta) s učinkom na razmjenu toka energije kod 'sučelja s mrežom'. Te aktivacije mijenjaju odnos proizvodnje i potrošnje u 'bilančnom području', a ta promjena odnosa posljedično mijenja mjerenu razmjenu energije s drugim područjima P_i (mjereno na graničnim sučeljima područja, gdje treba razdijeliti gubitke dalekovoda koji povezuju područja). I tako operator (simboliziran plavim kružićem) kroz dio vremena vodi neravnotežu (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta E_{\mathrm{bp},n_{\mathrm{t}}}$) k nuli. Mogu biti dva modela: ili model koji vodi $\Delta E_{\mathrm{bp},n_{\mathrm{t}}}$ k nuli; ili model koji vodi $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ k nuli (npr. prema [14] prvi je nepoželjan jer dovodi do nestabilnosti frekvencije). Neravnoteža energije dobivena integracijom kroz sve intervale i dijela vremena (engl. *unintended exchange*, $\Delta E_{\mathrm{bp,ue}}$) obračunava se između operatora, ili naturalno ili financijski (engl. »*compensation of unintentional deviations*«).

Prisilne (namjerne) promjene potrošnje ILI proizvodnje u području gdje vlada sinkronizirana frekvencija[80] (područje 'operatora' dio je tog područja), po voljama (dizajnu) operatora, čine se s ciljem vođenja trenutačnog "odstupanja frekvencije" k nuli. U području gdje vlada sinkronizirana frekvencija (npr.

[79] Pod pojmom 'povezano' smatra se trajni ugovorni odnos koji podrazumijeva redovite obveze poznate 'operatoru', a koje određuju uporabu inputa za izračun 'odstupanja' 'odgovornog za odstupanja'. To se razlikuje od međusobnog trgovanja između 'trgovatelja' koje može biti na *ad hoc* razini i gdje je samo jedan 'trgovatelj' bitan za input jedne 'bilančne grupe'. Taj pojam može podrazumijevati i to da više uloga obavlja isti subjekt koje su tako 'povezane'. Drugi primjer 'povezanosti' je "opskrbljivač" u 2019. u RH koji uvijek ima i ulogu 'obračunatelja' i ulogu 'trgovatelja'.

[80] Iako, frekvencija se u jedinstvenom sinkronom području može malo (engl. *slightly*) razlikovati (pogotovo u većim sinkronim područjima), str. 55. iz [13], za potvrdu na podacima pogledaj str. 16. [14].



Sl. 4.: Prikaz nekih interakcija unutar područja operatora prijenosnog sustava– za crno bijeli ispis označene su boje crta (c – crvena, p – plava, r – roza, s – smeđa, z – zelena, ž - žuta)

područje "kontinentalne Europe"[81]) vođenje odstupanja frekvencije k nuli težnja je ka "globalnom optimumu" svih operatora. Vođenje individualne neravnoteže područja k nuli za pripadnog je operatora težnja k njegovu "individualnom optimumu".

Fizičko ostvarenje 'bilančne grupe' j za 'dio vremena' $E_{\text{fiz},j}$ razlikuje se od njezina virtualnog ostvarenja za dio vremena $E_{\text{vir},j}$. Crvene crte iz žutih 'sučelja s mrežom' do prvog čvora čine fizičko ostvarenje bilančne grupe "odgovornog za odstupanja A" (koje se u pravilu može mjeriti samo djelomično). Virtualno "izmjereno ILI izračunato ostvarenje" 'bilančne grupe' koristi se za potrebe izračuna njezina 'odstupanja'. Jednakost virtualnog ostvarenja s fizičkim ostvarenjem bilančne grupe može se za 'dio vremena' slučajno ostvariti (npr. kad je ostvarenje u cijelosti izmjereno i korišteno za sva sučelja s mrežom pa više nije virtualno nego stvarno / izmjereno). Fizičko ostvarenje bilančne grupe j u intervalu i (trajanja Δt) 'dijela vremena' $E_{\text{fiz},j,i}$ (među kojima su ostvarenja bilančnih grupa, s tehničkim gubicima u razdjelnoj i prijenosnoj mreži), određuje "mjerne podatke na granicama hrvatskog sustava" u intervalu i ($E_{\text{bp},i} = \sum_{j=1}^{n_{\text{bg}}} E_{\text{fiz},j,i}$). Netozbroj virtualnih ostvarenja bilančnih grupa (ako nema manjkavosti u dizajnu) za dio vremena jednak je energiji integriranoj iz mjernih podatka na granicama kroz cijeli dio vremena ($E_{\text{bp}} = \Sigma_{j=1}^{n_{\text{bg}}} E_{\text{vir},j} = \Sigma_{j=1}^{n_{\text{bg}}} E_{\text{fiz},j} = \Sigma_{i=1}^{n_{\text{uk}}} E_{\text{bp},i}$).

U plavom kružiću "program razmjene hrvatskog sustava" vrijednosti su u intervalima i 'dijela vremena' (za količine koje planirano izviru ILI uviru iz susjednih 'područja' u 'operatorovo' 'područje') početno utvrđene *ex ante* $P_{\text{pr},i}^{\text{poč}}$, a te vrijednosti proizlaze iz: uvozno-izvoznih razmjena trgovatelja za količine s 'bilančnim područjima' susjednim operatorovu području; iz intervencija operatora (npr. za predmnijevana preopterećenja sastavnica mreže); i iz ublažavanja diskretnih promjena zacrtane snage razmjene iz jednog 'dijela vremena' u drugo (engl. *ramping period*, str. 6. [14]) (rezultati trgovanja daju diskretne vrijednosti, a promjene snage su analogne). Tijekom 'dijela vremena' za taj 'dio' dolazi do izmjena tog programa u njegovim intervalima i, uslijed namjernih razmjena energija između sustava (npr. razmjena 'regulacijskih energija', energija iz "postupka razmjena neravnoteža", energija za otklanjanje preopterećenja sastavnica mreže).

Razlika ΔP_i u intervalu i 'dijela vremena' trajanja Δt, između "mjernih podataka na granicama sustava" (P_i) te "programa razmjene" ($P_{\text{pr},i}$), uz odstupanje frekvencije f_i od nazivne f_{naz} i uvaženu "korekciju sinkronog vremena" (engl. *time control*) $f_{\text{off},i}$ ($\Delta f_i = f_i - f_{\text{naz}} + f_{\text{off},i}$), te individualni *ex ante* utvrđen koeficijent "regulacijska konstanta" 'područja' K[82] (*K-factor*), određuje 'neravnotežu' $\Delta P_{\text{ACE},i}$

[81] Izraz kontinentalna Europa iz prijevoda takozvanog *Continental European Synchronous Area* se, iz razloga što je u "sinkrono" područje uključena euroazijska Turska i dio afričkog područja preko Gibraltara, stavlja u navodnike.

[82] *"K-factor* (op. [MW/Hz]) *represents the assumed reaction of a LFC area/block to a frequency deviation"* [14].

u tom intervalu *i* 'dijela vremena' ($\Delta P_{\mathrm{ACE},i} = P_i - P_{\mathrm{pr},i} + K \cdot \Delta f_i = \Delta P_i + K \cdot \Delta f_i$) [83] (tu 'neravnotežu' predstavlja crveni kružić). Crvena crta do kružića "stanje kontinentalne Europe (potrošnja, proizvodnja)" simbolizira pseudotrenutačno elektroenergetsko međudjelovanje priključenih instalacija na sučelja s mrežom (i mreže koja je dio cjeline) u "kontinentalnoj Europi". Stanje cjelokupne mreže "kontinentalne Europe" određuje njezino trenutačno odstupanje frekvencije (koja nije svugdje u mreži potpuno jednaka), a simbolizira ga crveni kružić (na odstupanje frekvencije mogu se odraziti dalekovodi s drugim sinkronim područjima[84], a ona mogu pomagati jedna drugima regulirati frekvenciju pa i najbržim postupkom FCP).

Žuta iscrtana kružnica simbolizira virtualnu 'povezanost' 'odgovornog za odstupanja' s inputima iz nekih sučelja s mrežom (oba smjera energije), kao i 'povezanost' s inputima iz naznačenih subjekata (kupnja te prodaja s "fizičkom isporukom"). Žuta boja punih kružića za navedene uloge također označava 'povezanost' njihovih inputa s odgovornim za odstupanja koji je također žute boje (za sučelja s mrežom subjekt s ulogom obračunatelj mora pribaviti energiju ulogom trgovatelj; i outputi sučelja s mrežom i outputi trgovatelja kao inputi pridružuju se nekom odgovornom za odstupanja).

Nuđenje i ugovaranje proizvođačke i potrošačke cijene *ex ante*, prikazuju zelene crte. Te zelene crte predstavljaju i *ex post* obračune razmjena za sučelja s mrežom, koje obavljaju 'obračunatelji na sučelju s mrežom' (općenito ih može biti više te jedan obračunatelj može vezati svoja sučelja s mrežom s različitim 'odgovornima za odstupanja'). Zelene crte označavaju i plaćanje nekih uloga operatorima i državi (naknade), što simbolizira zeleni kružić "naknade operatorima i državi".

Ex ante trgovanje između trgovatelja predstavljaju isprekidane plave crte. Rezultati trgovanja dvaju trgovatelja u žutim kružićima, pridružuju se kao inputi za izračun 'odstupanja' (dvama smeđim crtama: "rezultat fizičkog trgovanja 1" i "rezultat fizičkog trgovanja 2") pripadnom žutom odgovornom za odstupanja. Količine iz trgovanja trgovatelji dostavljaju 'operatoru tržišta', koji ih bilježi za obračun 'odstupanja' (operator prijenosnog sustava može uskratiti odobrenje na planove isporuke u mrežu i planove preuzimanja iz mreže koji se hoće prijaviti, to ovisi o predmnijevanom učinku na mrežu). Ta je dostava označena isprekidanom plavom crtom ("prijava"). Operator tržišta nalazi se u tamno plavom kružiću[85]. Operator tržišta bilježi ih samo ako su mu 'uredno' prijavljene *ex ante*[86].

---

[83] Konvencije su: P_i i $P_{\mathrm{pr},i}$ veće su od nule kad energija izvire iz 'bilančnog područja' (izvoz ILI isporuka energije u druga 'područja'), f_i i f_{naz} uvijek su veći od nule, $f_{\mathrm{off},i}$ veći je od nule ako sinkrono vrijeme kasni za UTC-om (engl. *universal time control*).

[84] Npr. istosmjerni vodovi između sinkronog područja "kontinentalne Europe" i "sinkronog" područja Velike Britanije u 2019., interaktivni prikaz dostupan na https://www.entsoe.eu/data/map/, pristup 3. 12. 2019., pogledaj odziv istosmjernog voda od 15. srpnja 2021. na str. 59., [19].

Smeđe crte iz sučelja s mrežom prema odgovornom za odstupanja simboliziraju *ex post* utvrđena virtualna ostvarenja isporuke ILI preuzimanja sučelja s mrežom. To je ostvarenje dio inputa za izračun 'odstupanja' ("izmjereno ILI izračunato ostvarenje", neizmjereno ostvarenje određuje se 'apstraktnim sustavom'). Odstupanje jednoznačno slijedi iz debljih smeđih crta.

Zelena crta "cijena odstupanja" simbolizira *ex post* obračun za 'odstupanja' 'bilančne grupe' koji obavlja operator (uloga *imbalance*[87] *settlement responsible* [2]). Tu operator izdaje račun odgovornom za odstupanja (ili odgovoran za odstupanja operatoru) (uloga *billing agent* [2]).

'Prekogranični prijenosni kapaciteti' (engl. *cross-zonal capacities*) nužan su uvjet 'uredne' razmjene radne energije između trgovatelja dvaju bilančnih područja (engl. *zonal pricing*). Trgovatelji preko "platforme za prekogranične kapacitete" (engl. *transmission capacity allocator* [2]) kupuju 'kapacitet' *ex ante*, uz suglasnost operatora s obje strane granice ("eksplicitna dodjela"). Kapacitet im nakon kupnje predstavlja potencijal za razmjenu energija koji ne moraju iskoristiti (engl. *use it or loose it*, *use it or sell it*). Poseban je slučaj kad im se kapacitet pridruži preko burze istodobno s količinom energije ("implicitna dodjela"). Moguće je omogućiti ili samo jedan od ta dva načina ili oba. Mjera razlike trgovačkih cijena u dvama susjednim bilančnim područjima uglavnom je cijena tog 'kapaciteta' koja se određuje na temelju slobodnih ponuda [npr. iznimka je unutardnevno trgovanje (engl. *intraday*) na burzi koje se za dio vremena odvija neprestano do zatvaranja trgovanja za taj 'dio' − načelo *first come first serve* − pa nema cijene 'kapaciteta'[88]]. 'Kapacitet' se mora imati na svakoj granici kroz crtu dobave energije (npr. ako se energija hoće dovesti iz Njemačke do Hrvatske, mora se osigurati i platiti kapacitet kroz crtu dobave, npr. i na granici Njemačke i Austrije, i na granici Austrije i Slovenije, i na granici Slovenije i Hrvatske). Bilježenje prekograničnih razmjena trgovatelja koordinirano provode 'operatori tržišta' interakcijom "razmjena prijava".

---

[85] Kad se rezultati trgovanja prijavljuju 'operatoru tržišta' ILI kad se koriste u izračunu "programa razmjene", to se smatra trgovanjem s "fizičkom isporukom" (engl. *physical delivery*). Npr. mađarska burza "nefizičkom isporukom" HUDEX (hudex.hu) počela je s radom 3. siječnja 2018., s iznimnom mogućnošću "fizičke isporuke" na tržištu dan unaprijed {*"No direct physical delivery shall be possible. Optional physical delivery may be requested. Physical delivery* (op. *physical delivery* je istoznačnica *firm contract* iz [2]?) *will be executed through HUPX Day-Ahead Market"*, izvor: hudex.hu, pristup 7. 1. 2020.}. Više o dugoročnom trgovanju ovdje [22].

[86] Npr. kad rezultate trgovanja tijekom dana isporuke unutar 'bilančnog područja' dostavlja "voditelj bilančne grupe" ('odgovoran za odstupanja') najkasnije 48 sati nakon dana isporuke, sukladno "odobrenim izmjenama plana prekozonske razmjene električne energije, plana isporuke električne energije sumarno za krajnje kupce i plana proizvodnje električne energije od strane operatora prijenosnog sustava", čl. 72. st. 6. *Pravila organiziranja tržišta električne energije* (*Narodne novine*, broj 121/15., 48/16. i 50/18.) (koja su prestala važiti u studenom 2019.).

[87] Ovdje se koristi riječ *imbalance* koja po [2] označava 'odstupanje' (prijedlog je koristiti naziv: *deviation*).

2.5. Utjecaj aktivacije regulacijske energije na odgovornog za odstupanja

Debela smeđa crta "učinak regulacijske energije na odstupanje" na slici 4. iz operatora do 'odgovornog za odstupanja' simbolizira *ex post* učinak protrgovane 'regulacijske energije' na 'odstupanja' (i drugih energija iz samovoljne intervencije operatora nakon zatvaranja tržišta, za ILI u 'dijelu vremena')[89]. Taj učinak pojavljuje se uslijed isporuke regulacijske energije u dijelu vremena na sučeljima s mrežom. Ta smeđa crta simbolizira količinu (odziv / zahtjev za 'regulacijskom energijom') koja se koristi kao input za izračun 'odstupanja' odgovornog za odstupanja (aktivacija za dio vremena može se odraziti na susjedne dijelove vremena). Kad se ne bi uvažavala količina iz te crte, nastale bi nepravedne količine u 'odstupanjima' prouzročene intervencijama operatora.

Za slučaj 'povezanosti' 'pružatelja resursa' i 'odgovornog za odstupanja' (ili ista pravna osoba; ili kad pružatelj resursa kao subjekt obnaša ulogu čije se posljedice pripisuju odgovornom za odstupanja), uz pojavu aktivirane 'regulacijske energije' iz 'sučelja s mrežom' čije je ostvarenje input tom odgovornom za odstupanja, vrijedi sljedeće: obračun simboliziran zelenom crtom "obračun učinka regulacijske energije na odstupanja" između odgovornog za odstupanja i operatora ne provodi se za učinke iz te aktivacije. Tad financijski učinak količine iz te smeđe crte (koja uz ostalo određuje odstupanja) postaje interno pitanje tih dvaju 'povezanih' subjekata. To se njihovo interno pitanje u radu ne obrađuje. Input za izračun odstupanja tad je količina iz zahtjeva za aktivaciju energije, a izmjerena količina aktivirane regulacijske energije nije input kod izračuna odstupanja.

U slučaju kad pružatelj resursa nije 'povezan' s 'odgovornim za odstupanja' kojem uvire input sučelja s mrežom[90], vrijedi sljedeće: između odgovornog za odstupanja tog sučelja s mrežom i operatora se za tu aktivaciju provodi obračun učinka[91] regulacijske energije na odstupanja[92]. U tom slučaju ili operator plaća ili mu odgovoran za odstupanja plaća za količinu energije iz smeđe crte "učinak regulacijske energije na odstupanje" (zelena crta "obračun učinka regulacijske energije na odstupanja"). To se provodi uz cijene i količine (koje se utvrđuju po algoritmu) po kojima ni odgovoran za odstupanja (ni drugi s njim 'povezani'

---

[88] Suprotno tome, na burzi dan unaprijed (engl. *day ahead*) određuje se cijena 'kapaciteta' gdje su prihodi od tih 'kapaciteta' (prihodi se dijele 'operatorima') jedna od vrijednosti funkcije cilja u optimizacijskom postupku, a razmjene ponuditelja se za 'dio vremena' utvrde kad završi taj postupak (kad one 'trgovateljima' predstavljaju "zatečeno stanje"). Nasuprot tome, razmjene za 'dio vremena' mogu se na unutardnevnoj burzi (npr. u projektu XBID) ostvarivati za neki 'dio vremena' neprestano (na burzi dan unaprijed mogu se ostvariti za jedan dio vremena samo jednom), pa se za količinu 'kapaciteta' ne natječe više ponuditelja čijim ponudama bi se (nakon što se prikupe, sa zadrškom) mogla optimizacijskim algoritmom odrediti jedna cijena za jedan 'dio vremena'.

[89] Npr. kao kroz formulu iz čl. 19. st. 1. *Pravila o uravnoteženju elektroenergetskog sustava* (HOPS, 5/2016. i 3/2017.) koja su se primjenjivala do 31. prosinca 2019.

subjekti) ni operator neće biti nepravedno oštećeni [npr. za cijene: najbliže cijeni po kojoj su trgovatelji kupili ILI prodali energiju za dio vremena za koji se obračun provodi, npr. za količine: prema učinku aktivacije na odgovornog za odstupanja (npr. procjena aktivirane energije)]. Kako bi operator tu ostao financijski neutralan, on za taj novčani iznos ili umanjuje ili uvećava financijski iznos iz obračuna koji slijedi iz postignute 'cijene regulacijske energije' pružatelja resursa (netoiznos je u obračunu označenim zelenom crtom "cijena za regulacijsku energiju", koristi se ista količina i cijena kao u obračunu s odgovornim za odstupanja). Kad su aktivirana sučelja različitih odgovornih za odstupanja, primjenjuje se konvencija po kojoj se količina energije iz aktivacije razdjeljuje na te odgovorne za odstupanja. Tu se za možebitni neispunjen (ili djelomično ispunjen) zahtjev za aktivacijom iz ovog slučaja, ne ulazi u financijsku odgovornost pružatelja resursa (ispred operatora). To je prepušteno ugovornom odnosu kojeg ima s operatorom (npr. ugovorne kazne, izravna ili posredna bilančna odgovornost za odstupanje agregatora).

U oba slučaja ('povezani' i nepovezani 'pružatelj resursa') potrebno je uvažavati učinak na subjekta čije je sučelje s mrežom glede obračuna koji se na tog subjekta odnose. Naime, kada 'pružatelj resursa' aktivira energiju na instalacijama priključenima na to sučelje s mrežom, netokoličina energije u obračunu prema subjektu na sučelju može biti povezana s raznim obračunima razmijenjene energije što ovisi o izvedenom modelu (npr. obračun za količinu energije između 'pružatelja resursa' i sučelja s mrežom, obračun između subjekta na sučelju s mrežom i obračunatelja na sučelju s mrežom itd.).

2.6. Obračun računovodstvenog zadovoljenja

Zelena crta "obračun računovodstvenog zadovoljenja" (engl. *reconcilliation*[93] [2]) označava obračun koji se provodi između 'operatora' i 'odgovornog za odstupanja'. On se provodi uslijed razlike ΔE_A između: netokoličine energije E_B koju obračunatelj na sučelju s mrežom obračunava sučeljima s mrežom u 'obračunu razmjena' s jedne strane (mjerenja, procjene); i netokoličine E_C koja je zbroj: netokoličine E_{C1} koju 'trgovatelji' odgovornog za odstupanja protrguju

[90] Npr. u Francuskoj je taj slučaj postao moguć 2014. str. 47-48., izvor: Bertoldi P, Zancanella P, Boza-Kiss B. (2016), *Demand Response Status in EU Member States*, EUR 27998 EN, Europska komisija, dostupno na: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101191/ldna-27998enn.pdf, pristup 26. 11. 2019.

[91] Tu se ne misli na "rebound effect" koji ima učinak na 'odstupanje' nakon aktivacije, str. 29-30. NordREG (2020), "Nordic Regulatory Framework for Independent Aggregation", http://www.nordicenergyregulators.org/wp-content/uploads/2020/02/A-New- Regulatory-Framework_for_Independent_Aggregation_NordREG_recommendations_2020_02.pdf, pristup 19. 6. 2020.

[92] Tad je 'pružatelj resursa' npr. u govoru "neovisni agregator" (engl. *independent aggregator*).

[93] *"reconciling... the volumes used in the imbalance settlement process for profiled Accounting Points and the* (op. tu nije nužno riječ o stvarnim izmjerenim količinama) *actual metered quantities"* [2].

s drugim trgovateljima *ex ante* i netokoličine E_{C2} kojom odgovoran za odstupanja protrguje s operatorom *ex post* (za 'odstupanja', za aktiviranu 'regulacijsku energiju' itd.) s druge strane ($\Delta E_A = E_B - E_C$, $E_C = E_{C1} + E_{C2}$). Taj obračun postoji uslijed razlike ΔE_A, koja nastaje zbog nemogućnosti utvrđivanja razmjena energija ugrađenom mjernom opremom za pojedine 'dijelove vremena' na dijelu 'sučelja s mrežom' (nekorištenje / neimanje mjerenja razlučivosti 15 minuta[94] ILI djelomična nepouzdanost mjerenja i dohvata podataka uslijed kvarova, *profiled accounting points* [2] − to su ograničenja 'fizičkog sustava' koja sanira 'apstraktni sustav'). Svrha je ostvariti jednakost kupljenih s prodanim količinama energija subjekata 'povezanih' s bilančnom grupom, objedinjenjem količina energija svih razina (engl. *wholesale*, *retail*, *balancing market*, *imbalance settlement* itd.) nakon čega operator ostaje financijski neutralan. Cijena je u obračunskom razdoblju jednaka za sve količine energije iz toga obračuna te se nastoji da ona odgovara nabavnoj cijeni energije u tome razdoblju. Vidi [20].

2.7. Svrhe kratkoročnih postupaka i vrijeme

Planiranje sadašnjosti i budućnosti nikad nije djelo samo tehničkog znanja. To je stoga jer tehničko znanje kao takvo ne predstavlja svrhe (op. odgovor na "zašto?"[95] [1]) nego samo mogućnosti (op. odgovor na "kako?" [1]). Prema tome, čovjek ne živi samo od tehničkog planiranja nego u svojoj nutrini prije svega od osmišljenja koje mora proizlaziti iz drugačije vrste zapažanja. Osim toga, čovjekovo planiranje budućnosti nikad ne može anticipirati budući naraštaj sa svojim vlastitim nacrtima i spoznajama. Sv. Augustin smatrao je da sjećanje stvara "sadašnjost" i to tako što obuhvaća određeno okružje u stalnom protjecanju stvari te ga drži na okupu i označava kao ono "danas". Po njemu je i prošlost sadašnja, ali na drugačiji način od sadašnjosti onoga što se obično smatra "sadašnjim". Slično se po njemu odnosi na budućnost [4]. To je što se tiče vremena i svrhe.

Svrhe europskih postupaka u Europskoj uniji definiraju se za sadašnju budućnost [10]. Ovdje će se dio koji je naznačen za budućnost, uz prilagodbu kontekstu u radu, donekle koristiti.

'Dio vremena' u mozaiku vremena već je ranije definiran i korišten. 'Dio' se u promatranju postavlja kao središnji vremenski interval dok se zapažanja poopćuju. U definiranju svrha postupaka za dio vremena u okup se stavlja 'dio' prije i 'dio' poslije njega, što prikazuje slika 6. (kasnije će se slika objasniti).

[94] Udio isporučene energije 'potrošačima' s gubitcima HEP-ODS-a čije se vrijednosti u 'dijelovima vremena' izračunavaju u obračunu 'odstupanja' činio je u 2018. godini 33 % (od ukupne isporuke svim 'potrošačima' uz gubitke prijenosa i razdjele, u [6] je to "preostalo opterećenje"), ta energija nije po dijelovima vremena slijedila iz mjerenja po sučeljima, jer dio potrošača nije imao mjerila s periodom od 15 minuta ILI mjerni podaci nisu bili dostupni/korišteni. Pogledati [20].

[95] Pitanju "zašto?" može se pristupiti na barem tri načina: zanijekati postojanje odgovora na pitanje; prihvatiti postojanje svrhe i odbaciti problem traženja svrhe izvan onoga što su puke činjenice; traženje odgovora na pitanje izvan pukih činjenica, više u dr. sc. Goran Lojkić (2019), "Metafizički krajobraz ateizma", *Obnova*, br. 12., Zagreb.

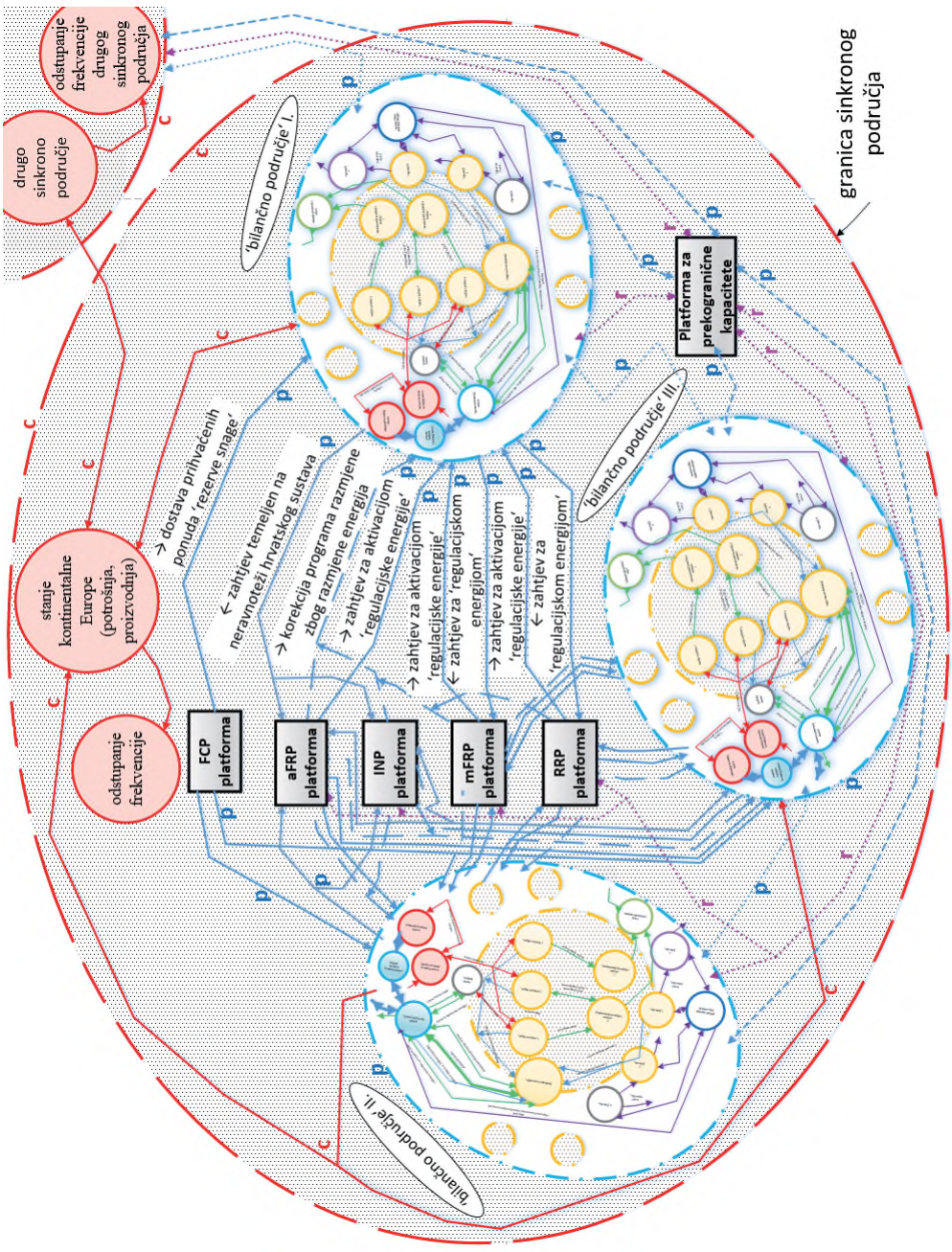
Prema tome, za definiciju biti aktivnosti u dijelu vremena te njega samog kao "sadašnjosti", potrebno je i vrijeme koje mu prethodi ("prošlost") i koje mu slijedi ("budućnost").

Postupci koje vode operatori između bilančnih područja, a koji se odvijaju blisko (npr. jedan sat prije) ILI u 'dijelu vremena' za 'dio', odnose se na razmjene djelatnih energija za vođenje individualnih 'neravnoteža' (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$) ILI za vođenje "odstupanja frekvencije" k nuli (iz standardnih proizvoda, operator za sebe može zadržati nestandardne proizvode). Sekundarna je svrha osloboditi brze 'rezerve' (npr. 'rezervu' FCR 'rezervom' aFRR). Provode se i za otklanjanje preopterećenja sastavnica mreže (engl. *congestion management*).

Za svaki se dio vremena isporučuje spremnost za proizvodnju 'regulacijske energije' ('rezerva snage'). 'Rezerva snage' može se bilo "dijeliti" (dva operatora oslanjaju se na 'rezervu snage' kod istih 'sučelja s mrežom') bilo "razmjenjivati" između operatora (jedan operator oslanja se na 'rezervu snage' u području drugog operatora na koju se ne oslanja taj drugi operator)[96]. Aktivnosti koje se tiču nabave spremnosti 'rezerve snage' mogu se odvijati puno prije 'dijela vremena' (npr. jednu godinu ranije, jedan dan ranije). Za rezervu snage operator plaća *ex post* po ostvarenju (kn/MW za svaki dio vremena). Kod razmjene ILI dijeljenja rezerve snage potrebno je metodološki odrediti kako će se odrediti dio prekograničnog prijenosnog kapaciteta, koji će se uskratiti ostalim tržištima i pridijeliti za razmjenu ILI dijeljenje rezerve snage (engl. *optimal capacity split problem*). Naime, druga tržišta (npr. *day ahead market*) konkuriraju istoj ograničenoj količini kapaciteta. Tek nakon zatvaranja internog unutardnevnog tržišta, sav slobodni prekogranični prijenosni kapacitet postaje dostupan operatoru za njegove svrhe. Nabava rezerve snage ovdje se detaljnije ne opisuje.

Postupci s pripadnim 'rezervama snage' su sljedeći: "postupak održavanja frekvencije" (FCP) je postupak kojim se nastoji hitro (u sekundama) bez čovjeka stabilizirati frekvencija sustava 'regulacijskom energijom' iz 'rezerve snage' FCR (vođenje "odstupanja frekvencije" k nuli, npr. početak isporuke kod "odstupanja frekvencije" izvan ± 20 mHz [14])[97]; "postupak ponovne uspostave nazivne frekvencije" (FRP) postupak je kojim se nastoji uspostaviti frekvencija sustava na nazivnu vrijednost (vođenje "odstupanja frekvencije" k nuli), osloboditi FCR i voditi 'neravnotežu' sustava (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$) k nuli 'regulacijskom energijom'; FRP postupak koristi dva tipa 'rezerve snage' (FRR) što povlači dva podpostupka, jedan se podpostupak odvija uz slanje aktivacijskih signala bez sudjelovanja čovjeka (automatski aFRP), a drugi slanjem aktivacijskih signala (npr. telefonski i elektroničkom poštom) na temelju nahođenja čovjeka koji uživo bdije nad sustavom i djeluje u okviru 'operatora' ("ručni" mFRP); "postupak ponovnog osiguravanja rezerve" (RRP) podrazumijeva postupak oslobođenja aktivirane 'rezerve snage' FRR ILI dopune djelovanja FRR-a

[96] Opis "razmjene" (engl. *exchange*) i "dijeljenja" (engl. *sharing*) 'rezerve snage' dan je u poglavljima 9.1.1 i 9.1.2 u ENTSO-E (2013), *Supporting Document for the Network Code on Load-Frequency Control and Reserves*



Sl. 5.: Prikaz nekih interakcija između bilančnih područja unutar sinkoronog područja (slika bi mogla asocirati na međustaničnu suradnju u biologiji) bez nekih veza s drugim sinkronim područjima

[97] Pogledati mjerenja odziva FCR-a na nekoliko hrvatskih agregata (hidroelektrane HE Peruča i HE Čakovec) i odziv agregata koji nisu uključeni u FCR, u I. Ivanković, R. Rubeša, M. Rekić, T. Plavšić, D. Brnobić (2019), "Monitoring primarne regulacije frekvencije zasnovano na sinkroniziranim mjerenjima fazora", HRO CIGRÉ, C2-12, Šibenik.

isporukom ‘regulacijske energije’ iz ‘rezerve snage’ RR, s dugotrajnim odzivom (npr. isporuka više od 15 minuta od zahtjeva ‘operatora’); “postupak razmjene neravnoteža” (engl. *imbalance netting cooperation*, INC) između ‘operatora prijenosnih sustava’ omogućuje izbjegavanje istodobne aktivacije ‘rezerve snage’ FRR u suprotnim smjerovima (zanemaruje se mogućnost oslobađanja zauzetog aFRR-a INC-om) uzimanjem u obzir ‘neravnoteža’ ‘bilančnih područja’ koje vodi k nuli, mijenjanjem “programa razmjena” u pripadnim intervalima *i*[98].

Ovi postupci u bilančnom području mogu biti autonomni prema istim tipovima postupaka u drugim područjima (iznimka je postupak INC koji nužno traži sudjelovanje barem dvaju područja). Međutim, pojedini se postupci mogu objediniti u centralizirani sustav (platforme) koji ima učinak na upravljanje bilančnim područjima. Slika 5. ilustrira interakcije triju bilančnih područja (*I.*, *II.* i *III.* u isprekidanim plavim oblicima) za navedene postupke unutar jednog područja sa sinkroniziranom frekvencijom (u isprekidanom crvenom obliku, to je *synchronies area*).

Operatori tih ‘područja’ za postupke mFRP i RRP dostavljaju platformama zahtjeve za regulacijskom energijom, nakon čega platforme na temelju ekonomsko-tehničke optimizacije određuju: gdje, koja, kad i koliko će se rezerve snage aktivirati. Po odabiru, platforma šalje operatorima zahtjeve za aktivaciju odabrane rezerve snage. Razmjene regulacijskih energija između područja ostvaruju se promjenama “programa razmjena” u intervalima *i* (uz imanje ‘kapaciteta’), što simbolizira isprekidana plava crta. Postupak aFRP djeluje slično, a kod njega platforma dobiva za intervale *i* ‘dijela vremena’ inpute operatora temeljene na neravnotežama njihovih područja (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$) (engl. *aFRR demand*), te nakon svojeg optimizacijskog postupka bez čovjeka (automatski) šalje zahtjeve za aktivaciju regulacijske energije područjima (*setpoint* $P_{\mathrm{aFRR,\ set},i}$, a zahtjev za promjenom snage regulacijske energije iz aFRP-a može se mijenjati svaki interval *i* ‘dijela vremena’ pa time i odziv aFRR-a[99], dok zahtjev za mFRR podrazumijeva standardan oblik odziva snage[100]). U postupku INC zahtjevi za

[98] U hrvatskom jeziku nazivi su bili: “primarna regulacija frekvencije” za FCR,”sekundarna regulacija frekvencije i snage razmjene” za aFRR, “tercijarna regulacija” dijelila se na “tercijarnu regulaciju za uravnoteženje” i “tercijarnu regulaciju za sigurnost sustava” i to je mFRR, rezerva RR nije se koristila pa nije bila ni imenovana. Usporediti priloženi opis svrha s opisom na str. 5. iz [11].

[99] *“setpoint singnals sent to BSP* (op. ‘pružatelju resursa’) *can constantly change their values, depending on aFRR demand”* str. 22. [15], npr. druga slika na str. 10. u [3].

[100] Npr. za mFRR je trapezni oblik, s kašnjenjem od zahtjeva za aktivaciju koji ‘operator’ uputi platformi do početka isporuke (engl. *preparation period*), vrijeme od početka isporuke do postizanja maksimalne snage (engl. *ramping period*), trajanje maksimuma (engl. *delivery period*), vrijeme spuštanja od maksimalne vrijednosti do početne točke (engl. *deactivation period*), skup ponuda (engl. *bid*) za neki ‘dio vremena’ može se aktivirati u razdoblju koje počinje nešto prije početka ‘dijela’ do nešto prije kraja ‘dijela vremena’ (engl. *validity period*) [12], primjer za *validity period* tamnije su osjenčena razdoblja na sl. 6.

energijom šalju se bez čovjeka te se automatski "poništavaju" suprotne 'neravnoteže' (bez aktivacije 'regulacijske energije'). Postupci aFRP i INC izmjenjuju se tijekom dijela vremena u ciklusima (npr. svake četiri sekunde).

Na platformi FCP ne aktivira se 'regulacijska energija' nego se *ex ante* odabiru ponude 'rezerve snage' FCR, iz kojih se onda tijekom 'dijela vremena' autonomno aktivira regulacijska energija na input "odstupanje frekvencije" u intervalima *i* dijela vremena (suradnja između sinkronih područja je zanemarena, iako je moguća, npr. str. 59. [19]). Tu se 'regulacijska energija' iz FCR-a razlikuje od energija iz ostale inercije sustava (engl. *self regulation of the load*, *auto-control of generation*[101]). Energija se iz tog postupka za dio vremena obračunava između operatora. Izračunava se preko prosječnih vrijednosti odstupanja frekvencije Δf_i u intervalima *i* te "regulacijske konstante" *K* (E_{FCP}=-$K \cdot 1/n_{uk} \cdot \Sigma_{i=1}^{n_{uk}} \Delta f_i \cdot \Delta t$, npr. prema [14]).

Prepreke kod razmjena 'regulacijskih energija' mogu predstavljati ograničenja između područja ('prekogranični kapaciteti' na granicama područja ILI ograničenja unutar područja). Na svakoj granici između bilančnih područja kroz crte prolaska razmijenjene energije potrebno je imati 'prekogranične kapacitete' koji proizlaze iz "platforme za prekogranične kapacitete".

2.8. Ilustracija kratkoročnih postupaka

Nije se pokazalo lakim na jedinstvenom grafičkom prikazu dočarati u vremenu zapisanu svrhu svih postupaka iz prethodnog pododsječka. Primjer je dan na tipu grafičkog prikaza na slici 6. (inspiriran slikama sa str. 5. [11], str. 19. [12] i str. 7. [14][102]). Na tom primjeru se ilustriraju događaji uz sljedeća pojednostavnjenja i postavke: od 00:00:00 do 00:52:00 'neravnoteža' je nula; u prva tri 'dijela vremena' nije došlo ni do aktivacije 'regulacijske energije' u području ni do njezine razmjene na granicama; u sustavu "kontinentalne Europe" dogodilo se "odstupanje frekvencije" od nazivne koje je bilo prisutno u dva susjedna 'dijela vremena' koja traju od 00:45:00 do 01:15:00; u ta dva 'dijela vremena' nije došlo do 'neravnoteže' zbog razlike "mjerenog ostvarenja hrvatskog sustava" od *ex ante* kupoprodaje za sustav (osim za RRP u posljednjem 'dijelu vremena'), nego zbog ispada jedinica za proizvodnju energije u drugim područ-

[101] *"K-factor" "expressed in megawatts per hertz* (MW/Hz), *which is as close as practical to, or greater than the sum of the auto-control of generation* (op. $\Delta P_{ACG} / \Delta f$), *self-regulation of load* (op. $\Delta P_{SRL} / \Delta f$) *and of the contribution of frequency containment reserve* (op. $\Delta P_{FCR} / \Delta f$)", str. 6. [14], matematički zapisano $K \geq (\Delta P_{ACG} + \Delta P_{SFL} + \Delta P_{FCR}) / \Delta f$.

[102] Npr. okvirno je odziv do početka isporuke 'regulacijske energije' za FCP do 30 sekundi, za aFRP od 30 sekundi do 15 minuta, za mFRP do maksimalno 15 minuta, za RRP ne manje od 15 minuta [11].

jima (iako $\Delta P_i = P_i - P_{\mathrm{pr},i}$ postaje različito od nule zbog solidarnog doprinosa anuliranju Δf_i); nije prikazan "program razmjene"; nisu prikazane varijable i događaji u drugim područjima ni interakcije s njima[103] (osim trenutaka do kojih treba dostaviti ponude za regulacijsku energiju i naloge za njihovu aktivaciju); odzivi 'rezerve snage' nisu realni (vidjeti realni odziv aFRR-a na str. 35 u [15], str. 133. [19]), a trajanje odstupanja frekvencije je netipično dugo (pogledaj str. 66. [19]); u postupcima mFRP i RRP dogodila se jedna aktivacija; primjer ne dočarava ono što će biti ni ono što je, nego ono što bi u zamišljenom scenariju moglo biti moguće. Postavio se cilj dovesti energiju $\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$ do nule jer je to složeniji slučaj (alternativa tomu prikazana je na str. 10. u [3] i str. 7. u [14]).

Na slici 6. prikazani su karakteristični trenutci za te postupke. Za trgovatelje je naznačeno vrijeme otkad im je uskraćeno trgovanje s "fizičkom isporukom" za žuti dio vremena (ID GTC, engl. *intraday gate closure time*), što ne isključuje mogućnost ekonomske optimizacije sučelja s mrežom (s ΔE_{f}) odgovornog za odstupanja, čak i u dijelu vremena bez odobrenja operatora. Oznaka GTC (engl. *gate closure time*) označava vrijeme otkad je onemogućena neka aktivnost bilo za 'pružatelje resursa' (PUU) za 'dio vremena', bilo za operatore prijenosnih sustava (OPS). Za PUU-ove to se odnosi na dostavu ponuda OPS-u, a za OPS-ove na prosljeđivanje ponuda europskim platformama. GTC za OPS-ove potreban je zbog toga što se izvršenje algoritama ne odvija trenutačno, pa je potrebno vrijeme za pripremu ILI izvršenje ILI za procedure kod možebitnih grešaka u radu algoritma.

Frekvenciju predstavlja crna crta. U primjeru na slici 6. ispadi jedinica za proizvodnju električne energije izvan hrvatskog sustava doveli su do trenutačnog odstupanja frekvencije koje se dogodilo u 00:54:07. Ono stvara neravnoteže čije vrijednosti predstavlja smeđa crta ($\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$). Odstupanje frekvencije prouzročuje automatsku aktivaciju (s kašnjenjem od 15 sekundi) 'regulacijske energije' u postupku FCP, isporučivanu od 00:54:22, koja k nuli vodi i odstupanje frekvencije i neravnotežu ($\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$). 'Regulacijska energija' iz FCP proteže se kroz dva 'dijela vremena' te je njezina snaga došla do nule u 01:09:52. Smanjenju odstupanja frekvencije pridonijela je i isporuka 'regulacijske energije' iz postupaka aFRP i mFRP.

Isporuka regulacijske energije iz postupka aFRP počela je u 00:57:52 u prethodnom 'dijelu vremena' < 00:45:00, 01:00:00]. Te aktivacije imaju učinak

[103] Na str. 34. [16] grafički je prikazana ilustracija četiriju varijabli iz aFRP-a za tri 'bilančna područja', za četiri intervala (BEPP) 'dijela vremena', to su: početni zahtjevi za 'regulacijskom energijom' upućeni platformi (engl. *original aFRR demand*), zahtjevi za 'regulacijskom energijom' korigirani od platforme (engl. *corrected aFRR demand*), profil zadan 'pružateljima resursa' iz upravljača 'bilančnog područja' (engl. *LFC controler output*) i profil snage isporučene 'regulacijske energije' (engl. *aFRR activation*) u svakom BEPP-u svakog 'bilančnog područja' (profili na slici nemaju stalnu vrijednost tijekom BEPP-a, što ih razlikuje od neprofila).

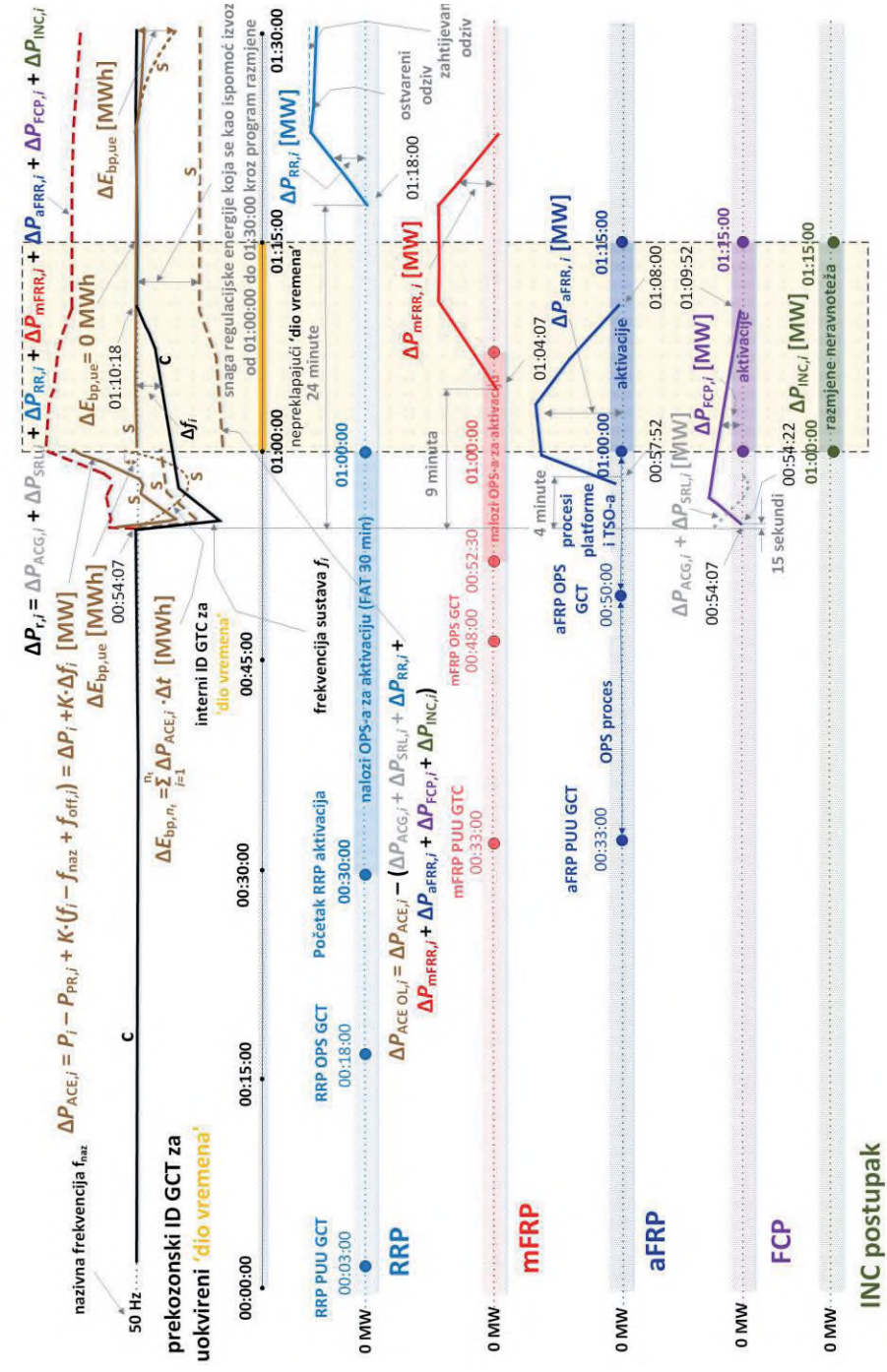
na neravnoteže u sljedećem 'dijelu vremena' < 01:00:00, 01:15:00] (osjenčeni žuti 'dio vremena') sve do 01:08:00. 'Energije' iz aFRP postupka omogućile su trend vođenja neravnoteže ($\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$) k nuli u 'dijelu vremena' koji je prethodio žutom 'dijelu', uz istodobno "oslobađanje" rezerve snage iz postupka FCP bez nepovoljnih učinaka na odstupanje frekvencije. Ručna aktivacija mFRP-a, čija je isporuka energija počela u 01:04:07, dogodila se na temelju nahođenja osobe iz operatora koja je instinktivno odlučila tako anulirati predmnijevanu neravnotežu ($\Delta E_{\mathrm{bp},n_t}$) tijekom žutog dijela vremena [104]. Iako je odstupanje frekvencije u 01:10:18 bilo jednako nuli zahvaljujući doprinosu operatora "kontinentalne Europe", sustav je trebao dalje isporučivati dodatnu energiju u druga 'područja' kako bi se održala zajednička frekvencija i vlastita neravnoteža na nuli. Tako je količina te dodatne potrebne energije uvrštena u "program razmjene" za žuti dio vremena i sljedeći dio vremena kako bi se njezina isporuka nastavila (to je objašnjenje skokovite 'neravnoteže' snage u 01:00:00). Nakon toga je u 01:18:00 počela isporuka regulacijske energije iz RRP postupka, čime se omogućilo oslobađanje rezerve snage mFRR iz mFRP-a bez odudaranja neravnoteže od nule i bez pojave odstupanja frekvencije. Ipak, odudaranje "ostvarenog odziva" RR-a od "zahtijevanog odziva" RR-a u posljednjem dijelu vremena (od 01:15:00 do 01:30:00) dovelo je do neravnoteže u tom dijelu vremena.

2.9. Sažeti opis sustava koji pretpostavlja poznavanje simboličkog sustava

Elektroenergetski sustav sastoji se od sinkronih područja, sinkrona od bilančnih područja, bilančna područja sadrže bilančne grupe. Bilančnim područjima upravljaju operatori prijenosnih sustava, za odstupanja bilančnih grupa ispaštaju odgovorni za odstupanja, za neravnoteže bilančnih područja ispaštaju operatori. Bilančna područja sadrže sučelja s mrežom na kojima energiju s mrežom razmjenjuju potrošači i proizvođači. Pridružene razmjene energija (virtualne, izmjerene) tim sučeljima u dijelovima vremena su inputi koji uviru u bilančne grupe (koje su apstraktni koncept, engl. *account* [2]). Output iz svakog sučelja mora biti pridružen kao input nekoj bilančnoj grupi.

Sučelja s mrežom (proizvođači, potrošači, skladišta) moraju *ex ante* sklopiti ugovore s obračunateljima za obračun razmijenjene djelatne energije s mrežom. Količina razmijenjene energije za 'obračun razmjene' utvrđuje se *ex post*. U općem slučaju za razmijenjenu energiju na sučelju s mrežom za dio vremena

[104] "Integral" trenutačnih vrijednosti neravnoteža hrvatskog sustava označenog smeđom bojom u žutom 'dijelu vremena', drugim riječima razlika apsolutne vrijednosti površine iznad i apsolutne vrijednosti ispod grafa do nekog intervala *i*.



Sl. 6: Postupci unutar bilančnog područja (proporcije snage 'regulacijske energije' iz [11] promijenjene su, dodana je prema [14] inercija kod FCP-a koja ne uključuje FCR, krivulje su izrađene u Excelu i grafički obrađene u Visiu) s isključenim postupkom INC

(npr. za četvrt sata) nema mjerenja. Ako se za takva sučelja s mrežom (engl. *profiled accounting points*) uspije pristupiti opremi na sučelju s mrežom, tad se može očitati koliko je energije razmijenjeno u razdoblju između dva očitanja (npr. 27 dana). Tu količinu onda obračunatelj koristi u obračunu razmjene. Ako se ne uspije pristupiti sučelju s mrežom, onda se za obračun u pripadnom razdoblju koristi procjena razmjene algoritmom definiranim *ex ante*. Količina tobože razmijenjene energije za takva sučelja s mrežom za izračun odstupanja za dio vremena (što je input obračunu odstupanja *ex post* i koji se planira za kupoprodaju) određuje se na unaprijed definiran način (apstraktnim sustavom). Ta izračunata količina (koja se računa *ex post*) razlikuje se (osim iznimno) od količine koju obračunatelj obračunava *ex post* tim sučeljima s mrežom u obračunu razmjene. Za tu razliku ($\Delta E_A = E_B - E_{C1} - E_{C2}$) obavlja se poseban obračun (engl. *reconciliation*). Ta razlika je preciznije, razlika: između energija koje obračunava obračunatelj *ex post* (E_B) u obračunu razmjene (engl. "*retail*"); i energija koje su kupljene (ILI prodane) za izmjerenu/izračunatu razmjenu za dio vremena između trgovatelja (E_{C1}) *ex ante* (engl. "*wholesale*") te one protrgovane s operatorom *ex post* (E_{C2}) (engl. *balancing energy*, *congestion management*, "*imbalance settlement*"), a ilustracije se mogu pogledati u [20].

Obračunatelji moraju biti 'povezani' s trgovateljima koji trguju *ex ante*. Trgovatelji za svaki dio vremena idejno (*ex ante*) trguju energijom, eda bi ona što više odgovarala pseudorazmjenama sučelja s mrežom koja pripadaju bilančnoj grupi za dio vremena. To se temelji na prognozi razmjene energije (potrošnje, proizvodnje) za dio vremena i na njezinu planiranju ILI upravljanju. Trgovatelji mogu trgovati s trgovateljima iz drugih bilančnih područja za što im je potreban prekogranični prijenosni kapacitet, a rezultati tog trgovanja uvrštavaju se *ex ante* u programe razmjena sustava. Trgovatelji mogu trgovati ne samo u tu svrhu nego i radi zarade na arbitraži (k *Pareto efficiency*, npr. uslijed pouzdanja u vlastitu sadašnju budućnost koja je različita od one drugog dionika). Nedugo prije dijela vremena (npr. sat prije) trgovateljima je onemogućeno trgovanje za taj dio vremena (engl. *intraday gate closure time*). U izračunu odstupanja ($\Delta E_{bg,j}$) koriste se samo one količine koje su trgovatelji *ex ante* 'uredno' prijavili operatoru tržišta ("fizičko trgovanje", uz količine iz učinaka koji nastaju uslijed intervencija operatora).

Netoiznos odstupanja svih odgovornih za odstupanja (ΔE_{bg}) određuje razliku između neravnoteže ($\Delta E_{bp,ue}$) i energija za vođenje neravnoteže k nuli (ΔE_r), za svaki dio vremena ($\Delta E_{bg} = \Delta E_{bp,ue} - \Delta E_r$). Financijsku odgovornost za rezultate obračuna odstupanja ispred operatora u ime obračunatelja i trgovatelja preuzima odgovorni za odstupanja. Nepovoljna cijena odstupanja primijenjena na odgovornog za odstupanja odvraća ga od odstupanja. Odgovarajuće cijene regulacijske energije u odnosu na cijenu odstupanja, pružatelja resursa

motiviraju na nuđenje regulacijske energije[105]. Neravnoteže energija za dio vremena (engl. *unintended exchange*) operatoru se obračunavaju na temelju algoritma koji dogovore operatori, ili naturalno ili financijski (uz korekciju te neravnoteže operatora u obračunu zbog stvaranja $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$-a kod operatora koji ispunjava zahtjev za regulacijskom energijom, uslijed nemogućnosti skokovitog / diskretnog fizičkog odziva razmjene, npr. *FRCE adjustment process*, str. 60-61 u [15]).

Nakon što se trgovateljima zabrani trgovanje za dio vremena (engl. *gate closure time*) operator provodi aktivnosti u vođenju neravnoteže sustava (ili $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$ ili $\Delta E_{\mathrm{bp},n_i}$) k nuli, aktivacijom regulacijske energije iz postupaka FCP, aFRP, mFRP i RRP. Neravnoteža u energiji ($\Delta E_{\mathrm{bp},n_i}$) razlikuje se od energije iz neravnoteže u srednjoj snazi u svakom intervalu i trajanja Δt ($\Delta P_{\mathrm{ACE},i\,=\,nt} \cdot \Delta t \neq \Delta E_{\mathrm{bp},n_i}$). Prije zabrane trgovanja je operator *ex ante* (npr. tjedan unaprijed) osigurao od pružatelja rezerve spremnost za proizvodnju regulacijske energije ($\Delta E_{\mathrm{f,re}}$), a količinu te rezerve snage (P_{rez}) temeljio je i na odstupanjima u ondašnjoj prošlosti i procjeni odstupanja u ondašnjoj budućnosti. Pružatelj rezerve kod aktivacije regulacijske energije ($\Delta E_{\mathrm{f,re}}$) posreduje između sučelja s mrežom i operatora. Regulacijsku energiju operator dobiva promjenama djelatne snage na sučeljima s mrežom u svojem bilančnom području. Dobavlja je i uvozom/izvozom putem programa razmjene (aktivacija regulacijske energije u drugim područjima koju provode drugi operatori za njegove potrebe uz korištenje prekograničnih prijenosnih kapaciteta). Količine aktivirane regulacijske energije uvažavaju se prilikom izračuna odstupanja. Osim aktivacijom regulacijske energije, vođenju neravnoteže sustava k nuli pridonosi INC postupak. INC-om se razmjenjuju suprotne neravnoteže sustava bez aktivacije regulacijske energije, uz preduvjet imanja prekograničnog prijenosnog kapaciteta. Operator se ujedno brine o preopterećenju pojedinih sastavnica mreže odgovarajućim planiranjem i intervencijama, uz priznavanje kasnijeg učinka intervencija na odgovornog za odstupanja.

Na mrežama povezanih elektroenergetskih sustava u svakom trenutku postoje točke s izvorima i ponorima toka energije (potrošnja, proizvodnja, skladišta). Na tim se točkama, djelomično spontano a djelomično s predumišljajem, trenutačno i neprestano razmjenjuju energije s mrežom. Na dijelu

[105] "[t]*he relation between the* ['cijene regulacijske energije'] *and* ['cijene odstupanja'] *determines how attractive is for a* ['pružatelj resursa'] *to place a bid. If the* ['cijena odstupanja'] *is more costly than the* ['cijena regulacijske energije'] *paid for the bid over the same* ['dio vremena'], ['pružatelj resursa'] *may decide to hold back a bid, since it is worth more when delivered as* [energija za otklanjanje 'odstupanja' koje je u smjeru 'neravnoteže' i koje se više kažnjava] *or* [kao energija za pojačanje 'odstupanja' koje anulira 'neravnotežu' i koje se nagrađuje] *than it would be when delivered as a* [ponuda 'regulacijske energije' 'operatoru']", str. 6. [3], u navedenom se podrazumijeva *single imbalance price*. Sadržaj ove podrubnice po sustavskom bi mišljenju [1] bio primjena koncepta "svrhovitosti" koji odgovara na pitanje "zašto?", umjesto informacije koja odgovara na pitanje "što?" i znanja koje odgovara na pitanje "kako?".

sučelja s mrežom operator može po potrebi u stvarnom vremenu (u pogonu) mijenjati snagu razmjene s mrežom, a razmjene na drugom dijelu sučelja su neupravljive. Umijeće je osmisliti suradnju operatora eda se postiže takvo stanje proizvodnje i potrošnje (s gubitcima) u sustavu uz koje će frekvencija sinkronih područja biti zadovoljavajuća, uz ostale tehničke kriterije u pogonu (npr. napon, zaštita). Osim toga, cilj je postići i prihvatljive ekonomske kriterije prema dionicima povezanim sa sustavom, a i za sustav kao cjelinu.

Najveću pažnju javnosti privlači potrošačka cijena koja u svojoj strukturi u redovnom stanju implicitno sadržava trgovačku cijenu, cijenu odstupanja, poreze i naknade državi i operatorima, operativne troškove, rizike i profitnu marginu obračunatelja na sučelju s mrežom (moguća brutomargina je *markup*[106]). To je stoga što su potrošači najbrojniji, pa se ona odražava na sva kućanstva i poduzetnike u Republici Hrvatskoj. 'Proizvođačka cijena' koja privlači pozornost ona je koja se isplaćuje za poticanje obnovljivih izvora energije.

2.10. Ograničenja simboličkog sustava

Simbolički sustav u ovom je radu ograničen na "djelatnu snagu"[106b] (*active power flow*) i djelatnu energiju, a opisuje: trgovinske razmjene djelatnih energija s "fizičkom isporukom" između trgovatelja unutar i izvan operatorova područja; osiguravanje spremnosti te kasnije korištenje snage i energije za vođenje neravnoteža sustava k nuli; obračun razmjena (isporučenih energija u mrežu, "preuzetih" energija iz mreže); odgovornost za individualna odstupanja; pomoćne obračune (npr. *reconciliation*).

Rad podrazumijeva unaprijed zadana bilančna područja, dakle zonalni pristup (engl. *zonal pricing*) umjesto čvorišnog (engl. *nodal pricing*). Pretpostavlja samostalni dispečerski model umjesto središnjeg. Tržište promjena razmjene djelatne energije koje se odvija *ex ante* između pružatelja resursa i trgovatelja nije obrađeno. Oblikovanje ograničenja u davanju ponuda rezerve snage i regulacijske energije nije obrađeno[107]. Algoritmi i inputi kojima se računaju vrijednosti prekograničnih prijenosnih kapaciteta nisu obrađeni (pogledati [18]).

Nije obrađena djelatnost prikupljanja mjernih podataka (engl. *metering data* [2]). Nije obrađeno određivanje podataka za razne svrhe iz mjernih podataka: za vođenje sustava (osiguravanje povezanosti sučelja s mrežom, *ex ante* prognoziranje razmjena na sučeljima s mrežom i sl.) niti za određivanje obračunskih podataka (engl. *accounting data* [2]). U [2] su definirane uloge koje se tiču mjernih podataka (npr. *metered data collector*, *metering point administrator* [2]).

[106] Izračun (procjena) *markupa* definiran je na str. 288. u *ACER/CEER Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2014*, studeni 2015.

[106b] Ivan Flegar (2020) je u radu iz ovoga zbornika umjesto naziva »snaga« predložio, po njemu, bitno bolji naziv jakost toka (struje) energije (kraće tok energije).

[107] Npr. kao što je obrađeno u poglavlju 4.1 za aFRR u [15].

Sadržaj u podrubnicama upućuje na šire područje (npr. fuzija[108], dugoročno poticanje kapaciteta za sigurnost). Jalova snaga i energija ne obrađuju se iako su bitne (trgovatelji ne trguju jalovom energijom ni snagom)[109]. Preostaje obraditi i druge aspekte elektroenergetskog sustava[110] i poveznice s drugim sustavima (npr. s plinskim sustavom[111], npr. za ilustraciju slika 7.). Ne bavi se utjecajem postupaka donošenja propisa na sadašnju budućnost (npr. utjecaj europskih prijedloga dokumenata na budućnost u 2018.[112]). Rad se površno bavi korelacijama između vremenski pomaknutih događaja (npr. političkih odluka na energetski miks[113]).

Nije obrađeno pitanje troškova kapitala ni kod netržišnih djelatnosti (npr. operator prijenosnog sustava, proizvođač sa zajamčenom 'proizvođačkom

[108] Npr. oko fuzije poslušati *The Economist*, priredio Alok https://www.iter.org/print/of-interest/880, pristup 18. 01. 2020., objava 5. lipanj 2019. i pogledati publikaciju ITER-a iz rujna 2019., dostupno na: https://www.iter.org/doc/www/content/com/Lists/list_items/Attachments/863/ITER_A2_PLANET_2019_c.pdf, pristup 18. 01. 2020.

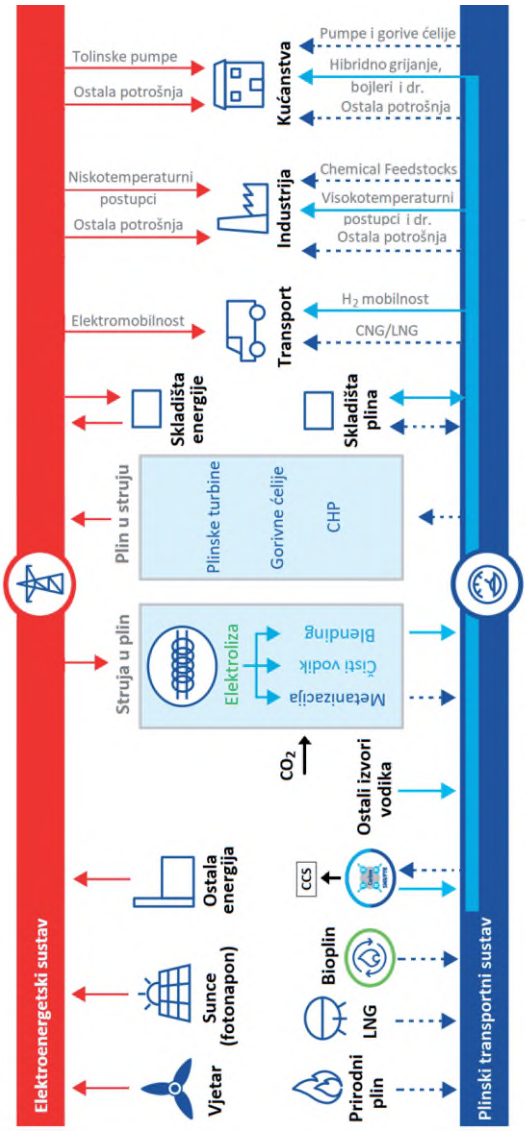
[109] Npr. jalova snaga i energija reguliraju napon koji ako je previsok uzrokuje skraćenje vremena upotrebljivosti opreme (npr. transformatori), a na razdjelnoj mreži i trenutačno uništenje opreme (npr. žarulje). O značaju tog pitanja govori projekt zajedničke koordinacije u regulaciji napona SINCRO.GRID između Republike Slovenije i Republike Hrvatske, poglavlje 2.4.2. u HOPS (2019.), *Desetogodišnji plan razvoja prijenosne mreže 2020. − 2029. s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje*, https://www.hera.hr/hr/docs/2019/Prijedlog_2019-10-03_01.pdf, pristup 20. 01. 2019.

[110] Npr. formiranje i svrha netržišnog dijela 'potrošačke cijene' po sastavnicama, npr. utjecaj društva na sustav (npr. utjecaj složaja zaduženosti, robne razmjene, bruto domaćeg proizvoda države i međunarodnih okolnosti na trend potrošnje električne energije u državi) itd.

[111] ENTSO-E i ENTSO-G su 2017. prvi put u povijesti napravili i predstavili prijedloge zajedničkih scenarija za tadašnju budućnost *TYNDP 2018 scenarios*, https://tyndp-2018-scenarios.netlify.com/. Pristup koji je predstavio CEER u lipnju 2020. obuhvaća i plinski i elektroenergetski sustav, CEER Paper on Whole System Approaches, https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/c52735ff-54db-9d8b-146d-753d7edc141d, pristup 30. 06. 2020.

[112] L. Wagmann, S. Žutobradić, M. Žunec, S. Hutter (2018), "Regulatorni pogledi na prijedloge paketa Čiste energije za svakog Europljanina u pogledu maloprodajnog tržišta električne energije i distribucijske djelatnosti", HRO CIRED, SO6-01. Tu se obrađuju neke interakcije 'operatora prijenosnog sustava', 'pružatelja resursa', 'obračunatelja na sučelju s mrežom', 'potrošača' i operatora razdjelnog sustava. Naznačuju se koncepti: "energetska zajednica", elektromobilnost, "neovisni agregator", skladištenje energije, "pomoćne usluge" (operatorima razdjelnog i prijenosnog sustava), "napredno mjerenje" te razdioba troškova priključenja na mrežu i korištenja mreža po 'sučeljima s mrežom'. Za koncept "energetske zajednice" pogledati RESCOOP.EU, CLIENTEARTH.ORG (2020), *Energy Communities under the Clean Energy Package*, https://www.managenergy.eu/node/980, pristup 28. 9. 2020. i Caramizaru, A. and Uihlein, A. (2020), *Energy communities: an overview of energy and social innovation,* EUR 30083 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC119433/energy_communities_report_final.pdf, pristup 2. 10. 2020.

[113] Korelacije su vidljive kroz scenarije ENTSO-E-a i ENTSO-G-a (*The European Network of Transmission System Operators for Gas*) indikativnih naziva gdje se politikama utječe na prisutnost plinskih i elektrana na ugljen za 2025.: u scenariju *Coal Before Gas* cijena CO_2 je 25,7 €/t, s *New Policies Scenario* agencije IEA (koji *"includes nationally determined contributions, submitted as part of the UNFCCC Paris Climate Change Agreement"*); u scenariju *Gas Before Coal* cijena je 54 €/t, s *450 Scenario* agencije IEA (koji *"assumes the global community will meet its minimum commitment under the Paris Agreement, namely to keep global warming to a limit of 2 degrees Celsius"*), ENTSO-E i ENTSO-G (2017), https://tyndp-2018-scenarios.netlify.com/new-chapters/chapter21, pristup 5. 12. 2019. i Europski parlament (2016),https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2016/595862/EPRS_ATA(2016)595862_EN.pdf, pristup 19. 01. 2020.



Sl. 7.: Poveznice između elektroenergetskog plinskog transportnog sustava (CHP − *Combined Heat and Power*, CNG − *Compressed Natural Gas*, CCS − *Carbon Capture Storage*, *Blending* − reakcija u kojoj nastaje spajanje vodika i metana)[114]

[114] Prevedena te bitno prerađena i dopunjena slika; inspirirana je slikom na str. 14. u ENTSO-G (2019), *ENTSOG 2050 ROADMAP FOR GAS GRIDS*, https://entsog.eu/sites/default/files/2019-12/ENTSOG%20Roadmap%202050% 20for%20Gas%20Grids.pdf. Što se tiče vodika, ENTSO-G je procjenjivao 2019. ("ENTSOG's Input to the EU Strategy on Energy Sector Integration", svibanj 2020., https://www.entsog.eu/sites/default/files/2020-07/EU%20Strategy%20on%20Energy%20Sector%20Integration_ENTSOG%27s%20Input_14%20May%202020.pdf, pristup 8. 7. 2020.) da će njegova količina 2050. biti 1.000 TWh ili 14 % potrošnje (engl. final energy demand). Pregled inovativnih projekata iz gledišta ENTSO-G-a može se vidjeti ovdje, https://www.entsog.eu/ipp (npr. jedna od kategorija koja se može odabrati projekti su pretvaranja električne energije u plin, https://www.entsog.eu/power-gas).

cijenom' koja mu osigurava povrat investicijskih troškova) ni kod tržišnih djelatnosti (npr. proizvođač koji prodaje energiju po 'proizvođačkoj cijeni' približno jednakoj 'trgovačkoj cijeni', a koja mu ne jamči povrat investicijskih troškova). Granicu između tržišnih i netržišnih djelatnosti nije uvijek lako povući budući da u gdjekojoj djelatnosti postoji i tržišna i netržišna sastavnica.

Interne interakcije subjekata 'povezanih' u aktivnostima koje se tiču 'odstupanja' u radu se ne obrađuju (npr. razdioba troška proizišlog iz interne odgovornosti za prognoziranje isporuke u mrežu ILI preuzimanja iz mreže ILI upravljanja proizvodnjom ILI potrošnjom ILI skladištenjem unutar bilančne grupe, jer odgovorni za odstupanja za bilančnu grupu to samostalno uređuje).

Apstraktni model uvelike je ograničen na promatranje aktivnosti u okupu dva mjeseca (pripreme, razmjene energija, analiza ispunjenja obveza). U [22] je analizirana kupoprodaja u smislu štićenja od rizika i preko tri godine unaprijed (npr. "[*l*]*imited liquidity in long-term markets, in particular beyond three years*"). Nije obrađen postupak odlučivanja o izgradnji i priključenju objekata na mrežu ni s ekonomske ni s tehničke strane, niti njihovo održavanje i vođenje.

Zaključak

Simbolički sustav u radu je omogućio koncizan opis sustava u pododsječku "Sažeti opis sustava koji pretpostavlja poznavanje simboličkog sustava". Simbolički sustav zadovoljavajući je za opis sadašnje budućnosti, dok će vrijeme pokazati njegovu prikladnost za nepredviđeni put razvoja. Kvaliteta drugih simboličkih sustava mogla bi se gledati kroz to mogu li objasniti isti sadržaj uz usporedbu po nekim kriterijima (kriteriji bi mogli biti: jasnoća, sažetost i koherentnost kojima prethodi jasna misao[115] koja poboljšava dimenziju "ljepote" [1]).

Na putu razvoja obično su u početku dovoljni manje složeni modeli, dok se kasnije pojavljuje potreba za modelima s većom razinom općenitosti[116]. Veća općenitost zamorna je dionicima ako za njom odmah ne vide potrebe u praksi. Novi nazivi za postojeće i nove pojmove u odnosu na ustaljeni pojmovni sustav uglavnom u početku izazivaju nelagodu i zbunjenost, a nakon toga ako je kvalitetan olakšanje (omogućavanje) razumijevanja. Ipak, tu treba imati u vidu posljedice promjene ustaljenih naziva[117].

[115] "Težnja za dobrim stilom je težnja za jasnim sadržajem. Ne dotjeruje se rečenica, nego misao. Nema stila bez sadržaja", str. 235., Zvonko Benčić (2018), *Na rubnici moje učinske elektronike*. U toj su knjizi na str. 233-285 dane lako primjenjive smjernice za pisanje radova, a uz to su definirane svrhe naslova, sažetka, uvoda i zaključka (koncept "svrhovitosti" u sustavskom mišljenju).

[116] Npr. omogućavanje (ili zabrana) 'pružatelju resursa' da nudi 'regulacijsku energiju' iz 'sučelja s mrežom', čiji inputi za izračun 'odstupanja' uviru u algoritam izračuna odstupanja različitih 'bilančnih grupa'.

Elektroenergetski tržišni sustav potrebno je prilikom projektiranja sagledavati kao cjelinu. To nije jednostavno zbog brojnih subjekata i njihovih interakcija. U tom je stanju potrebno prilagoditi se odgovarajućem načinu mišljenja (npr. sustavskom mišljenju). Ipak, ovisno o svrsi i k cilju dovoljne razine razumijevanja, obično postoji potreba za odgovarajućim pojednostavnjenjima (po načelu "manje je više") pri čemu treba poznavati sustav za odgovarajuću odluku o zanemarenjima.

Učinjeno razlikovanje uloga u razmišljanju omogućava uvid u sastavnice sustava koje se tako rasvjetljuju, što je vidljivo iz "proširenog razmjera" za 2018. (npr. trošak 'regulacijske energije' i 'rezerve snage' činio je 2,4 % 'potrošačke cijene', a prije 1. srpnja 2014. nije bio određivan po ostvarenju usluga[118]). Neke od razdvojenih uloga na dionika mogu imati učinak koji mu predstavlja zanemariv trošak (npr. trošak 'cijena odstupanja' u 'potrošačkoj cijeni' bio je 1,3 %). Nasuprot tomu, ta ista uloga kod drugog dionika može imati učinak koji dioniku znači ili prosperitet ili propadanje, kad bi takav dionik bio zainteresiran za smanjenje tog troška (npr. u 'potrošačkoj cijeni' iznos iz 'cijene odstupanja' činio je 1,3 %, a u 'proizvođačkoj cijeni' za sustav poticanja 4,4 %). Višeumno stanje uslijed razdvajanja djelatnosti, uz takvu razvidnost (troškovi, podaci)[119] i odgovarajuće slobode i odgovornosti (neslobode), vodi učinkovitijem sustavu[120]. To je stoga jer dionici imaju poslovni interes biti učinkoviti radi opstanka i prestiža. To je i stoga jer su tad u njemu vidljivije sustavske neučinkovitosti.

Interakcije koje su prikazane nije moguće zanemariti ako se želi razumjeti razvoj elektroenergetskog tržišta. Za razumjeti opisani dio sustava potrebno je utrošiti dovoljno vremena (npr. pamćenje značenja pojmova i njihovih naziva, čitanje rada više puta uz primjenu na stvarnim sustavima). Bez razumijevanja opisanog dijela sustava nije moguće pouzdano projektiranje 'apstraktnog sustava'.

Istaknuta ograničenja modela upozoravaju na potrebu za dopunom simboličkog sustava i tekstualno i inovativnim slikama. Potrebno je još primjera u okviru forme sa slike 6. (ILI npr. interaktivni simulator) s različitim složajima promatranih varijabli, k boljem razumijevanju svrhe međudjelujućih postupaka koje slika ilustrira.

Prikupljanje podataka i njihova obrada (npr. za proračune struja i napona u mreži) uz popisivanje događaja ne vodi nužno potpunom shvaćanju

---

[117] Oko načela i primjera kod razvoja tehničke terminologije pogledati Snježana Kereković (2014), "Primjena terminoloških načela na sinonimne tehničke nazive", Polimeri 35(2014)1-2:18-24, https://hrcak.srce.hr/137295, pristup 24. 9. 2020.

[118] N. Švarc (2018), "Utjecaj regulative RH, regulacijskih potreba HOPS-a i tržišnih signala na stanje angažiranosti i plan razvoja HEP-ovog proizvodnog portfelja", HAZU, 17. 4. 2018., okrugli stol "Prilagodba modela vođenja ees-a i tržišta električne energije u povećanoj integraciji obnovljivih izvora energije".

[119] Članci 101. i 102. *Ugovora o funkcioniranju Europske unije* zabranjuju netržišne ugovore (engl. *anti-competitive agreements*) i zlouporabu dominantnog tržišnog položaja u jedinstvenom tržištu, Europska komisija (2014), *Competition policy brief*, http://ec.europa.eu/competition/publications/cpb/2014/003_en.pdf.

elektroenergetskog tržišta. Tako je uz puke činjenice, a u cilju potpunog shvaćanja sustava, potrebno osmisliti apstraktne modele za stvaranje odgovarajućih kvalitativnih uvida. Primjer takvog modela popularna je "lista ekonomskog prvenstva" (engl. *merit order list*). Ona se koristi na putu k intuitivnom razumijevanju načina rada burze električne energije na tržištu dan unaprijed (engl. *day ahead power exchange*), koji je inače presložen ako se hoće prikazati potpuno[121]. Prilikom izrade pojednostavnjenih modela potrebno je imati u vidu problem koji se rješava te se ne smiju smetnuti s uma učinjena pojednostavnjenja[122].

Primjetno je da se u razmatranjima ovog rada ne koriste ni integralni ni diferencijalni oblici zakonitosti iz teorije elektromagnetskih polja (npr. $\oint_C \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{r} = -\delta / \delta t \cdot \int_S \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{S}$). Kreće se od diskretnih (neanalognih) vrijednosti u vremenu (npr. Δt, Δf_i, $\Delta P_{\mathrm{ACE},i}$) iz kojih se definiraju neke pravilnosti (npr. $\Delta E_{\mathrm{bg}} = \sum_{i=1}^{n_{\mathrm{uk}}} \Delta P_{\mathrm{ACE},i} \cdot \Delta t - \Delta E_{\mathrm{r}}$) što se za svrhe u radu pokazalo dovoljnim. Jedna je od svrha opis odgovornosti za razmjene energija u tim diskretnim 'dijelovima vremena', kako bi se postigao uredan rad sustava (npr. frekvencija, strujna opterećenja sastavnica mreže i njihova zaštita, pravedna razdioba troškova i odgovornosti). U odnosu na te neanalogne pravilnosti mogu postojati modeli po kojima su te pravilnosti drugačije nego što su u priloženom simboličkom modelu, pa su samim tim kontingentne.

Pokazalo se prikladnim u simboličkom sustavu (pojmovni, nazivi) razlikovati: 'apstraktni sustav' od 'fizičkog sustava'; fizička od virtualnih ostvarenja energija; količine energija koje obračunavaju 'obračunatelji', od energija i srednjih snaga za 'dio vremena', i te prve dvije kategorije od energija i srednjih snaga u intervalima dijela vremena; razmjene energija među 'trgovateljima' od obračuna razmjena za 'sučelja s mrežom' ('proizvođači', 'potrošači'); razmjene 'trgovatelja' s "fizičkom isporukom" od njihovih razmjena s "nefizičkom isporukom"; aktivnosti 'trgovatelja' do trenutka prekida njihovih aktivnosti *t* za 'dio vremena' (GCT), od aktivnosti 'operatora' nakon trenutka *t* za 'dio vremena' i u 'dijelu vremena' do njegova kraja; energija u intervalima dijela vremena od energije za dio vremena; 'odstupanja' 'odgovornih za odstupanja' od 'neravnoteža' 'operatora'; tri značenja pojma 'neravnoteža'. Razdvajanje tih pojmova omogućilo je lakše razmatranje i ilustraciju elektroenergetskog tržišta koje ih sadrži kao dio cjeline.

---

[120] Npr. od 2012. do 2017. neprestano je dolazilo do bitnih poboljšanja u 'neravnoteži' Republike Hrvatske, što se podudaralo s dolaskom 'obračunatelja' ("opskrbljivača") izvan HEP-a.

[121] Precizniji opis algoritma: EPEX SPOT–GME–Nord Pool Spot–OMIE–OPCOM–OTE–TGE,"EUPHEMIA Public Description PCR Market Coupling Algorithm", version 1.2, January 5, 2016., dostupno https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/EuphemiaPublicDocumentation20160105.pdf, pristup 8. 1. 2020.

[122] Npr. Ivan Flegar (2019) oko modela iz teorije električnih mreža upozorava da su zakonitosti iz njega poseban slučaj teorije elektromagnetskog polja, te da se u primjeni mora provjeriti jesu li s dovoljnom točnošću zadovoljeni uvjeti pod kojima vrijede postulati i primitivni pojmovi teorije električnih mreža, "Uloga matematičkih modela u projektiranju električnih uređaja", PIFT.

Iako je usporedno s definiranjem simboličkog sustava počelo objašnjavanje nekih sadržaja elektroenergetskog tržišta Gharajedaghijevim principima sustavskog mišljenja, definiranje simboličkog sustava bio je tek preduvjet za daljnja sustavna proučavanja elektroenergetskog tržišta sustavskim mišljenjem.

Literatura

[1] Jamshid Gharajedaghi (2008), *Sustavno razmišljanje − Upravljanje kaosom i složenošću: platforma za kreiranje poslovne arhitekture*, drugo američko izdanje, Stanke d.o.o., Varaždin

[2] ebIX, ENTSO-E, EFET (2019), *The harmonised electricity model*, VERSION: 2019-01 FOR APPROVAL, dostupno na:https://mwgstorage1.blob.core.windows.net/public/Ebix/Harmonised_Role_Model_2019-01.pdf, pristup 7. 1. 2020.

[3] Mathieu Fransen, Timon Dubbeling (2019), *ACM Position Paper Marginal Pricing for Balancing Energy a comparison between pricing methods*, dostupno na: https://www.acm.nl/sites/default/files/documents/position-paper-marginal-pricing-of-balancing-energynew.pdf, pristup 03. 02. 2020.

[4] Joseph Ratzinger (2017), *Eshatologija − Smrt i vječni život*, Verbum, 2017., izvorno izdanje na njemačkom je iz 1977., str. 200-203, str. 175.

[5] Emmanuel Cerqueira, A. Dallagi, EDF Energy R&D UK Centre, R. Belhomme, M. Trotignon, R. Jover, L. Glorieux, EDF, Research and Development France, A methodology for the analysis of market designs at the horizon 2030., CIGRÉ Paris, 2016., F-75008.

[6] Davorin Brkić, Srđan Žutobradić, Marko Poljak, Prognoza satne potrošnje i proizvodnje, HRO CIRED 2018., SO5-01, dostupno na: https://www.ho-cired.hr, pristup 15. 12. 2019.

[7] Damir Karavidović (2018), Vrijeme izazova za ustaljene funkcije distribucijskog sustava i njegovog operatora. HRO CIRED, SO6-07 dostupno na:https://www.ho-cired.hr

[8] Ivica Toljan, Ivana Kajinić Grizbaher (2018), Hrvatska burza električne energije − sustav obračuna i namire, CROPEX, HRO CIGRÉ 2018.

[9] ebIX (2020), *Overview of energy flexibility services*, version 1.0, dostupno na: https://mwgstorage1.blob.core.windows.net/public/Ebix/ebIX%20Overview%20of%20energy%20flexibility%20services%20-%20v1r0A%2020200106.pdf, pristup 29. 01. 2020.

[10] Davorin Brkić, Marko Poljak, Lahorko Wagmann, Uredba za uravnoteženje (tzv. Uredba GLEB ili Uredba EBGL) iz 2017. − teorija, primjeri, dio odredbi i očekivanih posljedica, HRO CIGRÉ, 2-10, 2018.

[11] ENTSO-E (2018), *Electricity balancing in Europe − an overview of the European balancing market and electricity balancing guideline*, dostupno na: https://docstore.entsoe.eu/, pristup 18. 12. 2018.

[12] ENTSO-E (2018), *Explanatory document to all TSOs' proposal for the implementation framework for a European platform for the exchange of balancing energy*

from frequency restoration reserves with manual activation in accordance with Article 20 of Commission Regulation (EU) 2017/2195 (...), dostupno na: https://docstore.entsoe.eu, pristup 20. 12. 2018.

[13] Yann Rebours (2008), *A Comprehensive Assessment of Markets for Frequency and Voltage Control Ancillary Services*, doktorat na Sveučilištu u Manchesteru

[14] ENTSO-E (2019), *Explanatory document to the All continental European TSOs' proposals for Common settlement rules for exchanges of energy in accordance with the Articles 50(3) and 51(1) of Commission Regulation (EU) 2017/2195 (...)*, dostupno na: https://docstore.entsoe.eu

[15] ENTSO-E, *Explanatory document to all TSOs' proposal for the implementation framework for a European platform for the exchange of balancing energy from frequency restoration reserves with automatic activation in accordance with Article 21 of Commission Regulation (EU) 2017/2195 establishing a guideline on electricity balancing*, prosinac 2018., dostupno na: https://docstore.entsoe.eu, pristup 20. 12. 2018.

[16] ENTSO-E, *Explanatory Document to all TSOs' proposal for a methodology to determine prices for the balancing energy and cross-zonal capacity used for exchange of balancing energy or for operating the imbalance netting process in accordance with Article 30 of Commission Regulation (EU) 2017/2195...*, prosinac 2018., dostupno na: https://consultations.entsoe.eu, pristup 05. 10. 2018.

[17] Research Institute of Industrial Economics (2018)*, Central-versus Self-Dispatch in Electricity Markets*, Stockholm, Švedska, https://www.newton.ac.uk/files/seminar/20190110143015301-1481151.pdf, pristup 3. 8. 2020.

[18] Lahorko Wagmann, Hrvoje Miličić (2019), Koordinirani redispečing i trgovanje u suprotnom smjeru u Core regiji, C5-04, HRO CIGRÉ

[19] ENTSO-E (2021), *Continental Europe Synchronous Area Separation on 08 January 2021 ICS Investigation Expert Panel » Final Report » 15 July 2021 Main Report*, https://eepublicdownloads.azureedge.net/clean-documents/SOC%20documents/SOC%20Reports/entso-e_CESysSep_Final_Report_210715.pdf, pristup 15. 7. 2021.

[20] Davorin Brkić (2021), Holistički pristup i ilustracije za oslikavanje modela s HRO CIGRÉ-a iz 2015. koji sadrži ekonomske podsustave uravnoteženja, HRO CIGRÉ, C5-02, Šibenik

[21] Davorin Brkić (2022), Cijene električnih energija i snaga na mjestima trgovanja kroz vrijeme u teoriji i sustavski prikaz za neke dionike, neobjavljeni rad predviđen za objavu na HRO CIGRÉ-ovom Simpoziju o vođenju EES-a u Cavtatu 2022.

[22] ACER (2022), *ACER's Final Assessment of the EU Wholesale Electricity Market Design*, travanj 2022., https://extranet.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER's%20Final%20Assessment%20of%20the%20EU%20Wholesale%20Electricity%20Market%20Design.pdf, pristup 29. 4. 2022.

[23] Davorin Brkić (2021), Sustavsko mišljenje i elektroenergetsko tržište u teoriji, HRO CIGRÉ, proširena elektronička inačica rada dostupna uz Miljokaz HRO HRO CIGRÉ uz PIFT 2020., https://hro-cigre.hr/wp-content/uploads/2021/11/Sustavsko-misljenje-i-elektroenergetsko-trziste-u-teoriji-v2.pdf, pristup 28. 5. 2022.

Pojmovnik kratica za kvantizirane vrijednosti s usporednim nazivima na engleskom[123]

Oznaka	Opis
f_{naz}	nazivna frekvencija (*nominal system frequency*)
K	"regulacijska konstanta" koja se koristi za kvantificiranje dijela fizičkog odziva 'bilančnog područja' na odstupanje frekvencije od nazivne (*K-Factor*)
Δt	trajanje intervala i u 'dijelu vremena'("*imbalance settlement period*", "*real time*", *time granularity*, *market time unit*), koji može ovisno o potrebi biti različit (npr. manje od sekunde za mjerenje i analizu frekvencije, manje od 10 sekundi za 'neravnotežu' $\Delta P_{ACE,i}$)
i	redni broj vremenskog intervala trajanja Δt unutar 'dijela vremena'
n_{uk}	ukupan broj intervala i u 'dijelu vremena'
n_{bg}	broj 'bilančnih grupa' (*balance group*) u 'bilančnom području' (*LFC area*) 'operatora prijenosnog sustava' (*system operator*)
P_{rez}	količina 'rezerve snage' (*reserve capacity*, *active power reserve*) u 'dijelu vremena' do koje 'pružatelj resursa' može početi aktivirati snagu na 'sučeljima s mrežom' za potrebe 'operatora prijenosnog sustava' na operatorov zahtjev. Iz te se snage stvara 'regulacijska energija' ILI energija za otklanjanje "zagušenja" (*congestion management*), koja se dijeli po smjeru (smjer povećanja isporuke u mrežu ILI smanjenje preuzimanja iz mreže, te na smjer smanjenja isporuke u mrežu ILI povećanje preuzimanja iz mreže) kao i po tipovima postupaka (FCP, mFRP, aFRP, RRP)
$P_{pr,i}^{poč}$	početna zacrtana razmjena ("program razmjene", "regulacijski program", *control program*), koja predstavlja utvrđenu količinu snage za interval i 'dijela vremena' tik prije početka tog 'dijela vremena'. Ta je količina utvrđena nakon što je 'trgovateljima' (*trader*) zabranjeno trgovanje s 'trgovateljima' iz drugih 'bilančnih područja' za taj 'dio vremena', a koja proizlazi iz netoiznosa protrgovane energije tih trgovatelja po granicama i iz 'operatorovih' intervencija u tu vrijednost prije nego što 'dio vremena' počne (npr. *ramping period*)
$E_{fiz,j,i}$	fizičko ostvarenje 'bilančne grupe' j u intervalu i 'dijela vremena' koje može i ne mora biti izmjereno, a ako je izmjereno treba imati u vidu pogreške pri mjerenju
P_i	izmjerena netorazmjena 'bilančnog područja' u intervalu i 'dijela vremena' (*total interconnector active power flow*, *measured actual real time power interchange value*)
$P_{pr,i}$	ostvarena količina snage u zacrtanoj razmjeni s drugim 'bilančnim područjima' u intervalu i 'dijela vremena' (*control program*)
ΔP_i	odstupanje snage razmjene koja je razlika između izmjerene netorazmjene 'bilančnog područja' u intervalu i 'dijela vremena' i zacrtane razmjene ("programa razmjene") u istom intervalu ("*power control error*")
f_i	izmjerena frekvencija u intervalu i 'dijela vremena' (*actual frequency of the synchronous area*, *instantaneous frequency data*)

[123] Pogledati usporedive pojmove iz: I. Toljan, M. Kelava, L. Wagmann, D. Brkić, B. Markota, N. Švarc, T. Robina, D. Beljan (2019), "POJMOVNIK I INTERPRETACIJE Pripremni dokument za okrugli stol (HAZU, 17. 4. 2019.) o pravilima za određivanje cijene odstupanja u organizaciji HRO CIGRE-a" http://www.hro-cigre.hr/downloads/Pojmovnik%20i%20Interpretacije.pdf, pristup 27. 10. 2020.

$f_{\text{off},i}$ korekcija sinkronog vremena u intervalu i 'dijela vremena' (*time control process*)

Δf_i odstupanje frekvencije u intervalu i 'dijela vremena' prema nazivnoj frekvenciji (*frequency deviation*), od čega treba razlikovati $K{\cdot}\Delta f_i$ što je "regulacijska pogreška frekvencije" (*frequency control error*)

$\Delta P_{\text{ACE},i}$ 'neravnoteža' snage u intervalu i (koriste se nazivi: *"area control error"*, *"frequency restoration control error"*, prijedlog za naziv na engleskom: *imbalance*)

$\Delta P_{\text{ACG}} / \Delta f$ samoregulacija proizvodnih jedinica ("automatska regulacija proizvodnje") u 'bilančnom području' na promjenu frekvencije (*auto-control of generation*)

$\Delta P_{\text{SRL}} / \Delta f$ samoregulacija potrošačkih jedinica ("samoregulacija opterećenja") u 'bilančnom području' na promjenu frekvencije (*self-regulation of load*)

$\Delta P_{\text{FCR}} / \Delta f$ odziv 'rezerve snage' FCR (*frequency containment reserves*) na odstupanje frekvencije

$\Delta P_{\text{ost},i}$ iznos snage koja je postignuta za vođenje 'neravnoteže' k nuli u intervalu i, a koja nije aktivirana iz 'rezerve snage'

$\Delta E_{\text{ost},i}$ količina energije u intervalu i koja je ostvarena za vođenje 'neravnoteže' 'bilančnog područja' k nuli, a nije 'regulacijska energija'

$\Delta P_{\text{FCR},i}$ iznos aktivirane 'rezerve snage' FCR u intervalu i 'dijela vremena' u 'bilančnom području'

$\Delta P_{\text{INC},i}$ iznos snage u programu razmjene koji proizlazi iz INC postupka (*"imbalance netting process"*) u intervalu i 'dijela vremena'

$P_{\text{aFRR,set},i}$ postavna vrijednost snage u intervalu i 'dijela vremena' kojoj teži 'pružatelj resursa' u aFRP-u (*setpoint value by the frequency restoration controller*)

$\Delta P_{\text{aFRR},i}$ iznos aktivirane 'rezerve snage' aFRR u intervalu i 'dijela vremena' u 'bilančnom području' (*activation of automatic frequency restoration reserves*)

$\Delta P_{\text{mFRR},i}$ iznos aktivirane 'rezerve snage' mFRR u intervalu i 'dijela vremena' u 'bilančnom području' (*activation of mannual frequency restoration reserves*)

$\Delta P_{\text{RR},i}$ iznos aktivirane 'rezerve snage' RR u intervalu i 'dijela vremena' u 'bilančnom području' (*activation of replacement reserves*)

$\Delta P_{\text{f,re},i}$ iznos aktivirane 'rezerve snage' u intervalu i za potrebe otklanjanja 'neravnoteže'

$\Delta P_{\text{ACE OL},i}$ 'pseudoneravnoteža' u intervalu i 'dijela vremena', gdje se pretpostavlja da bi bila jednaka vrijednosti 'neravnoteže' u slučaju da za 'dio vremena' nije aktivirana energija za vođenje 'neravnoteža' k nuli u tom intervalu i (*"area control error open loop"*)

$\Delta E_{\text{bp},n_t}$ 'neravnoteža' energije od početnog intervala i = 1 do intervala n_t (*unintended exchange od energy*, prijedlog za naziv na engleskom: *imbalnace*)

E_{FCP} količina energije za 'dio vremena' koja se koristi u obračunu operatoru za proces FCP (*intended exchange of energy as a result of the frequency containment process*)

$E_{\text{fiz},j}$ fizičko ostvarenje 'bilančne grupe' j za 'dio vremena' koje može i ne mora biti izmjereno

$\Delta E_{\text{bp,ue}}$ 'neravnoteža' za 'dio vremena' (*unintended exchange of energy*, prijedlog za naziv na engleskom: *imbalance*)

ΔE_{r} ukupna količina energije za vođenje 'neravnoteže' k nuli za 'dio vremena'

$\Delta E_{\text{f,re}}$ količina 'regulacijske energije' (*balancing energy*) koja se promatra ili za dio vremena ili po intervalima i 'dijela vremena', a koja može biti ili energija iz zahtjeva za aktivaciju 'regulacijske energije' ili stvarno isporučena 'regulacijska energija'

$\Delta E_{\text{f,ds}}$ količina ili isporučene ili zahtijevane energije za 'dio vremena' koju je aktivirao 'pružatelj resursa' za potrebe 'operatora prijenosnog sustava' ILI za potrebe drugih subjekata kad ta svrha nije otklanjanje 'neravnoteža'

ΔE_{f} ostvarena količina energije ili isporučene ili zahtijevane u ‘dijelu vremena’ koju je ‘operator prijenosnog sustava’ posredno aktivirao putem ‘pružatelja resursa’ za svoje potrebe, a koja se sastoji od ‘regulacijske energije’ i ostalih energija. Ona uključuje i energiju koju su ‘pružatelji resursa’ aktivirali u ‘dijelu vremena’ za druge subjekte

$\Delta E_{ACE\ OL}$ ‘pseudoneravnoteža’ za ‘dio vremena’, gdje se pretpostavlja da bi bila jednaka vrijednosti ‘neravnoteže’ u slučaju da za ‘dio vremena’ nije aktivirana energija za vođenje ‘neravnoteža’ k nuli u tom ‘dijelu vremena’ (*“area control error open loop”*)

$E_{TRG,j}$ količina iz ostvarenog trgovanja s “fizičkom isporukom” ‘trgovatelja’ ‘povezanog’ s ‘bilančnom grupom’ *j* za ‘dio vremena’, koja uključuje i energiju protrgovanu s ‘operatorom prijenosnog sustava’ za ‘regulacijsku energiju’, za otklanjanje “zagušenja” i za druge svrhe (*final position of that balance responsible party*, *position*)

$E_{OST,j}$, $E_{vir,j}$ virtualno ostvarenje ‘bilančne grupe’ *j* za ‘dio vremena’ koje služi za obračune za ‘dio vremena’ (*allocated volume attributed to balance responsible party*)

$\Delta E_{ODST,j}$ ‘odstupanje’ ‘bilančne grupe’ *j* za ‘dio vremena’ (koristi se *“imbalance”*, prijedlog za naziv na engleskom jeziku: *deviation*)

ΔE_{bg} zbroj pojedinih ‘odstupanja’ svih ‘bilančnih grupa’ za ‘dio vremena’

E_{bp} netoostvarenje svih ‘bilančnih grupa’ u pripadnom ‘bilančnom području’ za ‘dio vremena’

ΔE_{bg+} zbroj pozitivnih odstupanja bilančnih grupa za dio vremena

ΔE_{bg-} zbroj negativnih odstupanja bilančnih grupa za dio vremena

ΔE_{aFRR} netokoličina energije iz postupka aFRP (*automatic frequency restoration process*) za dio vremena

ΔE_{mFRR} netokoličina energije iz postupka mFRP (*mannual frequency restoration process*) za dio vremena

ΔE_{A} razlika između zbroja količina energija na ‘sučeljima s mrežom’ korištenih u ‘obračunu odstupanja’ (*allocated volume attributed to balance responsible party*) i ukupno ostvarenje energije na ‘sučeljima s mrežom’ korištenih u ‘obračunu razmjene’, u razdoblju za koje se provodi obračun računovodstvenog zadovoljenja (naziv za taj obračun na engleskom je *reconciliation*)

E_{B} netokoličina energije koju ‘obračunatelji’ u ‘obračunu razmjene’ obračunaju ‘sučeljima s mrežom’ te ‘bilančne grupe’

E_{C1} netokoličina energije koju ‘trgovatelji’ jedne ‘bilančne grupe’ protrguju s ‘trgovateljima’ izvan te bilančne grupe *ex ante*

E_{C} netokoličina energije koju ‘odgovoran za odstupanja’ protrguje s ‘operatorom prijenosnog sustava’ ex post

System thinking and electricity market in theory

Davorin Brkić

Abstract: Croatian electricity power system in the beginning of the 21st century was becoming multi-minded. Multi-minded system is composed of many actors, with roles in which actors make their own business decisions based on their individual interests (some subset of actors can have mutual interests). In this system state they have interactions with each other. Dealing with technic in this kind of system and designing the multi-minded system brings new challenges, in comparison to single-minded system. Also, the system state is becoming more complex due to arrival of technics with significant forecast errors (inputs from solar and wind power plants, electromobility ect.). Complexity is also rising due to the inclusion of new concepts (eq. energy communities). To deal with this state properly, appropriate mindset and symbolic system which would recognise various aspects (roles, interactions, appearances) is needed. System thinking looks like appropriate mindset to deal with this, so it is applied in the paper and partially described. System thinking was used to define symbolic system both graphically and textually with examples. This was done in order to bring more clarity in this challenging state of the power system. Zonal pricing and self-dispatch model is assumed.

Keywords: system thinking, electroenergetic, balancing, electricity

Usporedba naziva i sintagmi[124]

engleski jezik	**hrvatski jezik**
accounting dana	obračunski podaci
accounting point	'sučelje s mrežom', najbliže »obračunskom mjernom mjestu«
active power flow	»tok djelatne snage« (tok djelatne energije)
…	…

[124] Ovdje su prve tri sintagme iz rada, a cjelovit pregled naziva i sintagmi nalazi se u elektroničkoj inačici rada [23]

Ozana Martinčić

Razvoj tekstilne industrije u sjevernoj Hrvatskoj – od zanatskih radionica do industrijskih divova

Sažetak: Iako su se prve tekstilne zanatsko-industrijske radionice u sjevernoj Hrvatskoj pojavile već potkraj XIX. st., hrvatska tekstilna industrija nije se u većoj mjeri razvijala sve do kraja Prvog svjetskog rata. Jedno je od najstarijih i najdugovječnijih poduzeća na tom području Čateks, sljednik bojadisaonice platna osnovane 1874. u Čakovcu. Nakon Prvog svjetskog rata osnovane su tvornice iz kojih su se s vremenom razvila velika poduzeća: Međimurska trikotaža Čakovec, Varteks i Varaždinska industrija svile iz Varaždina, Krateks iz Krapine, Zagorska industrija vunenih tkanina iz Zaboka i dr. Donošenjem nove carinske tarife 1925., domaćoj tekstilnoj industriji bio je osiguran bolji i brži razvoj te se 1930-ih profilirala kao jedna od razvijenijih proizvodnih djelatnosti u Jugoslaviji. Nakon Drugog svjetskog rata počeo je postupak nacionalizacije poduzeća. Obnova tekstilne industrije počela je 1950-ih primjenom suvremenije tehnike i tehnologije, čemu je pogodovala i sve veća uporaba kemijskih vlakana u proizvodnji te porast osobne potrošnje. Broj zaposlenih ubrzano je rastao te tijekom 1970-ih i 1980-ih vrhunac. U procesu gospodarske tranzicije potkraj 1990-ih i početkom 2000-ih počeli su procesi privatizacije. Neka od poduzeća nastavila su djelovati u smanjenom opsegu s promijenjenim proizvodnim asortimanom, dok su neka dospjela u stečaj ili se potpuno ugasila.

Ključne riječi: tekstilna industrija, sjeverna Hrvatska, Čateks, Međimurska trikotaža Čakovec, Krateks, Varaždinska industrija svile, Varteks, Zagorska industrija vunenih tkanina, Hrvatska tehnička enciklopedija

Uvod

Rad je nastao kao rezultat istraživanja provedenih za potrebe *Hrvatske tehničke enciklopedije – Portala hrvatske tehničke baštine,* projekta koji od 2014. provodi Leksikografski zavod Miroslav Krleža u Zagrebu u suradnji s Hrvatskom akademijom znanosti i umjetnosti i Akademijom tehničkih znanosti Hrvatske[1]. Enciklopedija obuhvaća gotovo trideset različitih područja tehnike, oblikovana je kao usporedno mrežno (engl. *online*) i tiskano izdanje[2], a povezujući znalce i znanstvenike koji se bave istraživanjem te umrežujući fragmentirane spoznaje i raznovrsne izvore u cjelovitu sintezu, cilj joj je pridonijeti stvaranju spoznaje o bogatoj hrvatskoj tehničkoj baštini, te održivosti znanosti, tehnike, inovacija i industrije u društvenom i kulturnom kontekstu.

Ideja za projekt proizišla je iz činjenice da je područje povijesti tehnike u Hrvatskoj nedovoljno istraženo i dokumentirano, rezultat čega je njezina slaba zastupljenost u hrvatskom obrazovnom sustavu te nedovoljna percepcija u javnosti, što neizbježno dovodi do neadekvatne percepcije hrvatske tehničke baštine u globalnom kontekstu. Opisujući povijesni razvoj i trenutačno stanje tehnologije u Hrvatskoj, glavna je svrha projekta sveobuhvatno sažeti znanje tog slabo zastupljenog područja.

Tekstilna tehnologija, kao jedno od područja koja se obrađuju u Enciklopediji, obuhvaća nešto više od stotinu različitih članaka[3]. Pojedine teme obrađuju se u makropedijskim člancima posvećenim općim pojmovima koji donose sintezu niza zasebnih pojmova vezanih uz određeno područje. Usto, donose se članci o pojedinim osobama, institucijama, poduzećima, udrugama i časopisima koji su važna sastavnica hrvatske tehničke baštine, a kao poveznica pojedinih pojmova s artefaktima dostupnim javnosti oblikovani su i članci o muzejima u kojima se oni čuvaju.

---

[1]Glavni urednik projekta je Zdenko Jecić, a uredništvo čine Ivana Jović, Robert Krog, Ozana Martinčić, Mihela Melem Hajdarović, Marko Pustaj, Ivan Smolčić i Jasmina Tolj. Uredničko vijeće sastavljeno je od predstavnika mjerodavnih institucija (Stjepan Jecić, Sibila Jelaska, Božidar Liščić – Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti; Vladimir Andročec, Milena Mandić, Srećko Pegan, Nedjeljko Perić, Dubravko Rogale, Zdravko Terze – Akademija tehničkih znanosti Hrvatske; Zvonimir Jakobović, Slaven Ravlić – Leksikografski zavod Miroslav Krleža; Damir Boras – Sveučilište u Zagrebu; Davor Fulanović – Tehnički muzej Nikola Tesla).

[2]Osnovu mrežne pojavnosti projekta čini mrežno izdanje *Hrvatske tehničke enciklopedije,* koje zajedno s drugim digitalnim sadržajima vezanim uz tu temu čini *Portal hrvatske tehničke baštine*. Na mrežnim stranicama slobodnog pristupa članci se objavljuju odmah kako bivaju dovršeni. Na taj način korisnici mogu kontinuirano pratiti razvoj projekta, a pozvani su na suradnju putem priloga, komentara ili primjedaba. Svi su članci potpisani te je naznačen datum njihova objavljivanja, odnosno ažuriranja. Tiskano izdanje obuhvaća četiri sveska, od kojih svaki obrađuje jednu zaokruženu tematsku cjelinu. Prvi svezak objavljen je 2018., a u tijeku je izrada drugog, u sklopu kojeg se, među ostalim, obrađuje i tekstilna tehnologija.

[3]Urednici struke tekstilna tehnologija su Ružica Čunko i Dubravko Rogale.

Kroz povijesni prikaz poslovanja šest najstarijih i najdugovječnijih tekstilnih poduzeća obrađenih u *Hrvatskoj tehničkoj enciklopediji,* a koja su nastala i djelovala odnosno djeluju u sjevernoj Hrvatskoj[4], području iznimno značajnom za početke domaće tekstilne industrije, predstavljen je njihov razvoj od samih početaka do razdoblja tranzicije, tj. prijelaza u novo tisućljeće. Riječ je o tvornicama Čateks,Međimurska trikotaža Čakovec, Varteks, Varaždinska industrija svile, Krateks te Zabočka industrija vunenih tkanina.

1. Početak i uspon tekstilne industrije u sjevernoj Hrvatskoj

Unatoč tomu što je industrijska revolucija u Europi počela u drugoj polovini XVIII. st., i to upravo razvojem tekstilne industrije i primjenom strojeva koji su ubrzali industrijske procese i proizvodnost, tekstilna se industrija u Hrvatskoj nije u većoj mjeri razvijala sve do kraja Prvog svjetskog rata. Prije pojave industrijske proizvodnje odjeća je u ruralnim sredinama u Hrvatskoj bila temeljena na tradicionalnoj djelatnosti tkanja i pletenja. Izrađivala se od tekstilnih materijala nastalih ručnim tkanjem ili pletenjem od dostupnih pređa životinjskog (vuna) ili biljnog podrijetla (lan, konoplja), a potom krojenjem i ručnim šivanjem.

Razvoj hrvatske tekstilne industrije kočila je snažna konkurencija iz Austrije i Češke. Tamošnje tekstilne radionice mogle su se brže razviti zbog toga što ih je favorizirao bečki dvor carinama i raznim drugim povlasticama, dok se hrvatska tekstilna manufaktura administrativno zabranjivala i onemogućavala (od vremena Marije Terezije nadalje). Austrijska i češka tekstilna manufaktura osvajale su također i europsko tržište, pa su na taj način formirale jaki kapital vlastitih izvora, a uz to paralelno i sirovinsku osnovicu. Stanje tekstilne industrije međimurskog, podravskog i zagorskog kraja bilo je uglavnom istovjetno kao i u cijeloj Hrvatskoj. Međutim, bez obzira na to što sjeverna Hrvatska nije imala ni jedno veće poduzeće za proizvodnju i promet tekstilom sve do kraja Prvog svjetskog rata, u tom je području od sredine XIX. st. zabilježen niz uspjelih i manje uspjelih pokušaja osnivanja i djelovanja zanatsko-industrijskih poduzeća različitih profila. Prvo veće manufakturno tekstilno poduzeće u Hrvatskoj osnovao je Nikola Tomasi u Varaždinu 1846. godine. Njegova djelatnost obuhvaćala je predenje i tkanje pamučnog i vunenog tekstila, a imalo je visoku produktivnost jer je jedan radnik radio na 60 vretena. No, unatoč tomu radilo je

[4]Pojam sjeverna Hrvatska uključuje najsjeverniji dio Republike Hrvatske, odnosno područje koje obuhvaća četiri županije: Međimursku, Varaždinsku, Krapinsko-zagorsku i Koprivničko-križevačku.

samo jednu godinu [1]. Među najstarijim poduzećima posebno se istaknula zanatsko-industrijska radionica koju je 1874. u Čakovcu osnovao Samuel Neumann. Iz nje se s vremenom razvio Čateks, jedno od najjačih hrvatskih tekstilnih poduzeća, a također i jedno od najstarijih u jugoistočnom dijelu Europe. Radionica se isprva nije bavila proizvodnjom, nego samo bojenjem tekstila. Među prvim pokušajima osnivanja tekstilne industrije u tom području bio je plan izgradnje tekstilne tvornice 1901. u Čakovcu. Čakovečko gradsko vijeće već je dioničkom društvu za izgradnju tvornice dodijelilo deset jutara zemlje, tvornica je trebala imati 400 razboja te zapošljavati oko 300 radnika, međutim, zbog nedostatka kapitala taj je plan propao [2]. Tekstilna djelatnost u Varaždinu baštini stoljetnu tradiciju, u prvom redu zbog uzgoja i prerade svile. Jedno od prvih varaždinskih tekstilnih industrijskih postrojenja, Tekstilnu tvornicu i predionicu pamuka, osnovali su 1902. tvorničari Julije Schwarz i Eugen Zublin, vlasnici pamučne predionice u slovenskoj Litiji. Industrijski kompleks sastojao se od tvorničke zgrade sa strojarnicom. Tvornica je radila s čak 250 razboja, no već 1908. prestala je raditi. Na istom je mjestu uz neznatne građevinske prepravke 1910. počela raditi Tvornica vrpci Jakova Schöna, koji je svoju tvornicu iz Budimpešte preselio u Varaždin. Pri osnutku zapošljavala je više od 200 radnika, a broj je s vremenom opadao te je 1915. iznosio svega 52. Godine 1918. prestala je postojati [3].

Glavni razlog naglog razvoja tekstilne industrije u Hrvatskoj bilo je odvajanje Hrvatske od Austro-Ugarske Monarhije. Kako je, kao što je navedeno, u njezinim razvijenijim dijelovima već postojala jaka tekstilna industrija koja je svojom proizvodnjom podmirivala potrebe cijele Monarhije, osnivanje novih tekstilnih poduzeća u Austro-Ugarskoj nailazilo je na jaku konkurenciju, što je otežavalo plasman robe na tržišta. Sjeverna Hrvatska ušla je u sastav Kraljevine SHS kao izrazito poljodjelsko područje, u kojem su se tek nazirali veći pokušaji izgradnje prvih industrijskih pogona. Nedostatak kapitala i stručne radne snage bile su osnovne premise i predispozicije za izbor prvih većih industrijskih grana i pogona upravo na tom području. Tekstilna industrija širila se u prostore gdje je proizvodnja bila povoljnija zbog mnogobrojne jeftine radne snage, manjih nameta ili jeftinijeg zemljišta. Jeftina radna snaga brzo se mogla priučiti za rad za tekstilnim strojem, a za nabavu strojeva bilo je dovoljno uložiti manji kapital u odnosu na potrebu ulaganja u druge (kapitalne) industrijske grane. Također, osim sirovinskih i energetskih izvora, smještaju tekstilne industrije u tom području išli su u prilog blizina tržišta i vrlo dobre prometne veze, koje su omogućavale dovoz sirovina te odvoz gotove robe u širu okolicu i dalje [4], [5].

Stoga se upravo razdoblje nakon Prvog svjetskog rata, posebice početak 1920-ih,pokazalo kao povoljno za osnivanje tekstilne industrije na tom području. Većina novoosnovanih poduzeća bila je utemeljena uz pomoć stranog kapitala, pretežno češkog, austrijskog, njemačkog i švicarskog, a dijelom i

sudjelovanjem kapitalista raznih narodnosti u manjim poduzećima trikotažnog i konfekcijskog karaktera. Godine 1918. u Varaždinu su moravski industrijalci, braća Stiassny, osnovali dioničko društvo pod nazivom Tekstilna industrija Varaždin (preteča Varteksa), a u Čakovcu je 1923. počelo djelovati dioničko društvo židovskih tvorničara braće Graner (preteča Međimurske trikotaže Čakovec). U Oroslavju je industrijalac Ivan Prpić osnovao 1924. godine dioničko društvo Preslica, a 1925. dionička društva Zagorska tvornica vunenih tkanina i Ivančica, tvornice za preradu vune i pamuka. Dvanaest godina nakon što je osnovao prvu tvornicu u Oroslavju, Prpić je u Zaboku pokrenuo Tekstilnu industriju Milan Prpić, iz koje se poslije razvila Zagorska industrija vunenih tkanina. Godine 1925. u Krapini je osnovana Krapinska tekstilna industrija (preteča Krateksa) kao dioničko društvo pod upravom Otta Stjepana Levija, a 1929. počela je raditi Varaždinska industrija svile.

Tadašnja je politika ekonomskog nacionalizma poticala stvaranje industrije koja neće ovisiti o uvozu iz industrijskih zemalja. Stoga je za uvoz tekstila u poslijeratnom razdoblju bio karakterističan njegov stalni pad, ali proporcionalno je povećan uvoz nekih tekstilnih sirovina i poluprerađevina [6]. Strana tekstilna industrija pritiskala je domaće tržište svojim proizvodima koji su bili bolji i jeftiniji od domaćih. Domaćoj industriji tekstila bilo je sve teže jer je morala vraćati kredite uz vrlo visoku kamatnu stopu. Poteškoće su se namjeravale riješiti snižavanjem proizvodnih troškova i obaranjem radničkih nadnica, ali to nije povećalo konkurentnu sposobnost domaće industrije prema stranoj na unutarnjem tržištu. Tekstilci su sve intenzivnije zahtijevali protekcionističku politiku te je 1925. donesena nova carinska tarifa, koja je tekstilnoj industriji osigurala bolji i brži razvoj. Smisao carinske politike bilo je smanjenje uvoza finalnih proizvoda i porast uvoza sirovina i poluproizvoda. Time je domaća tekstilna industrija dobila poseban zamah.

Tekstilna industrija bila je isprva upućena na uvoz strojeva iz inozemstva s obzirom na to da u zemlji nije bila razvijena takva strojarska industrija. Uvoz tekstilne opreme i postrojenja bio je oslobođen plaćanja carine. Tako su u zemlju osim novih bili uvezeni i strojevi koji su zastarjeli, ekonomski ili fizički amortizirani, ili izbačeni iz proizvodnje. Tadašnja tekstilna poduzeća zatražila su stoga od vlade zabranu uvoza takvih starih tekstilnih strojeva, nakon čega je svaka tvornica koja se osnivala morala prije dobivanja dozvole za rad potpisati formalnu obvezu da će u njoj biti instalirani novi strojevi. Isto je vrijedilo i za uvoz opreme. Na uvoz rabljenih tekstilnih strojeva uvedena je 1932. carina pa se tad znatno smanjio [4].

Ekonomska kriza koja je zahvatila razvijene kapitalističke zemlje u razdoblju od 1929. do 1933. pogodila je 1930. i Jugoslaviju. Manifestirala se smanjenjem prodaje, sniženjem cijena, teškoćama pri dobivanju kredita, nepovoljnim tečajevima, padom proizvodnje te uvoza i izvoza, smanjenjem nadnica i

otpuštanjem radnika. Međutim, i u takvoj situaciji neka su poduzeća poslovala s dobitkom, među ostalim, Varaždinska industrija svile d. d. [7] Prilike su se poboljšale 1934., što se očitovalo u prvom redu proširenjem, racionalizacijom i modernizacijom proizvodnje, a što je povećalo proizvodnost rada, smanjilo troškove proizvodnje i povećalo konkurentnu sposobnost u usporedbi s prethodnim godinama. Do proširenja je, primjerice, došlo u Varaždinskoj industriji svile d. d., Tekstilnoj industriji Varaždin d. d., Vunatekstilu d. d. Varaždin [8], [9].

Prema vrijednostima godišnje proizvodnje od polovine 1930-ih tekstilna industrija svrstavala se među najrazvijenije proizvodne djelatnosti u Jugoslaviji. Njezini najvažniji proizvodi bili su pamučne i vunene tkanine, pamučno i vuneno predivo, kudjelja u vlaknima, tkanine od umjetne svile, čarape, jutene tkanine i predivo i dr. [6] Godine 1935. zabilježeno je da je u Jugoslaviji upravo tekstilna industrijska grana imala najviše radnika. U anketi radničke komore iz te godine [10] navedeno je tadašnje stanje u industriji za nekoliko gradova, među ostalim, za Čakovec i Varaždin. U Čakovcu su djelovala tri tekstilna poduzeća, koja su zapošljavala 907 radnika, a u Varaždinu četiri poduzeća s ukupno 2400 radnika. Glavninu radništva već su od samih početaka činile žene, u prvom redu zbog toga što je njihova nadnica bila niža pa time jeftinija poslodavcima, ali i zbog toga što su bile spretnije u posluživanju strojeva.

Uoči Drugog svjetskog rata nepovoljno je na razvoj tekstilne industrije djelovala nestašica sirovina, poluproizvoda i nagli porast njihovih cijena, što je dovelo do smanjenja proizvodnje, rada sa skraćenim radnim vremenom, pada zaposlenosti i dr. Tijekom rata neka su poduzeća potpuno obustavila proizvodnju, većina ih je radila u smanjenom opsegu, a neka su proizvodila za vojne potrebe.

2. Tekstilna poduzeća od svojeg utemeljenja do završetka Drugog svjetskog rata

Prikazom djelovanja šest tekstilnih poduzeća osnovanih na području Međimurja, Podravine i Hrvatskog zagorja, a koja su se s vremenom profilirala među najznačajnija odnosno najveća tekstilna poduzeća u regiji i šire, dan je uvid kako su se ona uklopila u kontekst globalnog razvoja te industrijske grane od kraja XIX. st., odnosno razdoblja nakon Prvog svjetskog rata do kraja Drugog svjetskog rata. Istaknuta su glavna obilježja razvoja svakog od poduzeća – uvjeti u kojima su nastala, vlasništvo te organizacijski oblik, karakteristike proizvodnje kao i način na koji su povećavala i širila proizvodni asortiman, a isto tako i razdoblja stagnacije ili lošeg poslovanja.

2.1. Čateks

Čateks, jedno od najstarijih i najdugovječnijih tekstilnih poduzeća u Hrvatskoj, sljednik je tekstilne zanatske radionice koju je 1874. u Čakovcu osnovao Samuel Neumann, pripadnik židovske trgovačke obitelji koja je pristigla u Čakovec sredinom XIX. st. U početku je radionica pružala usluge bojenja domaćeg platna, a smještena je bila u drvenim barakama između najužeg središta grada i potoka Trnave. Član obitelji Moritz Neumann vodio je u to doba u Čakovcu trgovinu tekstila, opskrbljujući bogatije građane uvoznom robom.

Pod nazivom S. Neumann nasljednici tekstilna je radionica službeno registrirana tek četiri godine nakon što je osnovana (1878). Dvadesetak godina nakon utemeljenja imala je već nekoliko strojeva te dvadesetak zaposlenih. Samuel Neumann ubrzo počeo i doradu industrijskog tekstila koji je, među ostalim, plasirao i preko trgovine Moritza Neumanna. U proces proizvodnje uz standardne posude za kuhanje i ručno bojenje platna uveo je 1894. i strojeve koje je kupio u Mađarskoj i Austriji, a koji su, iako već dotrajali, ipak omogućili



Sl. 1.: Bojadisaonica poduzeća S. Neumann nasljednici između dva svjetska rata [11]

znatno povećanje proizvodnje. Neumann je upravu poduzeća 1908. predao sinu Vilimu Neumannu i zetu Dionisu Zooru, koji su do 1912. izgradili više zgrada za industrijski pogon, nabavili još strojev, te ostvarili znatan poslovni i tehnološki napredak. Poduzeće je nastavilo poslovati i tijekom Prvog svjetskog rata. Njegovi vlasnici počeli su 1934. graditi mehaničku tkaonicu na novoj lokaciji, u blizini željezničkog kolodvora. Godine 1938. zapošljavalo je oko 150 radnika, čime se uvrstilo među najveća jugoslavenska tekstilna poduzeća. Nakon okupacije Međimurja tijekom Drugog svjetskog rata proizvodnja bojadisaonice i tkaonice znatno se smanjila, ali i dalje se odvijala. Poduzećem su dotadašnji vlasnici rukovodili do 1944., kad su odvedeni u logore. Upravu je potom preuzeo Mađar Desze [11].

2.2. Varteks

Glavni osnivači i većinski vlasnici poduzeća koje je prethodilo Varteksu bili su tvorničari braća Rudolf i Ernst Stiassny, vlasnici tekstilne tvornice u Brnu. Prigodom modernizacije tvornice u Brnu stare su strojeve dopremili u Varaždin i već 1918. ondje osnovali Tekstilnu industriju Varaždin d. d. (Tivar) na lokaciji tadašnje tvornice pamučnih i lanenih tkanina [12]. Predmet rada poduzeća, kako stoji u izvornim dokumentima, bilo je "tvorenje, izrađivanje i promet svakovrsnih tekstilnih i ovima srodnih predmeta, kao i trgovina njima". Proizvodnja je bila neznatna i ograničena sve do 1922., kad su vlasnici odlučili modernizirati pogone te početi proizvodnju vunenog prediva i tkanina. Tvornica je tad raspolagala trima širokim slogovima za češljanje s prijenosnom trakom i strojevima za predenje, 48 tkalačkih stanova s pomoćnim strojevima, strojem za pranje vune sa šest bazena, te drugim strojevima potrebnim za rad bojadisaonice i apreture. U sljedećih nekoliko godina proizvodila su se sukna za građanska i vojnička odijela, kao i tkanine za vojne kabanice, čoha i tzv. šojak. Proizvodilo se oko 600-700 m sukna na dan, a zaposlenih je bilo oko 150. Proizvodnja konfekcije – odjevnih predmeta – počela je 1926. na 36 strojeva, od kojih su tri bila industrijska – rupičarka, gumbičarka i stroj za šivanje zapora. Time je pokrenuta prva lančana proizvodnja tekstila na industrijski način na području Kraljevine SHS. Prvi veliki naručitelj bila je vojska Kraljevine SHS s narudžbom od 5000 odora. Broj zaposlenih te se godine povećao na 600. Prodaja vlastitih proizvoda preko trgovačke mreže počela je 1929., kad je otvorena prva prodavaonica u Varaždinu, a u sljedećih je desetak godina otvoreno 178 prodavaonica širom Kraljevine Jugoslavije. Početkom 1930-ih dio pogona modernizirao se te su otvoreni i novi. Industrijski kompleks obuhvaćao je 1935. godine 17 zgrada u kojima je radilo 1800 radnika, te još njih 300 širom zemlje. Proizvodilo se oko dva milijuna metara sukna godišnje. Nakon novog širenja poduzeća 1938. tvornica je imala 18 češljara, 12 738 vretena za grebenanu vunu



Sl. 2.: Reklamni plakat Tekstilne industrije Varaždin iz 1930-ih [3]

i 329 razboja. Početkom Drugog svjetskog rata vlasti NDH stavile su poduzeće pod državnu upravu te je radilo za potrebe vojne industrije. Potkraj rata zaposlenih je bilo oko 2300 [3].

2.3. Međimurska trikotaža Čakovec

Pet godina nakon Tekstilne industrije Varaždin, osnovano je 1923. u Čakovcu dioničko društvo braće Graner, iz kojeg se poslije razvila Međimurska trikotaža Čakovec. Isprva se bavilo izradom vrpca i vezica. Proizvodnja je počela na deset strojeva, sa svega 14 radnika. Tržište se brzo širilo pa je već sljedeće godine ponuda proširena proizvodnjom čarapa, a broj radnika povećao se na gotovo 50. Ubrzo je uvedena i proizvodnja beretki, a 1928. uz odjele za izradu vrpci i vezica te čarapa osnovan je odjel za izradu končanog prediva. Tvornica je zapošljavala oko 150 radnika, a na dan se prerađivalo oko 150 kg prediva.



Sl. 3.: Prve radnice u pogonu za izradu vrpci u dioničkom društvu braće Graner 1923.[2]

Iako se već do 1929. nalazilo u samom vrhu proizvodnje čarapa za područje cijele Kraljevine Jugoslavije, poduzeće je službeno priznato tek 1930. pod nazivom Braća Graner – tvornica čarapa, vrpca i trakova. Te je godine proširena proizvodnja čarapa, kupljeno još stotinjak standardnih strojeva te osnovan poseban odjel sa strojevima za čišćenje pamuka. Tvornica je među prvima u zemlji proizvodila ženske svilene čarape. Godine 1932. počela je i proizvodnja rukavica, a 1934. braća Tessler, dioničari poduzeća koji su se 1933. udružili s braćom Graner, počinju proizvodnju trikotaže osnovavši King – tvornicu trikotaže. Braća Graner i Tessler zapravo su djelovala zajedno kao velika grupa dioničara. Do 1939. uglavnom su izgrađeni i svi industrijski objekti te se poduzeće uvrstilo među najveće tvornice u srednjoj Europi. Gotovo kao i varaždinsko, čakovečko je poduzeće 1930-ih zapošljavalo oko 1200 radnika koji su radom u tri smjene proizvodili oko 250 tona raznih tekstilnih proizvoda godišnje. Tvornica je nastavila raditi i tijekom Drugog svjetskog rata, a 1944. došla je u vlasništvo mađarske države. Na osnovi zakona o konfiskaciji imovine Židova vlasnici su bili deportirani u nepoznata mjesta[2].

2.4. Krateks

Krapinska tekstilna industrija (KTI), preteča Krateksa, počela je djelovati 1925. kao dioničko društvo pod upravom Ota Stjepana Levija na prostoru nekadašnje pilane u Žutnici u Krapini. Na starim tekstilnim strojevima uvezenim iz Češke isprva je proizvodila pokrivače i različite vunene proizvode, a zapošljavala je oko 190 radnika. Svjetska gospodarska kriza 1930. poremetila je odnose na tržištu izazvavši snažnu konkurenciju među malobrojnim proizvođačima vunenih tkanina. Javila se potreba za prelaskom na kvalitetniju i specijaliziranu proizvodnju, te se, uvjetovano postojećim strojnim parkom, poduzeće orijentiralo na proizvodnju tkanina za muške i ženske kapute. Velik požar 1933. uništio je dio proizvodnih objekata, no šteta je brzo sanirana, a proizvodnja obnovljena i unaprijeđena. Godine 1938. izgrađena je nova zgrada predionice vlačne pređe, a broj zaposlenih povećao se na približno 300. Tvornica je tad imala kapacitet od 40 000 m tkanina mjesečno. Početkom Drugog svjetskog rata poduzeće je bilo pod kontrolom ustaških povjerenika, a među ostalim proizvodilo je i tkanine za vojne odore. Godine 1943. proizvodnja je pala na svega 20 posto kapaciteta, a potkraj rata sasvim je prestala [13].

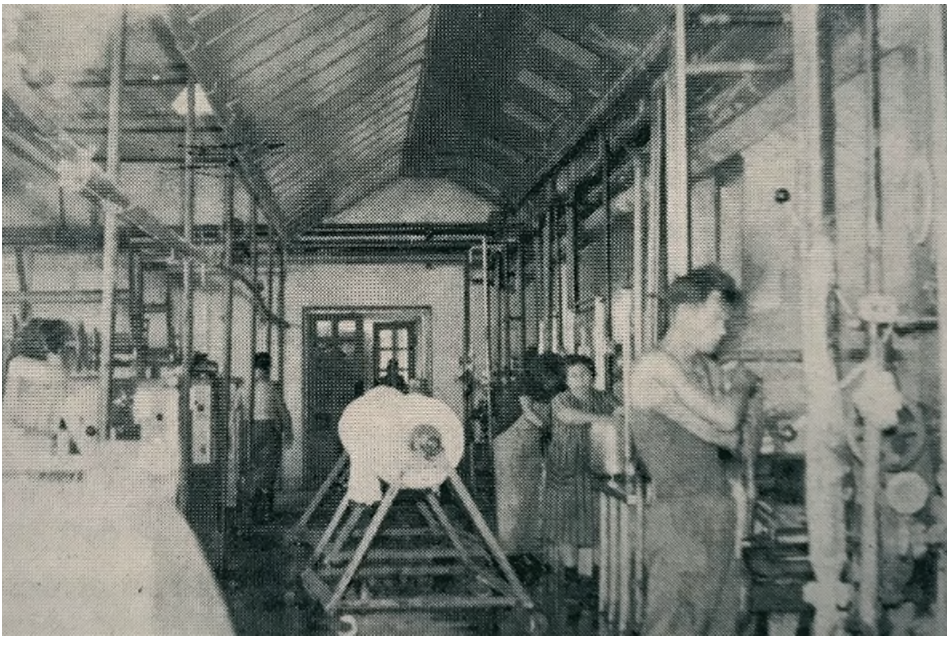


Sl. 4.: Kompleks Krapinske tekstilne industrije 1936. [13]

2.5. Varaždinska industrija svile

Baštineći stoljetnu varaždinsku tradiciju uzgoja dudova svilca i proizvodnje svile, Varaždinska industrija svile (VIS) osnovana je 1929. na inicijativu austrijskih i švicarskih industrijalaca i bankara Emeriha Madarasza, Ludwiga Buchwalda, Julija i Leopolda Oblata. U njihovu je vlasništvu bila trećina dionica, dok su ostale imali domaći poduzetnici, među ostalim, Ernest Buchwald te Mihajlo Friedländer, koji je obnašao i dužnost ravnatelja. Tvornica je počela raditi 1930. s 36 tkalačkih razboja poduzeća Dietrich, proizvodeći svilene tkanine za ženske haljine, kravate, marame i tkanine za podstave. Bilježeći stalan napredak i povećanje proizvodnje, 1939. imala je već 196 tkalačkih razboja i pripremu sa snovanjem i prematanjem te malu bojadisaonicu s oplemenjivanjem tkanina. Te je godine zapošljavala oko 450 radnika te proizvela 1,45 milijuna metara tkanina.

Tijekom Drugog svjetskog rata tvornički je kompleks znatno oštećen. Međutim, proizvodnja ni tad nije stala, ali proizvodilo se samo za vojne potrebe. Porušeni objekti i oštećeni strojevi nakon rata su sanirani te je oživljena proizvodnja iz koje su akumulirana sredstva za kupnju nekoliko novih strojeva te automatiziranje dijela tadašnjih strojeva Dietrich [14].



Sl. 5.: Stara bojadisaonica Varaždinske industrije svile [22]

2.6. Zagorska industrija vunenih tkanina (ZIVT)

Početak Zagorske industrije vunenih tkanina vezan je uz Tekstilnu industriju Milan Prpić u Zaboku, koju je 1936. zajedno s dioničarima dioničkog društva Oroslavia te sinom Đurom utemeljio industrijalac Milan Prpić, jedan od pionira industrijalizacije na području Hrvatskog zagorja. Prpić je u Oroslavju već 1924. osnovao tekstilnu tvornicu Preslica, a 1925. i tvornice za preradu vune i pamuka − Zagorsku tvornicu vunenih tkanina te Ivančicu. Sve su one bile dionička društva, u kojima je Prpić bio glavni dioničar i vlasnik. Nakon Drugog svjetskog rata iz tih se tvornica razvilo poduzeće Oroteks.



Sl. 6.: Memorandum Tekstilne industrije Milan Prpić u Zaboku 1937.(fotografska zbirka Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža)

Prpić je početkom 1930-ih prodao svoj udjel u oroslavskoj Zagorskoj industriji vunenih tkanina i, kao što je navedeno, u Zaboku osnovao Tekstilnu industriju Milan Prpić. Djelatnost tvornice obuhvaćala je proizvodnju prediva i grebene vune te tkanina od grebenog, češljanog i pamučnog prediva. Tvornica je 1938. zapošljavala više od 400 radnika. Tijekom Drugog svjetskog rata proizvodila je za potrebe NDH i njemačke vojske, ali surađivala je i s partizanima [15], [16].

3. Razdoblje od nacionalizacije poduzeća nakon Drugog svjetskog rata do tranzicije i privatizacije 1990-ih i 2000-ih

Nakon naglog razvoja 1930-ih, hrvatska tekstilna industrija, iako je i dalje bila jedna od vodećih grana, od početka 1940-ih počela je stagnirati. Razlozi su u prvom redu bili vezani uz Drugi svjetski rat, zbog čega je došlo do nestašice sirovina te naglog porasta njihovih cijena, što je dovelo do smanjenja proizvodnje, a time i pada zaposlenosti. Kao što je navedeno, tijekom rata neka su poduzeća potpuno obustavila proizvodnju, dok ih je većina radila u smanjenom opsegu. Većina industrijskih pogona bila je znatno oštećena ili potpuno porušena, te se u prvim poslijeratnim godinama obnavljala, dok je industrijski razvoj počeo 1950-ih.Nakon što je potkraj 1946. skupština FNR Jugoslavije donijela Zakon o nacionalizaciji, do 1948. obavljena je nacionalizacija i konfiskacija privatne imovine većine poduzeća. Tim je aktom bila obuhvaćena sva pokretna i nepokretna imovina kao i sva imovinska prava koja su pripadala tim poduzećima. Na taj je način bio likvidiran inozemni kapital, koji je u industriji predratne Jugoslavije sudjelovao s približno 50 posto [17].

U prvim poslijeratnim godinama, u vrijeme obnove oštećenih tvornica i postrojenja, proizvodnja je i dalje bila manja od predratne. Usporedno s otklanjanjem posljedica razaranja, uz obnovu starih, postupno su se počele osnivati nove tvornice. Velik broj poduzeća nastalih prije Drugog svjetskog rata u tom se razdoblju zbog potreba tržišta udružio s jednim ili više poduzeća koja su se bavila proizvodnjom jednakog ili sličnog asortimana, ili su na neki način nadopunjavala proizvodnju, čime su nastali golemi industrijski kompleksi koji su zapošljavali više od tisuću, pa i nekoliko tisuća radnika. Primjerice, Krapinska tekstilna industrija, Zagorska industrija vunenih tkanina Oroslavje i Tekstilna industrija Milan Prpić Zabok udružile su se u zajedničko poduzeće pod nazivom Zagorska industrija vunenih tkanina sa sjedištem u Zaboku, a čakovečko poduzeće S. Neumann nasljednici spojilo se s Tkaonicom mariborske tekstilne tvornice Varaždin i čakovečkom Prvom međimurskom tkaonicom Josipa Brumera, čime je utemeljena Međimurska tkaonica Čakovec, koja je ubrzo promijenila naziv u Čateks – čakovečka tekstilna industrija. Širenje industrijalizacije nije se zaustavljalo samo na većim središtima nego je obuhvatilo i druga, manja mjesta, u kojima su se počeli otvarati brojni dodatni pogoni.

Tekstilna industrija tad se primjenom suvremenije tehnike i tehnologije počela naglo razvijati, čemu je pogodovala i sve veća uporaba kemijskih vlakana u proizvodnji te porast osobne potrošnje. Tekstilna strojogradnja, industrija kemijskih vlakana, bojila i pomoćnih sredstava omogućili su znatno povećanje proizvodnosti rada i postupan prijelaz iz radno-intenzivne u kapitalno-intenzivnu proizvodnju. Gotovo sve osnovne sirovine za proizvodnju tekstila

prirodnog podrijetla, poput pamuka, vune i tvrdog vlakna, nabavljale su se iz inozemstva.

Od kraja 1960-ih broj zaposlenih u tekstilnoj industriji ubrzano je rastao,a tijekom 1970-ih i 1980-ih dosegnuo je vrhunac, što je pratilo i povećanje društvenog proizvoda i nacionalnog dohotka. Najviše zaposlenih u tekstilnoj industriji cijele Jugoslavije bilo je u Hrvatskoj (24 %), od toga najveći dio upravo na području sjeverne Hrvatske. Uz tekstilnu, pomalo se pojavljivao i trend razvoja odjevne industrije, koja je s vremenom nadmašila samu tekstilnu industriju. Otvaranju konfekcijskih proizvodnih pogona i ubrzanom širenju odjevne industrije pogodovala su relativno mala potrebna ulaganja. Uz bujanje konfekcije i vlastitih brendova, kraj 1960-ih, 1970-te i 1980-te donijele su naznake novih tendencija zapadne Europe koje su ubrzo zahvatile i našu industriju − poslove dorade (*lohn*). U takvom tipu posla proizvođač šalje materijal, ponekad i iskrojene dijelove, a partnerske tvornice te dijelove šiju i spajaju. *Lohn* poslovi postaju problem ako se razvije potpuna ovisnost o stranom partneru te se izgubi vlastita proizvodnja ili se u globalnom nadmetanju poseže za najjeftinijim poslovima, što se na kraju pokazalo kao jedan od pogubnih čimbenika hrvatske tekstilne industrije. Takav model proizvodnje u potpunosti je preuzeo ne samo hrvatsku konfekciju nego i proizvodnju na cijelom istoku te postao jedan od najvećih problema tekstilne industrije uopće [18]. Zbog organizacijsko-političkih pitanja te zbog sve jeftinije radne snage iz jugoistočne Azije, u skladu sa situacijom i u ostatku Europe, hrvatska tekstilna industrija počela je od 1980-ih pomalo slabjeti. Kraj 1980-ih obilježila je visoka inflacija, prekomjerno zaduživanje u inozemstvu, nenadzirane investicije te veća potrošnja od prihoda. Radnici nezadovoljni zbog niskih osobnih dohodaka te visokih izdvajanja počeli su pokretati seriju štrajkova, što je rezultiralo problemima u proizvodnji.

Položaj najvažnije izvozne industrijske grane hrvatska tekstilna industrija zadržala je ipak sve do početka XXI. st., kad je liberalizacijom propisa došlo do masovnog uvoza jeftinog tekstila iz Kine, Turske i Indije, te je ukinut nadzor kakvoće uvozne robe. Neke od tekstilnih tvornica uspješno rade i danas, ali sa smanjenim kapacitetima i promijenjenim asortimanom, dok su neke nestale nakon razaranja u Domovinskom ratu, ali i nakon neuspješnih privatizacijskih procesa u procesu gospodarske tranzicije potkraj 1990-ih i početkom 2000-ih. Međutim, najveći broj tekstilnih radnika danas zapošljavaju velika internacionalna poduzeća koja posjeduju mnoge proizvodne pogone širom svijeta. Primjerice, Boxmark Leather d.o.o. Croatia dio je austrijskog poduzeća za proizvodnju kožnatih krojnih dijelova i navlaka za automobile, zrakoplove, brodove, vlakove i kućni namještaj, s proizvodnim pogonima u Trnovcu Bartolovečkom i Zlatar Bistrici, u kojima zapošljava više od 4000 radnika. Calzedonia Croatia d.o.o., dio talijanske grupacije Calzedonia za proizvodnju čarapa i

donjeg rublja, u Hrvatskoj zapošljava oko 3500 radnika u četiri proizvodne tvornice: Tubla tekstil d.o.o. u Čakovcu, Ytres d.o.o. u Donjem Knegincu, Intinova d.o.o. u Majerju i Comprom plus d.o.o. u Varaždinu.

4. Tekstilna poduzeća od kraja Drugog svjetskog rata do uspostave neovisne Hrvatske

Prikazom djelovanja poduzeća Čateks, Varteks, Međimurska trikotaža Čakovec, Krateks, Varaždinska industrija svile i Zagorska industrija vunenih tkanina od razdoblja nakon Drugog svjetskog rata do danas istaknuta su glavna obilježja razvoja svakog od njih – obnova u poslijeratnom razdoblju i proces nacionalizacije koji je slijedio, organizacijska struktura, širenje proizvodnog asortimana i obujma posla uvođenjem sve suvremenije tehnike i tehnologije i povećanje broja radnika, vrhunac poslovanja te prolazak kroz procese privatizacije u novim društveno-ekonomskim okolnostima nakon Domovinskog rata.

4.1. Čateks

Poduzeće S. Neumann nasljednici dospjelo je 1945. u državno vlasništvo. Godine 1946. zapošljavalo je oko 100 radnika. Početkom 1948. spojilo se s Tkaonicom mariborske tekstilne tvornice Varaždin (osnovana 1925.) i čakovečkom Prvom međimurskom tkaonicom Josipa Brumera (osnovana 1933.), čime je utemeljena Međimurska tkaonica Čakovec, koja je te godine promijenila naziv u Čateks – čakovečka tekstilna industrija. Poslovanje poduzeća odnosilo se na tkanje, oplemenjivanje proizvoda od pamuka, svile i srodnih sirovina te prodaju konfekcije. Tako objedinjena organizacija 1948. imala je 382 zaposlenih, koji su proizveli 1,3 milijuna metara različitih tkanina. Čateks je 1952. u Strossmayerovoj ulici u Čakovcu otvorio i vlastitu prodavaonicu pamučnih proizvoda koja je nakon kraćeg djelovanja predana na uporabu Čakovečkom magazinu. Zbog dotrajalosti proizvodnih pogona počela je 1954. izgradnja nove tvornice na današnjoj lokaciji na Globetki, kamo je 1960. gotovo u potpunosti preseljena. Poduzeće je 1958. zapošljavalo 417 radnica i radnika, koji su proizveli više od četiri milijuna metara tkanine. Godine 1962. u novim je uvjetima sa 620 zaposlenih u poduzeću proizveden više od 8,1 milijun metara tkanine. Broj zaposlenih u tom se razdoblju kontinuirano povećavao te je 1966. iznosio 931. Iako je, zahvaljujući povećanim kapacitetima tkaonica do kraja 1960-ih poduzeće povećavalo opseg proizvodnje sirovih tkanina, zbog dotrajalosti strojeva u odjelu dorade sve je teže pratilo suvremene promjene na tržištu te je između 1968. i 1971. zapalo u proizvodnu i poslovnu krizu. Smanjio se i broj



Sl. 7.: Proces proizvodnje u poduzeću Čateks tijekom 1960-ih (fotografska zbirka Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža)

zaposlenih, a rješenja su se tražila u rekonstrukciji odjela dorade i preorijentaciji u proizvodnom programu.

Godine 1971. počela je proizvodnja umjetne kože (politeksa), konfekcije od vlastita platna te dekorativne kozmetike za njegu ruku i lica po licenciji poduzeća Karl Höppner iz Düsseldorfa. Nabava automatiziranog strojnog parka dovela je do smanjenja broja zaposlenih, koji je 1973. iznosio 728 [11]. U sljedećem razdoblju poduzeće je djelovalo kroz OOUR-e Tekstil, Dorada i Politeks. Godine 1983. u tvornici je istkan 6,1 milijun metara tkanine, dok je ukupna proizvodnja umjetne kože iznosila 2,9 milijuna metara. Proizvodnjom koagulata kao podloge za umjetnu kožu 1989. godine ostvareno je nastojanje da se proizvodi što kvalitetnija umjetna koža.

Društveno poduzeće Čateks pretvoreno je 1992. u dioničko društvo te kao takvo djeluje i danas. U razdoblju 1993. – 1995. opremljeno je novim, modernim strojevima za doradu te se otad kontinuirano modernizira. Djeluje u tri proizvodna centra: Tekstil – za proizvodnju tkanine, doradu i oplemenjivanje, odnosno bojenje i tiskanje tkanine; Politeks – za proizvodnju naslojenih materijala na bazi poliuretana te višeslojnih laminiranih materijala s pametnim dišućim membranama; Konfekcija – za konfekcioniranje gotovih odjevnih predmeta te ostalog kućanskog tekstila. Proizvodi vojni, medicinski, zaštitni i kućanski

program. Izvozi u zemlje EU-a i regije, a vojni program u Kuvajt. Godine 2019. zapošljavao je 289 radnika [19].

4.2. Varteks

Nakon Drugog svjetskog rata Tekstilna industrija Varaždin je nacionalizirana te je 1948. promijenila ime u Varaždinska tekstilna industrija (Varteks). Prva poslijeratna modernizacija počela je 1950., kad je izgrađena nova zgrada bojadisaonice, skladište sirovina i zgrada razvrstaonice. Te je godine u Varteksu osnovan prvi radnički savjet u NR Hrvatskoj, te je Varteks bio među prvim poduzećima u koja je uvedeno radničko samoupravljanje. U sljedećih nekoliko godina proizvodnja se širila te su se otvarali novi pogoni u Bednji, Ivancu, Ludbregu, Vinici i Novom Marofu.

Nova modernizacija odvijala se u razdoblju 1961. – 1965., kad su pušteni u rad novi pogon konfekcije, predionice kamgarna i tkaonice s tkalačkim strojevima Sulzer. Istodobno je suknara dobila nove strojeve za preradu krpa, predionice za vlačanu i češljanu pređu, 94 stroja Sulzer, strojeve za bojadisaonicu i doradu, strojeve za sušenje, fiksiranje, češljanje, šišanje, apreturu i novi kotao. Nakon obnove tkaonica je postala najveća u jugoistočnoj Europi. Modernizacijom je bila omogućena prerada, uz vunu i regenerat koji su dotad bili osnova proizvodnje, celuloznih, poliamidnih i poliesterskih vlakana. S novom tehnologijom Varteks je postao jedan od važnijih europskih proizvođača tkanine od mješavine vune i poliestera. Postupno se povećavao broj zaposlenih, koji je najveći bio 1969.(oko 11 500). Međutim, nedostajalo je stručnih kadrova te je Varteks zajedno s VIS-om, Čateksom i MTČ-om sudjelovao u osnivanju Više tekstilno-tehničke škole u Varaždinu 1961. godine.

Prvi izvoz svojih proizvoda poduzeće je ostvarilo početkom 1960-ih. Najviše se izvozilo u Veliku Britaniju, Saveznu Republiku Njemačku i SSSR. Zbog sve većeg izvoza osnovan je 1971. Vartimpeks, koji je uskoro postao jedna od najvećih uvozno-izvoznih kuća u SFRJ. Prva modna marka Varteks International osnovana je 1972.

Nova rekonstrukcija i modernizacija počela je početkom 1970-ih; 1974. – 1978. izgrađena je nova zgrada predionice češljane pređe, skladište sirovina, moderniziran je strojni park bojadisaonice, apreture i tkaonice te predionice za izradu grebenane pređe. Poduzeće se reorganiziralo u SOUR od 12 OOUR-a i 10 RO-a. Vrhunac proizvodnje dosegnut je 1981., kad je proizvedeno 2540 tona pređe od koje je izrađeno više od pet milijuna metara tkanine. Varteks je tad bio najveći tekstilni kombinat u Jugoslaviji.

Proizvodnja traperica počela je 1977., no bez većih uspjeha. Godine 1983., kad je postao licencirani partner poduzeća Levi Strauss & Co., Varteks je pokrenuo proizvodnju traperica u rekonstruiranom pogonu tkaonice u Novom



Sl. 8.: Radnice za šivaćim strojevima u poduzeću Varteks (fotografska zbirka Leksikografskog zavoda Miroslav Krleža)

Marofu. Traperice su se proizvodile do 2008., a ugovor o distribuciji proizvoda poduzeća Levi Strauss & Co. trajao je do 2013. pa je Varteks bio zadnji licencirani partner tog poduzeća u Europi.

Zbog sve veće uporabe sintetičkih tkanina u proizvodnji, Varteks je 1979. pustio u pogon Tvornicu poliesterskih vlakana Vartilen. Vartilen je bio jedna od najmodernijih tvornica u Jugoslaviji, s djelomično računalno upravljanom proizvodnjom. Međutim, zbog problema s uvozom sirovina tvornica se ubrzo suočila s problemima te je potkraj 1980-ih privatizirana, a 1996. proglašen je stečaj.

Kraj 1980-ih obilježile su serije štrajkova zbog neisplate plaća, a početkom 1990-ih poduzeću je nove probleme prouzročio gubitak mnogih poslovnih prostora izvan Hrvatske. Godine 1991., kao priprema za dolazeću privatizaciju, osnovan je Varteks holding, koji se sastojao od deset društava sa 7376 zaposlenih. Službena pretvorba poduzeća u dioničko društvo dogodila se 1993. godine. Plan je bio profilirati se kao poduzeće za proizvodnju visokokvalitetnih proizvoda pa je uz suradnju s poduzećem Levi Strauss & Co. sklopljen ugovor i s poduzećima Hugo Boss i Versace te je pokrenuta vlastita modna marka Di Caprio. Broj radnika 1996. godine iznosio je 4584.

Pod pritiskom jeftinih proizvoda iz Azije proizvodnja i broj zaposlenih postupno se smanjuju (2015. bilo je 1342 radnika), ali Varteks i dalje ostaje predvodnik tekstilne industrije u Hrvatskoj. Godine 2013. provedena je uspješna predstečajna nagodba, dok je 2018. provedena uspješna dokapitalizacija [3], [5].

4.3. Međimurska trikotaža Čakovec

Potkraj 1945. sva je imovina nekadašnjeg poduzeća braće Graner i Tessler konfiscirana i predana u državno vlasništvo te je ono odlukom Vlade NRH od 1946. nastavilo djelovati pod nazivom Međimurska trikotaža Čakovec. Obnova tvornice i strojeva tad je uglavnom bila dovršena, a broj zaposlenih iznosio je 538. Uz pogone u Čakovcu, 1961. osnovani su pogoni za izradu vrpci u Murskom Središću, za pleteno-šivaće proizvode u Kotoribi, te za proizvodnju rukavica i vesta u Turčišću. Godine 1962. broj radnika povećao se na 1940, no 1963. tvornica je pretrpjela goleme štete u poplavi koja je pogodila Čakovec.

U temeljitoj obnovi 1964. − 1972. izgrađeni su novi pogoni za proizvodnju konfekcije i pletenje pletiva, kupljeni novi strojevi, te riješeni mnogi unutarnji organizacijski, proizvodni i kadrovski problemi. Gotovo 80 posto svojih potreba



Sl. 9.: Pletionica pletiva u poduzeću Međimurska trikotaža Čakovec 1970-ih [2]

poduzeće je podmirivalo od domaćih predionica i ostalih dobavljača, dok je tek manji dio dobavljan iz inozemstva [2], [20]. S gotovo 3400 zaposlenih poduzeće je 1980-ih nastavilo uspješno poslovati, a uvelike je porastao i izvoz.

Propašću SFRJ i uspostavom samostalne i suverene Republike Hrvatske, u novim društveno-gospodarskim uvjetima proizvodnja je sve više slabjela, poduzeće je nizalo gubitke, pa se polovinom 1990-ih podijelilo na više manjih dioničkih društava, koja su privatizirana. Od nasljednika nekadašnjeg poduzeća većina se ugasila, među ostalim, MTČ Tvornica rublja d. d. i MTČ Tvornica čarapa d. d. u Čakovcu (do 2016.), MTČ Tvornica konfekcije d. d. u Kotoribi (do 2014.), MTČ Tvornica dječje trikotaže d. d. u Prelogu (do 2015.), dok su MTČ Tvornica trikotaže d. d. u Štrigovi i MTČ Pozamanterija d.o.o. u Murskom Središću još uvijek aktivni.

4.4. Krateks

Nakon Drugog svjetskog rata, 1945., Krapinska tekstilna industrija je s 428 zaposlenih ponovno počela rad i te godine postigla 80 posto iskorištenja svojeg kapaciteta. Rješenjem Ministarstva industrije i rudarstva NR Hrvatske 1946. Krapinska tekstilna industrija, Zagorska industrija vunenih tkanina Oroslavje i Tekstilna industrija Milan Prpić u Zaboku udružene su u zajedničko poduzeće pod nazivom Zagorska industrija vunenih tkanina sa sjedištem u Zaboku. Kako još nisu bili sazreli svi gospodarski i društveni uvjeti za udruživanje, Krapinska tekstilna industrija istupila je 1948. iz te zajednice iako je u tom razdoblju povećala strojni park i produktivnost. Glavni proizvod bile su tkanine za muške i ženske ogrtače i kaputе, a proizvodnja je povećana na 70 000 četvornih metara tkanina mjesečno.

Godine 1957. izgrađena je nova predionica vunene češljane pređe, koja se uz postojeće predionice u Tetovu i Paraćinu uvrstila među najveće u Jugoslaviji. Njezinom se izgradnjom broj zaposlenika znatno povećao te je 1960. iznosio 1340. Pogon trikotaže koji je djelovao od 1959. u Vatrogasnom domu u Krapini preseljen je 1961. u Žutnicu. Potaknut sve većim potrebama tržišta, pogon je poslije prerastao u konfekciju, tako da mu je osnovna djelatnost bila konfekcioniranje trikotažnih pletiva i tkanina. Ubrzo potom osnovan je i pogon trikotaže u Pregradi. Oko 180 radnika ondje je izrađivalo trikotažne proizvode sve do 1976., kad je preorijentiran na proizvodnju konfekcije uglavnom za ženske odjevne predmete te se trikotaža u Pregradi 1979. izdvojila iz poduzeća.

Poduzeće je 1973. promijenilo naziv u Krateks, a bilo je organizirano kao radna organizacija s deset OOUR-a. Prvi veliki izvoz na zapadno tržište ostvaren je 1977. za SAD, kad je onamo izvezeno više od 250 000 četvornih metara tkanine. Poslije se izvozilo u Sovjetski Savez, Mađarsku, Poljsku, Njemačku, Alžir, Irak, Siriju i dr. Proizvodnja igračaka i suvenira počela je 1982. Igračke

su se izrađivale od tekstilija i umjetnog krzna, a suveniri i navlake za automobile od pliša. Pogon se istaknuo masovnom izradom maskota Zimskih olimpijskih igara u Sarajevu 1984. (Vučko) i Univerzijade u Zagrebu 1987. (Zagi).

Na vrhuncu 1980-ih poduzeće je u tri OOUR-a (Predionica češljane pređe, Tkaonica i Konfekcija) zapošljavalo oko 2800 radnika. Proizvodni je asortiman uz vunenu i sintetičku pređu te pređu od mješavine vune sa sintetičkim vlaknima uključivao vunene i sintetičke tkanine vunenog tipa i u mješavinama, dekorativne tkanine za industriju namještaja te odjeću od trikotažnih i drugih tkanina [13], [21].

Proizvodnja je početkom 1990-ih oslabjela zbog ratnih neprilika i gubitka tržišta. Tvornica je privatizirana 1993. i otad je promijenila nekoliko vlasnika. Nekadašnji proizvodni pogon konfekcije nastavio je poslovati kao dioničko društvo Krateks za proizvodnju ženske modne konfekcije, u prvom redu sakoa, potom kaputa, haljina, hlača i suknji. Poduzeće raspolaže suvremenim proizvodnim pogonom i surađuje s poznatim svjetskim robnim markama (Boss, Joop, Escada, René Lezard). Većina proizvodnje izvozi se na europsko tržište. Proizvodi i vlastitu kolekciju pod imenom Exellence. Zapošljava oko 250 radnika.



Sl. 10.: Pogon konfekcije u poduzeću Krateks 1980-ih [13]

4.5. Varaždinska industrija svile

Nakon Drugog svjetskog rata Varaždinska industrija svile prešla je u državno vlasništvo. Vrlo brzo postignuta je prijeratna razina zaposlenosti i proizvodnje, nakon čega je slijedilo proširenje osnovne te uspostavljanje novih djelatnosti. Godine 1950. osnovan je odjel za filmski tisak, 1956. pogon konfekcije, 1957. pogon za proizvodnju kišobrana, a 1959. pogon za proizvodnju galanterije.

Pogoni za proizvodnju konfekcije i kišobrana odvojili su se 1958. od poduzeća te nastavili djelovati samostalno – kao Zanatska radnja muške, ženske i dječje konfekcije, koja je proizvodila uglavnom žensko rublje, kravate, rupce, šalove i druge odjevne predmete, te Zanatska radnja muških, ženskih i dječjih kišobrana, koja se bavila izradom i popravcima kišobrana. One su se 1959. udružile u Zanatsko poduzeće za proizvodnju konfekcije i kišobrana Ivančica, koje je već 1961. pripojeno Varaždinskoj industriji svile, čime je formirano novo poduzeće pod nešto izmijenjenim nazivom – Varaždinska industrija svile, konfekcije i kišobrana. Od 1962. u sastavu poduzeća nalazio se i novoosnovani pogon u Ivancu za proizvodnju svilenih tkanina od prirodnih i umjetnih vlakana. Počeo je djelovati s 82 radnika i 42 tkalačka razboja.



Sl. 11.: Proizvodni pogon u Varaždinskoj industriji svile, konfekcije i kišobrana 1970-ih [22]

Pogonu konfekcije pripojena je 1971. Vinička tvornica rublja, koja je dotad djelovala u sastavu Domaće tvornice rublja u Zagrebu. Godinu nakon toga otvorena je Konfekcija Jalžabet, 1982. Konfekcija Babinec, a 1985. Konfekcija Budinšćina. Potkraj 1960-ih poduzeće je osmislilo i počelo proizvodnju sportskog asortimana proizvoda YASSA (Jugoslavenski asortiman sportskih artikala). U matičnom pogonu početkom 1980-ih proširen su kapaciteti, izgrađena je nova hala tkaonice i nabavljeno 80 tkalačkih razboja te nova oprema za proizvodnju kišobrana. Godine 1983. poduzeće je zapošljavalo više od 2600 radnika, a njegovi su pogoni za proizvodnju konfekcije godišnje proizvodili oko 1,3 milijuna komada različitih odjevnih predmeta te oko 500 000 kišobrana i suncobrana [22].

Tijekom 1990-ih u tranzicijskim procesima i raspadom Jugoslavije došlo je do gubitka tržišta, a time i do smanjivanja proizvodnje i broja radnika. Pogoni za proizvodnju konfekcije te galanterije i kišobrana odvojili su se od pogona za proizvodnju tkanina i nastavili djelovati kao samostalna privatna poduzeća. U sastavu VIS Konfekcije d. d. za proizvodnju odjeće i rublja djeluju četiri proizvodna pogona – Varaždin, Jalžabet, Budinšćina i Vinica, s ukupno oko 300 zaposlenih radnika (2017). VIS Promotex d.o.o., sljednik pogona za proizvodnju kišobrana i galanterije, bavi se proizvodnjom tekstilnih i promotekstilnih proizvoda, posebice promotivnih suncobrana, a zapošljava oko 190 radnika (2017). Poduzeće VIS Tkanine d. d. za tkanje tekstila ugašeno je 2005. godine.

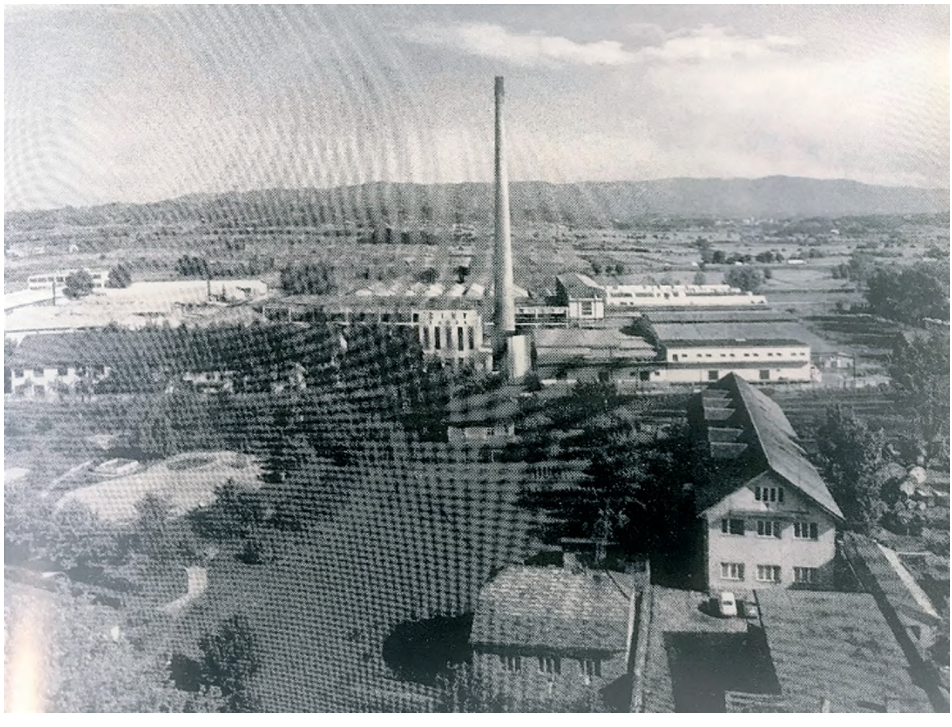
4.6. Zagorska industrija vunenih tkanina (ZIVT)

Tekstilna industrija Milan Prpić radila je u prvim mjesecima nakon oslobođenja 1945. uglavnom za vojne potrebe, no već potkraj godine prešla je pod nadležnost Ministarstva industrije i rudarstva NR Hrvatske kao poduzeće od općeg državnog značaja. Nastavila je djelovati pod starim nazivom zapošljavajući gotovo jednak broj radnika kao i prije rata, no zastarjelim strojevima radila je s tek petinom kapaciteta. Zbog potreba tržišta udružila se 1946. s Krapinskom tekstilnom industrijom iz Krapine i Zagorskom industrijom vunenih tkanina iz Oroslavja u novo poduzeće pod nazivom koji je dotad nosilo oroslavsko poduzeće, Zagorska industrija vunenih tkanina (ZIVT). Godine 1948. iz njega se izdvojila Krapinska tekstilna industrija, a pridružilo mu se poduzeće Preslica iz Oroslavja. Cjelokupni ZIVT (jedan pogon u Zaboku, dva u Oroslavju) zapošljavao je 1949. godine 1734 radnika, a sama zabočka tvornica 898 radnika. Potkraj 1940-ih počela je faza obnove izgradnjom novih pogona poput bojadisaonice u Zaboku te osuvremenjivanjem strojnog parka.

Godine 1953. razdvojili su se pogoni u Oroslavju i Zaboku. Pogon u Oroslavju počeo je 1954. raditi samostalno pod nazivom Oroteks. Godine 1955. u zabočkom ZIVT-u registriran je novi pogon pod nazivom Regeneracija

– poduzeće za preradu i razvrstavanje tekstilnih sirovina i otpadaka. Taj se pogon 1955. odvojio i djelovao samostalno (1960./1961. ponovno u sastavu ZIVT-a). Godine 1956. ZIVT je osnovao pogon tkaonice ćilima u Krapinskim Toplicama, koji se 1959. izdvojio te nastavio djelovati kao samostalno poduzeće. ZIVT je 1961. osnovao i pogon tkaonice u Desiniću koji je djelovao do 1964., kad su strojevi vraćeni u Zabok. Godine 1964. izdvojilo se iz ZIVT-a i poduzeće Dekor za izradu lustera i sličnog materijala, koje je nastalo iz nekadašnje male uslužne radionice. ZIVT je sa zagrebačkim poduzećem Tekstil eksport-import osnovao 1967. radnu jedinicu ZIVTEKS za proizvodnju tafting ćilima, koja se te godine izdvojila u zasebno poduzeće, ali pod nadzorom osnivača.

U prvoj polovini 1960-ih nastavila se modernizacija poduzeća. Izgrađeni su novi pogoni (predionica i tkaonica), nabavljeni novi strojevi, proizvodnja se proširila, a tehnologija unaprijedila. Sredinom 1960-ih ZIVT je zapošljavao oko 1500 radnika. S obzirom na udjel zaposlenih sa srednjom stručnom spremom od 60 posto, kvalifikacijska struktura sredinom 1970-ih bila je iznadprosječna za tekstilnu industriju u nas, što je bila posljedica stalnih ulaganja tvornice u školovanje zaposlenika. Financijskom potporom ona je sudjelovala u osnivanju



Sl. 12.: Zračna snimka industrijskog kompleksa Zagorske industrije vunenih tkanina [15]

Srednje tehničke tekstilne škole u Zaboku 1960. (od 2006. Škola za umjetnost, dizajn, grafiku i odjeću Zabok), koja je bila potrebna i ostalim tekstilnim tvornicama na području Hrvatskog zagorja, ali i cijele Hrvatske [15], [23].

ZIVT je 1970-ih i 1980-ih bio organiziran u OOUR-e, među kojima su primarnu proizvodnu djelatnost obavljali OOUR za proizvodnju pređe i OOUR za proizvodnju tkanina. Vuna se nabavljala u Australiji, sintetičko vlakno u Makedoniji, Sloveniji i Hrvatskoj, a pomoćna proizvodna sredstva kupovala su se od zagrebačkog poduzeća Chromos i švicarskog Sandoza. ZIVT je 1980-ih polovinu proizvodnje izvozio, a polovinu prodavao na jugoslavenskom tržištu. Na domaćem se tržištu 90 posto proizvedene tkanine prodavalo tvornicama konfekcije, a ostalo kao metražna roba u maloprodaji. Predivo se većinom prodavalo tvornicama trikotažnih proizvoda, od kojih je najveći kupac bila tvornica Mura iz Murske Sobote.

Iako je tvornica do kraja 1980-ih solidno poslovala i podmirivala obveze, s promjenama na svjetskom tržištu i političkom krizom u Jugoslaviji početkom 1990-ih upala je u krizu. Tijekom Domovinskog rata najvećim je dijelom proizvodila za HV, i to predivo za veste, čarape, rukavice te maskirne tkanine. Godine 1994. dospjela je u stečaj te je priključena tvornici Regeneracija Zabok. Godine 2003. likvidirana je. Nakon prestanka rada, tvornički objekti preuređeni su u javni prostor s komercijalnim sadržajima uz očuvanje objekata izvorne industrijske arhitekture.

Zaključak

Prije pojave industrijske proizvodnje odjeća je u ruralnim sredinama u Hrvatskoj bila temeljena na tradicionalnoj djelatnosti tkanja i pletenja. Bez obzira na to što u sjevernoj Hrvatskoj nije postojalo ni jedno veće poduzeće za proizvodnju i promet tekstilom sve do kraja Prvog svjetskog rata, na tom je području u drugoj polovini XIX. st. zabilježen niz uspjelih i manje uspjelih pokušaja osnivanja i djelovanja manjih zanatsko-industrijskih poduzeća različitih profila. Među njima se istaknula radionica koju je 1874. u Čakovcu osnovao Samuel Neumann. Iz nje se s vremenom razvio Čateks, jedno od najznačajnijih hrvatskih tekstilnih poduzeća, također i jedno od najstarijih u jugoistočnom dijelu Europe.

Glavni razlog naglog razvoja tekstilne industrije u Hrvatskoj bilo je odvajanje Hrvatske od Austro-Ugarske Monarhije. Sjeverna Hrvatska ušla je u sastav Kraljevine SHS kao izrazito poljodjelsko područje, u kojem su se tek nazirali veći pokušaji izgradnje prvih industrijskih pogona. Tekstilna industrija širila se na prostore gdje je proizvodnja bila povoljnija zbog brojne jeftine radne snage, manjih nameta ili jeftinijeg zemljišta. Većina novoosnovanih poduzeća bila je

utemeljena uz pomoć stranog kapitala. Godine 1918. u Varaždinu su moravski industrijalci braća Stiassny osnovali dioničko društvo pod nazivom Tekstilna industrija Varaždin (preteča Varteksa), a 1929. austrijskim i švicarskim kapitalom utemeljena je Varaždinska industrija svile. U Čakovcu je 1923. počelo djelovati dioničko društvo židovskih tvorničara braće Graner (preteča Međimurske trikotaže Čakovec), a 1925. u Krapini je osnovana Krapinska tekstilna industrija (preteča Krateksa). Početak Zagorske industrije vunenih tkanina vezan je uz Tekstilnu industriju Milan Prpić u Zaboku, koju je 1936. utemeljio industrijalac Milan Prpić.

Tekstilna grana sve je intenzivnije zahtijevala protekcionističku politiku te je 1925. donesena nova carinska tarifa, koja je domaćoj tekstilnoj industriji osigurala bolji i brži razvoj. Ekonomska kriza koja je zahvatila razvijene kapitalističke zemlje u razdoblju 1929. – 1933., pogodila je 1930. – 1934. i Jugoslaviju. Manifestirala se smanjenjem prodaje, sniženjem cijena, teškoćama pri dobivanju kredita, nepovoljnim tečajevima, padom proizvodnje te uvoza i izvoza, smanjenjem nadnica i otpuštanjem radnika. Prema vrijednostima godišnje proizvodnje od polovine 1930-ih tekstilna industrija svrstavala se među najrazvijenije proizvodne djelatnosti u Jugoslaviji. Glavninu radništva od samih su početaka činile žene, u prvom redu zbog toga što je njihova nadnica bila niža pa time jeftinija poslodavcima.

Tijekom Drugog svjetskog rata došlo je do nestašice sirovina te naglog porasta njihovih cijena, što je dovelo do smanjenja proizvodnje, a time i pada zaposlenosti. Neka su poduzeća potpuno obustavila proizvodnju, dok ih je većina radila u smanjenom opsegu. Nakon rata počeo je postupak njihove nacionalizacije. Velik ih se broj tad zbog potreba tržišta udružio s jednim ili više poduzeća koja su se bavila proizvodnjom jednakog ili sličnog asortimana, ili su na neki način nadopunjavala proizvodnju, čime su nastali golemi industrijski kompleksi koji su zapošljavali više od tisuću, pa i nekoliko tisuća radnika. Krapinska tekstilna industrija, Zagorska industrija vunenih tkanina Oroslavje i Tekstilna industrija Milan Prpić Zabok udružile su se u zajedničko poduzeće pod nazivom Zagorska industrija vunenih tkanina sa sjedištem u Zaboku, a čakovečko poduzeće S. Neumann nasljednici spojilo se s Tkaonicom mariborske tekstilne tvornice Varaždin i čakovečkom Prvom međimurskom tkaonicom Josipa Brumera, čime je utemeljena Međimurska tkaonica Čakovec. Tekstilna industrija tad se počela naglo razvijati, primjenjujući suvremeniju tehniku i tehnologiju, čemu je pogodovala i sve veća uporaba kemijskih vlakana u proizvodnji te porast osobne potrošnje. Od kraja 1960-ih broj zaposlenih u tekstilnoj industriji ubrzano je rastao,i tijekom 1970-ih i 1980-ih dosegnuo vrhunac. Najviše zaposlenih unutar tekstilne industrije cijele Jugoslavije, čak 24 posto, bilo je u Hrvatskoj, a od toga je najveći dio bio koncentriran upravo na području sjeverne Hrvatske. Zbog organizacijsko-političkih pitanja te sve jeftinije radne snage

iz jugoistočne Azije, slično kao i u ostalim europskim zemljama, hrvatska je tekstilna industrija od 1980-ih počela slabjeti. Kraj 1980-ih obilježila je visoka inflacija, prekomjerno zaduživanje u inozemstvu, nenadzirane investicije, te potrošnja veća od prihoda.

Uspostavom neovisne Hrvatske, u procesu gospodarske tranzicije potkraj 1990-ih i početkom 2000-ih počeli su procesi privatizacije. Neke od tekstilnih tvornica, poput Krateksa, Čateksa i Varteksa, rade i danas, ali sa znatno smanjenim kapacitetima i dijelom promijenjenim asortimanom, dok su se neke, kao što je Zagorska industrija vunenih tkanina, potpuno ugasile. Međimurska trikotaža Čakovec i Varaždinska industrija svile su se, primjerice, podijelile na više manjih dioničkih društava, koja su bila privatizirana. Većina ih se ugasila, dok je tek manji dio još uvijek aktivan.

Literatura

[1] Šimunić, Josip: Industrijski razvoj grada Varaždina s osvrtom na tekstilnu i metalnu industriju, u: *800 godina slobodnog i kraljevskog grada Varaždina 1209. – 2009.* (zbornik radova), Zavod za znanstveni rad Varaždin HAZU, Zagreb–Varaždin, 2009., 387-397.

[2] Feletar, Dragutin: *Međimurska trikotaža 1923. – 1973.*, Međimurska trikotaža Čakovec, Čakovec, 1973.

[3] *100ljeće tekstila* (urednica Spomeka Težak), Gradski muzej Varaždin, Varteks d. d., Zagreb, 2018.

[4] Šimončić-Bobetko, Zdenka: Razvoj tekstilne industrije u Hrvatskoj u razdoblju između dva svjetska rata (1918–1941), *Povijesni prilozi*, 1(1982), 101-203.

[5] Hip, Ivan:Tekstilna industrija, okosnica gospodarskog razvoja Varaždina, u: *800 godina slobodnog i kraljevskog grada Varaždina 1209. – 2009.* (zbornik radova), Zavod za znanstveni rad Varaždin HAZU, Zagreb–Varaždin, 2009., 411-421.

[6] Žebec-Šilj, Ivana: *Zagrebačka industrija 1935. –1939. u kontekstu međuratnog gospodarskog razvoja*, Institut društvenih znanosti Ivo Pilar, Zagreb, 2017.

[7] *Jugoslavenski tekstilni vjesnik,* 15. VI. 1932.

[8] *Jugoslavenski Lloyd,* 17. V. 1935.

[9] *Jugoslavenski tekstilni vjesnik,* 31. I. 1934.

[10] Janjatović, Bosiljka: *Povijest sindikalnog pokreta tekstilno-odjevnih radnika Hrvatske: 1919–1941.*, Republički odbor Sindikata radnika u industriji tekstila, kože, gume i obuće Hrvatske, Zagreb, 1988.

[11] Feletar, Dragutin; Fišer, Ernest: Čakovečka tekstilna industrija Čateks Čakovec 1874. – 1974., Čateks, Čakovec, 1974.

[12] Lakatoš, Joso: *Industrija Hrvatske*, Naklada Jugoslovenskog Lloyda, Zagreb, 1924.

[13] *60 godina Krateksa. Krapinska tekstilna industrija Krapina 1925–1985.*, Krateks, Krapina, 1985.

[14] Hajdarović, Dragutin: 65. obljetnica “VIS TKANINA” d. d. Varaždin, *Tekstil*, 43(1994) 11, 629-631.

[15] Androić, Mirko; Feletar, Dragutin: *ZIVT Zagorska industrija vunenih tkanina Zabok 1936–1976.*, ZIVT, Zabok, 1976.

[16] Saftić, Vlado: Industrijalac Milan Prpić i ZIVT (1874./1954./2004./2005.), *Hrvatsko zagorje*, 11(2005) 3-4, 84-105.

[17] Arčabić, Goran: *Vrijeme giganata: planska industrijalizacija i nasljeđe 1947. – 1952.* (katalog izložbe), Muzej grada Zagreba, Zagreb, 2018.

[18] Biočina, Ivana: *Proizvedeno u Hrvatskoj: tranzicija hrvatske tekstilne industrije*, Naklada Jesenski i Turk, Zagreb, 2018.

[19] Čateks, *prilog Čakovečke tekstilne industrije*, u: *Međimurje, list SSRN općine Čakovec*, siječanj – prosinac 1974.

[20] *MTČ*, *prilog Međimurske trikotaže,* u: *Međimurje*, *list SSRN općine Čakovec*, siječanj – prosinac 1973.

[21] *Krateks – Krapinska tekstilna industrija*, *informativni list*, 24. 11. 1989.

[22] *Visov vjesnik*, *list radnog kolektiva Varaždinske industrije svile, konfekcije i kišobrana*, siječanj – prosinac 1979; siječanj – prosinac 1989.

[23] *Zivtov vjesnik*, *informativni list zagorske industrije vunenih tkanina Zabok*, siječanj – prosinac 1976.

Development of the Textile Industry in Northern Croatia – from Craft Workshops to Industrial Giants

Ozana Martinčić

Abstract: Although the first textile crafts and industrial workshops in Northern Croatia appeared as early as at the end of the 19th century, Croatian textile industry did not develop significantly until the end of World War I. One of the oldest and longest-standing companies within the area is Čateks, a successor of the canvas paint shop founded in 1874 in Čakovec. After the World War I, factories were established from which large companies developed over time, Međimurje Knitwear from Čakovec, Varteks and Varaždin Silk Industry from Varaždin, Krateks from Krapina, Zagorje Wool Fabric Industry from Zabok and others. By adopting the new customs tariff in 1925, domestic textile industry was assured of better and faster development, and in the 1930s it became one of the most developed manufacturing activities in Yugoslavia. After World War II, the process of enterprises nationalization began. The renewal of the textile industry began in the 1950s with the use of more modern techniques and technology, which was also favored by the increasing use of chemical fibers in manufacturing and increase in personal consumption. The number of employees grew rapidly and peaked during the 1970s and early 1980s. In the process of economic transition, in the late 1990s and early 2000s, privatization processes began. Some of the companies continued to operate on a reduced scale with a modified product range, while some went bankrupt or were completely shut down.

Keywords: Croatian Encyclopedia of Technology, Čateks, Krateks, Međimurje Knitwear Čakovec, Northern Croatia, textile industry, Varaždin Silk Industry, Varteks, Zagorje Wool Fabric Industry

Želimir Volf

Moja sjećanja na rad u *South African Posts & Telegraphs*

Sažetak: Rad opisuje razloge za autorov odlazak, boravak i radna iskustva u South African Posts & Telegraphs (S.A.P&T). Veći dio autorova rada odnosio se na planiranje telegrafske mreže Južnoafričke Republike (JAR). Potkraj boravka radio je u laboratoriju na razvoju telegrafskih sklopova. Rad je popraćen autorovim fotografijama.

Ključne riječi: South African Posts & Telegraphs, telegrafija, Johannesburg, Pretoria, TW 39

Uvod

Moji poznanici, kad su saznali za moj odlazak, vjerojatno su se pitali: "Koji su razlozi nagnali tog mirnog Želimira Volfa da napusti siguran posao u Zagrebu te krene u Južnu Afriku?" Kao u većini velikih odluka koje čovjek donese, prisutno je nekoliko razloga. Nakon završetka studija i odsluženog vojnog roka, zaposlio sam se u Tvornici *Nikola Tesla* u Zagrebu. Oženio sam se Mirjanom Galić u ljeto 1966. godine. Moj bračni "kutak" sveo se na jednu sobu u dvosobnom stanu u Ilici 314 u Zagrebu u zajedničkom kućanstvu s mojom majkom i bratom.

Procijenio sam da od *Nikole Tesle* neću dobiti stan idućih desetak godina, stoga sam prihvatio ponudu strica Milana Volfa za odlazak u Južnu Afriku (službeni naziv: Republika Južna Afrika, Južnoafrička Republika). No, moram reći da materijalna situacija (pomanjkanje stambenog prostora) nije bila jedina sastavnica moje odluke. Zajednički život dviju obitelji u istom stanu traži mnogo

odricanja na obje stane i ja sam to želio izbjeći. Vidio sam odlazak u inozemstvo kao priliku da se osamostalim i svoju bračnu sreću gradim neovisno o utjecaju sa strane. Želio sam naučiti engleski jezik i svoje inženjerske sposobnosti verificirati na međunarodnom tržištu rada. Ja sam jednostavno imao, tako reći, 'genetsku predispoziciju' za boravak u zapadnom dijelu svijeta.

Moj stric Milan Volf

Glavni "krivac" za moj odlazak u Južnu Afriku bio je stric Milan Volf. Tijekom 1963. zaposlio se u poduzeću Geoistraživanja u Zagrebu. Zaposlenici i stručnjaci Geoistraživanja radili su na istraživanjima nafte i vode (u pustinjskim predjelima) na Bliskom i Dalekom istoku. Zadnje mjesto na kojem je radio bio je Lahore u Indiji. Nakon jedne godine, nakon što je obavio glavninu organizacije i radova, dobio je nalog da se vrati u Zagreb. Umjesto povratka u Zagreb, Milan je, zajedno sa suprugom, odlučio posjetiti svojeg polustrica Stjepana Ožbolta, koji je živio Johannesburgu u Južnoj Africi. Okolnost da Milan i Hilda nisu imali djece samo je pogodovala toj odluci. Iz Lahorea su avionom došli u Cape Town, a potom nastavili za Johannesburg. Milan se oduševio Južnom Afrikom i odlučio ondje ostati. Odmah je dobio posao u državnoj elektrodistribucijskoj kompaniji.Taj njegov ushit odisao je svakim slovom u pismima koja je slao. Nije prošlo mnogo vremena kad mi je ponudio da i ja dođem k njemu.

Putovanje na jug Afrike

Moj stric Milan osigurao je putne karte brodom talijanske kompanije Lloyd Triestino i nešto gotovine, koja je bila potrebna za put. Iz Zagreba smo krenuli 7. veljače 1967. u Italiju. Putničkim brodom *Africa* isplovili smo iz tršćanske luke tijekom istog mjeseca, slika 1. Trasa putovanja vodila nas je od Trsta, duž Jadranskog mora, kroz Otrantska vrata, preko Sueskog kanala, uz istočnu obalu Afrike sve do Durbana u Južnoj Africi, slika 2.

Samo putovanje bilo je na razini današnjih luksuznih kruzera. Pristali smo u lukama: Port Said (Egipat), Mogadish (Somalija), Mombasa (Kenija), Dar Es Salam (Tanzanija), Beira (Mozambik) i Durban (Južna Afrika), kamo smo stigli 2. ožujka 1967. godine. Dočekali su nas Milan i Hilda. Njihovim smo Renaultom 10 istog dana krenuli prema Johannesburgu. Udaljenost od Durbana do Johannesburga iznosi nešto više od 500 km. Odsjeli smo u njihovu stanu, koji je bio na adresi Corner King George & Plain Street. Stan je bio skromno namješten jer je Milan to smatrao privremenim stambenim rješenjem.



Sl. 1.: Brod *Africa*



Sl. 2.: Trasa puta u Južnu Afriku

Zaposlenje u Južnoafričkoj pošti

U potrazi za zaposlenjem mogao sam birati, ali odlučio sam se zaposliti u Južnoafričkoj pošti (South African Posts & Telegraphs). Sugerirano mi je da ću lakše dobiti dozvolu stalnog boravka (engl. *permanent residence*) ako se zaposlim u državnoj kompaniji. Prilikom sklapanja ugovora spomenuo sam da sam u Zagrebu radio na telegrafiji, a slijedom toga dobio sam posao 'u mom fahu'. Rečeno mi je da će moje stalno mjesto zaposlenja biti u Pretoriji u Upravi pošta (Head Office), ali da ću nekoliko mjeseci raditi u telegrafskoj centrali u Johannesburgu kako bih se upoznao s telegrafskom mrežom Južne Afrike. Jedan mali detalj, vezano uz zaposlenje, bio je moj razgovor sa šefom personalnog odjela. Na razgovor sam donio dokumente (diploma ETF-a, prijepis indeksa … na engleskom jeziku) i pritom ponudio njihove preslike. Moj sugovornik zatražio je izvornike i sam načinio preslike za svoju dokumentaciju. U zapadnoj zemlji poštovala se funkcija i paraf šefa personalnog odjela na dokumentu, koji je bio ekvivalentan bilježničkoj ovjeri. Taj mi je čovjek ponudio pomoć u potrazi za stanom u Pretoriji.

Telegrafska centrala u Johannesburgu

Prema mojem sjećanju tad je imala 1600 priključaka. Bila je to centrala tipa TW 39 sistema tvrtke Siemens, koji je meni bio poznat iz Zagreba. Ako se usporede kapaciteti telegrafskih centrala u Johannesburgu i u Zagrebu (1967. godine), onda taj odnos iznosi 1600 prema 360 priključaka na ARB 111 telegrafskog sustava, [1]. Razvijenost telegrafske mreže u izravnoj je korelaciji s ekonomskom snagom područja na kojem se nalazi iz razloga što se izmjena telegrafskih poruka pretežno ostvaruje u poslovnom svijetu.

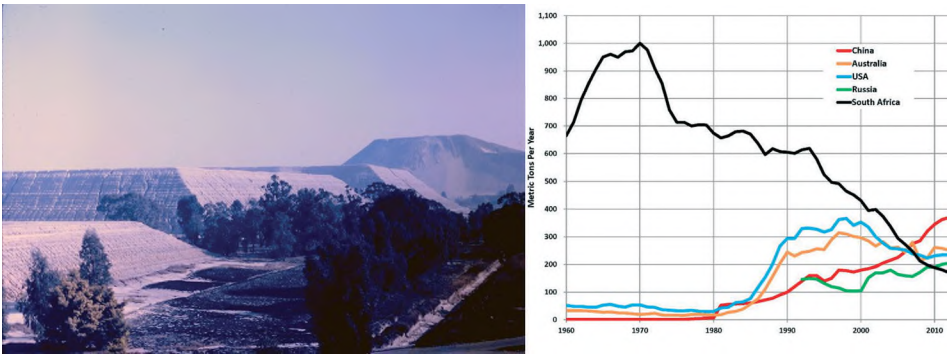
U tim danima, kad sam radio u telegrafskoj centrali u Johannesburgu, bio sam okružen tehničarima koji su održavali ispravnost telegrafske mreže. Neki su se od njih služili engleskim, a neki afrikanskim jezikom, koji nisam razumio. Iz nerazumijevanja tog jezika izvirala je većina poteškoća u mojem poslu tijekom rada u telegrafskoj centrali u Johannesburgu. Ipak, uvijek se našlo susretljivih kolega, koji su pomogli i u takvim slučajevima.

Dok smo svi mi (Milan, Hilda i ja) radili, moja žena Mirjana bila je sama kod kuće. Učila je biti domaćicom, u vrijeme kad nije plakala za domovinom Hrvatskom.

Pisati o Johannesburgu, a ne spomenuti da je taj milijunski grad nastao u XIX. stoljeću kad je ondje otkriveno zlato, bilo bi u najmanju ruku manjkavo. Na slici 4. vide se iskopine iz rudnika zlata kod Johannesburga. Te su 'krnje piramide' ostatak materijala / zemlje nakon što je izvađeno zlato. Južna Afrika



Sl. 3.: Razglednica Johannesburga iz 1968. godine



Sl. 4.: Rudnici zlata kod Johannesburga, snimljeno iz vlaka na relaciji Johannesburg – Pretoria

bila je najveći proizvođač zlata u svijetu u doba kad sam ondje bio. Vidi grafikon uz sliku 4. i [3].

O rodu i jeziku

Početna znanja engleskog jezika svladao sam kao samouk. Na Milanov poticaj, još krajem studija u Zagrebu, počeo sam učiti engleski koristeći

Vidakovićev udžbenik engleskog jezika *Da li znate engleski* iz 1952. godine (beogradsko izdanje). Tako stečeno skromno znanje jezika brzo sam nadograđivao svakodnevnim korištenjem. Gradijent učenja nekog jezika, kad ste "uronjeni" u okolinu koja ga koristi, iznimno je velik. Nakon tri mjeseca već sam sanjao na engleskom jeziku.

Moj problem u tim prvim danima rada u Johannesburgu bilo je totalno nepoznavanje afrikanskog jezika, koji je bio ravnopravan s engleskim u državnoj upravi. Taj jezik inačica je nizozemskog jezika. Sličnost mu je, primjerice, kao što je sličnost jezika gradišćanskih Hrvata u Austriji i standardnog hrvatskog jezika.Njegovu su uporabu promovirali i zadržali pripadnici, odnosno nasljednici Bura.Vidite [2], gdje je opisana povijest Južne Afrike.

Pretoria

Pretoria je jedan od dva glavna grada Južne Afrike. U njoj se nalaze vladine institucije, među kojima i Uprava pošta (Head Office of Posts & Telegraphs). Od Johannesburga je udaljena samo 56 km ili manje od pola sata vožnje vlakom.

Prema preporuci, u Pretoriji smo se smjestili u malom stanu (Tugela Flat) u Jacob Maree Str. u predjelu Muckleneuk, slika 5. Do posla mi je trebalo pješice oko 25 minuta.

Moje radno vrijeme bilo je od 8:00 do 16:30 sati, s uključenom stankom za ručak. Dva puta dnevno posluživan je čaj. Zadaci koje sam dobivao bili su vezani uz planiranje telegrafske mreže Južne Afrike i sve što je bilo vezano uz telegrafiju. Na temelju podataka dobivenih s 'terena' (zahtjevi za povećanje broja telegrafskih priključaka pojedinih telegrafskih centrala), te postojećeg



Sl. 5.: Rezidencijalna četvrt Mucleneuk u Pretoriji



Sl. 6.: Uprava Južnoafričke pošte u Bosman Str., Pretoria

stanja kapaciteta izrađivao sam projekciju potreba za idućih tri do pet godina. Na temelju njih sastavljao sam specifikaciju potrebne opreme, prema kojoj se vršila narudžba, te kod dobavljača, u mojem slučaju tvrtke Siemens. U postavne planove telegrafskih centrala ucrtavao sam razmještaj naručene opreme. U nekim slučajevima izrađivao sam manje preinake ili nove konstrukcije nekih telegrafskih sklopova, kao što je, primjerice, sklop za dijeljenje telegrafskog voda između dvaju korisnika (Shared Private Wire), shematski prikazanog na slici 10.

Zadatke sam dobivao od neposredno nadređenog šefa Mr. D. M. Greevea, na principu kad sam jedan zadatak završio, dobivao sam od njega sljedeći. Ako je što trebalo hitno učiniti, moj bi me šef doslovno, uz ispriku, zamolio da prekinem rad na tekućem zadatku i posvetim se hitnom slučaju. Drugim riječima, on je kontrolirao što ću raditi i bio mi *buffer* za predmete namijenjene meni. 'Nikad' me nije požurivao u izvršavanju mojih zadataka i 'nikad' nisam čuo da je bio nezadovoljan mojim radom ili brzinom obavljenog posla.

Na mojem radnom stolu nalazile su se dvije košarice, s natpisom "IN" i "OUT", koje su bile namijenjene "ulaznoj", odnosno "izlaznoj" pošti. Organizacija unutar ureda bila je tako uređena da se radno vrijeme što smislenije iskoristi. U "IN" košaricu dolazili su zadaci, literatura, sve ono što mi je bilo namijenjeno. U "OUT" košaricu stavljao sam riješene predmete, pročitane časopise, zahtjeve za izradu nacrta ili zahtjeve za prijepis. Pogled na moje radno mjesto prikazuje slika 7.

U okviru Poštanskog ureda (Head Office) postojao je ured za prijepis i crtaonica. Kad je riječ o dopisima, pismima i općenito pisanim dokumentima, postojalo je pravilo da se svi pisani dokumenti iz neparnih mjeseci pišu na afrikanskom, a oni iz parnih mjeseci na engleskom jeziku. Nije teško pogoditi



Sl. 7.: Želimir Volf na radnom mjestu u Upravi pošta Južne Afrike

da sam komunikaciju u pisanoj formi ostvarivao samo u parnim mjesecima, tj. na engleskom jeziku.

Radnu sobu dijelio sam s kolegom mojih godina (P. D. Minnaar). Tijekom cijelog boravka nisam 'nikad' bio ni na jednom sastanku, osim na razgovoru kod mojeg šefa. Bio je, doduše, jedan slučaj kad smo se moj cimer i vršnjak u sobi 'pobunili', kad smo mimo našeg šefa odbili zahtjev za provjeru zbrojeva na nekim listama. U ono doba ne samo da nije bilo osobnih računala, nego ni kalkulatora i sve računske operacije (zbrajanje i oduzimanje, primjerice) radile su se 'pješice'. I tu je odnos prema nama, Minnaaru i meni, bio više nego korektan (džentlmenski). Jednom riječju, u svojoj inženjerskoj praksi nikad nisam imao uljuđeniji odnos i nikad nisam imao osjećaj da manje radim.

Zadnjih nekoliko mjeseci radio sam u laboratoriju Južnoafričke pošte. Na slici 8. vide se prototipovi telegrafskih prijenosnika na kojima sam radio.

Nedugo nakon dolaska u Pretoriju moja se žena zaposlila kao tehnička crtačica u Upravi Južnoafričke pošte (Posts & Telegraphs), slika 9. Istina, Mirjana je u Južnu Afriku došla s diplomom završenog 1. stupnja Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, ali ekonomija koju je ona studirala u Jugoslaviji nije bila primjenjiva u Južnoj Africi. To je jedan od primjera kako je studij tehnike bio puno univerzalniji i primjenjiviji od studija drugih grana znanosti, posebice društvenih. Zanimanje tehničkog crtača jedno je od onih koja su izumrla s pojavom računala i digitalne tehnologije.

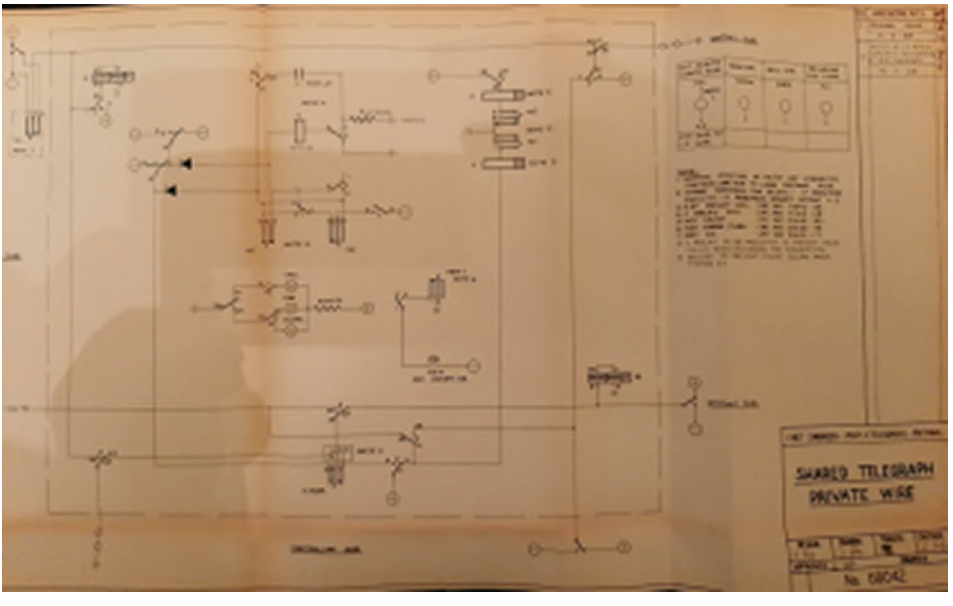
Radno joj je mjesto bilo u zgradi u kojoj sam i ja radio. Bilo je to vrlo lijepo rješenje jer smo Mirjana i ja zajedno odlazili na posao i vraćali se kući. Iz Južne Afrike, kao uspomenu na rad u Južnoafričkoj pošti, ponio sam nacrt prikazan na slici 10., na kojem sam radio. U Južnoafričkoj pošti radio sam od 16.



Sl. 8.: Prototipovi telegrafskih prijenosnika na ispitivanju



Sl. 9.: Crtaonica u Upravi Južnoafričke pošte



Sl. 10.: Shema / nacrt telegrafskog sklopa



Sl. 11.: Razglednica Pretorije

ožujka 1967. do 30. siječnja 1970., ukupno 2 godine, 10 mjeseci, 2 tjedna, kako se može vidjeti iz Potvrde o zaposlenju, slika 12.

Povratak u Zagreb

Za razliku od mene, moja žena nije bila sklona odlasku u Južnu Afriku i protivila mu se. Ona je bila lijepo seosko dijete, koje je u zajedničkom životu u velikoj obitelji vidjela stabilnost i mogućnost završetka svojeg studija ekonomije u povoljnijim okolnostima. Prije polaska dogovorili smo kompromis: otići ćemo u Južnu Afriku pa ako nam se ne bude svidjelo, vratit ćemo se u Zagreb nakon godinu ili dvije.

Mirjana je nekoliko mjeseci prije kraja 1969. pokazivala određene zdravstvene poteškoće, koje su imale svoj korijen u nostalgiji / čežnji za rodnom grudom. Slijedom obećanja koje sam joj dao prije polaska u Južnu Afriku, odlučili smo se vratiti u Zagreb. U povratku smo koristili avion na relaciji Johannesburg – Zürich, a iz Züricha smo se vratili vlakom u Zagreb 2. veljače 1970. godine.

Zaključak

Naša južnoafrička ‘pustolovina’ trajala je, zajedno s putovanjem, nekoliko dana manje od tri godine. U poslovnom smislu, obogatili smo svoje radno i životno iskustvo, naučili engleski jezik i uštedjeli nešto novca. Međutim, taj naš boravak u ‘bijelom svijetu’ ima i svoju manje atraktivnu stranu. Otkrili smo da

P. I/9.

POST OFFICE.—POSKANTOOR.

CERTIFICATE OF SERVICE.
DIENSSERTIFIKAAT.

This Certificate is issued without alterations or erasures of any kind, and only in exceptional circumstances can a duplicate be obtained in the event of the loss of the original.

Hierdie sertifikaat word uitgereik sonder veranderings of uitvegtings van watter aard ook al, en slegs in buitengewone omstandighede verkry word.

This is to Certify that
Hierby word gesertifiseer dat

MR.
MNR. ZELIMER VOLP

was employed in the Department of Posts and Telegraphs of the Government of the Republic of South Africa in *werksaam was in die Departement van Pos- en Telegraafwese van die Regering van die Republiek van Suid-Afrika in* the capacities and during the periods stated below:—
die hoedanigheide en gedurende die tydperke hieronder vermeld:

Date of Entry / *Datum van indienstreding*: 16.3.1967

First Appointment / *Eerste aanstelling*: ENGINEER / INGENIEUR

Last Appointment / *Laatste aanstelling*: ENGINEER / INGENIEUR

Date of Leaving / *Datum van uitdienstreding*: 30.1.1970

Cause of Leaving / *Oorsaak van uitdienstreding*: VOLUNTARY RESIGNATION / VRYWILLIGE BEDANKING

Quality of Service / *Gehalte van diens*: SATISFACTORY/BEVREDIGEND

Attendance / *Diensywerking*: SATISFACTORY/BEVREDIGEND

for Postmaster General.
namens Posmeester-generaal.

PRETORIA.

30 JANUARY, 1970.
JANUARIE

Signature of Holder:
Handtekening van houer:

Sl. 12.: Potvrda o zaposlenju u Južnoafričkoj pošti

se moja supruga Mirjana teško prilagođava životu izvan Hrvatske i da je to imalo implicitne posljedice za njezino zdravlje.

Gledano sa stručnog aspekta, moram spomenuti tri činjenice: 1) Moja diploma ETF-a iz Zagreba bila je bez problema prihvaćena; 2) tehnologija (telegrafska komutacija, TW 39) kojom sam se bavio tijekom rada u Južnoafričkoj pošti (South African Posts &Telegraphs) bila je na zalasku, stoga u tom segmentu nije bilo znatnije nadogradnje mojeg znanja; 3) sa svojim sam se sposobnostima mogao ravnopravno nositi s kolegama u struci.

Literatura

[1] Moj hod s telegrafijom (Želimir Volf); Zbornik radova, *Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, 2017.

[2] Povijest JAR; https://en.wikipedia.org/wiki/South_African_Republic#History,Wikipedia, 29. 3. 2020.

[3] *Rudnici zlata* (*Gold mining*); https://en.wikipedia.org/wiki/Gold_mining, Wikipedia, 29. 3. 2020.

Remeberance on my employment in *South African Posts &Telegraphs*

Želimir Volf

Abstract: This article describes reasons for the departure, the residence and the author's work experience in the South African Posts & Telegraphs (S.A.P&T). The most part of the author's work was done on the planning of the South African telegraph network S.A.P&T laboratory designing some telegraph circuits. The article incorporates pictures taken by the author.

Keywords: South African Posts & Telegraphs, telegraphy, Johannesburg, Pretoria, TW 39

Josip Zdenković

Izbor iz dnevnika trgovca elektromotornim pogonima s asinkronim strojevima

Sažetak: U članku je prikazano osam izabranih rješenja elektromotornih pogona u osmogodišnjem razdoblju autorova zaposlenja u tvrtki Lenze mehatronika d. o. o. počevši od 2000. godine. Opisani pogoni sadrže frekvencijske pretvarače proizvođača Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. i asinkrone električne strojeve. Izabranim primjerima želi se upozoriti na specifične zahtjeve domaćeg skromnog tržišta elektromotornih pogona tog vremena, gdje trgovac nije mogao biti samo trgovac nego je u velikom broju slučajeva i razvojni aplikacijski inženjer i putujući nastavnik suvremene pogonske tehnologije. Razvoj konkretne primjene pogona i obučavanje korisnika i partnera traži vrijeme. No kako na domaćem tržištu nije postojao ponavljajući posao koji bi omogućio predah za vlastitu obuku, za razvoj konkretne primjene, obuku korisnika, trgovac je morao stalno izabirati između rutine koja je trenutačno donosila plaću i izazova da sam nauči nešto novo s čim je povećavao vjerojatnost da sutra nešto proda i tako i sutra zaradi plaću.

Ključne riječi: elektromotorni pogon s asinkronim strojem, Lenzeov frekvencijski pretvarač, opis primjene pogona, regulacija jednoosnih pogona, servopogon s asinkronim strojem

Uvod

Tvrtka Lenze Antriebstechnik G.m.b.H izišla je na tržište s rješenjem visokog stupnja integracije funkcija u frekvencijski pretvarač 1993. godine i time otvorila novo područje primjene asinkronih strojeva. To mi je omogućilo pristup kupcima kroz prenošenje te tehnologije za vrijeme mojeg zaposlenja u toj tvrtki od 2000. do 2008. godine.

Često sam prvo rješenje morao napraviti sam, a kasnije, kad se kupac osvjedočio da rješenje radi, nastavljao bih dorade dalje sam uz tek poneku tehničku konzultaciju. Nekoliko rješenja prikazanih u članku može dočarati što se sve radi ako se bavite "trgovinom" elektromotornih pogona. Uz važnu

napomenu: sve se to radi u "realnom financijskom vremenu", tj. mjesečnom ritmu gdje je na početku mjeseca brojač prometa i brojač vaše plaće na nuli i morate do kraja mjeseca prodajom zaraditi za plaću. Da, neće vas izbaciti ako jedan mjesec ne osigurate plaću i zaradu, ali na godišnjoj razini od jednog trgovca elektromotornim pogonom očekuje se 400 k€ prometa. Sa 600 k€ mogli ste "gnjaviti" za drugog suradnika, a sa 200 k€ mogli ste sami tražiti drugi posao! Te brojke moraju se staviti u okvir spomenutog razdoblja, tj. činjenicu da je "serijska" proizvodnja radnih mehanizama (strojogradnja) u to vrijeme u nas bila uništena i zapravo nikome nisi mogao prodati nešto dva puta. Svaki radni mehanizam bio je unikat. Potencijal ponavljanja posla nije postojao. A posao oko razrade prototipa isti je kao i za razradu serijske proizvodnje nekog radnog mehanizma. Stoga nije bilo odbijanja poslova, moralo se sve obaviti da se "nastruže" mjesečni promet. Kad i kako? To se nije pitalo.

U članku se ne navodi posebno literatura jer je ovo, kako i naslov kaže, napisano prema vlastitim terenskim zapisima.

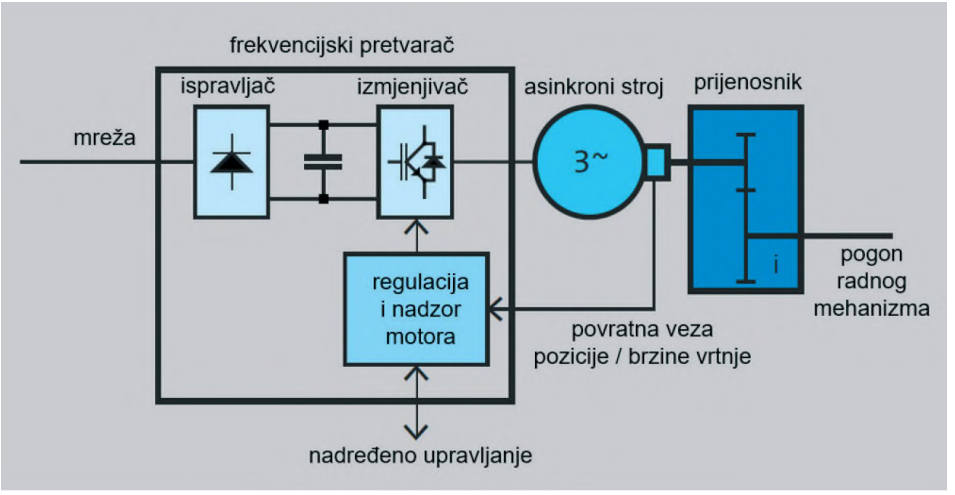
Struktura elektromotornog pogona s asinkronim strojem

Elektromotorni pogon s asinkronim strojem najčešće se sastoji od frekvencijskog pretvarača, asinkronog električnog stroja i prijenosnika, slika 1. Frekvencijski pretvarač razmjenjuje električnu energiju između električne mreže i asinkronog stroja s ciljem uspostavljanja željenog stanja brzine vrtnje i razvijenog momenta na izlaznoj osovini stroja. Pritom se električna energija pretvara u mehaničku pri motorskom radu stroja, odnosno mehanička energija u električnu pri generatorskom radu stroja. Asinkroni stroj spaja se s mehaničkim prijenosnikom za prijenos snage do radnog mehanizma. Najčešće se prijenosnikom smanjuje brzina vrtnje uz posljedično povećanje zakretnog momenta. Izlazna osovina prijenosnika spaja se s pogonjenim radnim mehanizmom.

U primjenama koje ne zahtijevaju promjenjivu brzinu vrtnje nije potreban frekvencijski pretvarač, nego se napajanje na motor dovodi izravno sklopnicima ili poluvodičkim ventilima u uređajima za meki zalet. Ako se radni mehanizam može izravno pogoniti osovinom stroja, tad nije potreban ni mehanički prijenosnik.

Frekvencijski pretvarač omogućuje postavljanje željene brzine vrtnje asinkronog stroja pri određenom razvijenom zakretnom momentu stroja, odnosno poziciju osovine rotora motora pa se tako razlikuju dvije grupe pogona:

− pogoni s upravljanjem brzine vrtnje i
− pogoni s regulacijom brzine vrtnje asinkronog stroja.



Sl. 1.: Struktura elektromotornog pogona

Za te dvije grupe pogona u praksi je uvriježeno i govoriti o 'običnim' i o 'servo' frekvencijskim pretvaračima. Razlike su prikazane u tablici 1. Servofrekvencijski pretvarač može prihvatiti signale davača pozicije osovine rotora. Servopretvaračem se, uz mjerenje mehaničkih veličina, brzine vrtnje i pozicije rotora, može postići raspon podešavanja brzine vrtnje do 1 : 10 000, što znači da se motor može vrtjeti primjerice s nazivnih 1000 o/min, ali i s 0,1 o/min uz odstupanje stvarne od zadane brzine vrtnje manje od +/− 0,1 o/min. Servopretvarači omogućuju iznimno dinamično upravljanje izmjeničnim asinkronim strojem u smislu da je za razvoj momenta potrebno vrijeme od nekoliko milisekundi. To je moguće ostvariti jer servopretvarači uspješno razdvajaju "osi" upravljanja [L1]. Posebno se regulira struja u osi koja izravno djeluje na moment bez kašnjenja, dakle trenutačno, a posebno se regulira struja u osi koja je odgovorna za uspostavu elektromagnetskog toka u stroju. Vrijeme uspostave momenta tako se svodi na uspostavu struje koja izravno djeluje na moment stroja, samo uz električnu vremensku konstantu strujnog kruga. Pritom se ne dira komponenta struje za održavanje elektromagnetskog toka. Na moment se, naravno, može djelovati i preko iznosa elektromagnetskog toka u stroju, ali on se razvija s vremenskim kašnjenjem od nekoliko desetaka do nekoliko stotina milisekundi za strujom koja ga uspostavlja. U običnim frekvencijskim pretvaračima osi upravljanja nisu razdvojene i nije moguće precizno i dinamično djelovati samo na razvoj momenta, nego se istodobno pobuđuje i promjena elektromagnetskog toka u stroju.

Običnim frekvencijskim pretvaračem moguće je upravljati tek brzinom vrtnje, pri čemu motor ne mora biti opremljen mjernim članom brzine vrtnje. Servopretvaračem moguće je regulirati brzinu vrtnje, moment ili poziciju rotora

Tablica 1.: Usporedba običnog i servofrekvencijskog pretvarača

Frekvencijski pretvarač	„običan" pretvarač	„servo" pretvarač
Asinkroni stroj	običan	servo
Prigrađen davač pozicije	ne	da
Raspon podešenja brzine vrtnje motora	1:50 ... 100	>1:10,000
Točnost brzine vrtnje motora	3 ... 5% (V/f) 0.5% (Vector)	<0.01%
Dinamika (najkraće vrijeme ubrzanja do nazivne brzine vrtnje)	100 ms ... 1 s	10 ... 100 ms

stroja. Servopretvarač omogućuje zatvaranje regulacijske petlje brzine vrtnje i pozicije prihvaćanjem signala povratne veze brzine vrtnje i pozicije rotora iz davača prigrađenog na rotoru stroja.

Običan trofazni asinkroni stroj pretvara se prigradnjom mjernog člana na rotoru u servostroj. Moderne izvedbe servostrojeva dotjeruju se konstrukcijski tako da se strojevi "izduljuju" kako bi im se smanjio vlastiti moment inercije, tj. da bi uz isti razvijeni moment skraćivali vrijeme promjene brzine. Servostroj se po potrebi oprema kočnicom. To nije kočnica za zaustavljanje pogona, nego kočnica za sigurnosno mehaničko pridržavanje rotora u stajanju. Servostroj najčešće ima prigrađenu stranu ventilaciju kako bi se i na manjim brzinama dostatno hladio. Ponekad se hlađenje stroja rješava odgovarajuće većim kućištem, a ponekad hlađenjem vodom. Kako napajanje servostroja više nije vezano uz frekvenciju mreže, tako ne treba iznenaditi da im nazivna frekvencija odstupa od 50 Hz, nerijetko je i nekoliko stotina herca. Pri kočenju asinkroni stroj prelazi u generatorski rad pa se kočenjem stvorena električna energija ili vraća u mrežu ili se pretvara u toplinsku na kočionim otpornicima. Servostroj radi u sva četiri kvadranta, tj. u sve četiri moguće kombinacije smjera vrtnje i razvijenog momenta.

Raspodjela funkcija upravljanja i nadzora procesa i funkcija gibanja

Ako se zamišlja radni mehanizam u kojem se nalazi jedan ili više servoasinkronih strojeva, tad se mogu uočiti tri grupe funkcija:

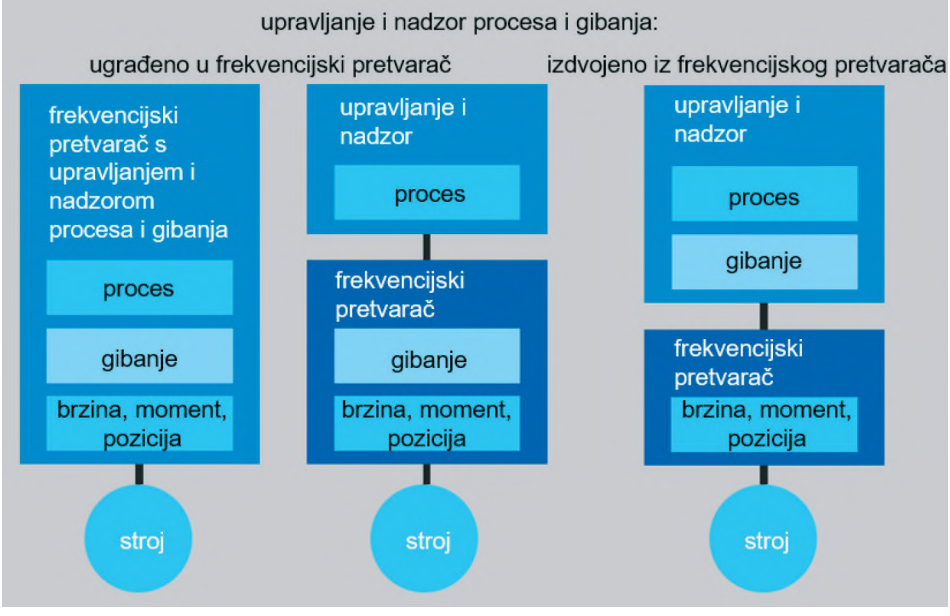
– funkcije regulacije brzine vrtnje, momenta i pozicije rotora stroja (engl. *drive control*)
– funkcije upravljanja i nadzor gibanja radnog mehanizma, najčešće nekog alata (engl. *motion control*)

– funkcije upravljanja i nadzora procesa, logičke upravljačke funkcije i sljedovi radnih operacija radnog mehanizma(engl. *PLC functions, logic-sequence control*).

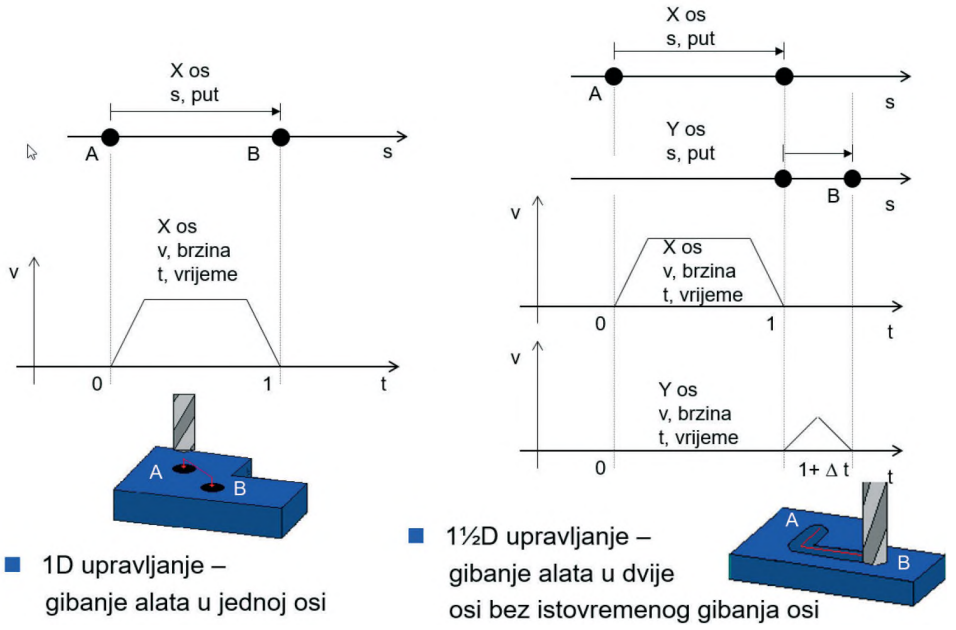
Slika 2. prikazuje tipična rješenja fizičkog smještaja programa tih triju grupa funkcija. Regulacija mehaničkih veličina osovine rotora uvijek se ugrađuje u frekvencijski pretvarač. Upravljanje i nadzor procesa i upravljanje i nadzor gibanja smješta se ili u cijelosti izvan frekvencijskog pretvarača ili pak u cijelosti u frekvencijski pretvarač. No postoje i rješenja gdje se frekvencijski pretvarač oprema funkcijama nadzora gibanja, a tek se upravljanje i nadzor procesa ostavljaju izvan pretvarača. Moderni frekvencijski pretvarači uređaji su bogato opremljeni programskim rješenjima, koji pred projektanta električne opreme radnog mehanizma postavljaju izazov izbora optimalnog rješenja. Pritom će za serijsku proizvodnju sigurno presuditi cijena ukupnog rješenja uz prethodno zadovoljenje svih tehničkih i tehnoloških zahtjeva radnog mehanizma.

Frekvencijski pretvarač s integriranim funkcijama upravljanja i nadzora procesa kao i funkcijama gibanja uobičava se koristiti u jednostavnijim primjenama kao na slici 3. U gibanjima prema slici 3. nije potrebno proračunavati trajektoriju samog gibanja i rastavljati je na više osi jer nema istodobnog gibanja osi, odnosno riječ je o gibanju uvijek samo jedne osi u nekom trenutku.

Ako stroj zahtijeva istodobno gibanje u dvije ili više osi, tad će se najčešće upravljanje gibanjem i procesom realizirati u zasebnom uređaju, a pojedini će



Sl. 2.: Raspodjela funkcija upravljanja i nadzora procesa i gibanja te funkcija upravljanja mehaničkim veličinama osovine stroja unutar i izvan frekvencijskog pretvarača

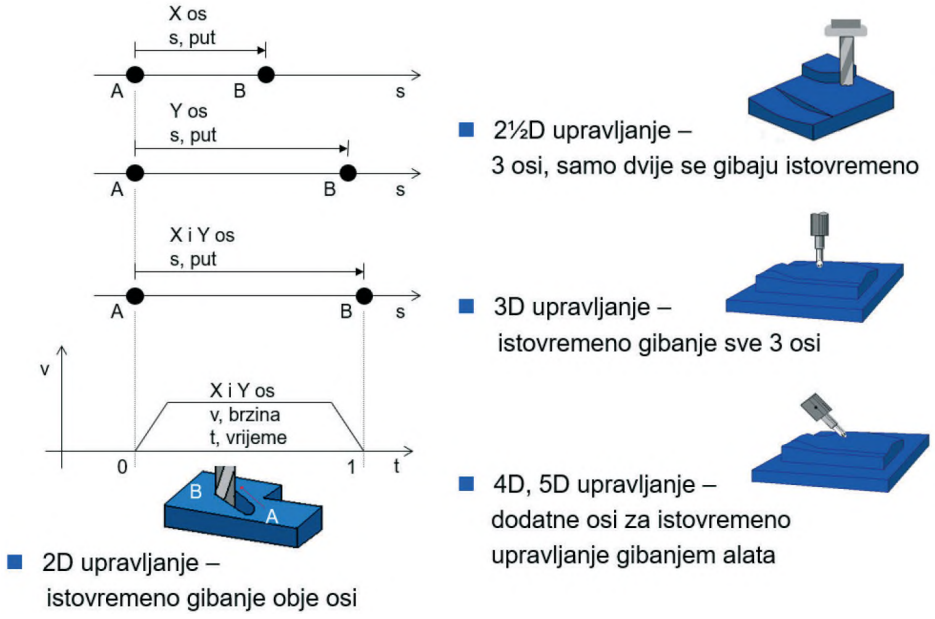


Sl. 3.: Upravljanje jednostavnim gibanjem u jednoj ili dvije osi

frekvencijski pretvarači dobivati u realnom vremenu vremenski sinkronizirano referentne vrijednosti gibanja svake pojedine osi, slika 4. Tek iznimno, ako je riječ o gibanju u dvije osi, a druga os kreće u jednostavnoj, točno ponovljivoj funkcijskoj zavisnosti o prvoj osi, tad se i dvoosno gibanje uobičava riješiti u samom frekvencijskom pretvaraču.

O projektima u ovom članku

Rješenja koja su opisana u članku bazirana su na frekvencijskim pretvaračima Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. koji osim regulacije mehaničkih veličina stroja imaju integriran i nadzor procesa i gibanja. Rješenje s tako opremljenim frekvencijskim pretvaračem je tržišno konkurentno jer se objedinjavanjem svih funkcija jednoosnog i dvoosnog upravljanja radnim mehanizmom u sam pretvarač pridonosi fizičkoj kompaktnosti rješenja što na kraju dovodi do snižavanja proizvodne cijene rješenja. Tako se ostvaruje automatizacija radnih mehanizama po znatno nižoj cijeni u odnosu na automatizaciju sa zasebnim uređajima za višeosno upravljanje (u praksi poznato i kao CNC upravljanje). Prikazat će se projekti iz širokog spektra primjene i neće biti koncentrirano na pojedinu skupinu kako je to napravljeno u [L2].



Sl. 4.: Upravljanje gibanjem dviju ili više osi

Projekt 1.: Uparivanje Lenzeovih frekvencijskih pretvarača i domaćeg proizvođača asinkronih strojeva

Tvrtka HSTEC d. d. proizvodi asinkrone elektromotore za izravan pogon radnih vretena alatnih strojeva. Od mr. sc. Željka Goje i diplomiranog inženjera strojarstva Mladena Šarlije dobio sam šansu "pripasati" Lenze 9300 seriju frekvencijskih pretvarača za njihove visokobrzinske asinkrone motore. Kako HSTEC proizvodi za strano tržište, taj je posao mogao rezultirati većom prodajom. U konkretnim aplikacijama asinkroni strojevi napajani su frekvencijom i do 1000 Hz i pritom moraju imati regulaciju brzine vrtnje. Kako te aplikacije nisu opisane u priručnicima za frekvencijske pretvarače, zamolio sam i dobio priliku provesti jedan tjedan u Lenzeovu ispitnom i razvojnom laboratoriju u Njemačkoj s njihovim ispitivačima, slika 5. U okviru ispitivanja određen je i provjeren protokol kako podesiti parametre u 9300 servopretvaraču za ispitivani motor. Moj je zadatak bio na osnovi tog iskustva odrediti podešenja za ostale HSTEC-ove asinkrone motore iz serije.

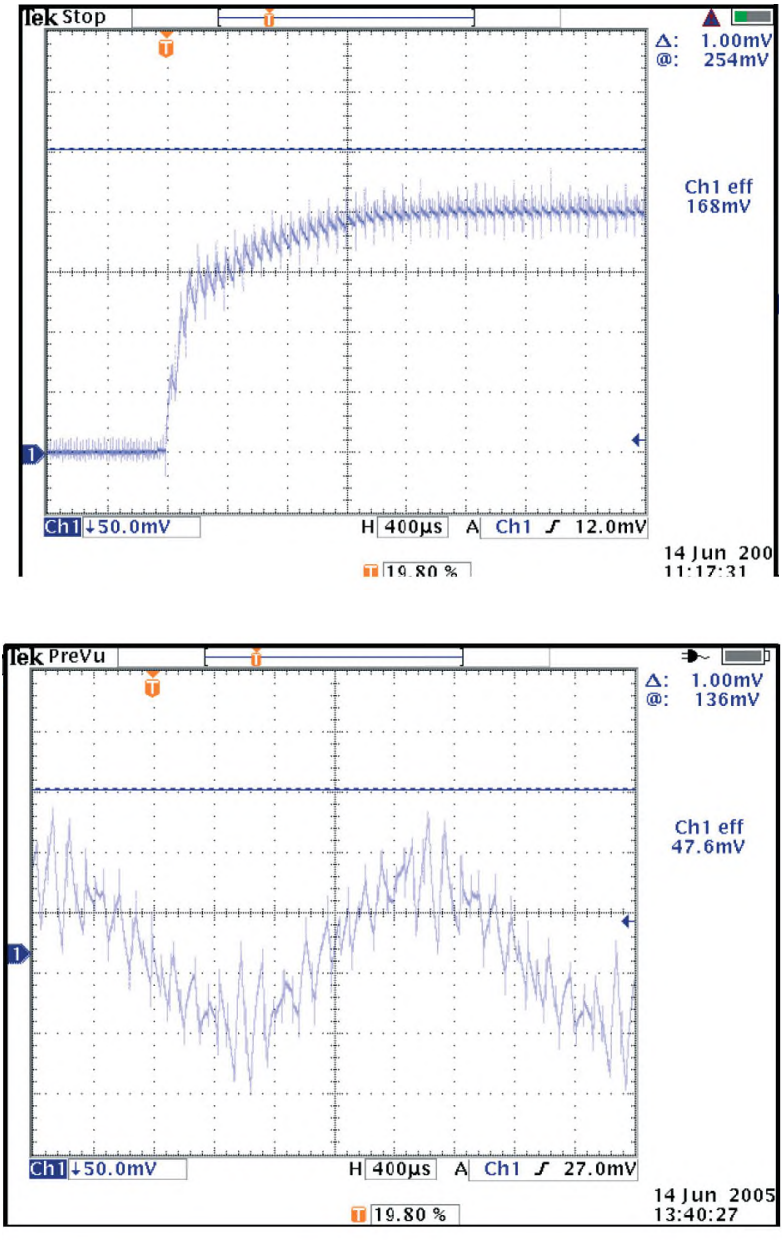
Stroj na testu imao je podatke kako slijedi: HSTEC tip 112A, trofazni kavezni asinkroni stroj, nazivni moment 48 Nm, nazivna frekvencija 106 Hz, nazivna brzina vrtnje 3000 okr/min, nazivna snaga 15 kW, nazivna struja 45 A, nazivni napon 285 V, maksimalna struja 99 A, maksimalna brzina 12 000 okr/min,



Slika 5. Ispitni laboratorij u Lenzeovoj centrali u Hammelnu

inercija rotora 0,016 kgm^2, broj pari polova 2, vodeno hlađenje, spoj zvijezda. Motor je bio opremljen davačem brzine vrtnje i pozicije rotora Lenord + Bauer, tip sin-cos-1 Vss, GEL244 KN1G5. Natpisna pločica motora vidljiva je na slici 8.

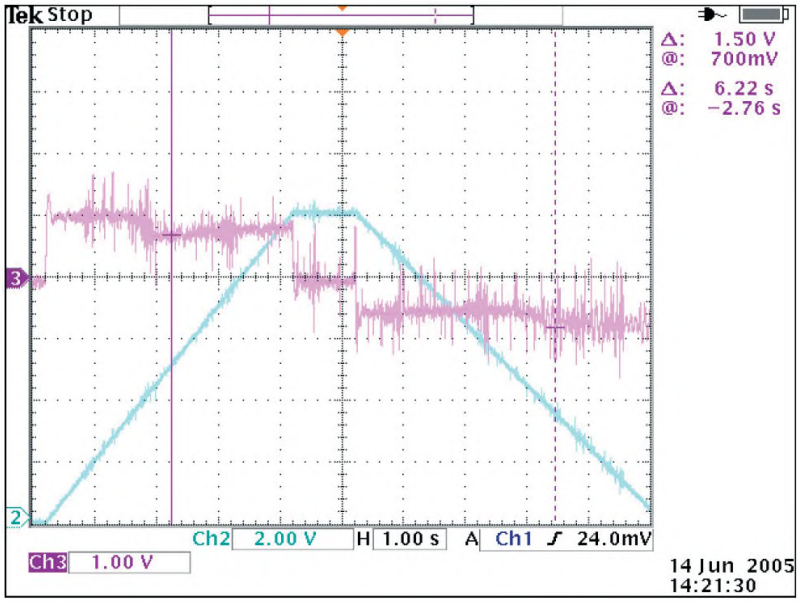
U postupku ispitivanja definiran je električni spoj pretvarača i stroja i to energetski priključak i priključak davača. Stroj je bio spojen s pretvaračem EV-S9328EP (pretvarač s regulacijom pozicije) uz mrežni filtar EZN3A0080H042 nazivne struje 47 A i maksimalne struje 70,5 A. Određeno je kako se konkretni podaci nadomjesne sheme stroja preračunavaju u pojedine parametre u pretvaraču. Upisani su parametri davača brzine vrtnje i pozicije rotora, karakteristika osjetnika temperature u namotu stroja. Provedeno je podešavanje PI regulatora struje u *d* i *q* osi (pojačanje i vremenska konstanta), tako da se krenulo od računskih parametara nadomjesne sheme i onda se fino podešavalo prema kvaliteti odziva na skokovitu referencu struje u području malih signala, slika 6.



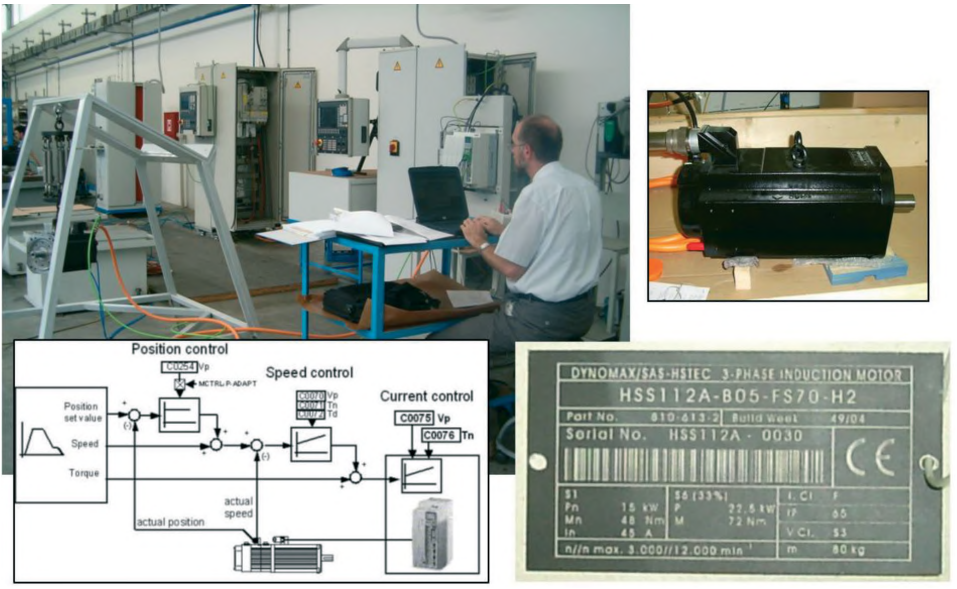
Sl. 6.: Skok i_{sq} struje pri 8 kHz sklopne frekvencije i brzini vrtnje od 12 000 okr/min (gore), linijska struja motora pri 12 000 okr/min (dolje)

Potom je podešen regulator brzine vrtnje uz stroj u praznom hodu, dakle samo sa zamašnom masom rotora, a u području malih skokova promjene reference. Na slici 7. prikazan je jedan zalet do 12 000 okr/min i zaustavljanje s tako podešenim parametrima. Pritom je podešena brzina promjene reference brzine vrtnje (referentno ubrzanje) takva da regulator i_{sq} struje ne traži linijsku struju pretvarača veću od one koju pretvarač može osigurati. Pri generatorskom kočenju bilo je potrebno smanjiti deceleraciju zbog ograničenja razine povrata energije u konkretno raspoloživ sklop za generatorsko kočenje. Na kraju je podešen i proporcionalni regulator pozicije tako da se pri zaustavljanju rotora, kad se aktivira regulator pozicije, po potrebi smanjivalo proporcionalno pojačanje sve dok se pogon nije umirio, tj. mehanički nije proizvodio vibracije pri mirovanju. Frekvencijski pretvarač snimao je u sebe u realnom vremenu podatke prijelaznih pojava i onda su se oni prebacivali na osobno računalo za daljnji grafički pregled i analizu. I mjernom opremom – tenzometarskim davačem momenta – provjerena je nazivna radna točka uz mjerenje ustaljene temperature stroja.

Slika 8. prikazuje uobičajeno puštanje u pogon. HSTEC bi nabavio pretvarač i električnu opremu prema mojoj ponudi, a ja sam dan ili dva prije isporuke radnog mehanizma došao podesiti pretvarač. Primijetite kako je motor pri tim pokusima montiran na oprugama! U tvrtki HSTEC mi je desna ruka pri puštanju u pogon bio diplomirani inženjer Vlatko Bogdanić, osoba iznimno blagog i koncentriranog, smirujućeg djelovanja na uvijek uzbudljivim prvim puštanjima u rad.



Sl. 7.: Zalet i zaustavljanje motora pri referenci brzine vrtnje od 12 000 okr/min. Struja 1 V = 70,5 A (ljubičasti trag), brzina vrtnje 10 V = 12 000 okr/min (tirkizni trag)



Sl. 8.: Podešavanje pogona prije isporuke u HSTEC-u

Projekt 2.: Odmatač žice pri proizvodnji višežičnog vodiča

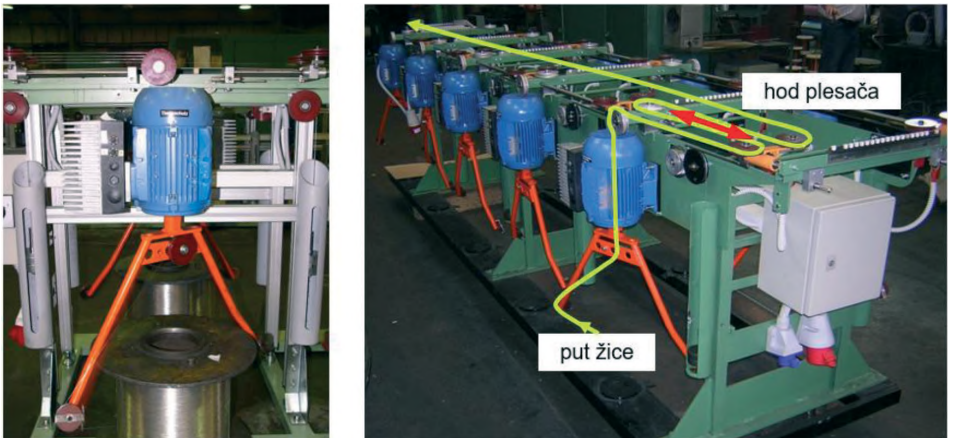
U proizvodnji višežičnog vodiča potrebno je istodobno odmatati nekoliko bubnjeva namotanih bakrenom žicom i potom žice usukati zajedno u višežični vodič koji se opet namata na bubanj. Višežični vodič služi za proizvodnju kabela. U tvornici kabela ELKA d. o. o. u Zagrebu stvarni su presjeci polazne žice za proizvodnju višežičnih vodiča od 0,14 mm^2 do 1 mm^2. Ta žica namotana je na bubnjeve promjera 400 mm. Ovisno o recepturi višežičnog vodiča, slogovi po deset odmatača žice istodobno dodaju žicu u sukalicu. Na slici 9. vide se slogovi odmatača s izmjeničnim motorima. Na osovini motora postavljena je vilica, zapravo odmatačka ruka, koja vrtnjom odmata žicu s bubnja.

Brzina odmatanja svakog bubnja vođena je regulacijom položaja pripadnog plesača. Potrebna napetost žice postiže se postavljanjem utega na plesač koji napinje žicu pri odmatanju. Što je plesač bliže donjem položaju, odmatati se treba sporije kako bi se plesač podigao, a što je plesač bliže gornjem položaju, odmatati se treba brže kako bi se plesač spustio. Kad je brzina odmatanja ustaljena (i do 250 m/min!) plesač tek neznatno titra oko srednjeg položaja. Promjenjiva brzina odmatanja ostvaruje se preko izmjeničnog motora i to preko ručice koja zakreće slog četkica. To je, treba priznati "genijalno" mehaničko rješenje i ne vjerujem da današnji inženjeri tu vrstu stroja uopće znaju prepoznati! No ima jednu ozbiljnu manu, a to je da zahtijeva podmazivanje pokretnih dijelova.

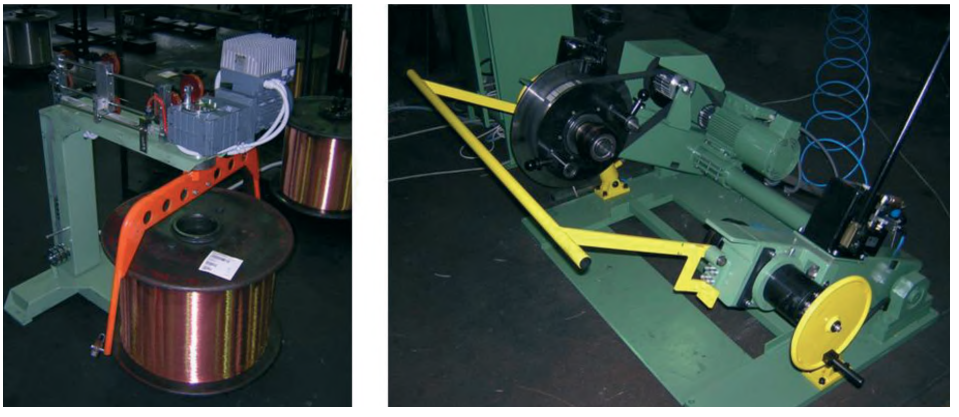
Kako se odmata žica presjeka 0,14 mm^2, jasno je da svako mehaničko zapinjanje pri odmatanju dovodi do puknuća jedne žice, što prouzročuje zastoj u sukalici i posljedično znatan otpad u proizvodnji višežičnog vodiča. Nakon desetaka godina rada ti su strojevi, odmatački slogovi i pod u postrojenju ispod njih bili nevjerojatno masni i prljavi, što se može primijetiti na slici 9. Više nije bilo moguće ni nabaviti rezervne dijelove pa se uglavnom "krpalo". Petar Anić Kaliger iz tvornice ELKA d. o. o., izniman diplomirani inženjer elektrotehnike s istančanim osjećajem za mehaniku, zamislio je rješenje zamjene tih masnih odmatačkih slogova novim suvremenim rješenjem i izazvao i mene svojim oduševljenjem za sudjelovanje u pokušaju rješenja. On je osmislio svu mehaniku. Njegova upornost i jasnoća vizije te strpljivost da programiram pretvarač točno kako je zamislio nije dopustila uzmicanje dok sve nije radilo kako treba. Na prototipu od deset odmatača korišteno je deset običnih trofaznih kaveznih osmopolnih asinkronih motora snage 0,55 kW koji na sebi imaju ugrađen frekvencijski pretvarač Motec (također Lenzeov proizvod). Na taj način dobila se jednaka kompaktnost kao i u starom rješenju. Napetost i brzina odmatanja postigla se regulacijom položaja plesača s odgovarajućim utegom. Napravljena je i posebna startna logika i da se pri donjem položaju plesača događa namatanje (dakle ne odmatanje!) sve dok se plesač ne podigne i žica napne. Isto vrijedi i pri zaustavljanju linije. Sve žice ostaju napete, što omogućava trenutačni ponovni start bez ručnog zahvata na pojedinom odmataču. Pri puknuću bilo koje žice plesač dojavljuje nadređenoj sukalici da se zaustavi proizvodnja i popravi



Sl. 9.: Slog odmatača žice u proizvodnji višežičnih vodiča



Sl. 10.: Novi odmatač i odmatački slog za odmatanje žice s bubnja pri izradi višežičnih vodiča u tvornici ELKA d. o. o.



Sl. 11.: Dva rješenja pojedinačnih odmatača

pojedina žica. Svaki odmatač radi i u ručnom modu s komandama za odmatanje i namatanje, dakle, i bez djelovanja plesača. Ono što je "genijalno" na rješenju i što dotad nije viđeno nigdje na sličnim strojevima u svijetu jest provlačenje žice kroz rotor motora, slika 10. Probušena je osovina rotora i postavljene su porculanske i teflonske vodilice preko kojih prolazi žica! Dodatna inovacija bilo je postavljanje plesača horizontalno, što je oslobodilo manipulativni prostor pri ubacivanju bubnja pod vilicu za odmatanje. Položaj plesača također se očitavao beskontaktno senzorom udaljenosti. Uteg samog plesača za ostvarivanje napetosti žice ostao je dobro zaštićen i jednostavno pristupačan za promjene, naravno u okomitom položaju. Cijeli je odmatački slog na kolicima pa se tako jednostavno organizira i slaže potreban broj odmatača za pojedini recept za izradu

višežičnih vodiča. Ne zaboravljam spomenuti vlastito veselje kad su zaredale narudžbe za nekoliko odmatačkih slogova.

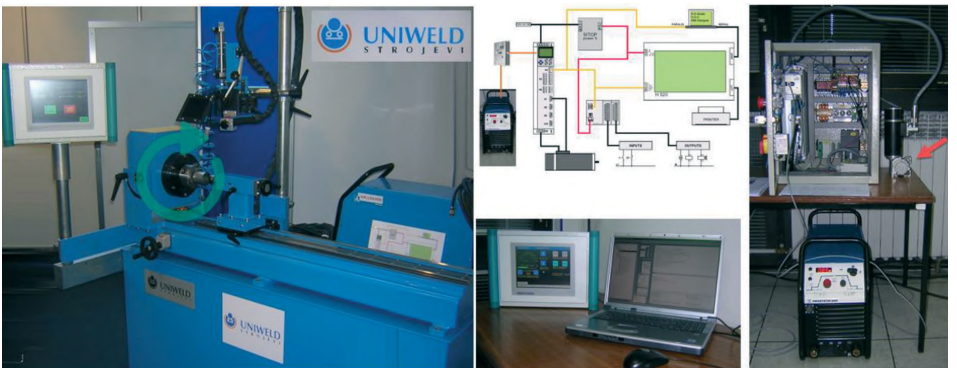
Na tragu tog rješenja napravljene su i neke daljnje inačice samostalnih odmatačkih jedinica, slika 11. lijevo. Ne treba ni spominjati da je tvornica kabela "raj za učenje" pogona odmatanja i namatanja! Na slici 11. desno prikazano je rješenje kod kojeg je mehaniku odmatača radila tvrtka Oprema strojevi d. o. o iz Ludbrega. Na tom se rješenju koristio pretvarač serije 9300 tvrtke Lenze s prilagođenim odmatačkim predloškom za parametriranje važnih veličina odmatača.

Projekt 3.: Rješenje upravljanja i pogona stroja za kružno zavarivanje plazmom

Za tvrtku UNIWELD STROJEVI d. o. o. tijekom 2004. razvijeno je i razrađeno rješenje upravljanja strojem za zavarivanje kružnih obradaka. Tvrtka se bavi proizvodnjom specijalnih strojeva i uređaja, opreme za automatizaciju i robotizaciju zavarivanja.

Razvoj je bio specifičan zato što se u tvrtku UNIWELD istodobno s razvojem konkretnog rješenja prenosila i tehnologija. U prihvaćanju tehnologije sudjelovao je diplomirani inženjer elektrotehnike Marin Dolinar, bez čijeg entuzijazma, želje i otvorenosti prema novom ne bi bilo konačnog rezultata. Sve je to pratio i omogućio ništa manje odvažan tadašnji direktor diplomirani inženjer strojarstva Franjo Ferenac. Trebalo je hrabrosti kako bi se ponudio i potom ugovorio stroj kakav se s pomoću te tehnologije nije nikad prije proizveo u tvornici, a pod uvjetima kao da je tehnologija za gibanje obratka već usvojena i do kraja poznata i zapravo sve za renomirane njemačke investitore, uvijek se nadajući njihovim novim narudžbama.

Glava za zavarivanje miruje, a upravlja se rotiranjem obratka. Promjer obratka kružnog oblika na kojem se zavaruje iznosi od 20 mm do 400 mm uz brzine vrtnje obratka od 0,019 okr/min do 19 okr/min. Linearne brzine zavarivanja pri d = 20 mm kreću se od 0,00119 m/min do 1,19 m/min, a pri d = 400 mm od 0,023 m/min do 23 m/min. Područje regulacije brzine vrtnje je 1 : 1000. Proces zavarivanja ne zahtijeva posebnu dinamiku elektromotornog pogona. Zadaju se kutovi početka i završetka zavarivanja u kontinuiranom ili segmentnom načinu zavarivanja. Segmentni je način bitan kako pri kontinuiranom načinu ne bi došlo do deformacije obratka zbog topline nastale pri zavarivanju. Po završetku zavarivanja obradak se vraća u početnu poziciju. Upravljački program zadaje parametre zavarivanja napravi za zavarivanje preko serijskog sučelja i upravlja signalima za postavljanje glave za zavarivanje u početni položaj, signalima ventila za dovod zaštitnog plina i naprave za povlačenje žice za zavarivanje. Stroj radi u ručnom i automatskom načinu rada, pri čemu se u automatskom

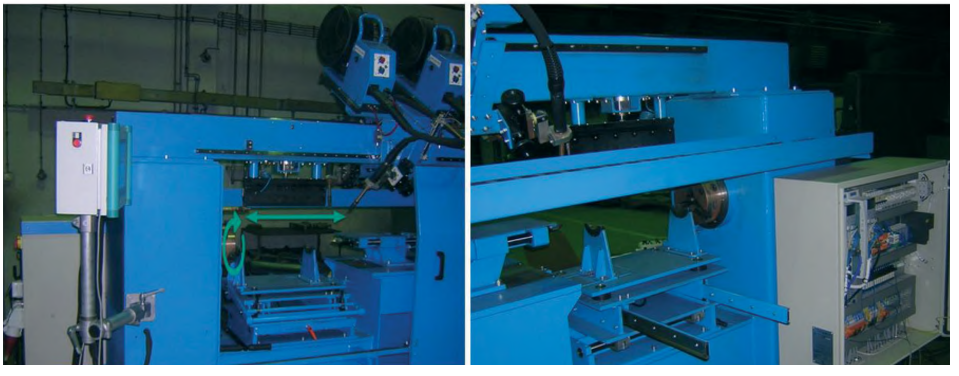


Sl. 12.: Stroj za kružno zavarivanje obratka

traži mogućnost spremanja skupa parametara u recept za pojedini obradak. Recept se može spremiti u sustav za naknadno pozivanje, ali i otisnuti na papir za arhiviranje. Za vrijeme zavarivanja na nadzornom panelu prati se i nadzire proces zavarivanja kao i sva stanja stroja.

Rješenje obuhvaća Lenzeov servofrekvencijski pretvarač s PLC-om u sebi (EVS9321-ET), komunikacijski modul za komunikaciju s napravom za zavarivanje, Lenzeov nadzorni panel osjetljiv na dodir (EPM-H520), te module za dodatne digitalne ulaze i izlaze. U pogonu okretanja nalazi se Lenzeov asinkroni servostroj SDSGARS 047-22 s pužnim reduktorom SSN31. Mjerni član pozicije i brzine vrtnje osovine motora je vektorski razlagač (engl. *resolver*) prigrađen izravno na osovinu motora. Za razvoj su korišteni Lenzeovi programski alati: programski paket DDS za razvoj PLC rješenja, programski paket *Hmidesigner* za razvoj aplikacije nadzornog panela i programski paket *Global Drive Control* za parametriranje servopogona.

To je rješenje tad primijenilo tehnološki vrh Lenzeove servotehnologije. Prodano je u nekoliko primjeraka u Njemačkoj i bilo je temelj za gradnju novog



Sl. 13.: Stroj za rotiranje i linearno zavarivanje obratka

stroja u kojem se glava za zavarivanje kretala uzduž obratka, a sam se obradak po zavarivanju jednog uzdužnog prolaza zakretao. U rješenju je bilo moguće uzdužno zavarivanje s dvije glave za zavarivanje odjednom, slika 13.

Projekt 4.: Rješenje pogona stroja za plinsko rezanje

Tvrtka Unicut d. o. o. iz Pule na čelu s mr. sc. Frankom Pužarom proizvodila je CNC upravljani stroj namijenjen za plinsko ili plazma rezanje metalnih ploča, komercijalnog naziva Ivana. Mlaz plazme dobiva se procesom tlačenja plina koji se provodi kroz električni luk. Plin koji se koristi za stvaranje mlaza plazme pri tom procesu može razviti temperaturu do čak 25 000 °C. Za rezanje običnih konstrukcijskih čelika i aluminija, kao i za manje zahtjevnu kvalitetu reza legiranih čelika, potpuno zadovoljava komprimirani zrak. Za kvalitetno rezanje legiranih čelika koristi se mješavina plinova (argon, dušik, vodik).

Stroj je portalnog tipa: portal se sastoji od grede, poprečnog pogonskog sustava i do četiri suporta s gorionicima. Na portalu je smješten CNC upravljački sustav te plinski regulatori i manometri. Portal se u uzdužnom smjeru kreće po stazama. Glavne tehničke karakteristike su: širina rezanja do 3,0 m, duljina rezanja 4,5 m do 28,5 m, jedan do četiri gorionika, brzina rezanja 0,1 m/min do 6 m/min, debljina rezanja 3 mm do 200 mm, korak mjernog sustava 0,01 mm, točnost pozicioniranja 0,2 mm. Stroj pogone tri servostroja. Mehanički prijenosnici ostvaruju gibanje portala preko zupčastih letvi. Za pogon u uzdužnom smjeru ugrađena su dva servosustava (s jedne i druge strane portala). Dvostruki pogon po uzdužnim stazama važan je za miran hod portala i pri najvećim brzinama te oštrim promjenama brzina na kutovima oblika koji se režu. Nosači gorionika imaju sustav za elektromotorno podizanje i spuštanje gorionika, na daljinsku komandu preko upravljačkih tipki ili pak programski. Ugrađeni su i uređaji za automatsko održavanje visine gorionika, što je potrebno za automatski programski ciklus rezanja (probijanje lima), kao i za održavanje razmaka sapnice tijekom rezanja usprkos eventualnim neravninama lima. Standardno se ugrađuju i električni upaljači plamena. U stroj je ugrađena profesionalna CNC upravljačka jedinica namijenjena preciznim alatnim strojevima, koja svojom točnošću uvelike nadmašuje potrebe stroja za rezanje. Imala je zaslon u boji i disketnu jedinicu (2004. godina!) za unos programa rezanja, a moguće je bilo i povezivanje s računalom u tehničkom uredu gdje se pripremaju programi rezanja. Rad stroja potpuno je automatiziran: poslužitelj na stroju mora postaviti lim, pozicionirati gorionike u početni položaj, izabrati program rezanja i aktivirati start programa. Pozicioniranje na mjesto paljenja plamena, spuštanje gorionika, grijanje lima, probijanje, rezanje, podizanje gorionika i prijelaz na novu poziciju odvija se automatski u skladu s aktiviranim programom. Poslužitelj



Sl. 14.: Stroj za plinsko rezanje Ivana proizvođača Unicut d. o. o. iz Pule opremljen servoasinkronim strojevima



Sl. 15.: Razdjelnik s tri servofrekvencijska pretvarača i CNC upravljačkom jedinicom

može intervenirati (prema potrebi) za: korekciju brzine tijekom rada, korekciju širine proreza, korekciju vremena grijanja lima na mjestu probijanja.

Godine 2004. na tom sam stroju, slika 14. i 15., izvršio zamjenu postojećih istosmjernih pogona novim izmjeničnim asinkronim servostrojevima kompaktno prigrađenim na zupčaste prijenosnike s čelnim zupčanicima. Strojevi se napajaju iz servopretvarača serije EVS9300-ES. CNC upravljanje davalo je signale pojedinim osima, a servopretvarači su vršili samo funkciju gibanja.

Specifičnost tog stroja u smislu električne opreme je da su to zaista robusni strojevi koji rade u prljavom okolišu punoj metalne prašine, u brodogradilištima ili strojarskoj industriji, pri rezanju dijelova. Zahvalan sam Franku Pužaru na danom povjerenju da s Lenzeovim pogonima udahnemo novu suvremenu dušu u plazma-rezačicu – domaći proizvod.

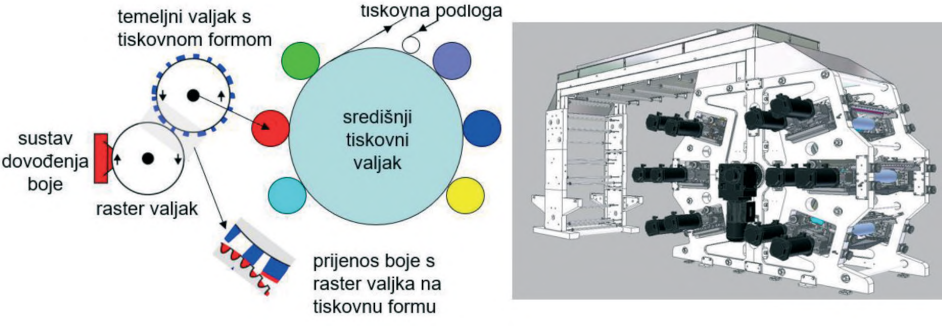
Projekt 5.: Rješenje pogona naprave za posluživanje tiskarskog stroja

U tiskarskoj tehnologiji za dobivanje višebojnog otiska na tiskovnoj podlozi u obliku filma često se zbog kompaktnosti stroja pristupa rješenju sa središnjim tiskovnim valjkom, slika 16. Središnji valjak može biti promjera i do 2 m. Oko njega su smještene tiskovne baterije za pojedine boje. Boja se dovodi u spremnik iz kojeg se oplakivanjem prenosi na raster-valjak. Površina raster-valjka gravirana je u mnoštvo čunjeva između kojih su udubine u koje se hvata boja. Okretanjem se boja iz raster-valjka prenosi na temeljni valjak na kojem je fleksibilna tiskovna forma. Po njoj se ta tehnologija tiska naziva *flexo* tisak. Tiskovna forma zapravo je žig smješten po obodu temeljnog valjka. Odmjerenim pritiskom temeljnog valjka s tiskovnom formom na raster-valjak dolazi do prijenosa boje na tiskovnu formu. Pritiskom pak temeljnog valjka s tiskovnom formom na središnji tiskovni valjak s tiskovnom podlogom dolazi do prijenosa obojenog otiska fleksibilne tiskovne forme (žiga) na tiskovnu podlogu. Takvi višebojni tiskarski strojevi imaju i do deset baterija s bojama. Središnji tiskovni valjak određuje brzinu prolaza tiskovne podloge kroz stroj, a prema njemu se sinkroniziraju sve boje, tj. svi temeljni valjci s tiskovnim formama. Ta se sinkronizacija izvodi električnim putem servopogonima u načinu rada "električne osovine". Sve boje se moraju savršeno poklapati i tek onda je slika željene kvalitete. I raster-valjci moraju biti sinkronizirani s temeljnim valjcima kako ne bi dolazilo do međusobnog proklizavanja između valjaka što bi oštetilo tiskovnu formu. Tako svaka boja ima dva servopogona i sve su boje međusobno sinkronizirane. Prednost je fleksibilnih tiskovnih forma što je njihov postupak izrade jednostavan i brz, no broj mogućih otisaka je ograničen. Time je ta tehnologija primjerena za manje serije, a to znači uz česte izmjene tiskovnih formi. Promjena tiskovnih formi znači skidanje temeljnih valjaka sa stroja, skidanje postojećih i postavljanje novih tiskovnih formi i konačno vraćanje valjaka u stroj. Kako bi se što više skratilo vrijeme promjene valjaka (koje može biti i dulje od samog tiskanja!), domislilo se temeljni valjak napraviti u obliku šupljeg cilindra – rukava koji se navuče na osovinu u stroju i zračno zabravi. Po završetku tiskanja rukav s tiskovnom formom odbravi se i svuče s osovine te zamijeni novim rukavom na kojem je nova tiskovna forma. Zamjena rukava puno je jednostavnija od zamjene cijelog valjka, a novi zamjenski rukav može

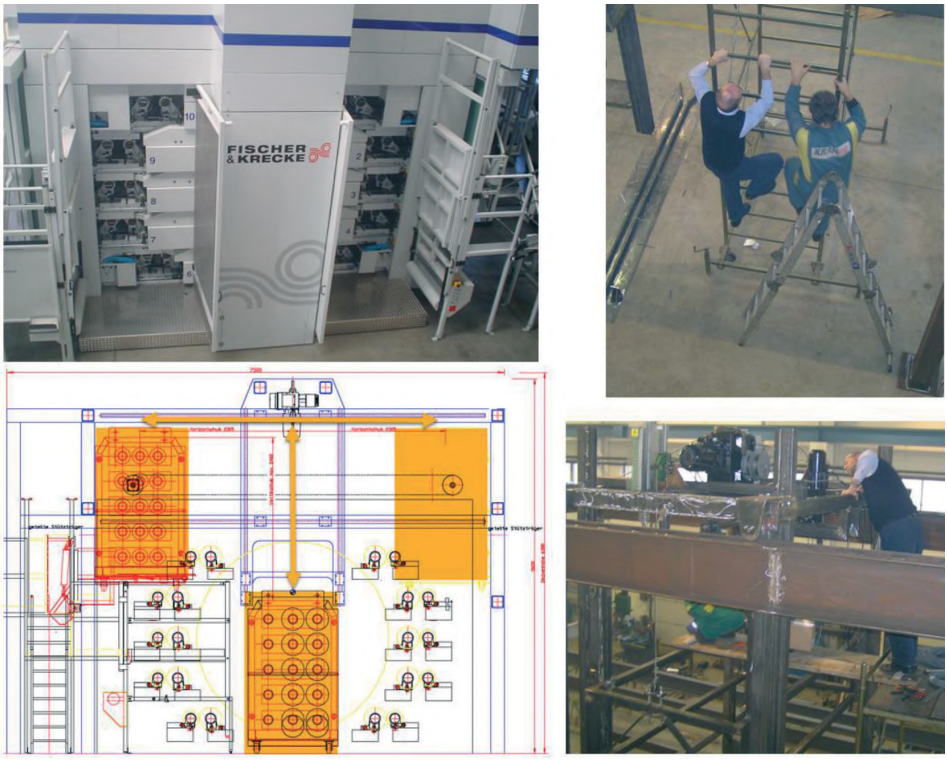
se oblijepiti novom tiskovnom formom dok se stroj vrti. Koristeći zamjenu rukava s tiskovnom formom, a ne zamjenu valjka, tiskarski stroj ostvaruje minimalan zastoj proizvodnje.

No zamjena rukava s tiskovnim formama nije jednostavna operacija jer se odvija u prostoru izvan tiskarskog stroja. Stoga su zamišljena kolica na kojima se nalaze rukavi s novim tiskovnim formama, ali i mjesta za prihvat rukava s tiskovnim formama koje se skidaju sa stroja. Ta se kolica moraju podignuti u prostor dizalicom i namjestiti pred željenu poziciju. Potom se osovina kolica teleskopski produljuje i gotovo spaja s osovinom temeljenog valjka boje na stroju. Tad se stari rukav prevlači s osovine temeljnog valjka boje i odlaže na osovinu kolica, uvlači se produžna osovina za prevlačenje, a kolica se pomiču tako da se na tu osovinu boje može navući novi rukav pripremljen na nekoj osovini kolica. Tako se zadatak za operatera stroja svodi na podizanje kolica s poda i pomicanje lijevo-desno. Slijedi izvlačenje produžne osovine koja spaja osovinu kolica i osovinu temeljnog valjka boje na stroju, što se izvodi ručno kao i samo prevlačenje rukava. Kako su u geometriji stroja pozicije osovina boja i pozicije osovina na kolicima gdje se smještaju rukavi (stari i novi) fiksno zadane, moguće je digitalno zadati da se kolica pomaknu na izabrano mjesto. Za to je potrebno stroj jednom "naučiti" gdje mu je početna pozicija i poslije birati poziciju zaustavljanja kolica, tj. točno određenu osovinu na kolicima postaviti na točno određenu poziciju temeljnog valjka pojedine boje.

Opisani zadatak dizalice manipulatora za posluživanje deseterobojnog tiskarskog stroja Fischer & Krecke GmbH za operaciju zamjene rukava s tiskovnim formama došao je iz tvrtke KRANING d. o. o. diplomiranog inženjera elektrotehnike Jusufa Ivkovića. Tvrtka KRANING projektirala je i strojarski dio dizalice koja se sastojala od kranske staze na stupovima, voznog vitla s vodilicama za prihvatnu napravu za prihvat kolica, prihvatne naprave za kolica i samih kolica. Vozno vitlo čini konično-zupčasti motorni prijenosnik za horizontalni pomak vitla lijevo-desno, konično-zupčasti motorni prijenosnik za verti-



Sl. 16.: Višebojni tiskarski stroj sa središnjim tiskovnim valjkom

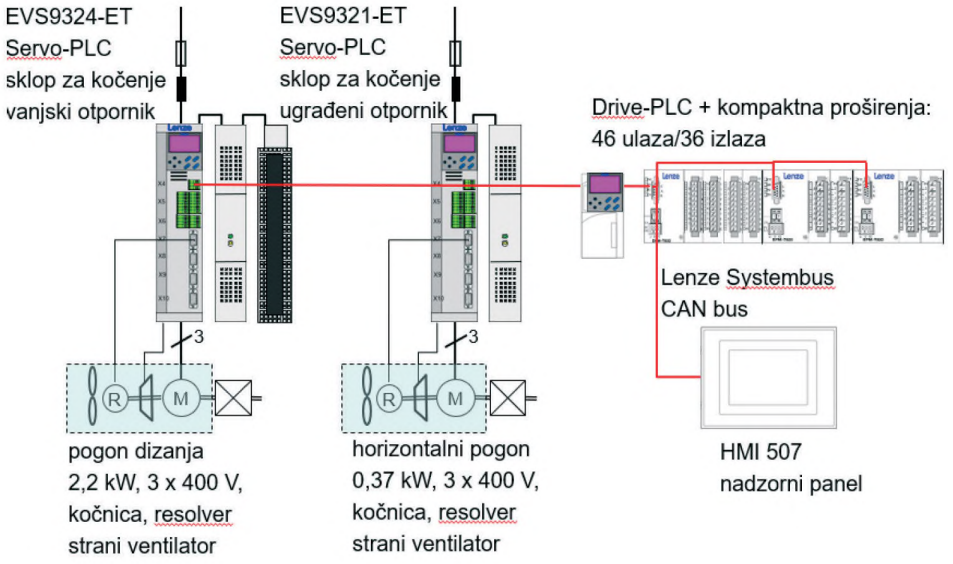


Sl. 17.: Deseterobojni tiskarski stroj, prostor podizanja i horizontalnog pomicanja kolica s tiskarskim rukavima, detalji pri gradnji uređaja

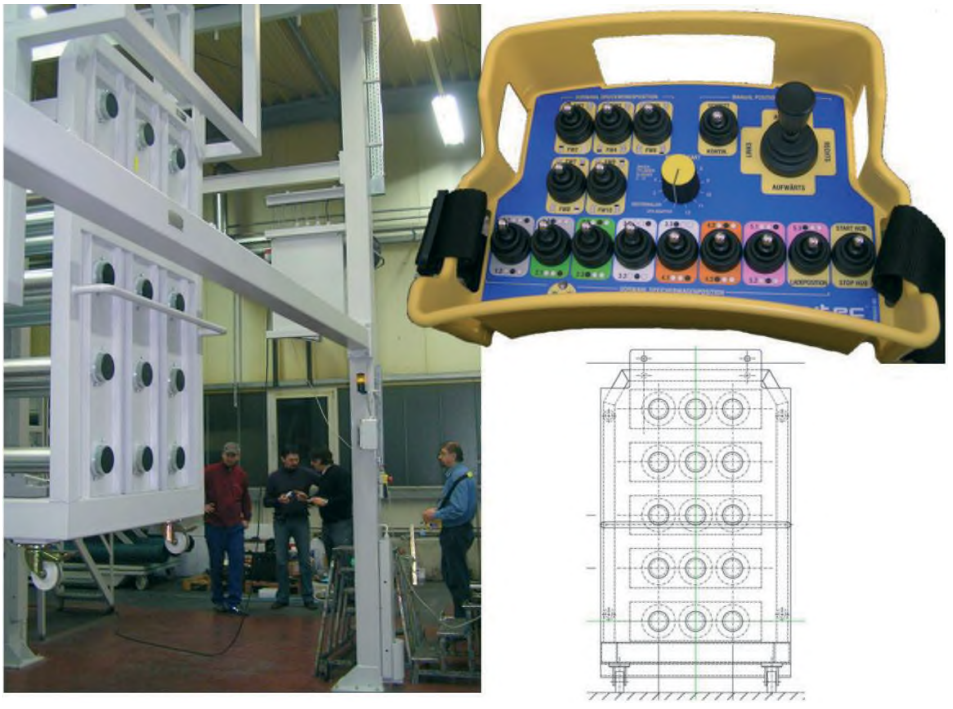
kalni pomak dizanja i spuštanja kolica, bubanj za namatanje užeta kuke za podizanje kolica, pogonski i prateći kotači horizontalnog pogona i upravljački ormar s elektroopremom.

Servopogoni (pogon dizanja i pogon horizontalnog pomaka) opremljeni su elektromagnetskim kočnicama i davačima položaja rotora. Upravljanje gibanjem odvija se u Lenze 9300 servo-PLC frekvencijskim pretvaračima, slika 18. Frekvencijski pretvarači dobivaju nalog za vožnju iz nadzornog računala *Drive PLC* koje prati sva stanja pogona preko 46 digitalnih ulaza i upravlja sa 36 digitalnih izlaza (krajnji prekidači, sigurnosne zavjese, sklopke za isklop u nuždi, radiokomunikacija s upravljačkim uređajem operatera dizalice, zvučna i svjetlosna signalizacija…).

Dizalicom se upravlja sa zemlje. Najsloženiji dio bio je kako 1650 mogućih kombinacija pozicioniranja osovina na kolicima ispred osovina valjaka tiskarskog stroja prevesti u za operatera lako shvatljive radnje. U tu svrhu osmišljen je uređaj radio daljinskog upravljanja s potrebnim sigurnosnim i funkcijskim tipkama i preklopkama te ručicom za upravljanje. Kodiraju se željena pozicija



Sl. 18.: Pogoni i sustav za upravljanje dizalicom za posluživanje tiskarskog stroja



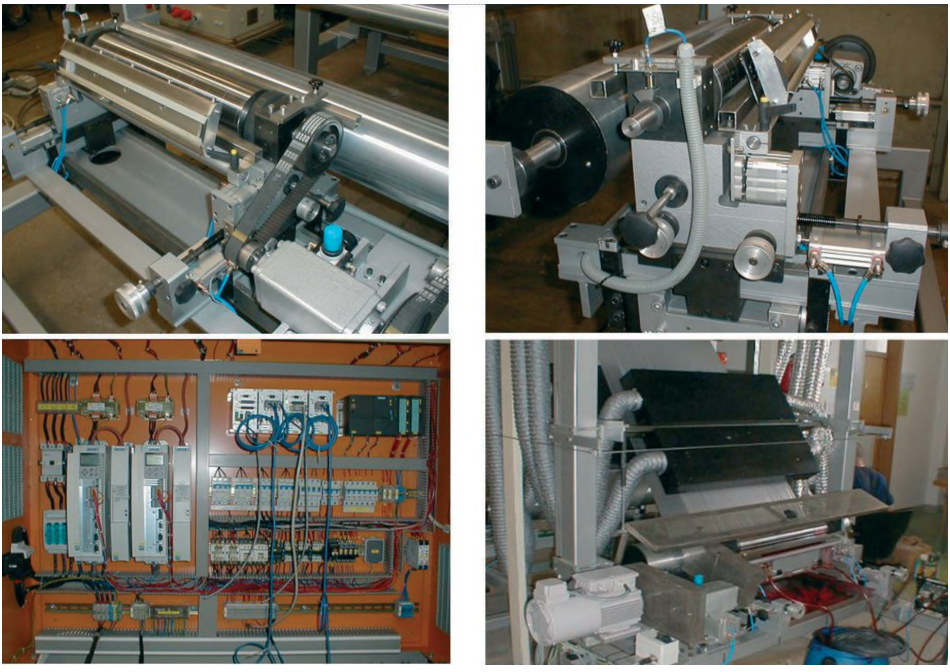
Sl. 19.: Kolica s osovinama za rukave s tiskovnim formama i uređaj za upravljanje dizalicom

osovine na kolicima i ciljna pozicija osovine u tiskarskom stroju i starta vožnja u zadanu poziciju. I tako kružno dalje do promjene svih rukava. Rješenje kodiranja 1650 mogućih pozicija i svih upravljačkih naredbi na radio upravljačkom uređaju sa zemlje, slika 19, uključujući i sve električno opremanje dizalice, briljantno je zamislio i obavio Jusuf Ivković, dipl. ing. elektrotehnike, a dekodiranje i pretvorbu naredbi s upravljačkog uređaja u naredbe za frekvencijske pretvarače pogona nevjerojatno je pojednostavnio i osmislio Marin Dolinar, dipl. ing. elektrotehnike iz tvrtke MEL d. o. o. Marin Dolinar osmislio je i nadzorno sučelje u obliku zaslona osjetljivog na dodir koji je omogućavao i dodatne informacije i poruke pri radu s dizalicom. Taj zaslon nije bio nužan za sam rad s dizalicom. Moj je zadatak bio osmisliti opremu za upravljanje prema slici 18. i programirati pretvarače za obavljanje vožnje po nadređenim komandama. Na ovom zadatku došlo je do neponovljivog spoja iskustava u dizaličnim sustavima g. Ivkovića, iskustava u programiranju PLC-a g. Dolinara i mojeg iskustva u pogonima s pozicioniranjem i općenito s izborom Lenzeove elektroničke i mehaničke opreme. No, posebno je tu bio i onaj tako lijep osjećaj da se mi hrvatski inženjeri možemo drznuti i obavti u cijelosti traženi zadatak i isporučiti stroj 2008. u Njemačku.

Projekt 6.: Rješenje pogona dvobojnog tiskarskog stroja

Iako samo poznavanje tiskarske tehnologije nije bilo presudno u projektu netom opisanog dizaličnog manipulatora, ono je sigurno pomoglo u "smanjenju straha od nepoznatog". Naime, davne 2003. godine Vladimir Domović, dipl. ing. strojarstva me izazvao zadatkom upravo iz tiskarske tehnologije. On je projektirao *in line* dvobojni tiskarski stroj za polietilenski film. *In line* znači da se polietilenski film odmah po ekstrudiranju provodi kroz tiskarski stroj i tek potom namata, što znatno skraćuje proces proizvodnje otisnutog filma. Otiskivanje ekstrudiranog filma u obliku crijeva koristi se, primjerice, za proizvodnju vrećica s tiskom.

Ovdje su primijenjeni servofrekvencijski pretvarači za upravljanje jednom bojom, a međusobno sinkroniziranje boja provodilo se preko posebnog vanjskog uređaja za sinkronizaciju. Ideja stroja je da valjak s tiskovnom formom miruje, mjeri se duljina prolaza filma i generira se nalog za start otiskivanja. Tad se valjak s tiskovnom formom zalijeće do obodne brzine jednake brzini prolaza tiskovne podloge, počinje otiskivanje na željenoj poziciji prolaza filma. Za vrijeme otiskivanja tiskovna forma ide sinkrono s tiskovnom podlogom, a kad je otiskivanje završeno valjak se zaustavlja i čeka sljedeći nalog za start otiskivanja. Druga boja morala je pratiti prvu boju po poziciji. S ovih nekoliko fotografija na slici 20. želim zahvaliti g. Domoviću jer sam kroz njega i uz njega od 1997. do 2000. godine u Zagrebplastu d. o. o. otkrivao tajne tehnologije



Sl. 20.: Detalji dvobojnog *in line* tiskarskog stroja u nastajanju

ekstruzije polietilenskog filma u crijevu, višebojnog tiska polietilenskog filma s fleksibilnom tiskovnom formom i konfekcije otisnutog polietilenskog filma u vreće i vrećice za nošenje. Sve je strojeve u ovoj tehnologiji g. Domović poznavao u dušu (mnoge je sam konstruirao!) jer je svoje inženjersko formiranje prošao u tvornici Zagrebplast d. o. o., gdje je osobno rastao od svojeg prvog zaposlenja do direktora tvrtke koja je proizvodila 12 000 tona godišnje i zapošljavala 200 radnika i već u to vrijeme (prije 25 godina!) imala cjelokupnu proizvodnju praćenu računalom.

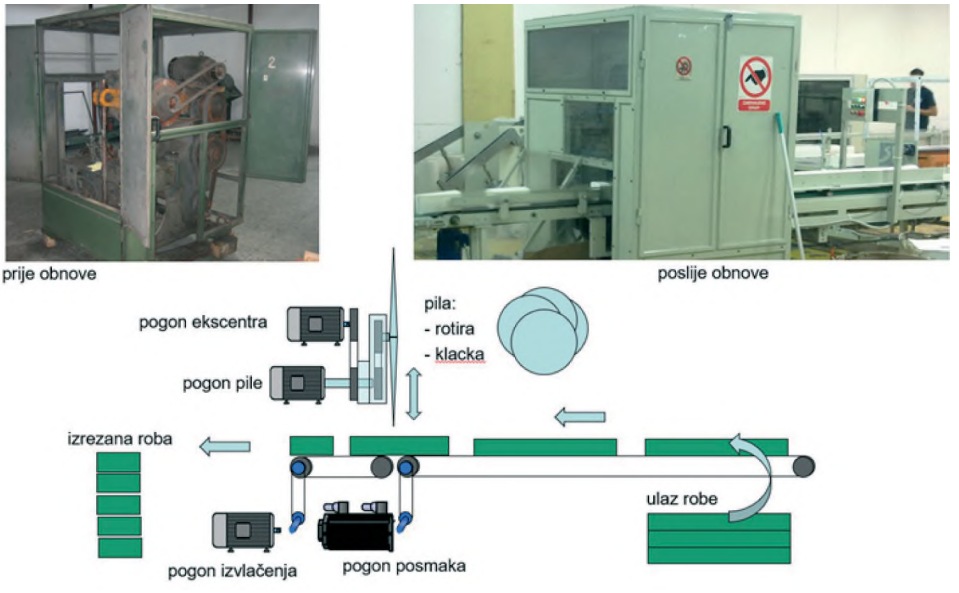
Projekt 7.: Rješenje pogona rezalice papira

S tvrtkom Rimanić d. o. o. i njezinim vlasnikom diplomiranim inženjerom Brankom Rimanićem iz Pazina obnovljena su od 2004. do 2008. četiri slična stroja za rezanje rola papira. On je imao beskrajno povjerenje u mene (hvala mu na tome!), a ja sam osjetio izazov rješivog zadatka koji mi je donosio nova iskustva.

Zadatak radnog mehanizma je izrezati rolu namotanog papira dugu od 1,0 m do 1,3 m na rolice duljine po 0,1 m. Krajnji su proizvod, primjerice, rolice toaletpapira ili ubrusa za ruke. Stroj ima zapisan recept rezanja i pomiče

inkrementalno polaznu rolu. Nakon svakog pomaka pila odreže rezom željenu duljinu proizvoda. Pila je kružne izvedbe, tanka čelična ploča u vrtnji, naoštrena na rubovima. Pila je montirana na ekscentar kojim se ostvaruje klackajući hod gore-dolje. Rješenjem je osigurano da u donjem položaju gibanja ekscentra pila sigurno prorezuje rolu papira, a u gornjem položaju ekscentra pila bude sigurno iznad role papira. Dok je pila izvan role papira, posmačni pogon pomiče rolu u poziciju za sljedeći odrez. Potom pila prorezuje rolu dok ona stoji, a čim iziđe pila iz role, rola može opet biti pomaknuta. Stroj može napraviti do 60 odreza u minuti s cca 100 mm duljine odreza. Što je viša brzina vrtnje ekscentra, pila može napraviti više odreza, ali je i kraće vrijeme za posmak materijala. Servopogon omogućuje kontrolirano ubrzanje i usporenje bez poskakivanja i pomicanja rezane role u njezinoj putanji za vrijeme posmaka. Osnovni zahtjev stroja je da pila nikad ne uđe u rolu koja se još giba jer će gotovo sigurno doći do puknuća pile, a pri puknuću pile komadići lete svuda okolo po kućištu stroja, ali i kroz otvore gdje rola ulazi u stroj i gdje izrezani komadi role izlaze iz stroja.

Strojevi su bili polazno hrpa zahrđalog željeza. No s puno entuzijazma zapravo je s tih strojeva trebalo "samo" poskidati mehaničku opremu i "raspojiti" međusobno mehaničke veze posmaka, ekscentra i pile i uspostaviti nove električne veze. Uvijek bi se napravio proračun gibanja točke, a iz tako dobivenih putova i vremena, točki koja se giba dodala bi se masa i realni mehanički otpori. Tako se dolazi do stvarnih sila i zakretnih momenata potrebnih za



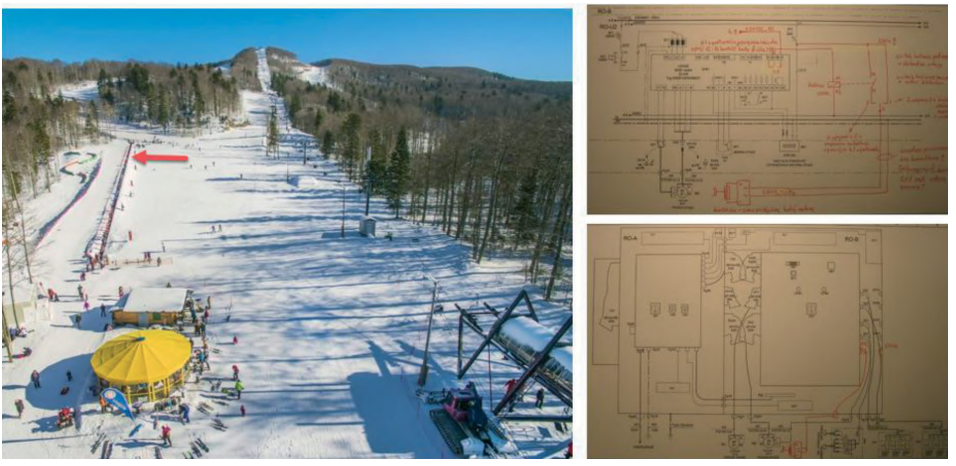
Sl. 21.: Stroj za rezanje rola papira: od hrpe željeza do linije u radu

proračun pogona. Posmak role riješen je servomotorom s prigrađenim zupčastim čelnim prijenosnikom, a sama veza posmačne trake i prijenosnika izvedena je zupčastim remenom. Logika posmaka i općenito nadzor gibanja role, nadzor senzora uvjeta po stroju i samog upravljanja strojem izvedena je u PLC-u ugrađenom u Lenzeov pretvarač serije 9300. Na svakom stroju uvijek je bila jedinica za komunikaciju i parametriranje procesa rezanja uz mogućnost spremanja recepture. Bila je i programirana mogućnost provjere procesa recepta bez uključenja rada pile. Svi ostali pogoni riješeni su običnim pretvaračima frekvencije. Tvrtke vlasnici tih "novih strojeva" dosad su rezale role papira običnom tračnom pilom kakvom se inače pile drva za grijanje. Možete si zamisliti porast produktivnosti i "količinu sačuvanih prstiju" za godine djelovanja tih četiriju strojeva. Da me bilo strah da mi pila ne pukne u probnom radu dok je stroj još bio nezaštićen, to ovdje ne bi trebalo niti spominjati. Rukovodio sam se samo da sam uvijek stajao izvan smjera centrifugalnih sila, ali da se pila ipak sudarila s rolom u radu i posljedično puknula, trebalo bi mi i uz takav oprez jako, jako puno sreće.

Projekt 8.: Elektromotorni pogon skijaške trake na Platku

U rješenju pogona skijaške trake na Platku surađivao sam sa Željkom Mladenovićem, diplomiranim inženjerom strojarstva iz ondašnje tvrtke Žičare Platak d. o. o. Gospodin Mladenović došao je s idejom da će on sam proizvesti skijašku traku. Kako je bio dobar duh Platka, zaljubljenik u skijanje i prirodu, i kako sam s njim već u nekoliko navrata surađivao na pogonima postojećih žičara na Platku, nisam sumnjao da će mu to i uspjeti. Na kraju vidio sam njegove topove za proizvodnju snijega na Platku, sve iz kućne radinosti, uvjerio sam se kako vješto priprema i oprema *ratrak*, tako da tu nije bilo potrebe za posebnim oprezom jer tehnologiju i djelovanje trake kojom ja nisam vladao preuzeo je on. Iako se u prvi čas može pogon trake činiti kompliciran, on to nije kad imate investitora koji je proučio rješenja na stranim skijalištima i suvereno vas tehnonolški vodi u projektu, uključujući i određivanje snage i brzine vrtnje izlaza pogona (18,5 kW, 6600 Nm, 25,5 okr/min).

Razvodni ormar od plastike smješten je na gornjem dijelu staze, na otvorenom bez kućice! Staza je duga 150 m. Primijenjeno je rješenje "ormar u ormaru" zbog nezahvalne klime na Platku. U unutarnjem ormaru smještena je sva oprema, uključujući Lenzeov običan pretvarač frekvencije snage 22 kW. S ormarom komuniciraju dvije upravljačke kutije, jedna pri vrhu staze i jedna pri dnu, za pokretanje i zaustavljanje staze. Staza je opremljena brojačem putnika i fotoćelijom na izlazu koja sama uočava zastoj na izlazu, dakle, da je netko možda pao pri izlazu. Sam ormar ima vlastito grijanje i riješen odvod kondenzata, ali zapravo najvažniji zadatak je bio spriječiti razaranje opreme od udara



Sl. 22.: Skijaška staza − vučnica na Platku i detalj rješenja

munje. Platak ima učestala atmosferska pražnjenja i postojala su iskustva kako se gotovo svake godine promijeni barem jedan frekvencijski pretvarač koji je stradao od udara munje. Odvodnik prenapona i struje munje dobar je dok radi, međutim, ako prvi udar ošteti odvodnike, drugi udar mogao bi oštetiti sad neštićenu i skupu opremu. To sam riješio tako da se svaki dan poslije upotrebe napojni kabel odspaja, a svi kabeli koji vode u ormar i iz njega odspajaju sa svojih utičnica i prebacuju na "prazne" utičnice u vanjskom ormaru kojima su pak svi spojevi uzemljeni. Ta operacija traje nekoliko minuta i možda je dosadna, ali za deset godina koliko je traka u pogonu do mene nije došla vijest da je pretvarač stradao od munje! Pogotovo je to bilo potrebno napraviti nakon skijaške sezone! Posebnost projekta bilo je i puštanje u pogon. Kao i uvijek, sutra je trebao biti tehnički pregled. Mi smo dan prije tog pregleda uz susnježicu i ledenu kišu i uz metar snijega oko nas mokri i promrzli podešavali parametre i funkcionalno testiranje.

Zaključak

Nije moguće u jednom članku opisati osam godina intenzivnog rada koji je rezultirao s približno 4,5 milijuna eura prodanih elektromotornih pogona. Osam izabranih projekata tek rubno dočarava što jedan trgovac pogonima može u praksi očekivati ako se ne boji posla. Iza svakog ovog projekta mogla je stajati serijska proizvodnja radnih mehanizama − strojeva. Danas kad gledam unatrag kristalno je jasno da Lenzeu u Hrvatskoj nije bio cilj razvoj strojogradnje, zato nisu išli u "investiciju" da zaposle više ljudi koji bi onda s vremenom

pridonijeli i razvoju tvrtki koje bi više kupovale njegovu robu. Ne, to nije bio cilj! Cilj je bio moći na zadnjoj stranici kataloga, uputa korisniku i mrežnoj stranici napisati da Lenze ima ured u Hrvatskoj. Kako je strojogradnja strateško područje i Njemačke i Austrije, njihove politike su željele (i žele još i sad!) zapošljavati svoje radnike u svojoj strojogradnji i ne žele razvijati hrvatsku strojogradnju prenoseći jako intenzivno thenološke inovacije u opremi. Ured s jednim putujućim trgovcem sasvim je dovoljan da se servisno mogu poslužiti prodani njemački i austrijski strojevi u Hrvatskoj, a da se tehnologija prenosi na kapaljku. Moj predani osmogodišnji napor da se napravi ozbiljnija poslovnica s tri do četiri čovjeka nije se uklapao u strategije vlasnika. Sad s odmakom potpuno mi je jasno i zašto. Po mojem odlasku nakon osam godina iz tvrtke Lenze 2008., tvrtka je još neko vrijeme funkcionirala u Hrvatskoj da bi danas zapravo bila potpuno ugašena i sva prodaja za RH danas se radi preko slovenske podružnice. Nakon mene Lenze nije uspio naći čovjeka u Hrvatskoj koji bi ostao dulje od godine.

Koje bih iskustvo želio predati mladom čitatelju? Koristio sam skiciranje običnom olovkom i razgovor kroz skice. Tvrdim da nema boljeg alata za posao od skice. Prvo što treba učiniti na terenu je skica. Od skice se može dalje. Ako sam se s terena vratio bez skice, to je bilo izgubljeno vrijeme. Skica je više od fotografije. Kad vas kupac traži skicu koju ste crtali o njegovu rješenju, prodaja je gotovo već ostvarena. Nadalje, proživio sam brojna puštanja u pogon. Taj dobar osjećaj nakon pokretanja pogona, kad se sve ponaša očekivano i bez iznenađenja, najbolje je gorivo za nove izazove.

I da, želim mladima poručiti da je zvanje trgovca visokovrijedno zvanje i da je današnji trgovac u ovom ubrzanom digitalnom svijetu možda u prednosti pred inženjerom u konstrukcijskom birou ili proizvodnoj firmi. Trgovac vodi odjednom desetke projekata, ne može u svakome biti jednako duboko, naravno, ali u istom razdoblju vidi i može nevjerojatno naučiti kombinirajući i dograđujući iskustva iz paralelno vođenih projekata. Potpuna je neistina da je trgovac lišen tehnike, tehnološkog promišljanja i predanog projektantskog, ponekad i znanstvenog rada i stvaranja. Onaj zanos koji sam imao radeći na doktoratu, nebrojeno puta sam osjetio i ponovio na terenu. Trgovac sam dozira prema svojim sposobnostima koliko čega će imati svaki dan, koliko rutine, a koliko učenja. Naše je društvo definiralo da se uglavnom na fakultetima, znanstvenim institucijama uči i obrazuje, potiče znanost i znastveni rad. No, kao običan trgovac nerijetko sam se osjećao kao "gost profesor" kod svih mojih dragih kupaca. Učio sam od svih njih, a posebno sam učio sebe poniznosti i zahvalnosti što su se upravo oni našli na mojem putu i što imam priliku pomučiti se da im pomognem i tako pošteno zaradim kruh svoj svagdašnji.

Literatura

[1] Zdenković, J.: Frekvencijski pretvarač VEKTOREG, 7. Simpozij PIFT 2018., Zbornik radova, Zagreb, 2018., str. 337-354.

[2] Zdenković, J.: Prikaz nekoliko revitalizacija elektromotornih pogona dizalica od 2006. do 2017. godine, 8. Simpozij PIFT 2019., Zbornik radova, Zagreb, 2019., str. 795-816.

Posveta

Članak posvećujem supruzi i djeci. Svi su oni bili zakinuti za brojne sate dok sam se "igrao" svojim igračkama − pogonima po cijeloj Hrvatskoj.

Selection from the diary of an induction electric motor drive trader

Josip Zdenković

Abstract: The article presents 8 selected solutions of electric motor drives in the 8-year period of the author's employment in the company Lenze mehatronika d.o.o. starting in 2000. All described drives contain frequency converters manufactured by Lenze Antriebstechnik G.m.b.H. and asynchronous electrical machines. The selected examples aim to point out the specific requirements of the domestic modest market of electric motor drives of that time where the trader could not only be a trader but in many cases is also a development application engineer and traveling teacher of modern drive technology. Developing concrete plant applications and training partner users takes time. But as there was no repetitive job in the domestic market that would provide a break for application development, self-training and user training, the trader had to constantly choose between the routine that currently brought the salary and the challenge to learn something new to increase the likelihood of selling something to be able to earn his salary tomorrow.

Keywords: electrical drive with induction machine, Lenze frequency converter, drive application description, single axis drive control, servo drive with induction machine

Želimir Ivanović

Moja priča: od analogne, preko digitalne, učinske do *embedded* elektronike

Sažetak: Moja priča o mojoj profesionalnoj karijeri i pokušaj prikaza kako se moje tehnološko-tehničko okruženje mijenjalo, kroz moj rad, iskušenja, padove, kao jedan osobni inženjerski križni put.

Ključne riječi: Elektrotehnički fakultet, početak inženjerstva, inženjerske mijene, inženjerske krize, nove spoznaje

Uvod

Kad mi je moj rukovoditelj iz vremena rada na Elektrotehničkom institutu *Rade Končar* (ETI), prof. dr. sc. Zvonko Benčić u slučajnom susretu na sadašnjem Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) spomenuo PiFT, objasnio njegov smisao i predložio da ako imam ideju pridonesem tom savjetovanju, priznajem da me malo uplašio, ali i zaintrigirao. Uplašio, jer obično, na kraju se sažima život, učinak i doprinos. Moj profesor likovne umjetnosti J. Depolo rekao je: "Kad dobiješ nagradu za životno djelo, nemaš više dugo do kraja!" I, na žalost, nije živio ni nekoliko mjeseci nakon priznanja za životno djelo. S druge strane, mi inženjeri, aktivni terenci, nepoznati smo, a javnosti ne posebno zanimljivi. Kakva bi to spektakularna priča bila, neki transformatori, pretvarači?

Kad sam razmislio, mislim da bih se usudio, uz tehničku problematiku, napisati i zanimljivu priču u kojoj bih, osim sebe (moje sudjelovanje i iskustvo), ugradio i povijest, i filozofiju, i opći sustav u kojima se fabula dogodila. Nadam se da neću biti pogrešno shvaćen ni previše dosadan. Pokušat ću prikazati svoju karijeru u elektrotehničkoj struci kroz tehničko-tehnološke mijene i mijene softverske podrške. Te su mijene dolazile i prolazile i u području rada i tijekom karijere.

1. priča: Početak

Godine 1971. upisao sam studij na Elektrotehničkom fakultetu (ETF) u Zagrebu. Imao sam osnovnu namjeru postati inženjer. Možda, usprkos ocu, vrlo uspješnom inženjeru građevinarstva. Zvuči neobično, ali ja mislim da je inženjerstvo pokretačka sila civilizacije. Sam naziv *engineer* ima u osnovi pojam 'pokretanje'. Ali, realizacija radova i financiranje inženjerstva ovisi i o drugim sustavima: politici, modi, trendovima.

Vratit ću se na priču. Godine 1971. dekan ETF-a bio je prof. dr. sc. Vojislav Bego. Svakog je brucoša osobno primio i "prepustio" sustavu studija. Prvo predavanje (velika aula i svi brucoši, oko 700), bilo je iz Osnova elektrotehnike. Enver Šehović, strah i trepet faksa. Ušao je u aulu, kratko šutio, dobio tišinu. Predstavio se i počeo:

> "Ja sam Enver Šehović, predajem Osnove elektrotehnike na ETF-u, strah i noćna mora bit ću svima vama. Ako želite biti inženjeri elektrotehnike, morat ćete se sukobiti sa mnom."

Svi mi "novi" čuli smo zastrašujuće priče prethodnih generacija o padanjima na ispitima i mukama kod tog profesora. Zaista su studentima "zubi škrgutali i suze tekle".

Onda počne: rad, predavanja, vježbe, labosi, rad-rad, strpljenje-učenje-disciplina. Profesori su bili: matematika − Šparac, fizika – Cindro i Knapp, mehanika − Vučetić, mjerenja − Bego, visokofrekventna tehnika − Smrkić, automatika – Muljević, Kuljača i Husar, poluvodiči –Juzbašić i Crnošija, ONO i DSZ − rezervni kapetan Vučetić, elektronička mjerenja – Šantić i Tonković, telekomunikacije − Matković, industrijska elektronika – Babić i Szabo, digitalna elektronika − Budin, računala neki novi klinci − Lovrek, teoretska elektrotehnika − Bosanac,… a u auli legende: Lopašić, Blanuša, Lončar, Wolf… .

Smjer na kojem sam studirao zvao se Elektronika, usmjerenje Automatika, samo 11 studenata. Diplomski rad pod vodstvom Kuljače *Nelinearni model broda i automatsko vođenje na kursu i otvorenom moru*. Referencija V. Utkyn [1]. Početak *sliding mode control* tehnike. Tad nije bilo GPS-a, nego se brod vodio po upisanoj putnoj ruti broda. Rad je bio realiziran na tri analogna računala i CSMP[1] simulacijskom programu na ETF-ovu IBM-u, drugom najmoćnijem digitalnom stroju uz SRCE[2] u tadašnjoj državi. Programski paketi Fortran IV, Assembler, Basic, DOS.

[1] **CSMP** (engl. *continuous system modeling program*)

[2] **SRCE**, Sveučilišni računski centar

Tadašnja tehnika

Klasična elektrotehnika: sklopnici, motori, releji, magnetska pojačala, elektronske cijevi… Iznenada! Pojava poluvodiča: PN prijelaz, silicij-germanij, MOSFET[3], mogućnost upravljanja, dominacija diskretne analogne tehnike, početak digitalne tehnike, integrirani sklopovi (čipovi; operacijska pojačala, logički sklopovi, taktni generator[4] 555, komparatori), programski jezici ECL[5], HTL[6], …

Poluvodiči su postali "gospodari u elektrotehnici". Njihove mogućnosti upravljanja, nadzora, regulacije bile su nevjerojatne u odnosu na klasične relejno-sklopne sustave. Svaki sklop i njegove komponente izračunavali su se, kataloški odabirali, ispitivale su se i slagale natiskane pločice tzv. kartice (PCB[7]). E-format tiskane pločice 100 mm × 120 mm, jednoslojne, a kasnije dvoslojne. Upravljanje je zahtijevalo ormar-vanu elektroničkih kartica. U učinskom dijelu počela je dominacija učinskih poluvodiča, dioda umjesto živinih ispravljača. Tiristori, trijaci i tranzistori umjesto sklopnih aparata i releja.

Uređaji su bili podijeljeni na učinski i upravljački dio, na 'ruke i mozak'. Bili su znatno manjih dimenzija od prethodnih, ali ipak su bili "ormari". Ali, svaka zahtijevana operacijska funkcija mogla se realizirati: upravljanje motorima, tok energije, kemijski procesi, zaštita...

Najmoćnija poluvodička upravljiva sklopka, tiristor, lako se uklapao impulsom na upravljačku elektrodu (engl. *geit*), ali da se isklopi trebalo mu je struju anode poništiti, za što je bio potreban komutacijski sklop za smanjenje anodne struje na nulu, učinski kratkotrajno jednako moćan kao i glavni tiristor, i neko vrijeme da se "oporavi" i pripremi za sljedeći ciklus rada. To je bio i razlog relativno niskih radnih frekvencija, do 800 Hz, te posljedično, naravno, i buke u radu (u zatvorenim prostorima neugodna).

Bipolarni tranzistor bio je brža poluvodička sklopka, ali tehnološki je bio limitiran na male struje (amperi) i niske napone (100 V). FET[8] je bio preteča bipolarnih tranzistora, ali učinski je mogao raditi pri znatno nižim energijama. LED[9] je bio na razini signalizacije (mW). Naslućivalo se mikroračunalo, ali proračunski i simulacijski programi bili su izvođeni na velikim računalima, a programi su unošeni preko bušenih kartica.

---

[3] **MOSFET** (engl. *metal-oxide-semiconductor field effect transistor*), unipolarni tranzistor upravljan naponom

[4] **taktni generator** (engl. *timer*)

[5] **ECL** (engl. *extensible computer language*, *EClectic Language*)

[6] **HTL** (engl.)

[7] **PCB** (engl. *printed circuit board*)

[8] **FET** (engl. *field effect transistor*), tranzistor s učinkom polja

[9] **LED** (engl. *light emiting diode*), svjetleća dioda

2. priča: Elektrotehnički institut *Rade Končar* (ETI)

Kao stipendist *Rade Končara* odmah sam po završetku studija počeo raditi u Elektrotehničkom institutu *Rade Končar*, u Sektoru za elektroniku i automatsku regulaciju. Najprije u Zavodu za elektroniku, čiji je rukovoditelj bio Miroslav Vučetić, a zatim sam tijekom stažiranja prešao u Zavod za energetsku elektroniku, kojim je rukovodio Zvonko Benčić. Ako me sjećanje služi, u Zavodu su radili inženjeri: Ivan Flegar, Antun Lisac, Jandro Šimić, Pero Marinčić, tajnica Gordana Fekeža, te majstor Stjepan Stepan i laborant Darko Krizman u laboratoriju i radionici. Stvarala se industrija energetske elektronike, INEM[10] i INFOS[11] pod vodstvom prof. Zlatka Plenkovića, Zvonka Benčića, Miroslava Vučetića, Vladimira Plečka i Predraga Vranića. Dio nas iz Sektora prešao je u te tvornice.

ETI je financiran iz obveznog izdvajanja svih *Končarevih* tvornica i vanjskih usluga (najbolji vanjski poslodavac bila je vojska). Pravilo primanja ETI-jevih suradnika bilo je: godina-trošak iz osiguranih financija, vanjske usluge su se koristile za povišenje kvalitete rada: financiranje opreme područja, nabavu instrumenata, literaturu, odlaske na savjetovanja... A zarada preko toga dijelila se u "prekovremeni rad i umjetnički dojam", malo dodatnih novčića ali i mogućnost putovanja na razna savjetovanja.

Moj rad u Zavodu za energetsku elektroniku

Meni se otvorilo područje upravljačkih sklopova učinske elektronike i uređaja za napajanje malih snaga (istosmjerni pretvarači).

Bipolarni tranzistori postali su 'zakon' područja, kratka sklopna vremena, mogućnost radne frekvencije u nečujnom 25 kHz području. Bipolarni tranzistori dosegnuli su strujna opterećenja od više desetaka ampera i zaporne napone do 1000 V. Mana im je bila veliki iznos struje pobude (engl. *based recurrent*). Naime, faktor forsiranja β, omjer struje kolektora i struje baze u području zasićenja imao je vrijednost od 5 do 10. Stoga su pobudni sklopovi (engl. *driver*) tih tranzistora bili "moćni", trošili su dosta snage i bili su složeni. Ali, svi tehnički problemi bili su rješivi pa se i tom tehnologijom moglo udovoljiti svim tehničkim zahtjevima. Proporcionalni pobudni stupnjevi sa strujnim transformatorom generirali su struju baze proporcionalnu struji kolektora, a iz pomoćnog napajača uzimali su samo energiju potrebnu za iniciranje stanja tranzistora (engl. *on-off*). Tako se moglo uštedjeti i optimirati potrošnju pobudnog sklopa.

[10] **INEM**, Industrijska elektronika i mjerna tehnika

[11] **INFOS,** Informacijski sustavi

Generiranje upravljanja, ostvarenje modulacije PWM[12], FM[13], PWFM[14] olakšano je pojavom posebnih integriranih sklopova ASIC[15], te integriranih pobudnih stupnjeva. U zatvorenoj povratnoj regulacijskoj petlji i upravljanju dominiralo je operacijsko pojačalo i komparatori u IC izvedbi (najpopularniji 741). PI regulator bio je zakon regulacije. Magnetske komponente izrađivane su na feritnim jezgrama. Moja prva feritna jezgra bila je jezgra iz RIZ-ova televizora, U.I ferit.

Kondenzatori su također udovoljavali novim zahtjevima, npr. glede du/dt, tgδ i efektivne struje I_{RMS}. Tiskane pločice 'nosile' su fizički upravljačku elektroniku. Odvod topline postao je vrlo važan faktor, ne samo kao područje sigurnog rada komponenti nego i udovoljavanja zahtjevima za sve manji volumen uređaja.

Pojavio se i učinski V-kanalni MOSFET tvrtke International Rectifier, glavni tvorci: Rudy Severns i Brian Taylor. MOSFET je otvorio put u submegahercno područje radnih frekvencija, a naponsko upravljanje smanjilo je potrošnju i dimenzije pobudnih stupnjeva (pobudni stupanj gotovo bez gubitaka jer je FET naponski upravljiva komponenta). Otvorio se put direktnog pobuđivanja učinskih sklopki iz upravljačkih sklopova.

Digitalna tehnika, programabilni logički sklopovi (engl. *programmable logic controller* − PLC), počeli su ulaziti u naš prostor analogno-digitalne tehnike. Mikroprocesori su najavljivali "novo doba". Zamislite, mali čip koji programom možete pretvoriti u bilo koji funkcijski sklop? U to vrijeme, ruku na srce, baš nismo vjerovali u njihovu svemogućnost! Kakav je to virtualni svijet koji ne možeš mjeriti osciloskopom, nego mu vjeruješ putem dijagnostike?

Ne smije se zaboraviti spomenuti da smo gotovo svi sudjelovali u projektu i realizaciji tiristorske lokomotive. Rješenje proizišlo potpuno iz znanja končarevaca. Do te smo lokomotive imali licenciju tvrtke ASEA za diodne lokomotive.

Razvojna politika ETI-ja i Zavoda za energetsku elektroniku

Izvrsna razvojna politika ETI-ja omogućila je nama suradnicima sudjelovanje na znanstvenim savjetovanjima, pod uvjetom da imamo prihvaćen rad. U to smo vrijeme ravnopravno sudjelovali na skupovima s tvrtkama Siemens, ASEA (kasnije ABB), Philips, Motorola, učili i razmjenjivali iskustva. Bilo je to 'zlatno doba učenja'.

[12] **PWM** (engl. *pulse-width modulation*), modulacija širine impulsa

[13] **FM** (engl. *frequency modulation*), modulacija frekvencije

[14] **PWFM** (engl. *pulse with phase modulation*), fazna modulacija širine impulsa

[15] **ASIC** (engl. *application-specific integrated circuit*), integrirani sklop posebne namjene

Ne mogu ne spomenuti stručnjaka koji je prije mojeg dolaska u ETI otišao u Siemens, Antonija Brajdera. On je bio jedan od poticajnih osnivača energetske elektronike u *Končaru*, a u Siemensu je vodio Odjel za istosmjerna napajanja s oko 400 zaposlenika. Meni je ostavio svoje skupljene članke i rukopise, osnove istosmjernih pretvarača. Drugi velikan iz ETI-ja, Alojzije Slutej, postao je u ABB-u nositelj daljinskog upravljanja kontejnerskim lukama (engl. *remote control*). Iz Osla nadziru šangajsku luku. Svi smo se sretali na spomenutim skupovima i ostali u dobrim osobnim i poslovnim vezama.

Skup energetske elektronike (Treće savjetovanje o energetskoj elektronici) u Zagrebu 1978. godine bio je u organizaciji Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti (JAZU) i Tvornice *Rade Končar*. Benčić, broj jedan organizacije, okupio je svjetska imena energetske elektronike [2]. Ne mogu ne spomenuti prof. Dewana iz Kanade.

Automatika

ETI je u automatici imao Zavod za regulaciju i Zavod za sustave. Bili su u samom vrhu područja. Vodeći stručnjaci su bili: Franjo Jović, Mladen Kajari, Ante Magzan, Nedjeljko Perić i Borivoje Rajković. Uz njih sam nastavio kontinuitet učenja automatike. Dominirale su PI, PID kompenzacije povratne veze, kriteriji stabilnosti po Bodeu, Nyquistu, Nicholsonu, počela je i vektorska regulacija, kriteriji stabilnosti po Aleksandru Ljapunovu. Perić je posebno inzistirao na procesnim sustavima. Malo smo zaostajali za Stefanovićem, robotika, beogradska škola, koji je projektirao i izradio prvu umjetnu ruku na svijetu.

Pedagoški rad

Končar je imao svoju školu, Centar za obrazovanje *Rade Končar*, tri srednje tehničke škole i Višu tehničku školu (VTŠ). Namjera Centra bilo je obrazovanje u industrijskoj elektronici i klasičnoj elektrotehnici budućih zaposlenika potrebnih *Končarevim* tvornicama. Tako smo mi vrlo rado i često bili i predavači, asistenti i ostali suradnici u nastavi Centra.

3. priča: Slom *Končara*

Pred kraj 1988. slomila se idila *Končara* i industrije u tadašnjoj državi. Totalni otkazi! Među prvim otpuštenim radnicima bili smo mi iz ETI-ja i III-ja (Inženjering za investicionu izgradnju), tvornica generatora, velikih

transformatora, velikih motora, sklopnih aparata… Osim *Končara* 'pali' su Prvomajska, ATM,… To je bio totalni krah industrije.

Ja sam iskoristio svoju reputaciju na VTŠ-u, prešao u stalni radni odnos profesora. Predavao sam energetsku elektroniku, poluvodičke komponente, elektroničke sklopove, te kao 'honorarni pečalbar' vodio meteorološku stanicu na Velebitu, sudjelovao u ekološkim ispitivanjima preko tvrtke Dvokut. Na tim sam se poslovima prvi put susreo s pravim mikroprocesorima. Imali smo mjerni *bus* pun računala i senzora, sve pod nadzorom centralnog računala. Dva svijeta, digitalni i analogni, iznenada su mi se spojili.

Slično su postupili i drugi stručnjaci, Benčić, Perić, Flegar, svi su našli egzistenciju na fakultetima i školama, nastavili su raditi posao u kojem su bili 'doma'.

4. priča: Zagrebački električni tramvaj (ZET)

Godine 1993. pozvali su me u ZET, na poslove glavnog projektanta, u cilju realizacije novih niskopodnih tramvaja, sustava kontrole i upravljanja prometom i sustava nove naplate karata.

Da se podsjetimo: Zagrebom je 5. rujna 1891. provozio konjski tramvaj. Zamijenjen je 18. kolovoza 1910. električnim tramvajem tvrtke Ganz-Mavag (Mađarska). Godine 1951. inženjer legenda ZET-a Dragutin Mandl[16] inicirao je, projektirao i konstruirao prototip tramvaja buduće oznake TMK101, kapaciteta 95 putničkih mjesta, snage 2 × 60 kW i najveće brzine 60 km/h. Bio je to prvi domaći tip suvremenih tramvajskih kola s automatskim posluživanjem vrata, sjedalom za vozača i konduktera, električnim, mehaničkim i zračnim kočnicama te sigurnosnom napravom (zaštitnom košarom) ispred prednjih kotača, čiju je proizvodnju 1957. preuzela tvornica *Đuro Đaković* iz Slavonskog Broda. Poslije je razvijen tip TMK201 (odmilja nazvan Bik). Na njegovoj osnovi razvijen je čoperski tramvaj TMK2100, serija od 11 vozila, proizvođači: *Končar-Gredelj-Đaković*. U taj tip uklopljen je čoperski tiristorski pogon tvrtke ABB, centralno računalo i digitalno-analogna dijagnostika. ZET posjeduje još jedan ČKD tramvaj, KT351, također s tiristorskim čoperom i analognim upravljačkim sklopovima.

Moj je zadatak bio utvrditi kojim se tehničko-tehnološkim putem grade tračnička vozila u Europi i svijetu te usmjeriti tehničke zahtjeve natječaja za nova niskopodna vozila Zagreba. U tu sam svrhu gotovo četiri godine putovao

[16] **Mandl, Dragutin** (Zagreb, 4. travnja 1892. – Zagreb, 27. travnja 1959.), elektrotehnički i strojarski inženjer, konstruktor tramvaja, inovator i izumitelj. Diplomirao je 1919. elektrostrojarstvo u Beču.

u gradove s tramvajskim sustavima. Rezultat je bio neobičan tehnički zahtjevan vučni pogon. Naime, na suvremenim vučnim vozilima napušten je istosmjerni i uveden asinkroni pogon. Na istosmjernom naponu od 700 V vučni pogon bit će izmjenični?!

Moram priznati da sam izazvao zbunjenost tim zahtjevom, posebno kod dobitnika natječaja, *Končara*. Pokazalo se da su istosmjerni pogoni danas povijest te da onaj tko ne svlada izmjenične pogone nema što tražiti u području željezničke vuče. *Končar* je ZET-u isporučio 179 novih vozila oznake TMK200 i ima vrlo dobre ugovore s Hrvatskim željeznicama za slična vozila s izmjeničnim pogonom, ali s normalnim kolosijekom. Time je stekao vrlo važne referencije za međunarodne natječaje. I najvažnije, stekao je nova znanja.

Tehničko rješenje pogona

Trofazni asinkroni pogon realiziran je s IGBT[17] tranzistorima. Upravljanje: PWMF, predikcijom momenta, vektorskom regulacijom (engl. *space vector regulation*), primjenom DSP-a[18]. Umjesto mjerenja momenta motora, koje je sporo (sekunde), DSP proračunom procjenjuje očekivanu vrijednost unutar 25 μs te se time praktički trenutačno upravlja pogonom. Nema mrtvog vremena reakcije pogona, posebice kočenja, između odluke vozača i reakcije vozila. A regulira se klizanje motora *s*, preko mjerenja struje, brzine, težine,… i ti se podaci ubacuju u proračun vektorskog regulatora i pobude tranzistora. Pomoćni pogon: istosmjerni pretvarač u mosnom spoju s MOSFET tranzistorima za punjenje NiCd akumulatora napona 24 V, DSP je također realiziran suvremenom upravljačkom elektronikom.

Učinski dio izvorni je projekt *Končara*, kao i programska podrška. Nositelji projekta postali su novi digitalni inženjeri! Nisam se zamarao softverom jer je programska podrška bila u dvije razine, korisnički, nacrtaj shemu kao analogni sklop, i nemoj razmišljati kako je upustiti u procesor, kodirnikom (engl. *coder*), jezikom C+… ima tko to zna! Meni je bilo dovoljno nacrtati analognu shemu.

Slično sam riješio i modernizaciju zagrebačke uspinjače, predvidio pogon nove sljemenske žičare, sustava naplate karata, nadzora prometa… pranja vozila [3, 4, 5, 6]. Nisam bio svjestan da se moja inženjerska logika mijenja! U moj se analogni svijet počeo uplitati digitalni.

[17] **IGBT** (engl. *insulated gate bipolar transistor*), bipolarni tranzistor s izoliranim geitom

[18] **DSP** (engl. *digital signal procesor*), digitalni signalni procesor

5. priča: Dalmacija, tvrtka Pomak, *Pozdrav Suncu* i moj upad u digitalni svijet

Dogodilo se, vratio sam se "doma", u Dalmaciju. Tvrtka *Pomak* (Split), čija su osnovna djelatnost vodoopskrbni sustavi, automatika pogona, npr. automatska tvornica klaka[19] u Drnišu, Jadranplovovi svjetionici… . Taman za mene. Klasika, analogna! A tim digitalnih genijalaca sve je umrežavao i povezivao u svoje centre nadzora i upravljanja, žično, bežično, optikom. Jedno računalo nadzire od Dubrovnika do Šibenika magistralni vodovod. Ja sam komotno prepuštao "digitalnim genijalcima" njihov svijet, a "prljavu elektriku" držao beskompromisno u svojoj domeni. Kao vepar u svojoj prljavoj bari, gušt do neba!

Nikad ne reci nikad! Na istoj su etaži u Tolstojevoj 32 u Splitu tvrtke Interligt i Pomak. Tvrtka Interlight dobila je projekt *Pozdrav Suncu* u Zadru. Niko Bašić osmislio je instalacije *Pozdrav Suncu* i *Morske orgulje* i kao umjetnička djela, spomenike koji ni u jednom trenutku nisu stacionarni. Primjerice, spomenik banu Jelačiću u Zagrebu ostaje jednak od postavljanja do njegova kraja. Nikini su spomenici nepredvidivi, u svakom trenutku drugačiji.

Glavni kompozitor mijena na spomenicima je more. Kako se more mijenja, mijenja se zvuk orgulja, ali i slika na monitoru *Pozdrav Suncu* − Sunca i planeta. Akustičar i glazbenik Ivica Stamać složio je sedam zvukovnih klastera od dva durska akorda (G i C6), koji se izmjenjuju – nazivali smo ih "skalinade". Izbor tonova i akorda napravljen je na glazbenoj matrici klapske pjesme. Zagrebačka orguljarska radionica *Heferer* proračunala je svirale. Bojeći se korozije, koja u prvom redu može nauditi svirali, najprije se mislilo uporabiti okitenske cijevi[20]. No kako je okiten termički labilan materijal, nije pogodan zbog nestabilnosti zazora labiuma (usta svirale). Zato je Goran Ježina predložio sviralu od inoksa, materijala koji se može precizno obraditi.

Ostao je izazov tehničkog rješenja *Pozdrava Suncu.* Dva su se direktora − Pomaka i Interlighta (Neven Kulišić i Sergej Skočić Buco), dogovorila da će prihvatiti izazov. Meni su povjerili tehnički dio − glavni projekt instalacije: opremu, povezivanje opreme te povezivanje zvuka orgulja, mora i slike na monitoru (televizoru Sunca i planeta i svjetlosnog zida).

Ja takav, nema što ne mogu? Prihvatio. Ups! Televizor promjera 30 m ugrađene snage 5 kW, prsten svjetlosnog zida snage 3 kW, centralno upravljanje, nadzor sustava s druge lokacije. Televizor: 10 000 piksela izveden s tri LED-a crvene, zelene i plave boje (RGB[21]). Svaki je piksel adresiran prema centralnom računalu. Svaki piksel upravlja se PWM-om kojim se može postići osam

[19] **klak,** drugi naziv za živo vapno (CaO)

[20] **okitenska cijev**, polietilenska cijev

[21] **RGB** (engl. *red, green, blue*), crvena, zelena i plava boja



a)



b)



c)



d)

Sl. 1.: *Pozdrav Suncu*: a) monitor, b) ugradbeni prostor, c) upravljačka soba, d) ulaz u upravljačku sobu

milijuna nijansi boja. Sustav je nabavljen od tvrtke Leurocom, a sustav svjetlosnog zida (60 lampi po 16 piksela) i upravljačko računalo snage 2,7 kW proizvod je tvrtke Space Cannon. Solarni generator snage 17 kW i sustav napajanja proizvela je tvrtka SMA[22]. Nadzor cijele instalacije, daljinsko upravljanje i komunikaciju projektirala je i proizvela tvrtka Pomak [7] (ja i moji digitalni genijalci Željko Lončar i Stipe Drviš). Na sljedećim su fotografijama prikazani neki detalji instalacije, kao ilustracija njezine složenosti.

Monitor je izveden za rad, potpuno potopljen u vodi (morskoj), na ljetnoj žezi, zimi u ledu i buri. Pod kontrolne sobe je dva metra ispod razine mora te je potpuno građevinski zaštićena od vode. Ulaz je poseban: HUB[23] tip vrata za

[22] **SMA,** Solar Technology AG (Njemačka)

[23] **HUB** (engl.),

vodovodne instalacije. Kao zaštita od prodiranja vode u postrojenje služi muljno okno s potopnom pumpom, a ventilacija je prisilna, s ventilatorom na vratima. I sve je "skriveno", pod travom parka, radi umjetničkog dojma i zadovoljenja tehničkih zahtjeva.

Tad sam morao, htio − ne htio, znao − ne znao, učiti ponovno, povezivati različite svjetove, primijeniti i integrirati klasičnu analognu i učinsku elektriku (nazovimo je *dirty electrics*) s digitalnim procesorskim svijetom, te sve ugraditi u jedinstvene i specifične građevinske objekte. Morao sam stvoriti jedinstvenu sinergiju različitih svjetova. Konačno sam shvatio da su analogna-digitalna-građevinska tehnika dva-tri svijeta sa svojim pravilima igre. Našao sam se u situaciji da moram postati sustavski inženjer! Naučio sam da analogna i digitalna tehnika imaju potpuno različita pravila. Analogna tehnika komunicira električnim signalima, strujom, naponom, optikom, a digitalna komunicira protokolima! Građevinarska tehnika ima osnovu u betonu i mehaničkim silama. A što ako su u istom sustavu? Televizor u projektu *Pozdrav Suncu* bio je moj prvi i jedini projekt televizora u karijeri. Adresiranje piksela, matrica grafičke kartice,… ajme. Nemojte me pitati o mojim mukama da sve proradi i radi u sustavu. Ali, kako je poznato, radilo je 13 godina. I nakon nedavne modernizacije, po mojem glavnom projektu, radi i bolje. Instalacija je postala svjetska atrakcija.

Da se vratim na to kako sam u problemu shvatio odnos i razliku između analogne i digitalne tehnike, "prljave" i "profinjene tehnike", "vepra" i "kirurga". Zamislite situaciju da sustav ne reagira u trenutku kad mora raditi! Neće i neće. Nema slike**.** Ujutro na dan otvaranja atrakcije, uz pozvane važne uzvanike, ja uranim, da provjerim sve. Sve radi! Odem na kavicu, a netko na gradilištu napravi centralni ispad energetske mreže. Vratimo napon, sve uključim, a na monitoru ni "s" od slike. Sve drugo radi, a slike nema. Restartam sustav (osnova digitalaca: "ubij majmuna"), nekoliko puta i opet "mrak". Nazovem *džokere*, softverske genijalce iz tvrtke, vrhunske: "Pomozite mi! " Njihov je odgovor bio:

> "(…) Kako? Ja nemam na svom računalu tvoje protokole. Svi su kod tebe na tvom računalu u Zadru, a mi smo u Dubrovniku. Nema načina da te slijedimo i pomognemo… Ti si na izvoru. Žao nam je, snađi se."

Ja u nevolji, navečer dolazi politička elita na otvorenje, a slike nema. Moja logika je analogna. Kvara, analognog, nema. Ako i ima, moram sve rastaviti, a ni vremena nemam? Moji digitalni *džokeri* nemaju protokole. Nazovem proizvođače, nitko od njih ne voli kad mu u istom računalu "stoluje" i netko drugi. A ja sve smjestio u jedno industrijsko računalo? Svaki svaljuje krivicu na drugog i kako nisu sa mnom na mojem računalu ne mogu učiniti ništa. Kako digitalne "tuljane" pomiriti? Nema mi druge, idem učiti… i nađem uzrok. Po *defaultu*, program za emitiranje slike bio je postavljen za ekran mojeg računala, a ne pod opcijom *clon*, koja omogućuje paralelni rad dvaju monitora?! Nađem

kvačicu, “klik! “ i… sve proradi. Prosvijetlio Zadar, ali i ja. Postao sam “hibrid” analogne i digitalne tehnike. Da ne kažem “klon”. Shvatio sam da iz mojeg toplog i ugodnog blata analogne tehnike, kao vepar u bari, moram, ako želim ostati u struci, navući digitalne kirurške rukavice koje ću zaprljati analognim blatom. Kako pjesnik reče: “Čašu meda nitko ne popi, da ju čašom žuči ne zali, smiješane, najslađe se piju! “

Dalje je bilo lakše. Novi projekt: sustav nadzora podzemnih voda sliva Cetine, 120 km, 200 senzora za mjerenje kaptiranih voda na dubinama do 800 m za akumulacijsko jezero Peruća. Kaptiranjem podzemnih voda održava se i nadzire nivo potencijalne energije jezera i osigurava proizvodnja električne energije. Svi su senzori na potrebnim dubinama, i do 800 m, autonomni, solarni generator, komunikacijski povezani bežičnom UKV vezom u centar elektrodistribucije HEP-a u Splitu. Sedam elektrana dalmatinskog sliva ovisi o tim podacima. Uz njih su vezane ceste, turizam, stanovništvo… Ja sam kao glavni i ovlašteni projektant morao imati cijeli projekt pod potpunom kontrolom, i u analognom i u digitalnom svijetu, signali i protokoli. Kao u crtiću Lucky Luke i njegov konj Jolly Jumper − ja, moje računalo i prljava elektronika, ja i moj *poni.*

6. priča: Dalmacija, tvrtka HAC[24], autocesta Dugopolje − i dalje, tunel Sveti Ilija, Biokovo, COKP-i, transformatorske stanice bez posade

Moj me nemirni duh odveo u HAC, Južni sektor, Dugopolje − Dubrovnik − most Pelješac, ceste, tuneli, vijadukti, pristupne ceste na novu trajektnu luku Drvenik, Luka Ploče, centri održavanja, kontrole i upravljanja prometom (COKP-i).

Energija potrebna tunelu dobiva se iz dviju transformatorskih stanica smještenih na ulazima tunela, svaka snage 7 MW i transformacijskog omjera 25 kV / 1 kV. One napajaju četiri transformatorske stanice raspoređene duž cijevi tunela pojedinačne snage 1 MW i transformacijskog omjera 1 kV / 400 V. Sve su stanice autonomne i umrežene u nadzorni sustav. Najveća su im trošila ventilacijski sustav, rasvjeta, nadzorna i signalizacijska oprema i vodovodne instalacije. Sva oprema tunela umrežena je prema centrima održavanja i kontrole prometa (3 COKP-a, Dugopolje, Zagvozd i Vrgorac.).

U ingerenciji elektrogrupe kojoj sam pripadao bila je i rasvjeta križanja i vijadukata. Posebno je rješenje izvedba povezivanja Luke Ploče i autoceste s

[24] **HAC**, Hrvatske autoceste

energetskim sustavom Hrvatske i BiH te opremanje novog graničnog prijelaza Metković (budući šengenski prijelaz). Nadalje, tu je sustav meteoroloških senzora i cestovna signalizacija, stotine mjernih postaja i signalizacijske opreme, ventilacija i vodoodvodnja u tunelima i na vijaduktima te dinamičko upravljanje i nadziranje prometa. Komunikacija je analogna, optička i beskontaktna.

Pojavile su se i nove ideje vezano uz budućnost cestovnog prometa u priobalju, podmorske tunele za povezivanje otoka, nove trajektne luke… Suradnici su nam bili genijalci građevine, rudarstva, ekologije, strojarstva, vodoopskrbnog sustava, šumari…

Na nama električarima, "žicarima", glavnim ovlaštenim inženjerima Zoranu Neveščaninu, Lazi Mandiću i mojoj malenkosti bila je odgovornost za integralnost sustava. Na sreću, svi smo prošli školu: analogne i digitalne tehnike, i školu nesukobljavanja s drugim "meštrima". Protokoli su bili usvojeni, ali i tone betona, megavati snage, kubici vode, cementa, kamena,… I, moram priznati, mi električari ili "žicari" dolazili smo na kraju radova i, uglavnom, bili krivi za kašnjenja dovršetka radova.

Koliko nam je politika dopustila, obavili smo poslove. Kad je kasa presušila, ili su se politički odnosi promijenili, došlo je do prekida poslova ili usporavanja, od očitog primjera odustajanja od Pelješkog mosta, nove trajektne luke Drvenik, triju tunela Kotezi − more, trajektne luke Pelješac,… Način rješavanja prazne kase i političke igre bilo je smanjenje broja radnika prijevremenim umirovljenjima i davanjem otpremnina. (Nije li to poznata metoda iz *Končara*?)

7. Povratak

Nakon prijevremenog umirovljenja i osobne nevolje s oblikom leukemije, moj student i suradnik u Odjelu za istosmjerna napajanja malih snaga kojeg sam vodio u ETI-ju inženjer Marko Štetić zaposlio me na neodređeno vrijeme u svojoj tvrtki Mareton d.o.o. Zagreb, na pola satnice na razvoju uređaja učinske elektronike – izmjenjivača i UPS-a[25].

Vratio sam se počecima, učinskoj elektronici. Ali u novi svijet, nove komponente: MOSFET, IGBT, komponente na bazi SiC[26] i GaN[27], mikroprocesori DSP i MSP[28]; novi simulacijski programi Plecsi, MathLab, Simulink, Kicad, Tina − novi nazivi poznatih tvrtki prema izboru novih vlasnika. Vrlo korisni

[25] **UPS** (engl. uninterruptible **power supply), uređaj za neprekinuto napajanje**

[26] **SiC,** silicijev karbid

[27] **GaN**, galijev nitrid

[28] **MSP** (engl. *managed service provider*),

simulacijski programi sad omogućuju zatvaranja povratnih veza sa svojstvima o kojima sam nekad mogao samo sanjati.

I, gle čuda, najbolje i najsuvremenije rezultate postiže *slide mode control* [8]. Regulacijski i upravljački sklopovi različitih topologija pretvarača lako se projektiraju, simuliraju i izvedu na DSP-ima ili MSP-ima koji su danas nezaobilazni, a mogućnosti doslovno neograničene. Moj početak u automatici u diplomskom radu, a Utkyn je ostao legenda te kontrole, njegov *sliding mode control* gotovo je nezaobilazan u složenim uređajima i sustavima! Moj prvi stručni rad, s analognim računalima, CSMP-om i Fortranom IV pokazao se kao neki oblik predviđanja suvremene robotike! Ja sam silom egzistencijalnih prilika ponovno uletio u svijet analogije, digitalije, mikroprocesora i ostalog, ali vratio sam se doma, početku, automatici.

Zaključak

Nakon svega, kako opet pjesnik reče, prisiljeni smo stalno učiti, iz literature, savjetovanja, otvorenih foruma, radom i iskustvom. Nemojmo biti isključivi, analogni ili digitalni, crni ili bijeli, ali učimo stalno, i primijenimo pravilno jedno ili drugo, ili najbolje, hibridno. Svaki je pristup dobar ako se pravilno koristi. A hibrid je možda najbolji? Danas to nazivamo *embedded*, *smart*, *inteligent*! Sutra *nano*?

Literatura

[1] Vadim I. Utkyn: Variable structure systems with sliding modes, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. AC-22, no. 2, pp. 212-222.

[2] Zbornik radova III. savjetovanja o energetskoj elektronici, svezak 3., Zagreb, 1978.

[3] Želimir Ivanović: Tranzijentne pojave u sustavu napajanja zagrebačkih električnih tramvaja, *Automatizacija u prometu*, Dubrovnik, November, 2001., str. 124-128.

[4] Želimir Ivanović: Influences of city traffic conditions on technical requirements and characteristics of tram vehicles, 11th EDPE, Dubrovnik, 1998.

[5] Želimir Ivanović: Zagreb's funicular electrical system − short view, EDPE, Dubrovnik, 1998.

[6] Želimir Ivanović: Primjena mehatronike u sustavu za upravljanje vratima na tramvajskim vozilima tipa TMK2100 ZET-a, Stubičke toplice, KoREMA, 2000.

[7] Želimir Ivanović: Jedan uvid u stvarnu pouzdanost LED rasvjete − 10 godina iskustva *Pozdrav Suncu*, Korema 16.

[8] Vadim I. Utkyn: Sliding mode control design principles and applications to electric drives, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 40, no. 1, February 1993.

My Story: from Analog, over digital, power to embedded Electronics

Želimir Ivanović

Abstract: My story I have passed during my engineer education and profession, technical and technological changes, opinions, my falls, dilemmas, as one *Via Crucis*.

Keywords: studding's, engineer beginnings, engineer changes, engineer crises, new knowledges

Josip Medić, Dubravko Rogale

Zbirka elektronskih cijevi profesora Petra Biljanovića[1]

Sažetak: Profesor Biljanović skupio je tijekom gotovo pedesetogodišnjeg rada zbirku od 70-ak elektronskih cijevi. Čuvao ju je u staklenoj vitrini u svojem kabinetu. U članku su popisane elektronske cijevi i navedene su oznake na njima. Također su prikazani važniji dostupni tehnički podaci elektronskih cijevi, njihove značajke i područja primjene. Osim elektronskih cijevi, u zbirci se, primjerice, nalaze prototipovi silicijeva poluvodičkog grijača, poluvodičke elektroničke komponente na keramičkim pločicama Radio industrije Zagreb (RIZ – tvornica poluvodiča), eksponati poluvodičkih komponenti svjetskih proizvođača i neke osobne stvari koje su profesoru bile značajne.

Ključne riječi: Petar Biljanović, Fakultet elektrotehnike i računarstva, elektronika, mikroelektronika, MIPRO, kolekcija elektronskih cijevi

Uvod

Profesor Petar Biljanović godinama je iz hobija skupljao elektronske cijevi. Čuvao ih je u staklenoj vitrini u svojem uredu na trećem katu nove zgrade Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

[1] Petar Biljanović (Sarajevo, 7. veljače 1938. – Zagreb, 27. veljače 2020). Na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu diplomirao 1961., doktorirao 1972., redoviti profesor od 1983. Uveo područje mikroelektronike u znanstveni rad i visokoškolsku nastavu u Hrvatskoj. Autor znanstvenih radova, patenata i visokoškolskih udžbenika *Mikroelektronika* (1983.), *Elektronički sklopovi* (1989.), *Poluvodički elektronički elementi* (1996.). Prvi je autor i urednik knjige *MIPRO – jučer, danas, sutra* (2007.) i autor i urednik knjige *MIPRO – Yesterday, Today&Tomorrow* (2008., 2009.). Četrdeset godina (1978. – 2018.) bio je predsjednik Programskog odbora MIPRO-a, najvećeg znanstveno-stručnog ICT skupa u našem okruženju. Dobitnik je nagrade na Svjetskoj izložbi inovacija u Pittsburghu (1996.), Nagrade "J. J. Strossmayer" za najbolje znanstveno djelo u području tehničkih znanosti u 1996., Državne nagrade tehničke kulture "Faust Vrančić" za životno djelo (2014.) kao i Zlatne plakete Josip Lončar Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.




Sl. 1.: Petar Biljanović kraj vitrine na FER-u, sa svojom zbirkom elektronskih cijevi 2017. godine (lijevo) i ispred te vitrine 40-ak godina ranije na ETF-u (snimio nigerijski student Williams Era Ehighalua) (desno)

1. Zbirka elektronskih cijevi

Nažalost, na više elektronskih cijevi izbrisane su oznake. To je čest slučaj kod starijih elektronskih cijevi. Oznake su izložene visokim temperaturama zbog žarenja katode kroz dugo razdoblje, a i drugim čimbenicima koji štetno djeluju na njih. Tako oznake iščeznu zbog dodira prstiju pri vađenju iz uređaja ili brisanja prašine s njih. Stoga ih nije bilo moguće podrobnije opisati, nego ostaje diviti se njihovu vanjskom obliku i vještinama konstruiranja i izrade unutrašnjosti takvih starih elektronskih cijevi.

1.1. Prva polica odozgo, slijeva nadesno, stražnji red

Izložak br. 6

Elektronska cijev Miniwatt PL-5544, slika 2. (br.6), proizvod je tt. Philips i pripada obitelji tzv. tiratrona. To su plinom punjene ispravljačke cijevi, a koriste se kao učinski visokonaponski prekidači ili ispravljači. PL-5544 izravno je žarena trioda (napon žarenja 2,5 V i struje žarenja 12 A) s četiri izvoda u podnožju i anodnim priključkom na vrhu staklenog balona punjena ksenonom. Može raditi do napona 1500 V i provoditi struje do 40 A.

Za razliku od većine elektronskih cijevi u kojima vlada visoki vakuum u kojem se vođenje struje temelji na struji elektrona, tiratroni se pune plinom



Sl. 2.: Miniwatt − PL-5544 (Philips)

(živine pare, ksenon, helij, argon) tako da u procesu vođenja struje kroz cijev sudjeluju elektroni i ionizirani atomi ubačenog plina, što tiratronima omogućava upravljanje znatno jačim strujama. Za razliku od konvencionalnih elektronskih cijevi, tiratroni imaju zamjetno veće fizičke izmjere (PL-5544 ima ukupnu duljinu od 190 mm i debljinu od gotovo 70 mm), balon od debljeg stakla i masivne katode i anode prilagođene jakim strujama i odvođenju topline. Kasnije su ih zamijenili poluvodički tiristori i trijaci.

Izložak br. 7

Orthicon 7293, slika 3. (br. 7), elektronska je cijev namijenjena televizijskom snimanju u studijima i otvorenom prostoru nekadašnjim kamerama. Promjer svjetlosnog dijela upadnih zraka je oko 76 mm, a ispred njega postavlja se sustav leća različitih žarišnih daljina fokusiranih na fotokatodu iz koje se izbijaju elektroni razmjerno jakosti upadne svjetlosti. Fotokatoda se potom skenira mlazom elektrona iz tzv. elektronskog topa s rezolucijom od 600 linija i uz anodni napon od 1350 V.

Prikazani *orthicon* ima podnožje s 14 priključaka za katodu i žarenje, anodni napon te niz rešetki za upravljanje mlazom elektrona, a samo upravljanje



Sl. 3.: Vakuumska cijev *orthicon* (English Electric Valve Co. Ltd.) 7293 (B7887)

obavlja se vanjskim zavojnicama protjecanim strujom koja uspostavlja promjenjivo magnetsko polje za upravljanje mlazom pri skeniranju fotokatode.

Izložak br. 8

Nije identificiran.

Izložak br. 9

Telefunkenova cijev RL12P35, slika 4. (br. 9), učinska je pentoda korištena u odašiljačkim sklopovima radiostanica njemačke vojske iz Drugog svjetskog rata. Prvi put se pojavila 1936. godine. Iz same oznake mogu se razabrati ključne karakteristike cijevi: slovo R znači cijev (njem. *Roehre*), slovo L snagu ili učin (njem. *Leistung*), brojka 12 označava napon žarenja, slovo P pentodu (njem. *Pentode*), a brojka 35 je snaga cijevi (u ovom slučaju 35 W). Karakteristična je po dva priključka s vijkom na vrhu staklenog balona s oznakama A za anodu i B za treću ili kočeću rešetku. Ostali priključci izvedeni su na podnožju



Sl. 4.: Siemens (?) (**8**), Telefunken RL12 P35 (**9**), Telefunken RE604 smq (**10**), AEG AG 1006 (**11**), Marconi D.E.T.1 − *dull emiter transmitting triode* (**12**)

cijevi, dva priključka za neizravo žarenu katodu, zatim katodu, prvu ili upravljačku rešetku te drugu ili zaštitnu rešetku. Mogla je raditi na naponima do 800 V i strujama do 150 mA.

Izložak br. 10

Cijev prikazana na slici 4. (br. 10) Telefunkenova je cijev RE604, trioda s podnožjem od četiri priključka za izravno žarenu katodu, rešetku i anodu. Pojavila se 1928. godine i namijenjena je bila za niskofrekvencijska pojačala u radijskim i televizijskim prijamnicima. Napon žarenja je 4 V, a disipacija anode 1,7 W. Ima simpatičan kruškasti oblik staklenog balona koji je kasnije zamijenjen cilindričnim.

Izložak br. 11

AEG-ova cijev oznake AG1007 prikazana na slici 4. (br. 11) poluvalna je ili jednostruka ispravljačka vakuumska dioda s izvedenom anodom na vrhu staklenog balona. Podnožje joj se sastoji od samo dvaju priključaka, za izravno žarenu katodu naponom od 3 V i strujom od 3 A. Unatoč jednostavnoj konstrukciji, koja se mogla vidjeti kroz stakleni balon, cijev je podnosila napone do 12 kV i radnu struju do 50 mA, a vršne struje i do 130 mA.

Izložak br. 12

DET11 engleska je cijev, slika 4. (br. 12). Pojavila se 1924. godine. Koristila se kao u tadašnjim odašiljačima (emisiona cijev), tad respektabilne snage od 35 W uz anodni napon do 1000 V i anodnu struju do 35 mA. Smatra se da je to bila prva cijev na svjetskoj razini koja je s tungstenovom žarnom niti. Početno je bila namijenjena za frekvencije do 2 MHz, što znači da je uspješno pokrivala dugi i srednji val, a kasnije je dosegla tad visokih 30 MHz, čime je frekvencijski pokrivala čitavo kratkovalno radijsko područje.

Izložak br. 13

Elektronska cijev VT4c, slika 5. (br. 13), američka je cijev iz Drugog svjetskog rata, predstavljena 1942. godine. To je moderna cijev, emisiona trioda, snage 75 W pri anodnom naponu od 1350 V, najveće struje 150 mA, s izravno žarenom katodom. Namjena joj je trebala biti univerzalna, kao niskofrekvencijsko pojačalo, modulator, oscilator te visokofrekvencijsko pojačalo. Najbolje emisijske rezultate davala je do frekvencije od 15 MHz na kojoj su radile tadašnje vojne radiostanice, međutim, spomenuta cijev mogla se koristiti čak do frekvencije od 80 MHz.



Sl. 5.: General Electric VT4c (**13**), Telefunken D.R.P. RS-59 (**14**), Telefunken D.R.P. RS-231 (**15**), Telefunken D.R.P. RS-24 (**16**), Telefunken D.R.P. RS-19 (**17**)

Izlošci br. 14, 15 i 16

Za cijevi njemačkog proizvođača Telefunken RS-59, RS-231 i RS-24 (br. 14, 15 i 16) na slici 5. nisu pronađeni nikakvi podaci, čak ni u velikim i opsežnim katalozima pa je moguće da su to emisione cijevi korištene u Wermachtu (njemačkoj vojsci) tijekom Drugog svjetskog rata koje su proizvedene u malim serijama pa nisu bile značajnije zastupljene u tadašnjim uređajima.

Izložak br. 17

Telefunkenova cijev RS-19, slika 5. (br. 17), emisiona je trioda maksimalne snage 175 W, najvišeg anodnog napona 3000 V i anodne struje 110 mA. Ovako, razmjerno veliku snagu, postizala je pobudom od samo 1,2 W.

1.2. Prva polica odozgo, slijeva nadesno, prednji red

Izložak br. 18

Philipsova cijev QB3/300, slika 6. (br. 18), poznata je emisiona tetroda za odašiljače i linearna pojačala, a čak je i danas omiljena cijev samogradnje hrvatskih radioamatera. Cijev može raditi do frekvencije od 200 MHz, a u tzv.



Sl. 6.: Philips QB3/300 (**18**), Philips − Miniwatt DG4-2 (**19**), MWT-KTW 61 (LC4) (**20**), MWT-KTW 61 (G) (**21**), RCA 832A (**22**)

klasi C (primjena u telegrafiji) mogla je dati više od 300 W snage uz anodni napon od 3000 V i anodnu struju 225 mA. Ima pet priključaka u podnožju za izravno grijanu katodu, upravljačku i zaštitnu rešetku, a priključak za anodu izveden je na vrhu staklenog balona. Osim telegrafskih odašiljača, može se koristiti i za govorno odašiljanje, modulatore i niskofrekvencijska pojačala.

Izložak br. 19

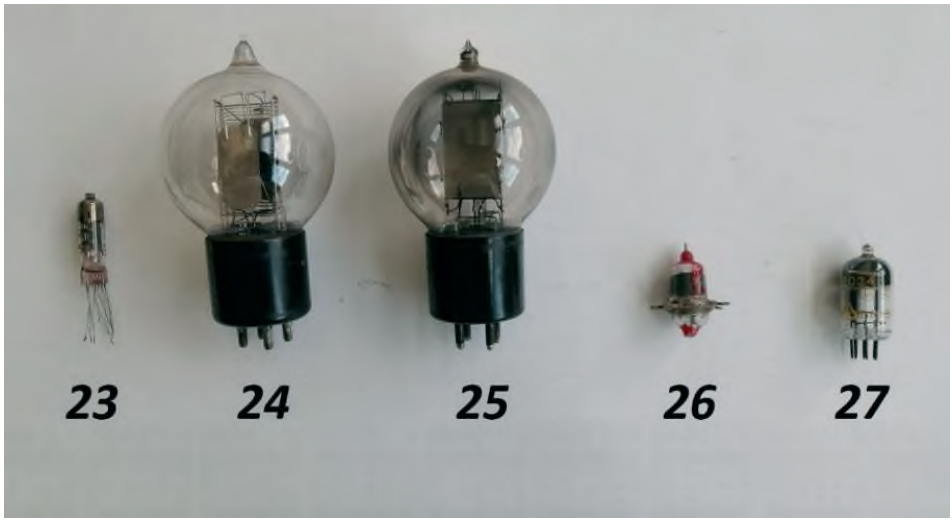
Philips-Miniwat DG4-2, slika 6. (br. 19), cijev je katodnog osciloskopa promjera pokazivačkog zaslona od 40 mm. Prikaz na zaslonu zelene je boje i srednje perzistencije. Pojavila se 1953. godine. Napon žarenja joj je tad već standardnih 6,3 V. Fokusiranje mlaza i otklon prikaza na zaslonu izvedeni su elektrostatski, s pomoću dva para otklonskih pločica. Širina prikaza na zaslonu bila je 0,7 mm pri anodnom naponu od 1000 V. Priključivala se na normirano 9-pinsko Loctal podnožje.

Izlošci br. 20 i 21

Cijev MTW-KTW 61, slika 6. (br. 20), prijamna je visokofrekvencijska pentoda iz 1925. i ostala je razmjerno dugo u uporabi, sve do 1945. godine. Bila je namijenjena radijskim i televizijskim prijamnicima u visokofrekvencijskim i međufrekvencijskim sklopovima, standardnog napona žarenja od 6,3 V i s oktal podnožjem koje je postalo standardno i često korišteno, posebno za američke cijevi. Ovo je prva cijev iz zbirke koja na vrhu staklenog balona nema priključak za anodu nego za upravljačku rešetku, što je bilo široko primjenjivano za američke vojne radioprijamnike. Cijevi br. 20 i 21 na slici 6. razlikuju se po obliku staklenog balona cijevi.

Izložak br. 22.

Vrlo neobičan oblik staklenog balona ima američka cijev RCA 832A, slika 6. (br. 22). To je dvostruka visokofrekvencijska emisiona tetroda, prvi put prikazana 1938. godine, a proizvođena tijekom Drugog svjetskog rata. Ima zajedničku izravno žarenu katodu i anodne priključke na vrhu staklenog balona. Najviša radna frekvencija joj je 250 MHz, a može razviti snagu od 26 W pri najvišem anodnom naponu od 600 V i struji od 72 mA uz pobudnu snagu od svega 0,18 W.



Sl. 7.: БЖ1Б (**23**), Standard telephones and cables Company (STC) 205 D (**24**), Western Electric 205 D (**25**), (???) (**26**), RWN Neuhaus EAA91 (**27**)

Izložak br. 23

Na slici 7. (br. 23) prikazana je neobična ruska minijaturna elektronska cijev BŽ1B, mase samo 4,5 g. To je minijaturna pentoda smještena u stakleni cilindar promjera svega 10 mm, duljine 36 mm, a nema klasične krute izvode u podnožju, nego sedam savitljivih žičanih izdanaka, dugih 35 mm, koji se leme izravno u elektronički sklop. Najviši radni anodni napon je do 120 V uz struju od 7,5 mA. Napon žarenja je standardnih 6,3 V uz struju od 200 mA. Cijev pokriva frekvencijsko područje do ultrakratkih valova.

Izlošci br. 24 i 25

Na slici 7. (br. 24 i 25) prikazana je engleska elektronska cijev STC 205 D koja se proizvodila od 1920. do 1930. godine. To je trioda s izravno žarenom katodom naponom 4,5 V i strujom 1,5 A te s četiri izvoda na metalnom podnožju. Dopušteni anodni napon je 350 V, a anodna struja do 35 mA, anodna disipacija joj je 1 W. Koristila se kao izlazna cijev u audiopojačalima.

Izložak br. 27

Na slici 7 (br. 27) prikazana je minijaturna dvostruka demodulatorska dioda EAA91. Pojavila se ranih 1950-ih, bila je vrlo popularna i koristi se još i danas,

najviše u pouzdanim cijevnim elektronskim voltmetrima i cijevnim prijamnicima. Ima minijaturno podnožje sa sedam izvoda, neizravno žarenu katodu napona žarenja 6,3 V uz struju 300 mA. Ima vrlo mali međuelektrodni kapacitet, podnosi razmjerno visok anodni napon i ima prilično dobru ispravljačku karakteristiku tako da se može koristiti i za ispravljanje odnosno demodulaciju napona frekvencija do nekoliko stotina MHz. Koristila se u mnogim elektronskim voltmetrima renomiranih stranih proizvođača, ali redovito voltmetara tt. Iskra − Kranj u Jugoslaviji.

1.3. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, stražnji red

Izlošci br. 28 i 29

Nisu identificirani.

Izložak br. 30

Na slici 8. (br. 30) prikazana je još jedna posebno lijepa elektronska cijev tt. Siemens & Halske oznake Bo1. Zanimljivost je s obzirom na to da se kroz stakleni balon lijepo vide konstrukcijski dosezi tadašnjeg inženjerstva i tehnologije. Znalci se posebno dive staklopuhačkim vještinama majstora koji su



Sl. 8.: (???) (**28**), (???) (**29**), Siemens & Halske Bo1 (**30**), Telefunken D.R.P. EVN171 (**31**), (???) (**32**), (???) (**33**)

izrađivali staklene balone za ondašnje elektronske cijevi. Cijev Bo1 pripada seriji trioda koje su služile kao tzv. poštanske lampe jer su bile namijenjene pojačanju telefonskih signala njemačkih pošta. Nakon završetka Prvog svjetskog rata tt. Siemens & Halske prionula je telefonskom povezivanju glavnih europskih gradova gdje su, zbog velikih udaljenosti, bila potrebna pojačala signala na repetitorima s triodnim pojačalima. Nakon nekoliko uspješnih serija volframovih cijevi ranih 1920-ih pojavila se 1925. godine nova serija s oksidnom presvlakom katode, a cijev Bo1 bila je prva u toj seriji. Uglavnom je služila za pojačanje govornih signala i u multipleksnoj telegrafiji.

Izložak br. 31

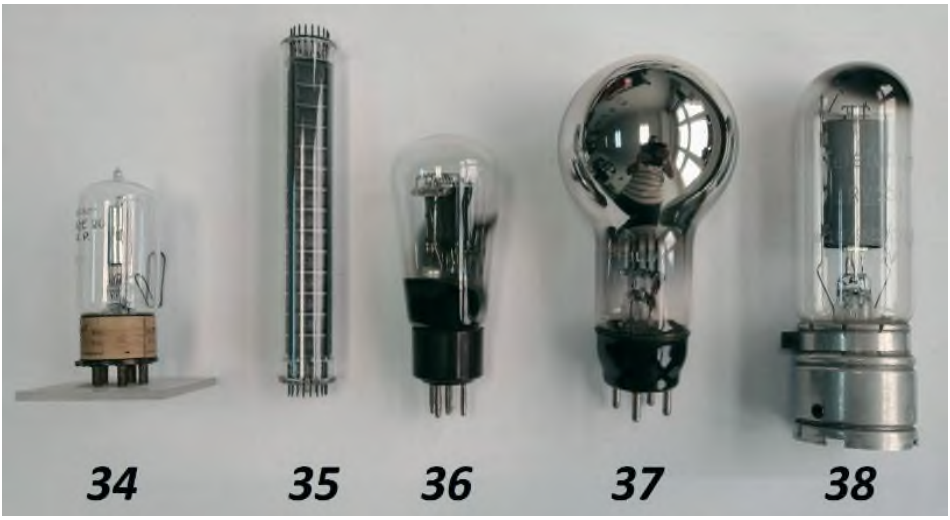
Na slici 8. (br. 31) prikazana je elektronska cijev EVN171 tt. Telefunken. To je trioda s izravno žarenom katodom napona žarenja 3 V i struje 0,5 A i s četveropinskim podnožjem. Prvi se put pojavila 1914. godine s namjenom pojačanja u audiofrekvencijskom području. Intenzivno se koristila u njemačkim vojnim uređajima. Zanimljiva je zbog vrlo neobične konstrukcije. Izravno žarena katoda bila je načinjena od žice tungstena ovješene iznad vodoravno postavljene upravljačke rešetke savijene u spiralnu formu. Ispod svega nalazila se pločasta anoda. Svi metalni dijelovi u unutrašnjosti ovješeni su na staklene stupiće, što elektronskoj cijevi daje posebnu draž i ljepotu uz istodobno divljenje vještinama staklopuhača.

Izlošci br. 32 i 33

Nisu identificirani.

Izložak br. 34

Elektronska cijev Telefunken RE26 na slici 9. (br. 30) pripada obitelji tetroda. U doba njezina pojavljivanja, 1921. godine, te cijevi s dvije rešetke, upravljačkom i zaštitnom, nisu još zvane tetrodama nego su opisivane kao *Doppelgitter Röhre*, odnosno kao cijevi s dvije rešetke. I nju krasi ljepota tehničke izvedbe te se kroz stakleni balon može vidjeti gotovo školska izvedba tetrode. Ona je posebno zanimljiva i s još jednog aspekta: njezin dopušteni anodni napon je svega 15 V, napon žarenja uobičajenih 4 V uz struju od 0,5 A. Koristila se u sklopovima radijskih prijamnika.



Sl. 9.: Telefunken RE26 D.R.P. 617 (**34**), Nixy 1471 (**35**), (???) (**36**), Philips 367 (**37**), Telefunken RV258 (oznaka: *Kriegsmarine*) (**38**)

Izložak br. 35

Posebna je elektronska cijev tzv. *Nixie* cijev prikazana na slici 9. (br. 35), Nixy 1471. To je cijev s višestrukim hladnim katodama izrađenim u obliku brojki od 0 do 9, decimalne točke i ponekog simbola, smještenih jedna iza druge. Cijev je punjena plinom pod niskim tlakom tako da ona brojka na koju je doveden napon tinjavo svijetli zbog izboja u plinu. Najčešće je punjena neonom pa svijetli žućkasto-crvenkastom bojom. Njihov se rad dakle ne temelji na termoionskoj emisiji kao kod cijevi sa žarenom katodom te stoga nemaju žarnu nit ni upravljačku rešetku, nego samo anodu u vidu rijetke mrežice ispred zaslona cijevi. Napon koji se dovodi na pojedini prikaz je oko 170 V, a struja koja podržava svjetlost je nekoliko miliampera. Koristile su se za brojila, mjerila frekvencije ili druge numeričke prikaze, a kasnije su ih zamijenili LED i LCD pokazivači.

Izložak br. 36

Nije identificiran.

Izložak br. 37

Neobična cijev Philips 367 prikazana je na slici 9. (br. 37). To je dvostruka punovalna ispravljačka dioda punjena plinom tako da podnosi struje do 6 A, što

je jako puno za obične elektronske cijevi. Ima karakterističnu stakleni kuglasti balon promjera 80 mm i podnožje s četiri izvoda, a prvi se put pojavila 1925. godine. Ima izravno žarenu katodu naponom 1,9 V i strujom 8 A, a dopušteni anodni napon joj je 48 V. Namjena joj je bila kao industrijski punjač olovnih akumulatora i mogla je puniti akumulatore koji su imali do 12 ćelija.

Izložak br. 38

Na istoj slici 9. (br. 38) još je jedna Telefunkenova emisiona cijev RV258, koja se prvi put pojavila 1928. godine. To je trioda s izravno žarenom katodom od torija, snaga joj je 32 W uz najviši dopušteni anodni napon 800 V i uz anodnu struju 40 mA. Najčešće se koristila kao cijev za amplitudnu modulaciju odašiljača. Cijev je i danas omiljena i tražena za audiofile i njihova niskofrekvencijska pojačala.

Izložak br. 39

Elektronska cijev Y-512 na slici 10. (br. 39) odašiljačka je tetroda američke tt. EIMAC, također neobičnog i unikatnog oblika s anodnim priključkom na



Sl. 10.: Y-512 (**39**), Brown Boveri & Cie DQ4 (**40**)

vrhu cijevi i neobičnim četveropinskim podnožjem s keramičkim diskom. Cijev je neobična i po rebrastom obliku anode s očitom svrhom poboljšane mogućnosti odvođenja topline. Drugi podaci o njoj nisu pronađeni.

Izložak br. 40

Elektronska cijev DQ4 na slici 10. (br. 40) poluvalna je visokonaponska dioda, punjena živom i namijenjena učinskim ispravljačima. Može izdržati napone 13,5 kV i struje 7A. Upravo živine pare omogućuju ovako visoke struje. Budući da joj je najveća radna frekvencija 150 Hz, koristi se u visokonaponskim mrežama od 50 Hz / 60 Hz za jednofazne i trofazne poluvalne i punovalne ispravljače. Anoda joj je izvedena na vrhu staklenog balona.

1.4. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, drugi red straga

Izložak br. 41

Nije identificiran.

Izložak br. 42

Na slici 11. (br. 42) prikazana je Philipsova cijev 4687 koja se pojavila 1936. godine, a služila je kao stabilizator napona od 93 V pri strujama kroz cijev od 10 mA do 30 mA. Te su cijevi punjene smjesom plinova, a naponsku regulaciju temelje na električnom izboju u plinu. Za njih je također značajno da nemaju žarenje katode za potrebe termoionske emisije nego je katoda hladna. Stoga je potreban nešto veći napon od napona stabilizacije (oko 20 %) kako bi se potaklo početno izbijanje i ionizacija u plinu. Imaju samo dva priključka, anodu i katodu. Takve cijevi lijepo je vidjeti kako rade u mraku jer oko katode intenzivno svijetle ugodnom crvenkastom ili plavičastom svjetlošću čija se jakost mijenja s promjenom napona, odnosno struje koja protječe kroz elektronsku cijev.

Izložak br. 43

Na slici 11. (br. 43) prikazana je elektronska cijev Telefunken RL12T2. To je trioda snage do 2 W, razmjerno malih izmjera, za niskofrekvencijske sklopove radijskih uređaja njemačke vojske (Wermacht) u Drugom svjetskom ratu. Proizvodila se od 1935. do 1945. godine. Strogom standardizacijom njemačke



Sl. 11.: (???) (**41**), Philips TYP 4687 X (**42**), Telefunken RL 12T2 (**43**), Miniwatt EF 22 (**44**), Tungsram MR3 (**45**), Photozelle Original Pressler Special II (1837/1262) (**46**)

vojske određeno je da joj je napon žarenja indirektno grijane katode 12,6 V, što sugerira da je bila namijenjena mobilnim uređajima napajanim iz olovnih akumulatora vojnih vozila. Anodni napon im je mogao biti do 220V uz struju do 10 mA. Neobično podnožje s radijalnim izvodima omogućavalo je brzu i jednostavnu zamjenu cijevi, što je za ratne uvjete bilo iznimo važno.

Izložak br. 44

Nadalje, na slici 11. (br. 44) prikazana je cijev Miniwatt EF22 tt. Philips koja se pojavila 1941. godine s Loctal-8 podnožjem koje je kasnije postalo jednim od standarnih i poznatijih tipova podnožja. To je pentoda namijenjena visokofrekvencijskim i međufrekvencijskim sklopovima radijskih uređaja, snage 2 W, a mogla se koristiti i u niskofrekvencijskim sklopovima. Anodni napon joj je mogao dosezati do 250 V, a anodna struja do 6 mA.

Izložak br. 45

Cijev Tungsram MR3, slika 11. (br. 45), vrlo je stara i lijepa trioda sa specifičnim staklenim balonom. Proizvoditi se počela još 1914. godine u Budimpešti, Mađarska. Ima 4-pinsko metalno podnožje, izravno žarenu katodu naponom 3,5 V i strujom 60 mA, dok drugi podaci zasad nisu poznati.

Izložak br. 46

Elektronska cijev na slici 11. (br. 46) pod nazivom Photozelle Original Presler Special II (1837/1262) u nas je poznata kao fotoćelija. U njoj vanjska upadna svjetlost fotoelektričnim učinkom izbija elektrone iz katode prevučene fotoosjetljivim slojem. Katoda i anoda utaljene su u stakleni balon u kojem je vakuum ili plemeniti plin pod niskim tlakom. Pod djelovanjem električnog polja i fotoučinka izazvanog upadnom svjetlošću pojavi se struja elektrona koja teče od katode prema anodi. Fotoćelija se koristi kao detektor svjetla ili mjerni osjetnik za jakost svjetla, a u novije doba zamijenili su je fotootpornici, fotodiode i fototranzistori.

Izložak br. 47

Na slici 12. (br. 47) prikazana je elektronska cijev AK2 tt. Philips. To je oktoda (elektronska cijev s osam elektroda, tj. šest rešetki, anoda i katoda) koja se pojavila 1935. godine. Služi kao miješalo signala ulazne frekvencije i frekvencije lokalnog oscilatora kako bi se dobila potrebna frekvencija za međufrekvencijske stupnjeve pojačanja u superheterodinskim radijskim i televizijskim prijamnicima. Stakleni balon karakterističnog kruškastog oblika premazan je

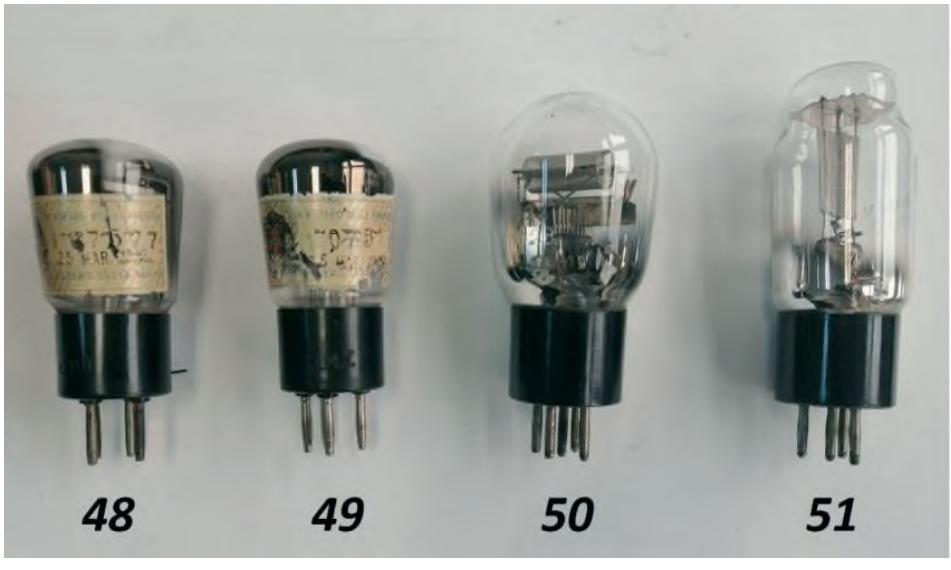


Sl. 12.: Philips Miniwatt AK2

vodljivom zlatnožutom bojom koja služi kao oklop odnosno kao Faradayev kavez. Vodljivi premaz spojen je na jedan izvod podnožja i u pravilu se spaja s masom uređaja, odnosno uzemljuje. Na vrhu staklenog balona je izvod četvrte rešetke (mrežice g4). Dopušteni anodni napon je 250 V uz anodnu struju od 1,6 mA. Za žarenje katode potreban je napon 4 V i struja 0,65 A.

Izlošci br. 48 i 49

Elektronske cijevi Zenith RRBF O.M.T. na slici 13. (br. 48 i 49) vakuumske su triode (RE084) s izravno žarenom katodom naponom 4 V i strujom 80 mA. Imaju 4-pinsko podnožje, a zanimljive su po nalijepljenoj markici talijanskog ministarstva financija iz 1940. godine. U to su doba u nekim zemljama radijski prijamnici bili pod strogom kontrolom države te je za njihovu nabavu i držanje valjalo ishoditi i posebne dozvole, pa tako i elektronske cijevi s pomoću kojih su radioamateri i strukovno obrazovani pojedinci mogli sami izgraditi jednostavan prijamnik. Slično je bilo i u Kraljevini Jugoslaviji. Oglašavane su kao audionske cijevi za prijamnike koji su bili u to doba vrlo popularni. Audion je bio jednostavan prijamnik s tzv. povratnom reakcijom zadovoljavajuće osjetljivosti i selektivnosti, kasnije su ga potisnuli superheterodinski prijamnici. Spomenuta cijev radila je na anodnim naponima od 150 V i anodnim strujama do 15 mA, a imala je faktor pojačanja od 16 puta.



Sl. 13.: Zenith RRBF O.M.T. (25. mar.1940. − Ministro de le finanze) (**48, 49**), OSTAR RADIO U920 (**50**), OSTAR RADIO EG-50 (**51**)

Izložak br. 50

Na slici 13. (br. 50) prikazana je elektronska cijev OSTAR RADIO U920. To je neizravno žarena trioda s 5-pinskim podnožjem. Namijenjena je završnim sklopovima radijskih prijamnika za niskofrekvencijsko pojačanje signala. Proizvodila se u Beču, Austrija, između 1930. i 1940. godine u tt. Gustav Ganz i društvo. Zanimljivo je da su se proizvodile za napone žarenja katode od 115, 155 i 230 V, a kupac je mogao naručiti cijev za bilo koji napon žarenja od 20 do 250 V.

Izložak br. 51

Na slici 13. (br. 51) prikazana je elektronska cijev istog proizvođača OSTAR RADIO EG-50 (EG50-110V) iz 1928. godine. To je poluvalna ispravljačka vakuumska dioda napona žarenja 110 V tako da se u strujne krugove mogla spajati paralelno i serijski za napone 220 V. Struja žarenja za 110-voltnu izvedbu bila je 32 mA. Podnosila je anodne napone do 130 V i struje do 50 mA. Imala je jednako 5-pinsko podnožje kao i prethodna trioda (br. 50), s četiri izvoda na obodu okruglog podnožja i jednim u sredini.

1.5. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, treći red straga

Izlošci br. 52

Na slici 14. (br. 52, lijeva i desna slika) prikazane su dvije tzv. čelične elektronke američkog proizvođača RCA. Čelične elektronke i dalje u unutrašnjosti imaju vakuumirani stakleni balon i elektrode koje čine elektronsku cijev, ali im je izvana dodan čelični oklop koji ih štiti od mehaničkih oštećenja i ujedno ih oklapa na način da otklanja smetnje od elektrostatičkih i elektromagnetskih polja. Razvijene su prije Drugog svjetskog rata, a intenzivnu proizvodnju i primjenu doživjele su upravo u njemu. Vrlo su izdržljive i pouzdane. U pravilu su koncipirane na 8-pinskom podnožju nazvanom ‘oktal’ koje se i danas koristi, posebno u kvalitetnim audiopojačalima.

Elektronska cijev 12SK7 vrlo je kvalitetna i poznata univerzalna pentoda snage 4 W, namijenjena visoko i niskofrekvencijskim pojačalima te međufrekvencijskim stupnjevima radijskih prijamnika. Pojavila se 1939. godine, ima neizravno žarenu katodu, napon žarenja je 12,6 V, a struja žarenja 0,15 A. Najviši dopušteni anodni napon je 250 V, a anodna struja 15 mA.

Elektronska cijev 12SR7 dvostruka je dioda i trioda sa zajedničkom katodom, integrirana u isti stakleni balon. Bila je zamišljena kao diodni demodulator

i detektor signala za automatsku regulaciju pojačanja kod superheterodinskih prijamnika, a trioda snage 2,5 W služila je kao prvi stupanj niskofrekvencijskog pojačanja. I ona ima oktal podnožje. Prvi se put pojavila 1940. godine. Podnosila je anodne napone do 250 V i struje do 9,5 mA. Napon i struja žarenja jednaki su kao kod prethodno opisane elektronske cijevi 12SK7.

Izložak br. 53

Elektronska cijev na slici 14. (br. 53) tzv. je fotomultiplikator i detektor svjetlosti. Cijev ima otvor za upadnu svjetlost, a signal se kroz niz kaskadnih elektroda, nazvanih dinode, pojačava i do stotinjak milijuna puta pa se praktički može detektirati prisutnost samo jednog fotona. Sastoji se od fotokatode, više dinoda i anode. Svjetlost koja pada na fotokatodu izbija elektrone, oni se potom usmjeravaju prema dinodnim množilima na načelu sekundarne emisije. Stoga takva cijev ima više od desetak izvoda priključenih dinoda tako da je svaka na većem pozitivnom naponu u odnosu na prethodnu. Kad snop elektrona stigne do anode, sadrži toliko puno elektrona da se njihova struja može elektronički pojačati i obrađivati u skladu s potrebama.



Sl. 14.: RCA JAN CRC − 12SK7 VT131 (**52**, lijevo), RCA JAN 12SR7 VT133 (**52**, desno), WF M10 FS301 (**53**), Siemens YD-1270 (**54**), Telefunken RV 12P 2000 − oznake Wehrmacht (**55**)

Izložak br. 54

Na slici 14. (br. 54) prikazana je keramička emisiona tetroda YD-1270. Može raditi do frekvencije 1,2 GHz razvijajući pritom snagu od 200 W. Keramičke tetrode tog tipa razmjerno su malih izmjera s obzirom na snagu koju imaju, rade do vrlo visokih frekvencija i pokazale su se jako pouzdanim. Karakterizira ih aluminijsko rashladno tijelo u obliku niza diskova koje služi za učinkovito odvođenje topline s anode cijevi.

Izlošci br. 55

Na slici 14. (br. 55) prikazane su tri univerzalne vakuumske pentode tt. Telefunken RV12P200. Vjeruje se da su to najviše proizvođene elektronske cijevi za njemačku vojsku tijekom Drugog svjetskog rata. Moglo se naći u visokofrekvencijskim sklopovima, oscilatorima, međufrekvencijskim pojačalima, audiopojačalima, pa čak i u ispravljačima. Ima radijalno postavljene izvode na podnožju, što olakšava brzu izmjenu cijevi u slučaju kvara. Vađenje cijevi nije se izvodilo povlačenjem staklenog balona kao kod niza drugih cijevi, dovodeći do prekida spojeve elektroda i podnožja, nego povlačenjem konusa na podnožju, bez diranja staklenog balona. Katoda se žari naponom 12,6 V i strujom 75 mA. Podnosila je anodni napon do 250 V, anodnu struju do 35 mA, razvijala je snagu do 2 W, a frekvencijski je dosezala niže frekvencije ultrakratkovalnog područja.

1.6. Druga polica odozgo, slijeva nadesno, četvrti red straga

Izlošci br. 56, 57 i 58

Nije identificirano kojim elektroničkim cijevima pripadaju prikazani dijelovi elektronskih cijevi.

Izložak br. 59

Na slici 15. (br. 59) prikazana je Philipsova cijev D VI. To je cijev sa samih početaka proizvodnje u Philipsu, još iz razdoblja kad se elektronske cijevi označavalo rimskim brojevima. Tako bi ta cijev zapravo trebala nositi oznaku D6. Zanimljivo je da ima dvije rešetke, ali nije tetroda, nego eksperimentalna trioda. Pojavila 1923. godine s dvije rešetke, unutarnjom i vanjskom. Unutarnja rešetka spojena je na niski pozitivni napon, a vanjska služi kao upravljačka rešetka. To



Sl. 15.: Dijelovi elektronskih cijevi (**56**), (**57**) i (**58**), Philips D VI (**59**), Telefunken (???) Wehrmacht (**60**), Radiotron RCA 12 H6 (**61**), Eimac DK BD 2092 (**62**)

joj omogućava rad na vrlo niskim anodnim naponima od samo nekoliko volta. Kao detektor radila je već na naponima od 2 do 4 V, a kao pojačalo na anodnom naponu od 4 do 10 V. Ima izravno žarenu katodu naponom 3,5 V. I ta cijev plijeni pažnju ljepotom i tehničkom ingenioznošću.

Izložak br. 60

Nije identificiran.

Izložak br. 61

Nadalje, na slici 15. (br. 61) prikazana je mala čelična cijev Radiotron RCA 12H6. To je neizravno žarena dvostruka dioda namijenjena radijskim prijamnicima za zadaće demodulacije signala i za upravljanje automatskom regulacijom pojačanja superheterodinskih prijamnika. Pojavila se 1941. godine. Napon žarenja joj je 12,6 V, a struja žarenja 150 mA. Ima standardno oktal podnožje kao i druge čelične elektronske cijevi, samo je znatno niža te time izaziva posebno zanimanje.

Izložak br. 62

Na slici 15. (br. 62) prikazana je keramička tetroda Eimac DK BD 2092. Prema izgledu to je također emisiona učinska tetroda snage do nekoliko stotina vata. Vidljiv je veliki metalni cilindar ispunjen radijalno postavljenim limovima za povećanje površine hlađenja i odvođenja topline s anode. Takve se cijevi, pojedinačno i uparene, uobičajeno koriste u linearnim visokofrekvencijskim učinskim pojačalima. Obično se postavljaju tako da se mogu hladiti prisilnom cirkulacijom zraka s pomoću zračnih turbina. Ostali tehnički podaci za ovu cijev nisu dostupni.

1.7. Treća polica odozgo, slijeva nadesno

Izložak br. 63

Nije identificiran.

Izložak br. 64

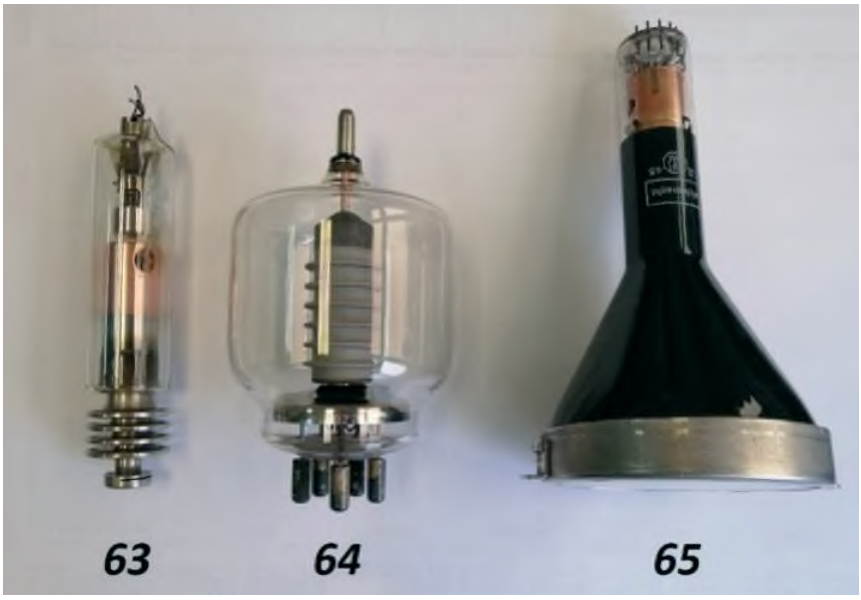
Na slici 16. (br. 64) prikazana je učinska odašiljačka cijev Siemens RS 1016. To je zrakom hlađena trioda snage 1,69 kW. Ima izravno žarenu katodu naponom 10 V i strujom 9,9 A. Kroz stakleni balon dobro se vidi rebrasta površina anode radi boljeg odvođenja topline. Može se rabiti za radijske i industrijske primjene do frekvencije 100 MHz. Anodni napon smije dosezati do 4 kV, a anodna struja do 650 mA.

Izložak br. 65

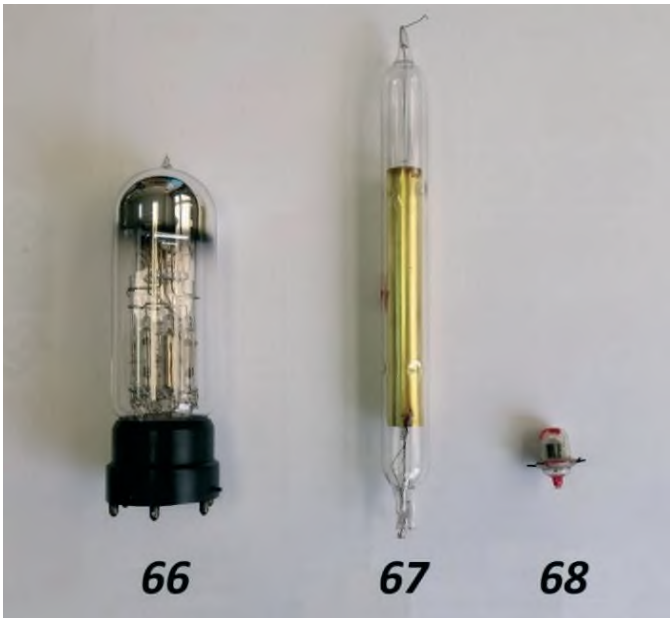
Za cijev br. 65 na slici 16. nisu pronađeni nikakvi podaci. Moguće je da je to pokazivačka cijev radara, sonara ili osciloskopa koja nije našla zamjetniju ulogu u njemačkoj vojsci pa nije popraćena nikakvim javno dostupnim podacima.

Izlošci br. 66, 67 i 68

Na slici 17. prikazane elektroničke cijevi nemaju oznake (izbrisane su) pa za njih nije moguće dati tehničke podatke.



Sl. 16.: (???) (**63**), Siemens RS 1016 (**64**), Lampa od ekrana oznaka Wehrmacht BA 6646 (**65**)



Sl. 17.: (???) (**66**), Geigerov brojač (???) (**67**), (???) (**68**)



Sl. 18.: Philips QBL5 3500

Izložak br. 69

Na. slici 18. (br. 69) prikazana je učinska emisiona cijev tt. Philips oznake QBL5 3500. Koristila se za radijske i televizijske odašiljače s obzirom na to da joj je gornja granična frekvencija 220 MHz. Podnosila je anodne napone do 5 kV i struje do 1,1 A. U normalnom dugotrajnom radu davala je 3 kW snage, a kratkotrajno se mogla opteretiti s čak 5,5 kW. Tako velike snage zahtijevale su učinkovito odvođenje topline strujom zraka pa ima impresivno rashladno tijelo za hlađenje zrakom.

Izložak br. 70

Na slici 19. (br. 70) prikazana je specijalna elektronska cijev Siemens RW4 namijenjena radu na vrlo visokim frekvencijama. To je tzv. cijev s putujućim valom; nastala za potrebe generiranja visokih frekvencija i za pojačanje signala visokih frekvencija. Naime, sve elektronske cijevi mogu se rabiti do određene frekvencije jer razmjerno mali štetni kapaciteti između elektroda postaju to veća smetnja što je frekvencija viša. Stoga mnoge klasične elektroničke cijevi ne mogu raditi na visokim frekvencijama, a ta pojava potakla je razvoj više specijalnih vrsta elektroničkih cijevi: klistrona, magnetrona, cijevi s putujućim valom i drugih.



Sl. 19.: Siemens RW 4

Cijev s putujućim valom, pa tako i prikazana RW4, ima prepoznatljiv, vrlo izdužen cjevasti oblik. U njemu se nalazi helikoidalna zavojnica s pomoću koje se, u snažnom magnetskom polju, događa pojačanje elektromagnetskog vala. Za te potrebe koristi se permanentni magnet (koji na sl. 19. nije prikazan) oko cjevastog izduženja, a u slučaju cijevi RW4 njegova masa iznosi čak 7,5 kg, dok je masa cijevi samo 100 g. Temeljna je namjena cijevi RW4 za radiorelejne sustave koji rade na frekvencijama od 3,3 do 4,3 GHz, gdje razvija snagu do 16 W. Radi uz napon napajanja helikoidalne zavojnice od 1750 V i struje od 2 mA, a za žarenje katode potreban je napon 6,3 V i struja 1 A.

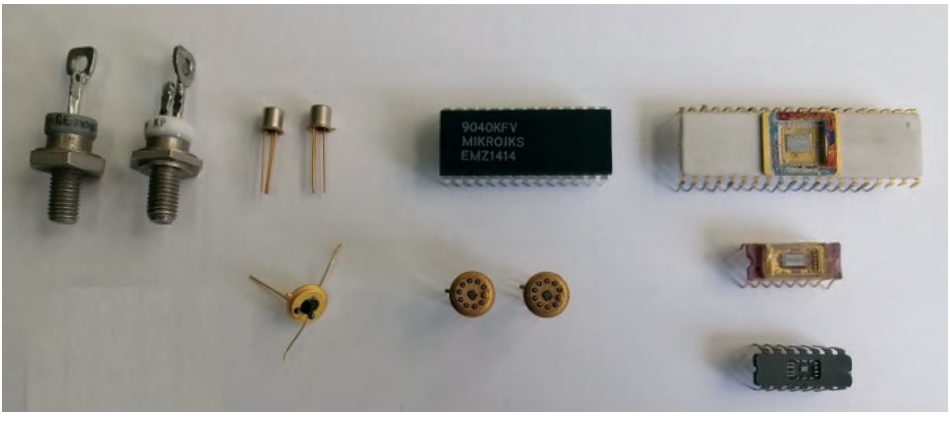
1.8. Elektroničke poluvodičke komponente i drugi artefakti u vitrini



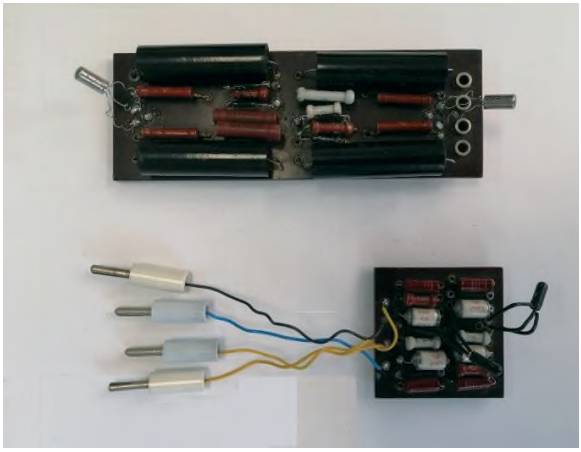
Sl. 20.: Kristal silicija − sirovina za proizvodnju poluvodičkih elektroničkih komponenti



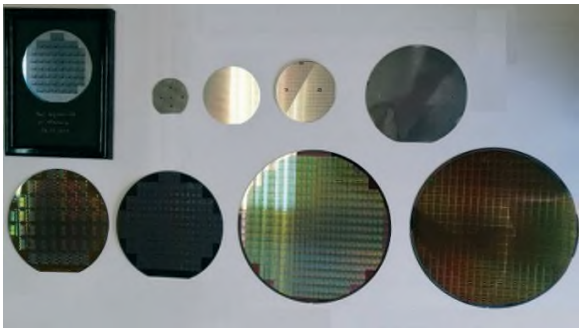
Sl. 21.: Štap koji su "dede" Petar Biljanović i unuk Josip Medić "deljali" nožem za vrijeme ljetovanja u Selcu 1995. godine (gore), učinski otpornik proizvođača Iskra – Kranj (dolje)



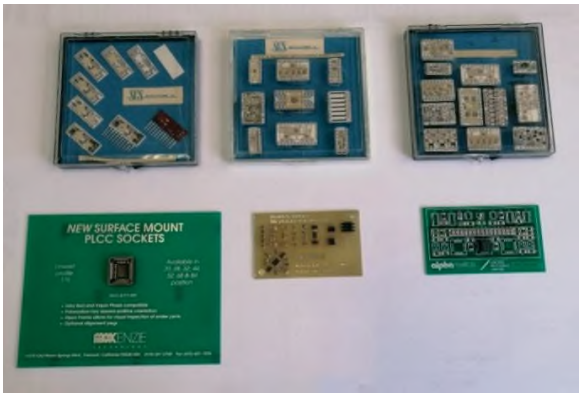
Sl. 22.: Poluvodičke elektroničke komponente



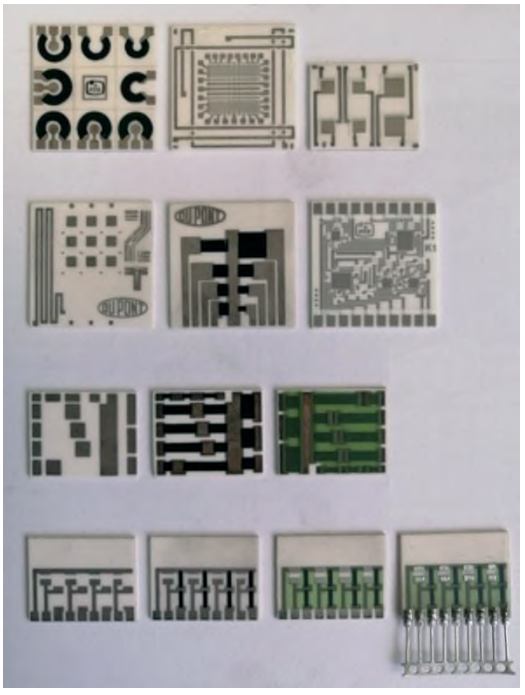
Sl. 23.: Prvi diplomski rad kojem je profesor Biljanović bio mentor − Pojačalo signala s germanijevim tranzistorima



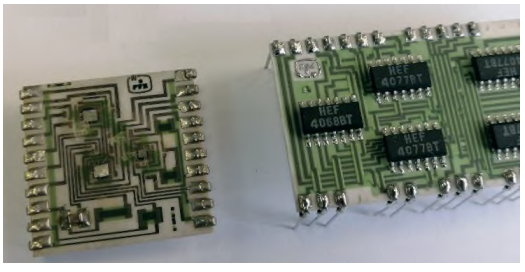
Sl. 24.: Silicijski *waferi* − pločice tehnički čistog silicija s integriranim krugovima − tehnološki korak u proizvodnji poluvodičkih elektroničkih komponenti



Sl. 25.: Eksponati poluvodičkih komponenti svjetskih proizvođača



Sl. 26.: Elektroničke komponente na keramičkim pločicama: gornji red − Radio industrija Zagreb (RIZ), drugi red DuPont, treći i četvrti red RIZ



Sl. 27.: Poluvodičke elektroničke komponente na keramičkim pločicama proizvođača Radio industrija Zagreb (RIZ)



Sl. 28.: Prototipovi silicijevih grijača (patent profesora Biljanovića)

2. Izvan vitrine, u kabinetu

Zbirka prof. dr. sc. Petra Biljanovića završava prikazom impresivnih emisionih elektronskih cijevi koje privlače pažnju oblikom, impresivnim izmjerama, masom i snagom.

Izložak br. 1

Na slici 29. (br. 1) prikazana je učinska emisiona cijev tt. Siemens RS1001L. To je oveća zrakom hlađena trioda snage 10 kW i frekvencije do 100 MHz. Trioda se koristila u profesionalnim radiodifuzijskim odašiljačima. Za tako veliku snagu potrebna je i primjerena snaga žarenja katode pa tako uz napon od 5 V kroz izravno žarenu katodu protječe struja od čak 150 A. Za tako veliku snagu potreban je i primjeren anodni napon od 6 kV i golema anodna struja od 4,7 A, a pobuda od gotovo 600 W.

Izložak br. 2

Na slici 29 (br. 2) prikazana je američka cijev, tetroda EIMAC 8171, koja je neznatno niža od prethodne (br. 1) iako i ona ima jednaku snagu od 10 kW i radi na nešto višoj frekvenciji, do 110 MHz. Žari se naponom od 7,5 V i



Sl. 29.: Siemens RS1001L (**1**) i EIMAC 8171 (**2**), u usporedbi s kemijskom olovkom radi predočenja veličine

strujom od 75 A. Radi uz anodne napone od 7,5 kV i anodnu struju do 3 A, a za pobudu joj treba snaga od samo 150 W. Masa joj je 7,5 kg. Karakteristična je po ručicama na rashladnom tijelu koje omogućavaju lako izvlačenje cijevi iz podnožja pri remontu ili popravku.

Izložak br. 3

Na slici 30. (br. 3) prikazana je američka keramička tetroda RCA 8792. Razvijena je posebno za mobilne kratkovalne uređaje s emisijom jednog bočnog pojasa, ali može se koristiti i u UKV području kao TV odašiljačka cijev te može razviti snagu do 1 kW na frekvencijama do 500 MHz. Razmjerno je malih izmjera i ima masu od samo 0,9 kg. Krasi je izvrsna linearnost emisionih karakteristika i mala distorzija prenesenog signala. Žari se naponom od 5,5 V i strujom od 17,3 A. Radi uz anodni napon do 3,5 kV i anodnu struju do 1 A, a za pobudu joj treba snaga od svega 15 W. I ona zahtijeva prisilno hlađenje zrakom.

Izložak br. 4

Na slici 30. (br. 4) prikazana je elektronička cijev također od proizvođača RCA. To je zamjetno veća cijev od prethodne , a i snaga joj je puno veća: 12,5 kW. Žari se naponom 5,7 V i strujom 125 A. Radi uz najviši anodni napon od 8 kV i struju od 8 A. Masa joj je 4,5 kg, a granična frekvencija 400 MHz.

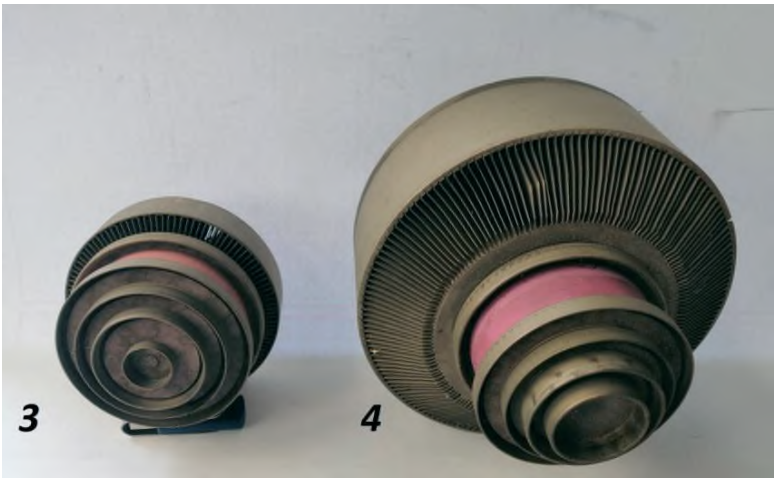
Izložak br. 5.

Identičan je izlošku br. 69 na slici 18.

Sve navedene keramičke elektronske cijevi krase izvrsne karakteristike, vrlo velika izlazna snaga uz razmjerno male izmjere i mase, visoka kvaliteta radnih karakteristika, pouzdanost i dugovječnost u radu. Iako su poluvodičke komponente u tehnici gotovo u cijelosti potisnule elektronske cijevi, u emisionoj tehnici to nisu uspjele. Velike izlazne snage i dalje se postižu primjenom keramičkih trioda i tetroda.

Zaključak

Prof. dr. sc. Petar Biljanović uistinu je uspješno obilježio svoj radni vijek kroz mnoga postignuća, koja se očituju u materijalnoj i nematerijalnoj baštini. U nematerijalnom nasljeđu svakako su sva ona predavanja, pedagoški rad i sve



Sl. 30.: RCA 8792 (**3**) i RCA 8806 (**4**)

ono što sveučilišni profesor ostvaruje svojim naporom kako bi prenio znanje na studente. U materijalnom smislu nasljeđe profesora Biljanovića očituje se ponajprije u njegovim knjigama, patentima, znanstvenim radovima te međunarodnom ICT skupu MIPRO. U aspekt hobija ulazi ova njegova zbirka elektronskih cijevi te poluvodičkih artefakata. Iako je prikupio razmjerno malo elektronskih cijevi, svega 70-ak, njegov je odabir bio znalački s više motrišta. Tu su prikazane cijevi od njihova nastanka pa tijekom burnog i bogatog razvoja, do suvremenih emisionih cijevi koje se i danas koriste. Pomnim odabirom prikupio je cijevi kod kojih je vidljiva njihova ljepota, staklopuhačko umijeće i tehnička genijalnost konstruktora. Zastupljene su sve važne elektronske cijevi: diode, triode, tetrode, pentode i oktode pa i neobične konstrukcije triode s dvije mrežice. Nadalje, prikupio je i prikazao niz specijalnih elektronskih cijevi poput tiratrona, ortikona, osciloskopskih katodnih cijevi, pokazivačkih cijevi s hladnom katodom, cijevi za stabilizaciju napona, fotoćelija, fotomultiplikatora, cijevi s putujućim valom i emisionih cijevi. Prikupio je, može se i tako reći gledajući po izmjerama i masi, od minijaturnih do golemih cijevi, od onih lakih od 4,5 g do cijevi mase desetak kilograma. Tu su i cijevi sa žarenom katodom do cijevi s hladnom katodom, niskonaponske i visokonaponske cijevi te vakuumske i plinom punjene cijevi. Kroz razmjerno mali broj cijevi znalački je i koncentrirano prikazao sva njihova bitna obilježja i raznolikost.

Zbirka prof. dr. sc. Petra Biljanovića vrijedna je ostavština tehničkih artefakata koji su obilježili jedno bitno razdoblje tehničkog napretka ljudskog roda te vrelo praktičnih, vidljivih i opipljivih izložaka za sve istinske poštovatelje tehnike i tehničkih dostignuća naših prethodnika te njihove tehničke genijalnosti i stvaranja.

Professor's Petar Biljanović electronic Tubes Collection

Josip Medić, Dubravko Rogale

Abstract: During the almost fifty years of professional work of Professor Biljanović, he collected a collection of 70 electronic tubes. The collection is kept in a glass showcase in his office. Electronic tubes and their designations are shown in the article. The more important available technical data of electronic tubes, their features and areas of application are also shown. In addition to electronic tubes, prototypes of a silicon semiconductor heater, semiconductor electronic components on ceramic tiles of Radio Industry Zagreb, exhibits of semiconductor components from world manufacturers are also shown.

Keywords: PetarBiljanović, Faculty of Electrical Engineering and Computing, electronics, microelectronics, MIPRO, collection of electronic tubes

Karla Draženović, Željko Ban, Nicole Pilat, Viktor Šunde

Razvoj spremnika električne energije

Sažetak: Razvoj prijenosnih električnih uređaja, obnovljivih izvora energije te električnih vozila povećalo je potražnju za spremnicima električne energije te potaknulo njihov daljnji razvoj. Postoji više različitih vrsta spremnika električne energije koji se, ovisno o načinu pohrane energije, dijele na: elektrokemijske, električne, kemijske te mehaničke spremnike energije. U ovom radu opisan je razvoj spremnika električne energije od samih začetaka pojedine tehnologije pa do današnjih naprednih rješenja te je provedena usporedba različitih vrsta spremnika energije prema njihovim najvažnijim svojstvima. S obzirom na to da svaka pojedina vrsta spremnika sadrži velik broj različitih predstavnika, u ovom radu opisani su samo oni najznačajniji i to baterije, superkondenzatori, vodikove gorivne ćelije te zamašnjaci.

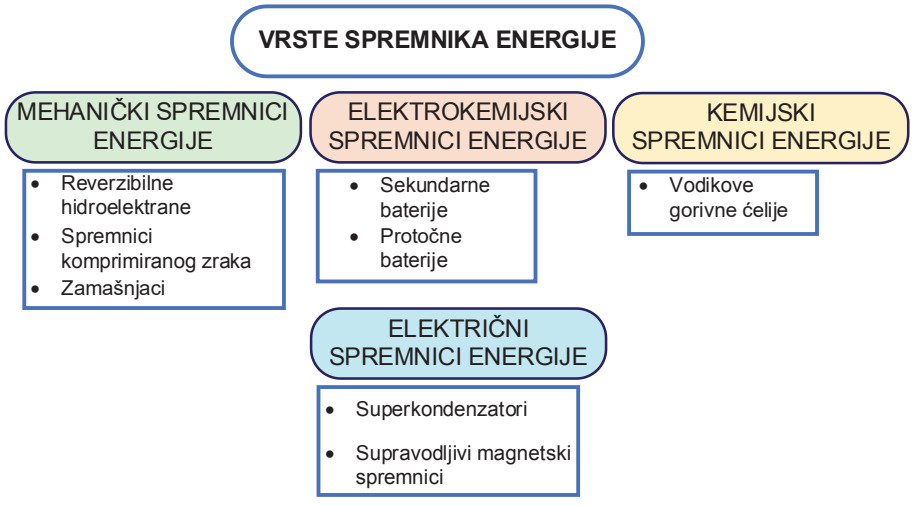
Ključne riječi: razvoj spremnika električne energije; baterije; superkondenzatori; zamašnjaci; gorivne ćelije

1. Uvod

Rast udjela obnovljivih izvora energije te sve veća ulaganja na tržištu električnih automobila potaknuli su daljnji razvoj spremnika električne energije. Općenito, spremnik energije je sustav koji prilikom pohrane pretvara električnu energiju u neki drugi oblik energije te se ponovna pretvorba u električnu energiju obavlja kada je to potrebno. Spremnici energije neophodni su za uspješnu integraciju obnovljivih izvora u postojeću elektroenergetsku mrežu. U sustavima s obnovljivim izvorima energije spremnici omogućavaju kontinuitet proizvodnje električne energije. Osim toga, korištenje spremnika energije omogućava upravljanje električnom mrežom te isporukom električne energije prema potrošačima. Za uspješan razvoj tehnologije električnih automobila osobito su važni spremnici energije. Spremnici energije jedan su od ključnih faktora o kojima ovisi hoće li električni automobili zamijeniti konvencionalne automobile s motorima s unutarnjim izgaranjem. Ostala električna vozila poput tramvaja

također koriste rješenja sa spremnicima za pohranu energije regenerativnog kočenja što doprinosi značajnom povećanju učinkovitosti cjelokupnog sustava vozila.

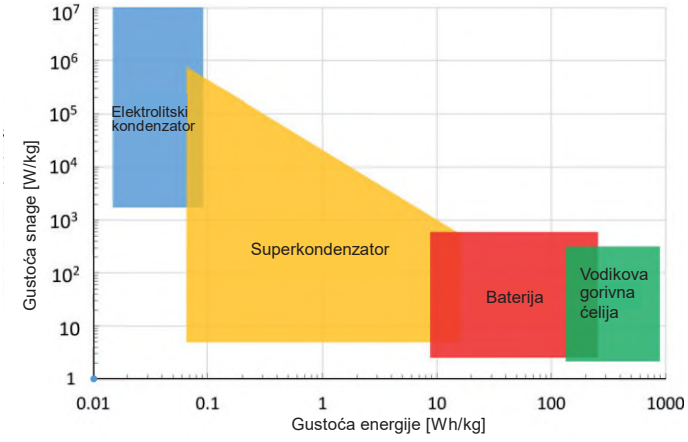
Spremnici se prema načinu pohrane energije dijele na: elektrokemijske, električne, kemijske te mehaničke spremnike energije, slika 1. Najznačajniji predstavnik elektrokemijskih spremnika energije su sve vrste baterija. Superkondenzator se najčešće svrstava u električne spremnike jer je primarni način pohrane u superkondenzatoru elektrostatski. U kemijske spremnike energije ubrajaju se vodikove gorivne ćelije, dok je zamašnjak mehanički spremnik energije.



Slika 1. Osnovna podjela spremnika energije [1]

Spremnike energije uspoređujemo prema njihovim osnovnim svojstvima. Osnovna svojstva spremnika su: učinkovitost, samopražnjenje, vijek trajanja (broj ciklusa), gustoća energije te gustoća snage. Učinkovitost spremnika energije može se definirati kao omjer uložene i pohranjene (iskoristive) energije uz zanemaren efekt samopražnjenja. Samopražnjenje je pojava koja opisuje gubitak pohranjene energije spremnika neopterećenog trošilom. Drugim riječima, samopražnjenje predstavlja gubitke koji se javljaju dok nema pretvorbe energije (npr. elektrokemijski gubitci kod svih vrsta baterija, mehanički gubici kod zamašnjaka i sl.). Vijek trajanja spremnika može se definirati kao broj ciklusa punjenja i pražnjenja spremnika prije nego dođe do degradacije svojstava spremnika energije. Gustoća energije definirana je kao iznos najveće moguće pohranjene energije unutar spremnika po jedinici mase. Slično tome, gustoća snage definirana je kao najveća moguća snaga po jedinici mase te određuje koliko se brzo energija pohranjena u spremniku može predati trošilu [1]. Gustoća

energije i gustoća snage najvažniji su parametri koji definiraju primjenu spremnika energije. Velika gustoća energije znači da se takav spremnik može koristiti za primjene gdje je potrebno dugotrajno snabdijevati trošilo energijom pohranjenom u spremniku. S druge strane, spremnici energije koje karakterizira velika gustoća snage mogu tijekom kratkog vremenskog intervala primiti ili isporučiti trošilu veliku količinu energije. Usporedba različitih spremnika prema gustoći snage i gustoći energije prikazana je Ragoneovim dijagramom, slika 2. Ragoneov dijagram prikazuje općeniti odnos navedenih tehnologija spremnika te daje okvirni uvid u moguću primjenu pojedine tehnologije. Iz Ragoneovog dijagrama uočava se da ne postoji takva tehnologija spremnika energije koja može zadovoljiti uvjete svake primjene. Odabir tehnologije spremnika energije nužno je prilagoditi primjeni, a nerijetko je potrebno kombinirati



Slika 2. Ragoneov dijagram [2]

različite vrste spremnika energije kako bi se ispunili svi zahtjevi.

U tablici 1. dana je detaljna usporedba najvažnijih svojstava navedenih spremnika energije.

Tablica 1. Svojstva spremnika energije [3]

Tip	Učinkovitost (%)	Gustoća energije (Wh/kg)	Gustoća snage (W/kg)	Vijek trajanja (n)	Vijek trajanja (godine)	Samopražnjenje
Olovne baterije	60-90	25-50	75-300	200-1800	5-15	nisko
Li-ion baterije	75-97	75-200	150-2000	1000 20000	5-15	srednje
Superkondenzatori	84-97	0,05-15	500 10000	50000 100000	10-30	vrlo visoko
Vodikove gorivne ćelije	20-66	800-10000	5-800	1000 20000	5-15	vrlo nisko
Zamašnjaci	90-95	1000-5000	400-1500	>21000	20	nisko

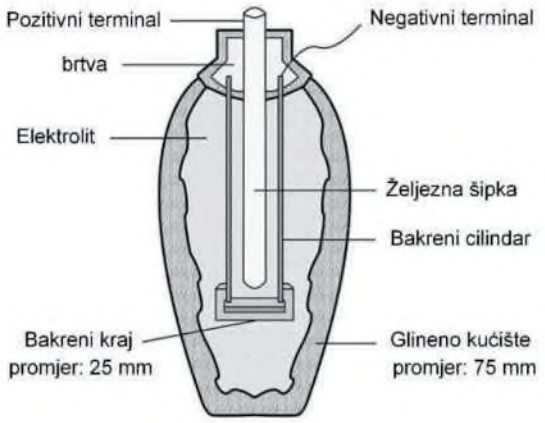
2. Pregled razvoja tehnologije baterija

Baterija je uređaj koji pohranjenu kemijsku energiju direktno pretvara u električnu energiju. Baterija se sastoji od jedne ili više baterijskih ćelija, tj. osnovnih elektrokemijskih jedinica, koje mogu biti spojene u seriju i/ili paralelu, ovisno o željenom izlaznom naponu i kapacitetu. Baterijska ćelija sastoji se od tri osnovne komponente: anode (ili negativne elektrode), katode (ili pozitivne elektrode) te elektrolita (ionskog vodiča koji je ujedno i elektronički izolirajući medij). Anoda je elektroda koja otpušta elektrone vanjskom krugu te oksidira tijekom elektrokemijske reakcije. Katoda je elektroda koja prima elektrone iz vanjskog kruga i reducira se tijekom elektrokemijske reakcije. Elektrolit je medij kojim se prenosi naboj u vidu iona između anode i katode. Elektrolit može biti čvrstog ili tekućeg stanja. Različiti anodni i katodni materijali kombinirani s različitim elektrolitima (i separatorima) rezultiraju brojnim tipovima baterijskih ćelija. Svaka promjena pojedinačne komponente mijenja samu karakteristiku ćelije. Takve kombinacije ne mogu uvijek biti praktične, zbog reaktivnosti s drugim komponentama ćelije, polarizacije, poteškoćama pri rukovanju, visokih troškova, itd. [4-7]. Ovisno o smjeru pretvorbe, baterije se mogu podijeliti na primarne i sekundarne. Primarne baterije mogu se upotrijebiti samo jednom jer nemaju mogućnost ponovnog punjenja. Sekundarne baterije su uređaji za pohranjivanje električne energije, a poznate su još i pod nazivom skladišne baterije ili akumulatori. Sekundarne baterije mogu se koristiti na dva načina. Prvi način, kao uređaji za spremanje energije koji su stalno priključeni na izvor napajanja te se, prema potrebi, prazne i napajaju trošilo. Drugi način, pri kojem se koriste identično kao i primarne baterije, osim što se nakon korištenja mogu ponovno napuniti.

Danas su baterije pristupačne svima a njihov najjednostavniji oblik može se napraviti uz pomoć bakrenog novčića, pocinčanog čavla te krumpira ili limuna. Istraživanja koja su dovela do stvaranja današnjeg oblika baterije uključivala su jedan izum za drugim. Učinci statičkog elektriciteta bili su poznati već prije dugo vremena. Još su drevni Grci otkrili kako se privlačna sila stvara trljajući krzno o jantar, ali nikakvo jasno razumijevanje o električnoj energiji i njezinim učincima nije postojalo sve dok se nije krenulo eksperimentirati s toplinom, magnetizmom, plinovima, tekućinama i električnom energijom u 17. stoljeću.

Prva prava baterija izumljena je 1800. godine, međutim neki vjeruju da je baterija nastala još puno prije toga [8]. Godine 1936. arheolozi su pronašli glinenu posudu na teritoriju nekadašnje Mezopotamije, u jednom selu blizu Bagdada u Iraku. Posuda stara 2000 godina, bila je dugačka 12,7 cm, a unutar nje se nalazila željezna šipka omotana bakrom, slika 3. Ispitivanje je pokazalo da je pronađena posuda nekad bila napunjena kiselom tvari poput octa ili vina, što je navelo arheologa Wilhelma Koniga na razmišljanje kako bi njezina funkcija mogla biti identična funkciji galvanskog član-

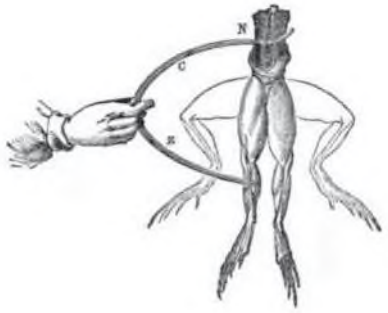
ka. Pronađena posuda prozvana je „*bagdadskom baterijom*" iako se još uvijek ne zna koja je bila njezina stvarna funkcija.



Slika 3. Presjek bagdadske baterije [9]

Godine 1749., dugo prije prvog pravog izuma baterije, Benjamin Franklin po prvi je put upotrijebio pojam *baterija* (engl. *battery*), kako bi opisao skup povezanih kondenzatora koje je koristio za svoje pokuse s električnom strujom. Kondenzatori su zapravo bili staklene ploče presvučene metalom na površini, koji su se punili statičkim generatorom i praznili dodirivanjem metala s pojedinim elektrodama kondenzatora. Povezivanjem kondenzatora u *bateriju* rezultiralo je jačim pražnjenjem. Izvorno, pojam *baterija* u vojnim organizacijama imao je generičko značenje koje se definiralo kao: skupina dva ili više sličnih objekata koji funkcioniraju zajedno. Danas se pojam baterija obično koristi kao naziv za običnu elektrokemijsku ćeliju [10].

Otkriće prve moderne baterije koja je mogla proizvoditi električnu energiju rezultat je spora između dvaju znanstvenika. Godine 1780., talijanski liječnik i fizičar Luigi Galvani, secirao je žabu pričvršćenu za brončanu kuku, slika 4. Kada je dotaknuo žablju nogu s metalnim skalpelom, noga se trznula. Galvani je mislio da je to kontrakcija noge te je tu pojavu nazvao životinjski elektricitet što je i objavio u svom djelu: *Komentar o električnim silama u pomicanju mišića* (lat. *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*, 1791.) [11]. No ispravno objašnjenje te pojave dao je talijanski fizičar Alessandro Volta 1796. godine**,** dokazavši da je posrijedi strujanje elektriciteta koje nastaje između dva metala kada je među njima elektrolit (galvanski elektricitet).



Slika 4. Eksperiment Luigija Galvanija sa žabljim nogama [12]

A. Volta, slika 5., 1800. godine, napravio je prvu pravu bateriju, tzv. *Voltinu* ćeliju, slažući naizmjenične slojeve cinka i srebra koji su bili odvojeni kartonom ili tkaninom natopljeni slanom vodom. *Voltina* ćelija bila je prva električna baterija koja je mogla davati kontinuiranu električnu struju, međutim imala je nedostatke poput curenja elektrolita te kratkog životnog vijeka. Unatoč nedostacima, SI jedinica elektromotorne sile nazvana je *volt* u čast Voltinom postignuću [8,11,13].



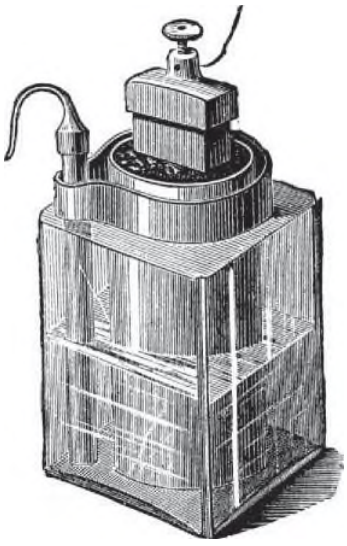
Slika 5. Izumitelj prve baterije Alessandro Volta [14]

Engleski kemičar i fizičar John Frederic Daniell pronašao je način rješavanja problema vodikovih mjehurića u Voltinoj ćeliji, koji su se nakupljali na dnu cinkovih elektroda i time ograničavali životni vijek ćelije. Godine 1836. razvio je Danielovu ćeliju koja se sastojala od dva elektrolita [15]. Njegovo rješenje eliminiralo je proizvodnju vodika iz prvog elektrolita koristeći drugi elektrolit za apsorpciju vodika. Danielova ćelija s bakrenim sulfatom i cinkovim sulfatom kao elektrolitima bila je sposobna davati stabilniju struju dulje vrijeme. Danielova ćelija imala je radni napon

od 1,1 volta te je upravo ona korištena kao prvi radni standard za definiranje volta [V], tj. jedinice elektromotorne sile. Danielova ćelija bila je ujedno i prva baterija koja je sadržavala živu za smanjenje korozije.

Do ovog trenutka u povijesti, sve vrste postojećih baterija bile su primarne baterije, tj. nakon što su potrošene njihove kemijske reakcije trajno bi se praznile. 1859. godine, francuski fizičar Gaston Plante izumio je olovno-kiselinsku bateriju, prvu bateriju koja se mogla puniti propuštanjem reverzne struje kroz nju. Naime, Plante se sjetio uroniti dvije olovne elektrode (olovnu anodu i katodu olovnog dioksida) u elektrolit (razrijeđenu kiselinu) stvorivši tako *kiseli akumulator* koji se mogao puniti. Konstrukcija Planteove baterije sastojala se od spiralnog namota dvije olovne ploče razdvojene gumenim trakama koje su bile uronjene u stakleni cilindar ispunjen razrijeđenom otopinom sumporne kiseline. Njegove su se baterije prvi put koristile za napajanje žarulja u vagonima vlakova dok su se zaustavljali na stanici. U usporedbi s drugim baterijama, olovno kiselinske baterije bile su poprilično teške i glomazne zbog potrebne količine energije koju su mogle pohraniti, ali su bile jeftinije i mogle su davati izuzetno velike struje uz prenaponske udare. Znanstvenik Camille Alphonse Faure, 1881. godine, poboljšao je olovnu bateriju tako što joj je značajno povećao kapacitet, čime su stvoreni uvjeti za isplativu serijsku proizvodnju. Osnova Faureovog poboljšanja bila je u oblaganju olovnih ploča baterije mješavinom olovnih oksida, sumporne kiseline i vode [16]. Olovne baterije se i danas koriste u automobilskoj industriji i drugim primjenama gdje težina baterije nije ograničavajući faktor.

Baterije s tekućim elektrolitom bile su nepraktične za upotrebu zbog istjecanja elektrolita. Godine 1868. francuski inženjer elektrotehnike Georges Leclanche izumio je *suhu* ćeliju. Leclancheova ćelija bila je sastavljena od cinkove anode s katodom od mangan dioksida umotanom u porozni materijal i otopinom amonijevog klorida kao elektrolit, slika 6. Katoda od mangan dioksida sadržavala je malo ugljika što je poboljšalo vodljivost i apsorpciju te produljilo vijek trajanja baterije. Leclanche je poboljšao ovu bateriju zamijenivši tekući elektrolit vlažnom elektrolitskom pastom, što je rezultiralo stvaranjem prve baterije sa suhim ćelijama. Ovakav oblik suhe ćelije koristio se za napajanje ranih telefona. Budući da Leclancheova ćelija nije mogla davati trajnu struju u duljem vremenskom periodu bila je prikladna samo za kratke pozive jer se unutarnji otpor baterije povećavao tijekom dugog pražnjenja, što je uzrokovalo pad napona. Godine 1885. njemački znanstvenik Carl Gassner odlučio je nadograditi Leclancheovu ćeliju. Elektrolitnu pastu zamijenio je pastom od amonijevog klorida s malom količinom cinkova klorida te je time popravio pad napona Leclancheove ćelije i produžio životni vijek baterije. Gassnerova suha ćelija imala je bolji dizajn, bila je kompaktnija i nije zahtijevala održavanje, a imala je napon od 1,5 V pod punim opterećenjem. Njegove baterije, poznatije kao cink ugljične baterije, koriste se i u današnje vrijeme u sličnom obliku [11].



Slika 6. Ilustracija Leclancheovog članka [17]

Sljedeći veliki korak prema modernim baterijama napravljen je 1899. godine, kada je švedski inženjer Waldemar Jungner izumio nikal-kadmijevu bateriju (NiCd). Nikal-kadmijeva baterija bila je punjiva (sekundarna) baterija koja se sastojala od niklove katode i kadmijeve anode u otopini kalijevog hidroksida. Ovo je bio prvi tip baterije koja koristi alkalni elektrolit, što joj omogućava veću gustoću energije od olovne baterije. Međutim, zbog toksičnosti kadmija, u današnje vrijeme nikal-kadmijeve baterije manje su korištene. Dvije godine kasnije, Thomas Alva Edison osmislio je alternativni dizajn zamijenivši kadmij željezom. Zbog visokih troškova materijala u odnosu na suhe ćelije, praktična primjena nikal-kadmijevih i nikal-željeznih baterija bila je ograničena [11,16].

Cink-ugljične baterije bile su popularne primarne baterije sve do kasnih 1950-ih, ali njihov relativno kratak životni vijek kočio je veću primjenu. Kanadski inženjer Lewis Urry, 1955. godine, dobio je zadatak od tvrtke *Eveready Battery* da pronađe rješenje za produljenje životnog vijeka cink-ugljičnih baterija.

Nastavljajući na ranijim Edisonovim istraživanjima, Urry je umjesto produljenja životnog vijeka cink- ugljičnih baterija ustanovio da alkalne baterije više obećavaju. Do tog trenutka dugotrajnije alkalne baterije bile su vrlo skupe. Urryjeva alkalna baterija sastojala se od katode od mangan dioksida i cinkaste anode u prahu s alkalnim elektrolitom. Urryjeve alkalne baterije puštene su u promet 1959. godine, a mogle su davati jaču i dugotrajniju struju od cink-ugljičnih baterija te su bile mnogo jeftinije od prethodnih inačica alkalnih baterija.

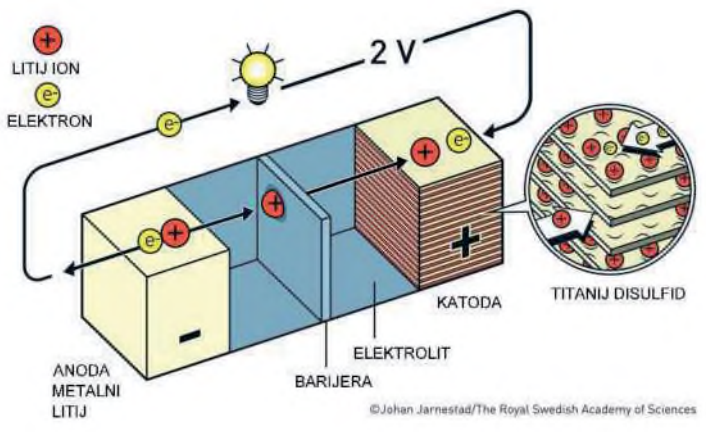
Devedesetih godina dvadesetog stoljeća sve je veća upotreba malih električnih uređaja kao što su mobilni telefoni, prijenosna računala, videokamere i digitalni fotoaparati. Jedan od razloga bila je pojava prvih masovno proizvedenih nikal-metal-hidridnih baterija (NiMH) od tvrtke Matsushita Battery Industries (Panasonic Energy) i Sanyo Electric Co., LTD (SANYO). Tehnologija nikal-metal-hidridnih baterija razvijena je tijekom 1970-ih i 1980-ih godina. Slično kao i nikal-kadmijeve baterije, nikal-metal-hidridne baterije koriste pozitivnu elektrodu na bazi nikla (niklov oksihidroksid), ali za negativnu elektrodu, umjesto otrovnog kadmija, koriste leguru koja apsorbira vodik. Nikal-metal-hidridne baterije imaju dulji životni vijek od nikal-kadmijevih baterija i ekološki su prihvatljivije jer ne koriste toksičan kadmij. Gustoća energije nikal-metal-hidridnih baterija usporediva je s litij-ionskim baterijama ali budući da imaju vrlo visoku stopu samopražnjenja danas se često zamjenjuju s litij-ionskim baterijama [11].

U usporedbi s prethodnim baterijama, litij-ionske baterije su male, lagane ali veoma snažne punjive baterije s velikom gustoćom energije te dugim životnim vijekom. Trenutačno, litij-ionske baterije predstavljaju najbolji način pohrane električne energije, stoga je njihova primjena veoma široka, od mobilnih telefona, računala pa sve do hibridnih i električnih vozila, slika 7. Međutim, litij-ionske baterije osjetljive su na više brzih i uzastopnih punjenja i pražnjenja jer postaju temperaturno nestabilne i sklone eksplozivnoj reakciji. Zbog takvih karakteristika, za pouzdan rad zahtijevaju zaštitni elektronički sklop, koji ne dozvoljava nepravilnosti pri punjenju i radu koje bi mogle izazvati eksploziju. Litij-ionske baterije podložne su starenju čak i onda kada nisu u upotrebi i malo su skuplje u usporedbi s ostalim baterijama [5-6].



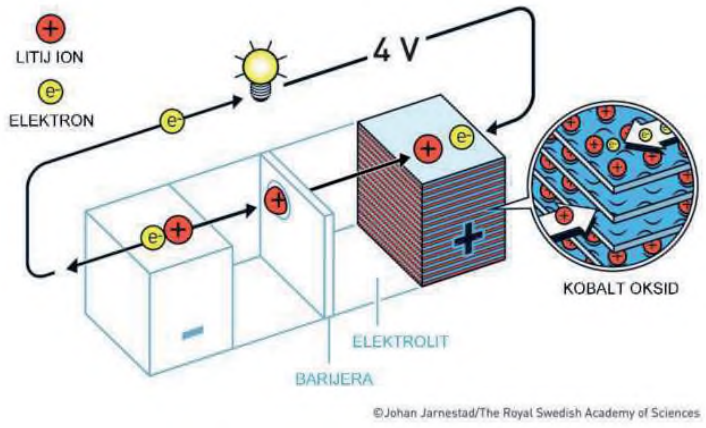
Slika 7. Punjenje baterije električnog automobila [18]

Tijekom naftne krize 1970-ih, engleski kemičar Michael Stanley Whittingham, koji je u to vrijeme radio za *Exxon mobile*, počeo je istraživati ideje za novu bateriju koja bi se punila u kratkom vremenu. Whittingham je radio na razvoju novih energetskih tehnologija bez fosilnih goriva. U svom prvom pokušaju, kao materijal za katodu upotrijebio je titanij disulfid, a kao materijal za anodu litij, slika 8. Njegov pokušaj rezultirao je baterijom s velikim potencijalom od nešto više od dva volta. Međutim, budući da je metalni litij reaktivan takva baterija stvarala je ozbiljne sigurnosne probleme. Budući da je bila previše eksplozivna *Exxon mobile* odlučio je zaustaviti daljnje eksperimente. Unatoč tome, Whittingham se danas, kao jedna od ključnih osoba u povijesti razvoja litij-ionskih baterija, smatra utemeljiteljem litij-ionskih baterija (engl. *Founding father of lithium ion batteries*).



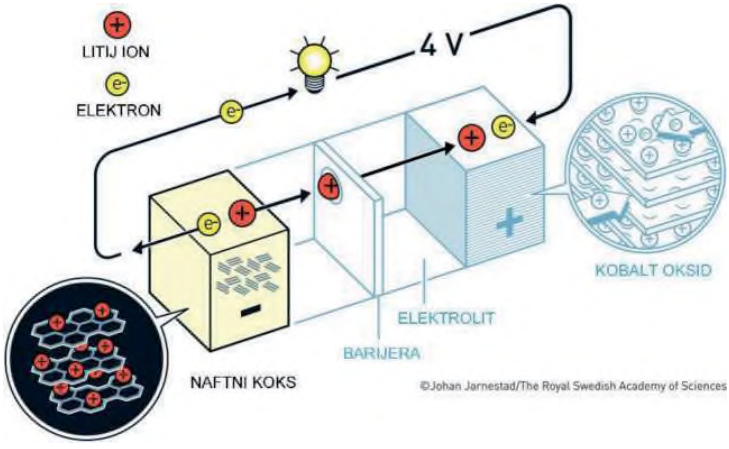
Slika 8. Ilustracija Whittingamove baterije [19]

Profesor inženjerstva sa Sveučilišta Texas u Austinu, John B. Goodenough, imao je drugačiju ideju. Goodenough je predvidio da će katoda imati još veći potencijal ako se napravi uz pomoć metalnog oksida umjesto metalnog sulfida, slika 9. U 1980. godini eksperimentirao je s baterijama koristeći litij-kobalt oksid kao materijal za katodu umjesto titanij disulfida. Svojim eksperimentima uspio je postići dvostruki energetski potencijal baterije, što je bilo važno postignuće koje je kasnije dovelo do puno snažnijih baterija



Slika 9. Ilustracija Goodenoughove baterije [19]

Pet godina kasnije, japanski kemičar Akira Yoshino, suradnik korporacije *Asahi Kasei* i profesor na sveučilištu Meijo u Nagoji, napravio je još jednu zamjenu. Umjesto reaktivnog metala litija kao materijal za anodu, upotrijebio je ugljični materijal, naftni koks, što je dovelo do revolucionarnog otkrića i prve komercijalno održive baterije, slika 10. Rezultat zamjene bila je lagana, izdržljiva i sigurnija baterija koja se mogla napuniti stotine puta prije pogoršanja njezinih performansi. Ova tri otkrića dovela su do današnje litij-ionske baterije. Godine 2019., John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham i Akira Yoshino dobili su Nobelovu nagradu za kemiju za svoj doprinos u razvoju litij-ionskih baterija [19-21].

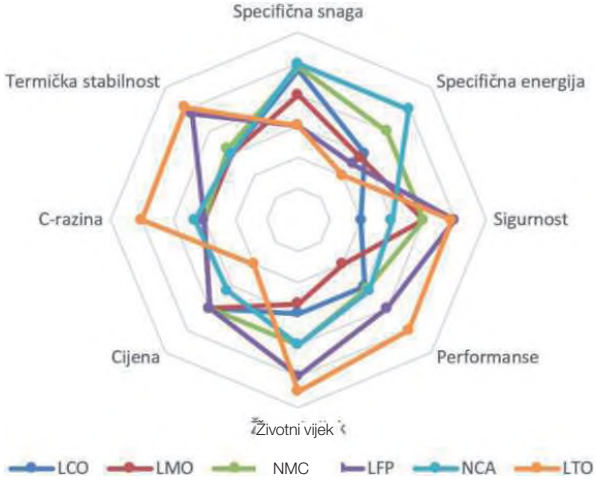


Slika 10. Ilustracija Yoshinove baterije [19]

Prednost litij-ionskih baterija je u tome što se ne temelje na kemijskim reakcijama koje razgrađuju elektrode, već na litijevim ionima koji teku između anode i katode kroz elektrolit. Danas postoji više različitih tipova litij-ionskih baterija koje se uglavnom razlikuju na osnovu sastava katodnog materijala (tipovi od 1 do 5) ili anodnog materijala (tip 6):

1. litij-kobalt-oksid (LCO)
2. litij-mangan-oksid (LMO)
3. litij-nikal-mangan-kobalt-oksid (NMC)
4. litij-željezo-fosfat-oksid (LFP)
5. litij-nikal-kobalt-aluminij-oksid (NCA)
6. litij-titan-oksid (LTO)

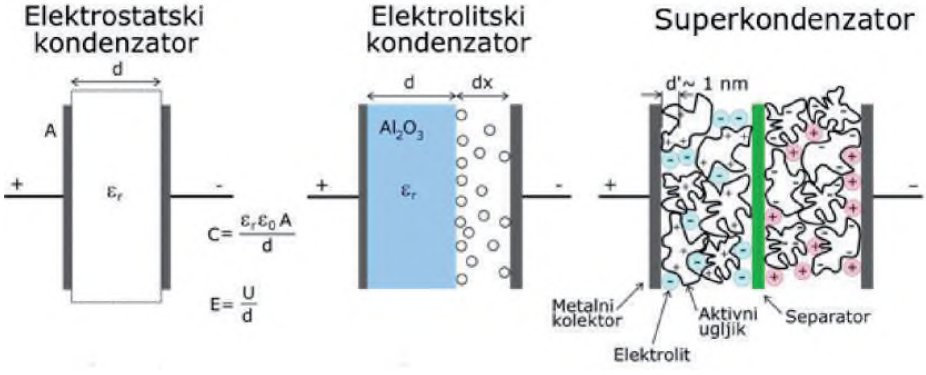
Izbor odgovarajućeg tipa litij-ionske baterije ovisi o različitim čimbenicima; naponu, kapacitetu, energiji, životnom vijeku i radnoj temperaturi. Navedene vrste litij-ionskih baterija razlikuju se i prema proširenom skupu karakteristika koji nije povezan s tehnologijom, slika 11. Tržište litij-ionskih baterija i dalje raste dvoznamenkastim stopama. Mnogi znanstvenici okreću se različitim analitičkim tehnikama kako bi proučavali dijelove baterija u različitim fazama njihovog životnog ciklusa. Sveučilišta i tvrtke širom svijeta nastavljaju istraživati načine za stvaranje baterija koje su sigurnije, snažnije, dugotrajnije i sposobne raditi pod teškim vremenskim uvjetima. Litij-ionske baterije revolucionirale su suvremeni život i kao što je Whittingham rekao: „utjecale na živote gotovo svih u svijetu“.



Slika 11. Usporedba različitih svojstava litij-ionskih baterija [7]

3. Pregled razvoja tehnologije superkondenzatora

Superkondenzator je elektrokemijski kondenzator koji u odnosu na elektrostatske i elektrolitske kondenzatore ima nekoliko redova veličine veći kapacitet što ga čini pogodnim za primjenu kao spremnika energije. Povećanje kapaciteta superkondenzatora u usporedbi s konvencionalnim kondenzatorima ostvareno je zahvaljujući manjem razmaku između elektroda te većoj površini elektroda, slika 12. Na svakoj od elektroda superkondenzatora formira se električni dvosloj koji ima kapacitivno svojstvo što u načelu znači da se superkondenzator sastoji od dva serijski spojena kondenzatora. Debljina električnog dvosloja je reda veličine nanometra što rezultira značajnim povećanjem vrijednosti kapaciteta superkondenzatora. Osim toga, korištenjem poroznih materijala efektivno se povećava površina elektroda što također doprinosi povećanju vrijednosti kapaciteta superkondenzatora.



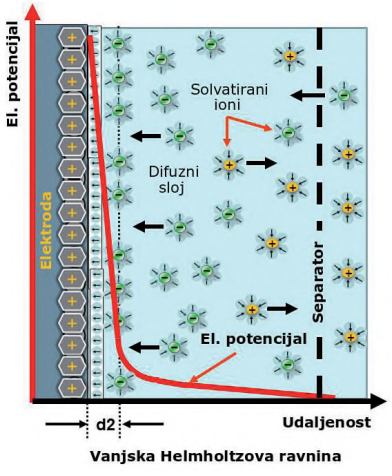
Slika 12. Usporedba elektrokemijskog dvoslojnog kondenzatora i konvencionalnih kondenzatora

Kapacitivno svojstvo dvosloja na međufazi elektroda/elektrolit fenomen je koji je još 1853. godine otkrio njemački liječnik i fizičar Hermann von Helmholtz, slika 13. Hermann von Helmholtz jedan je od najznačajnijih znanstvenika 19. stoljeća. Njegova istraživanja dovela su do fundamentalnih otkrića na području osjeta zvuka i svjetlosti, brzine širenja živčanih impulsa i reagiranja mišića [22].



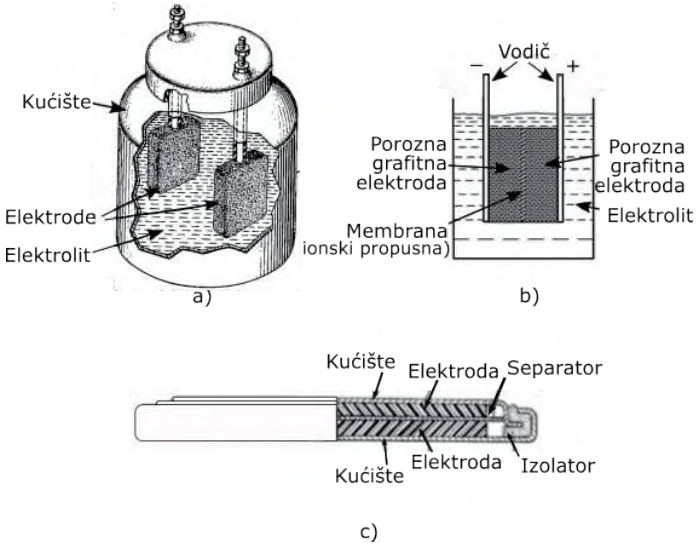
Slika 13. Hermann von Helmholtz [23]

Helmholtz je prvi primijetio da nabijene elektrode uronjene u elektrolitnu otopinu odbijaju ione istoimene naboju na elektrodama, a privlače ione raznoimene naboju na elektrodama. Tako nastaju dva sloja naboja između kojih postoji pad električnog potencijala, slika 14. Ovaj rezultat potpuno je analogan konvencionalnom kondenzatoru koji se sastoji od dvije elektrode odvojene dielektrikom razmaknute za određenu udaljenost. Helmholtz je pokazao da je električni dvosloj u načelu molekularni dielektrik i da elektrostatski pohranjuje naboj.



Slika 14. Pojednostavljeni prikaz prijelaza faza elektroda/otopina i pojave električnog dvosloja [24]

Prva praktična primjena ovog svojstva zabilježena je 1957. godine. Tada je Howard Becker, zaposlenik tvrtke *General Electric Corporation*, patentirao elektrolitski kondenzator temeljen na kapacitivnom svojstvu dvosloja koji se sastojao od poroznih ugljikovih elektroda, a kao elektrolit koristio je sumpornu kiselinu, slika 15.a). Becker je primijetio da se korištenjem poroznih materijala za izradu elektroda dobiva značajno veći kapacitet kondenzatora, ali kako nije poznavao koncept električnog dvosloja smatrao je da se energija pohranjuje u obliku naboja u porama ugljikovih elektroda kao što je slučaj s porama urezanih folija elektrolitskih kondenzatora. Međutim, tvrtka *General Electric Corporation* nije dalje ulagala u ovu tehnologiju te je umjesto nje priliku prihvatila tvrtka *Standard Oil of Ohio* (SOHIO). Godine 1966. tijekom rada na eksperimentalnom dizajnu gorivnih ćelija inženjeri tvrtke SOHIO razvili su kondenzator pod nazivom *uređaj za skladištenje električne energije* (engl. *electrical energy storage apparatus*), slika 15.b). Tvrtka SOHIO nastavila je s razvojem ove tehnologije te je 1970. godine patentirala pločasti disk kondenzator s poroznim elektrodama izrađenim od aktivnog ugljika uronjenim u organski tetra elektrolit na bazi alkil amonijeve soli, slika 15.c) [25]. Iako ga je tvrtka SOHIO u patentu navela kao elektrolitski kondenzator ovaj izum smatra se prvim elektrokemijskim dvoslojnim kondenzatorom (engl. *Electric Double Layer Capacitor,* EDLC). Ipak, 1971. godine zbog nedostatka financijskih sredstava tvrtka SOHIO prestaje s razvojem ove tehnologije.



Slika 15. Razvoj superkondenzatora: a) superkondenzator tvrtke *General Electric Corporation* iz 1957. godine, b) superkondenzator tvrtke SOHIO iz 1966. godine i c) presjek pločastog elektrokemijskog dvoslojnog kondenzatora tvrtke SOHIO [26]

Prva tvrtka koja je komercijalizirala dvoslojni elektrokemijski kondenzator je japanska multinacionalna tvrtka NEC. NEC je 1978. godine licencirao patent od SOHIO-a te je na tržište stavio elektrokemijski dvoslojni kondenzator pod nazivom superkondenzator. Primjena superkondenzatora tvrtke NEC bila je za pomoćno napajanje memorije računala. Iste godine tvrtka *Panasonic* plasirala je na tržište svoju marku *Goldcaps* koja se koristila u uređajima potrošačke elektronike. Iako se tehnologija superkondenzatora konačno komercijalizirala postojali su značajni nedostatci poput niskog napona, visokog otpora, niske gustoće energije i male učinkovitosti zbog kojih je njihova primjena bila vrlo ograničena. Stoga je sve do kraja osamdesetih godina 20. stoljeća na tržištu je postojao relativno mali broj proizvođača superkondenzatora.

Interes za ovu tehnologiju ponovo se aktualizirao krajem prošlog stoljeća kada je uočena mogućnost primjene superkondenzatora u hibridnim i električnim vozilima. Istovremeno, početkom 90-ih godina prošlog stoljeća došlo je do napredaka u tehnologiji te u materijalima od kojih se izrađuju superkondenzatori potrebnih kako bi se riješili navedeni nedostatci. Razvojem elektrolita s boljom vodljivošću postignuto je smanjenje ekvivalentnog serijskog otpora što je dovelo do šire komercijalne primjene superkondenzatora. Prvi superkondenzator s malim unutarnjim otporom razvijen je 1982. godine za vojne svrhe u institutu *Pinnacle Research Institute* (PRI) pod nazivom *PRI Ultracapacitor*. Razvoj ove tehnologije 1992. godine je preuzeo *Maxwell* koji je ih je na tržište plasirao pod nazivom *Boost Caps* kako bi se naglasila primjena u energetskim aplikacijama. Među istraživanjima s kraja prošlog stoljeća valja istaknuti skupinu znanstvenika predvođenu Brian Evans Conwayom. Conway je opisao razliku između baterije i superkondenzatora u smislu elektrokemijske pohrane energije. Također, Conway je tehnički definirao pojam superkondenzator kako bi se osvrnuo na povećanje kapaciteta u usporedbi s konvencionalnim kondenzatorom. Superkondenzator kojeg je razvio Conway imao je elektrode načinjene od rutenijevog oksida (RuO_2) koji je pseudokapacitivni materijal. Pseudokapacitivne materijale karakteriziraju brze i reverzibilne redoks-reakcije za široki pojas potencijala te je njihov elektrokemijski odziv sličan odzivu koji se dobiva kod nabijanja/izbijanja elektrokemijskog dvosloja [27]. Superkondenzator koji je razvio Conway djelomično je pohranjivao naboj u Helmholtzovom dvosloju, a djelomično kao rezultat faradejskih reakcija s pseudokapacitivnim prijenosom naboja elektrona i protona između elektrode i elektrolita. Istraživanja koja je provodio Conway uvelike su doprinijela boljem razumijevanju i razvoju elektrokemijskih kondenzatora (superkondenzatora).

Superkondenzatori se, prema načinu skladištenja naboja i materijalu od kojeg su izrađene elektrode, dijele na: (i) elektrokemijske dvoslojne kondenzatore (često se pod pojmom superkondenzatori općenito misli na elektrokemijske dvoslojne kondenzatore), (ii) pseudokapacitivne kondenzatore i (iii) hibridne kondenzatore. Kao što samo ime kaže, elektrokemijski dvoslojni kondenzatori energiju pohranjuju tako da

se na prijelazu faza elektroda/elektrolit formira električni dvosloj te dolazi do elektrostatske pohrane naboja. Elektrostatska pohrana znači da se energija pohranjuje u električnom polju između električnog dvosloja na svakoj elektrodi. Ovakva vrsta pohrane energije omogućava velike brzine punjenja i pražnjenja do nekoliko stotina tisuća puta [27]. Elektrokemijski dvoslojni kondenzatori za elektrode najčešće koriste elektrode na bazi ugljika (aktivni ugljik, ugljikovog aerogel, ugljikove nanocijevi, ugljikova nanovlakna), te u novije vrijeme grafen i njegove derivate [27]. Elektrokemijski odziv pseudokapacitivnih materijala jednak je elektrokemijskom odzivu ugljika, ali je princip skladištenja energije pseudokondenzatora potpuno drugačiji u odnosu na elektrokemijske dvoslojne kondenzatore. Elektrokemijski dvoslojni kondenzatori skladište energiju na principu elektrokemijskog dvosloja, dok se kod pseudokapacitivnih superkondenzatora skladištenje energije temelji na faradejskim reakcijama[1]. Pseudokapacitivne kondenzatore karakterizira 10100 puta veći specifični kapacitet u odnosu na elektrokemijske dvoslojne kondenzatore, ali uz smanjenu specifičnu snagu i stabilnost koja određuje ukupan broj ciklusa punjenja i pražnjenja [28]. Posljednjih godina pojavljuju se i tzv. hibridni superkondenzatori koji su kombinacija EDLC-a i pseudokondenzatora. Elektrode hibridnih superkondenzatora napravljene su od dva različita materijala. Jedna elektroda napravljena je od materijala koji se upotrebljavaju u elektrokemijskim dvoslojnim kondenzatorima, a druga elektroda napravljena je od materijala kod kojeg se odvija pseudokapacitivna reakcija.

Osim materijala od kojih su izrađene elektrode, superkondenzatori se razlikuju i prema vrsti elektrolita. Odabir elektrolita određuje važna svojstva superkondenzatora poput termodinamičke stabilnosti koja definira najveći napon prije nego dođe do njegovog raspada [27]. Elektroliti koji se upotrebljavaju u superkondenzatoru mogu biti vodeni, organski, polimerni ili ionske tekućine. Vodene elektrolite u usporedbi s organskim elektrolitima karakterizira manji probojni napon, ali i veća vodljivost. Od vodenih elektrolita najčešće se koriste sumporna kiselina (H_2SO_4) i kalijev hidroksid (KOH), a od organskih elektrolita smjesa propilen karbonata ili acetonitrila i odgovarajućih soli. Elektroliti od ionske tekućine u posljednje vrijeme sve više se koriste jer nisu korozivni, mogu se upotrebljavati na vrlo visokim i vrlo niskim temperaturama te imaju visoki probojni napon (čak do 6 V) [27]. Ionske tekućine koje se koriste kao elektrolit su nisko-temperaturne taline[2] soli koje se sastoje od velikog organskog kationa i organskog ili anorganskog aniona [27]. Između elektroda nalazi se separator koji električki odvaja elektrode, a odabir separatora ovisi o elektrolitu.

U usporedbi s baterijama, superkondenzatori ostvaruju višestruko veći broj

1 Faradejska reakcija je heterogena reakcija prijenosa naboja koja se odvija na elektrodnoj površini.[28]

2 Talina je tekuće agregatno stanje metala i slitina.

ciklusa punjenja/pražnjenja (> 100 000) u odnosu na baterije (~ 1000). Razlog tome je što baterije energiju pohranjuju na temelju kemijskih reakcija koje se odvijaju na elektrodama. Nakon određenog broja kemijskih reakcija dolazi do nepovratnih promjena materijala od kojeg su načinjene elektrode te baterija postaje neupotrebljiva. Osim toga, materijali od kojih su izrađene elektrode baterija sadrže teške metale poput olova i nikla koji su vrlo štetni za okoliš [27].

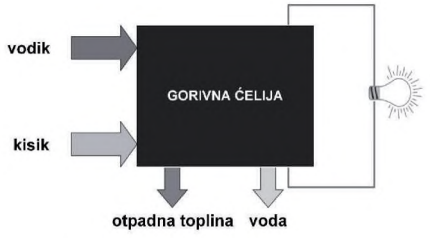
Danas su u komercijalnoj upotrebi najčešće koristi elektrokemijski dvoslojni kondenzator s elektrodama na bazi aktivnog ugljika, a primjena uključuje pohranu energije regenerativnog kočenja električnih automobila i tračničkih vozila te u sustavima s obnovljivim izvorima energije gdje se integriraju s drugim vrstama spremnika energije.

4. Pregled razvoja tehnologije vodikovih gorivnih ćelija

Postupak proizvodnje električne energije iz goriva uključuje nekoliko koraka pretvorbe energije:

- izgaranjem goriva kemijska energija goriva pretvara se u toplinu
- dobivena toplina se zatim koristi za zakuhavanje vode i stvaranje pare
- stvorena para koristi se za pokretanje turbine u procesu koji pretvara toplinsku energiju u mehaničku
- mehanička energija koristi se za pogon generatora koji generira električnu energiju

Međutim, gorivna ćelija (engl. *fuel cell*) je uređaj koji pretvara kemijsku energiju goriva, tipično vodika, direktno u električnu energiju. Gorivna ćelija zaobilazi sve prethodno navedene procese i stvara energiju u jednom koraku bez uključivanja ikakvih pokretnih dijelova, slika 16. Takav uređaj je jednostavniji, jeftiniji i daleko učinkovitiji u proizvodnji električne energije od prethodno navedenog postupka u četiri koraka. Iako radi svoje jednostavnosti privlače pažnju, gorivne ćelije se i dalje još uvijek razvijaju.



Slika 16. Prikaz generiranja istosmjerne električne energije iz goriva pomoću gorivne ćelije[29]

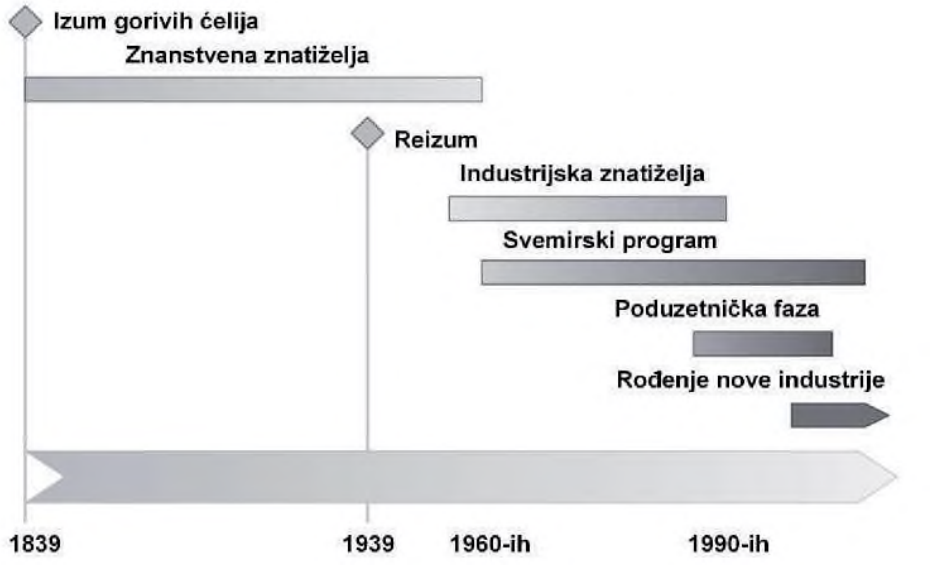
Gorivna ćelija po nekim je elementima vrlo slična bateriji. U osnovi se sastoji od elektrolita (membrane) smještenog između dvije elektrode, anode i katode, a istosmjernu električnu energiju generira putem elektrokemijskih reakcija. Ovisno o vrsti elektrolita koju koriste, gorivne ćelije mogu se podijeliti u nekoliko grupa:

- Alkalne gorivne ćelije (engl. *Alkaline Fuel Cells* - AFC) koriste koncentrirani kalijev hidroksid (KOH) kao elektrolit za više radne temperature (250 °C), te manje koncentrirani KOH za niže radne temperature (< 120 °C). Korištene su u svemirskom programu Apollo i Space Shuttle od šezdesetih godina prošlog stoljeća.
- Gorivne ćelije s polimernom elektrolitskom membranom (engl. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells* ili *Proton Exchange Membrane Fuel Cells* - PEMFC) koriste tanku polimersku membranu kao elektrolit, koja ima svojstvo vođenja protona. Njihova radna temperatura kreće se od 60 do 120 °C.
- Gorivne ćelije s čvrstim oksidom (engl. *Solid Oxide Fuel Cells* - SOFC) koriste čvrsti, nepropusni metalni oksid kao elektrolit. Rade na temperaturama od 800 do 1000 °C.
- Gorivne ćelije s rastaljenim karbonatom (engl. *Molten Carbonate Fuel Cells* - MCFC) koriste kombinaciju alkalnih karbonata kao elektrolit. Radne temperature se im kreću između 600 i 700 °C.
- Gorivne ćelije s fosfornom kiselinom (engl. *Phosphoric Acid Fuel Cells* - PAFC) koriste koncentriranu fosfornu kiselinu kao elektrolit. Radna temperatura im je tipično između 150 i 220 °C.

Za razliku od baterije, gorivna ćelija zahtijeva stalnu opskrbu gorivom i oksidansom. Baterije generiraju električnu energiju elektrokemijskim reakcijama uz pomoć materijala koji su već u baterijama. Zbog toga, nakon što se potroše svi materijali potrebni za reakcije, baterija je ispražnjena. Gorivna ćelija ne može se isprazniti sve dok su prisutni reaktanti, gorivo i oksidans. Tipični reaktanti za gorivne ćelije su vodik i kisik. Međutim, ne moraju biti u svom čistom obliku. Baterije i gorivne ćelije razlikuju se i po tome što gorivna ćelija svojim radom stvara toplinu i vodu te je zbog toga potreban sustav za upravljanje [29].

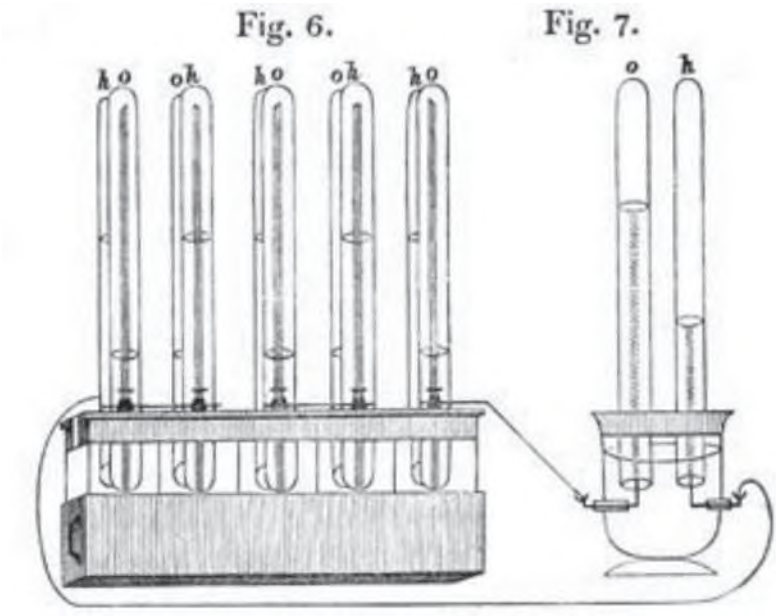
Gorivne ćelije poznate su u znanosti već više od 150 godina. Početni modeli gorivnih ćelija istraženi su 1800. godine, a za prvi izum gorivne ćelije 1839. godine zaslužan je William Grove. Tijekom devetnaestog stoljeća razmatrane su različite teorije rada gorivnih ćelija, a ti su koncepti tijekom dvadesetog stoljeća proučavani zbog njihove praktične upotrebe. Temeljito istraživanje gorivnih ćelija 1960-ih godina započela je NASA (engl. *National Aeronautics and Space Administration*), a od tada je mnogo toga napravljeno. Tijekom posljednjeg desetljeća, gorivne ćelije bile su opsežno istražene i sve se više komercijaliziraju. Na slici 17. prikazan je grafički sažetak

povijesti razvoja gorivnih ćelija[30].



Slika 17. Vremenska crta povijesti razvoja gorivnih ćelija [29]

Godine 1839., William Robert Grove, proslavio se razvojem poboljšane baterije s mokrim ćelijama. Tzv. *Groveova ćelija*, slika 12., koristila je platinastu elektrodu uronjenu u dušičnu kiselinu i cinkovu elektrodu uronjenu u cinkov sulfat kako bi generirala oko 12 A struje na oko 1,8 V. Grove je otkrio da će postavljanjem dviju platinastih elektroda s jednim krajem svake uronjenim u otopinu sumporne kiseline, a drugim krajem svake zasebno zapečaćenim u spremnicima s kisikom i vodikom, između elektroda teći konstantna struja. Zapečaćeni spremnici sadržavali su vodu i plinove, a primijećeno je da je protokom struje razina vode u obje cijevi porasla. 1800. godine, britanski znanstvenici, William Nicholson i Anthony Carlisle, opisali su postupak razdvajanja vode na vodik i kisik, korištenjem električne energije. Vidjevši njihove bilješke Grove je pomislio kako bi mogao *prekomponirati* vodu kombiniranjem elektroda u serijski krug. Svoju zamisao ubrzo je ostvario uređajem kojeg je nazvao *plinska baterija* - prva gorivna ćelija. Budući da je ugljen tada bio glavni izvor goriva, a ugljeni plin se ponekad nazivao i gorivim plinom, Groveovu plinsku bateriju nazvali su *gorivom baterijom* a zatim i *gorivom ćelijom*.



Slika 18. Crtež eksperimentalne plinske baterije Williama Grovea [29]

Usprkos povremenim pokušajima izrade praktičnog uređaja, gorivna ćelija ostala je samo znanstvena znatiželja gotovo cijelo stoljeće. U tom je razdoblju velik dio teorijskog razumijevanja o načinu rada gorivih ćelija pružio Friedrich Wilhelm Ostwald, jedan od utemeljitelja fizikalne kemije. Godine 1893., Ostwald je eksperimentalno utvrdio međusobno povezane uloge različitih komponenata gorivne ćelije kao što su; elektroda, elektrolit, oksidirajuća i redukcijska sredstva, anioni i kationi. Shvatio je da su gorivne ćelije, koje izravno generiraju električnu energiju, vrlo učinkovite, tihe i ne onečišćuju atmosferu za razliku od npr. motora s unutarnjim izgaranjem. Njegovo istraživanje temeljne kemije gorivnih ćelija postavilo je temelje za kasnija istraživanja [31]. Predvidio je tehničku revoluciju, iako je bio svjestan da će za praktičnu realizaciju takvog revolucionarnog prijelaza biti potrebno dugo vremena.

Doista, za izradu praktičnih uređaja trebalo je više od 100 godina od Groeovog izuma gorivne ćelije. Godine 1932., engleski inženjer, Francis Thomas Bacon, započeo je s radom na praktičnim gorivnim ćelijama, a 1952. godine dovršio je izgradnju i provjeru rada niza spojenih gorivnih ćelija čija je ukupna snaga bila 5 kW. Međutim, gorivne ćelije imale su prvu praktičnu primjenu u američkom svemirskom programu. Početkom 1960-ih, u svemirskom programu Gemini korištene su prve gorivne ćelije s polimernom membranom koje je razvila tvrtka *General Electric* (GE) na temelju djela Thomasa Grubba i Leonarda Neidracha. Nakon toga uslijedio je svemirski pro-

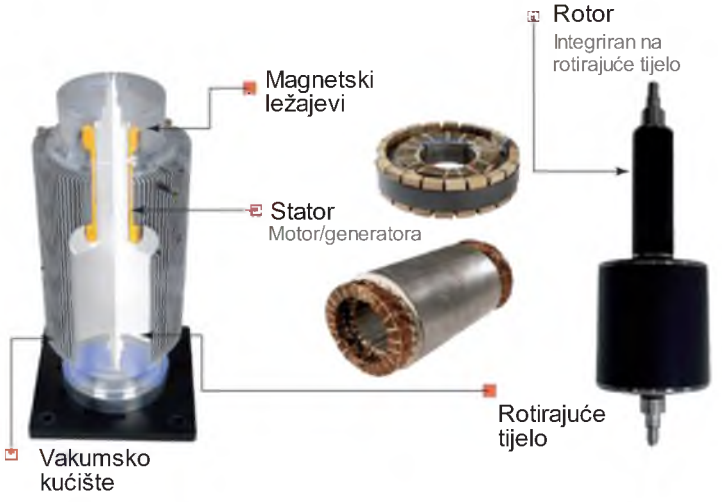
gram Apollo koji je alkalne gorivne ćelije koristio za generiranje električne energije za sustav održavanja na životu, usmjeravanje i komunikaciju. Takve gorivne ćelije izgradila je tvrtka *Pratt & Whitney* na temelju Baconovih patenata, slika 19. Sredinom šezdesetih godina dvadesetog stoljeća, tvrtka *General Motors* (GM) eksperimentirala je s automobilom (kombi) s pogonom na gorivne ćelije koje je razvila tvrtka *Union Carbide*. Iako se gorivne ćelije i dan danas uspješno koriste u američkom svemirskom programu, za svakidašnju (zemaljsku) primjenu bile su ponovno zaboravljene sve do ranih devedesetih. 1989. godine, *Perry Energy Systems*, odjel tvrtke *Perry Technologies*, surađujući s tada novonastalom kanadskom tvrtkom *Ballard*, uspješno je demonstrirao podmornicu na PEM gorivne ćelije. Godine 1993. tvrtka *Ballard Power Systems* demonstrirala je autobuse na gorivne ćelije, a tvrtka *Energy Partners*, nasljednica *Perry Energy Systems*a, prvi putnički automobil koji radi na PEM gorivnim ćelijama. Do kraja stoljeća gotovo su svi američki proizvođači automobila, uz podršku američkog ministarstva energetike, izgradili i demonstrirali vozila na gorivne ćelije.



Slika 19. Tehničari tvrtke *Pratt & Whitney* sastavljaju alkalne gorivne ćelije za Apollo servisne module [31]

5. Pregled razvoja tehnologije zamašnjaka

Zamašnjak je mehanički sustav za pohranu energije koji se sastoji od rotirajućeg tijela, ležajeva, električnog motora/generatora i elektroničkog učinskog pretvarača, slika 20. Električna energija se pohranjuje ubrzavanjem zamašnjaka u obliku kinetičke energije. Razgradnja energije pohranjene u zamašnjaku odvija se preko električnog motora koji u ovom slučaju radi kao generator čiji je pogonski stroj rotirajuće tijelo te dolazi do smanjenja brzine vrtnje zamašnjaka kao posljedica zakona o očuvanju energije. Rotirajuće tijelo (cilindar) zamašnjaka postavljen je unutar vakuumskog kućišta kako bi se spriječili gubitci zbog otpora zraka. Slika 20. Zamašnjak i njegovi osnovni dijelovi [32]



Slika 20. Zamašnjak i njegovi osnovni dijelovi [32]

Tehnologija zamašnjaka veže se uz najranije civilizacije u Kini i Mezopotamiji nekoliko tisuća godina prije nove ere gdje se preteča zamašnjaka koristila kao vreteno u proizvodnji tkanine te za lončarstvo [33]. Prema nekim izvorima zamašnjak je stariji i od izuma kotača što ga čini jednim od najstarijih mehaničkih uređaja u povijesti čovječanstva [33]. Zamašnjaci su čestu upotrebu imali u srednjem vijeku jer su mlinovi i vjetrenjače koristili inerciju zamašnjaka kako bi nadoknadili nestalnu pogonsku silu i trajne promjene stanja opterećenja (prvo upravljanje opterećenjem). Međutim, pojam zamašnjak koji se veže uz današnju primjenu (engl. *flywheel*) u upotrebu je ušao s prvom industrijskom revolucijom i pojavom parnih strojeva. Tada se zamašnjak koristio kako bi se ublažio nemirni rad stroja. Prvi zamašnjak sa svrhom pohrane energije razvio je John A. Howell 1883. godine za vojne primjene [33]. Howell je koristio zamašnjak za pohranu energije i pogon propelera torpeda. Korištenjem zamašnjaka

postignuto je pravocrtno gibanje torpeda zahvaljujući tzv. efektu žiroskopa. Zamašnjak je bio načinjen od čelika, težio je 60 kg i imao promjer 45 cm, a mogao je prevesti torpedo kroz vodu na udaljenosti 1,5 km brzinom 55 km/h. Rani primjer primjene zamašnjaka u vozilima je električni autobus *Gyrobus* proizveden u Švicarskoj pedesetih godina prošlog stoljeća [33,34], slika 21. *Gyrobus* je proizvela tvrtka Oerlikon te je zamišljen kao ekološki prihvatljiva alternativa za trolejbus. *Gyrobus* nije koristio električne vodove već je za pogon na dionici od 6 km između dvije stanice koristio isključivo zamašnjak koji se na svakoj stanici "punio". *Gyrobus* je za pogon koristio zamašnjak od 1500 kg, a upotrebi je bio u nekoliko gradova u Europi i u Africi.



Slika 21. *Gyrobus* koji je za pogon između dvije stanice koristio energiju pohranjenu u zamašnjaku [34]

Značajniji razvoj zamašnjak je doživio sedamdesetih godina prošlog stoljeća kada je u SAD-u vladala naftna kriza koja je potaknula interes za zamašnjak te je

predložena njegova primjena u električnim vozilima te u sustavima stacionarnog pričuvnog napajanja. Razvoj zamašnjaka pratio je razvoj tehnologije te je krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća, s pojavom magnetskih ležajeva relativno niske brzine te pojavom motor-generatora, tehnologija zamašnjaka doživjela novi napredak. Razvoj zamašnjaka nastavio se i u devedesetim godinama prošlog stoljeća, potaknut sve većim ulaganjima u istraživanje električnih i hibridnih vozila. Laboratorij Lawrance Livermore 1996. godine predstavio je zamašnjak pod nazivom *elektromehanička baterija* s ciljem rješavanja problema skladištenja električne energije u različitim primjenama, od kućanstva do industrije i električnih vozila [35]. Međutim, iako je tijekom dvadesetog stoljeća na području tehnologije zamašnjaka došlo do značajnih napredaka, zamašnjak nije doživio širu komercijalnu primjenu.

Posljednjih godina zamašnjaci se ponovno sve više istražuju zahvaljujući značajnim naprecima na području znanosti o materijalima, učinske elektronike, magnetskih ležajeva te električnih strojeva velikih brzina.

Osnovni tipovi zamašnjaka su:

a) nisko-brzinski zamašnjaci (engl. *low speed)* - rade na brzinama manjim od 6000 okr/min te se koriste za primjene srednjih do većih snaga [35]

b) visoko-brzinski zamašnjaci (engl. *high speed*) - izrađeni od posebnih kompozitnih materijala (karbonska vlakna) zbog kojih postižu brzine od ~ 10^5 okr/min [35]. Koriste beskontaktne magnetske ležajeve čime se sprječava trošenje ležajeva i povećava učinkovitost.

Životni vijek zamašnjak iznosi oko 20 godina što je značajno dulje u usporedbi s ostalim vrstama spremnika energije. Zamašnjak pripada skupini ekološki prihvatljivih vrsta spremnika energije jer materijali koji se koristi za izradu zamašnjaka nisu štetni za okoliš. Zamašnjake karakterizira visoka učinkovitost (~ 95% na nazivnoj snazi), zanemarivo samopražnjenje te lagano održavanje [36]. Zamašnjaci se danas najčešće koriste unutar sustava za neprekinuto napajanje (engl. *Uninterruptible Power Supply* - UPS) koji imaju dvojaku ulogu: poboljšanje kvalitete električne energije te kao izvor napajanja u slučaju prekida i smetnji u napajanju napojnom mrežom [36]. Druga primjena zamašnjaka u sustavu napajanja električnom energijom je regulacija frekvencije mreže u slučaju naglih promjena između proizvodnje i potrošnje [35].

Zaključak

U ovom radu dan je pregled razvoja električnih spremnika energije, posebice pregled razvoja baterija, superkondenzatora, zamašnjaka i gorivnih ćelija. Tijekom povijesti, razvoj spremnika električne energije pratio je razvoj industrije. U početku su se spremnici energije koristili isključivo u sklopu znanstvenih istraživanja, a s vremenom su postali komercijalno dostupni što je dovelo do njihove sve šire primjene. Današnji svakodnevni život je praktički nezamisliv bez spremnika energije od jednostavnih primjena u pametnim telefonima i malim električnim uređajima, sve do velikih sustava za proizvodnju i prijenos električne energije. Izbor odgovarajućeg spremnika električne energije za određenu primjenu ovisi o različitim svojstvima spremnika kao što su: gustoća električne energije, gustoća snage, trajanje životnog ciklusa, napon, kapacitet, radna temperatura, pouzdanost, učinkovitost, sigurnost, cijena (troškovi) te ekološka prihvatljivost. Iako postoje različiti komercijalno dostupni spremnici električne energije, niti jedan sustav za pohranu ne udovoljava svim zahtjevima za idealan spremnik električne energije. Odabir spremnika za određenu primjenu najčešće je kompromis zadovoljavanja nekoliko kriterija, od kojih su neki i komplementarni.

Promjene u elektroenergetskom sustavu budućnosti su neizbježne, fosilna goriva zamijenit će obnovljivi izvori energije, a konvencionalne automobile zamijenit će električni. Kako bi se u budućnosti postigla uspješna integracija obnovljivih izvora u elektroenergetski sustav nužan je dodatan razvoj spremnika i poboljšanje njihovih svojstava. S druge strane, ključan faktor za širu primjenu i razvoj električnih vozila u budućnosti bit će upravo spremnici energije. Neminovno je da će postojeće tehnologije spremnika energije u budućnosti morati doživjeti važne napretke kako bi omogućile širu primjenu obnovljivih izvora te razvoj električnih automobila.

Literatura

[1] K. Draženović, V. Šunde, A. Radovan, Ž. Ban, „Optimiranje hibridnog sustava za pohranu energije," 14. Savjetovanje HRO CIGRE, Šibenik, Hrvatska, Studeni 2019.

[2] Reid, D.. "Advanced fibre based energy storage." (2017).

[3] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, "Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation," *Appl. Energy*, vol. 137,pp.511-536, 2015.

[4] D. Linden and T. B. Reddy,Linden's Handbook of Batteries. McGraw-Hill Professional, 2002.

[5] ABB, The Main Characteristics of UPS Battery Systems - ABB UPSBattery Handbook. ABB, 2017.

[6] M. Canova and M. D'Arpino, "Electrochemical energy storage systemsfor stationary and dynamic applications," University Lecture, 2019.

[7] R. Zhang, B. Xia, B. Li, L. Cao, Y. Lai, W. Zheng, H. Wang, andW. Wang, "State of the art of lithium-ion battery soc estimation forelectrical vehicles,"Energies, 2018.

[8] Marshall Brain, Charles W. Bryant & Clint Pumphrey "How Batteries Work" 1 April 2000.

[9] A. Code. (2013). The Baghdad Battery, <http://www.ancient-code.com/the-baghdad-battery/>, Pristupljeno: Listopad 2020

[10] Franklin, Benjamin (April 29, 1749). "Letter to Peter Collinson". Franklin Papers.

[11] M. Krepelkova, Evolution of batteries; From experiments to everyday usage, Prague may 23, poster 2017.

[12] D. A. Wells, The Science of Common Things: A Familiar Explanation of the First Principles of Physical Science. For Schools, Families, and Young Students. Illustrated with Numerous Engravings. Ivison, Blakeman, Taylor & Company, 1859, p. 290.

[13] Universal Home Experts, The story of Volta and the First Battery, February 18,2015, universalhomeexperts.com

[14] Alessandro Volta's 270th Birthday, Google, <https://www.google.com/doodles/alessandro-voltas-270th-birthday>, Pristupljeno: Studeni 2020.

[15] M. S. Whittingham, "History, Evolution, and Future Status of Energy Storage," in Proceedings of the IEEE, vol. 100, no. Special Centennial Issue, pp. 1518-1534, 13 May 2012

[16] R. Dell, D.A.J. Rand : Understanding Batteries, Royal Society of Chemistry, 2001ISBN 0-85404605-4.

[17] Benson John Lossing, ed. *The New Popular Educator* (London, England: Cassell & Company Limited, 1891), <https://etc.usf.edu/clipart/61100/61123/61123_leclanche.htm>, Pristupljeno: Studeni 2020.

[18] „*EVTronic recharges electric vehicles faster*", ENGiE, (May 3, 2018), <https://innovation.engie.com/en/news/news/other-innovations/evtronic-recharges-electric- vehicles-faster/9513>, Pristupljeno: Studeni 2020.

[19] Olof Ramstrom, „Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 20019: Lithium-Ion Batteries", The Royal Swedish Academy of Sciences, 9 October 2019

[20] M. S. Whittingham, „Electrical Energy Storage and Intercalation Chemistry“, in Science, vol. 192, Issue 4244, pp.1126-1127, 11 June 1976

[21] “The Nobel Prize in Chemistry 2019”. NobelPrize.org. Pristupljeno: Listopad 2020.

[22] Helmholtz, Hermann Ludwig Ferdinand von. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. Pristupljeno Studeni 2020. >http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=24882>

[23] L. Pearce Williams, “Hermann von Helmholtz | German scientist and philosopher”, Encyclopedia Britannica, 2020. Pristupljeno: Listopad 2020. <https://www.britannica.com/biography/Hermann-von-Helmholtz>

[24] Double Layer (Surface Science), Wikipedia, Pristupljeno: Studeni 2020., <https://en.wikipedia.org/wiki/Double_layer_(surface_science)>

[25] A. K. Samantara and S. Ratha, Materials Development for Active/Passive Components of a Supercapacitor, SpringerBriefs in Materials, 2018

[26] N. Kularatna, J. Fernando, „Electrical double-layer capacitors: fundamentals, characteristics, and equivalent circuits“ u Energy Storage Devices for Electronic Systems, 2014, pp 149 - 186.

[27] Ljubek, Gabrijela i Marijana Kraljić Roković. “Aktivni materijali koji se upotrebljavaju u superkondenzatorima.” Kemija u industriji, vol. 68, br. 9-10 (special issue), 2019, str. 507-520. <https://doi.org/10.15255/KUI.2019.045>.

[28] Generalić, Eni. “Faradejska reakcija.” Englesko-hrvatski kemijski rječnik & glosar. 20 Oct. 2018. KTF-Split. Pristupljeno: Listopad 2020. <https://glossary.periodni.com>.

[29] F. Barbir,„PEM Fuel Cells: Theory and Practice“, Elsevier Academic Press, 2005

[30] Dr. Colleen Spiegel , „ Designing and Building Fuel Cells“, McGraw-Hill, 2007

[31] Collecting the History of Fuel Cells, <http://americanhistory.si.edu/fuelcells/index.htm>, Smithsonian Institution, Pristupljeno 28.10.2020

[32] “VDC Products | VYCON”, Vyconenergy.com, 2020., Pristupljeno: Listopad 2020. <https://vyconenergy.com/products/ups/vdc-products/>

[33] Babuska, V.; Beatty, S.; DeBlonk, B.; Fausz, J. A review of technology developments in flywheel attitudecontrol and energy transmission systems. In Proceedings of the 2004 IEEE Aerospace Conference, Big Sky,MT, USA, 6-13 March 2004; Volume 4, pp. 2784-2800.

[34] „Gyrobus,“ , https://en.wikipedia.org/wiki/Gyrobus, Pristupljeno: Listopad 2020.

[35] X. Luo, J. Wang, M. Dooner, and J. Clarke, “Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation,” Appl. Energy, vol. 137, pp. 511-536, 2015.

[36] WhitePaper, “Electrical Energy Storage. White paper. The International Electrotechnical Commission,” (IEC), Geneva, Switz., 2011

Karla Draženović, Željko Ban, Nicole Pilat, Viktor Šunde

Development of electricity storage systems

Abstract: The development of portable electrical devices, renewable energy sources, and electric vehicles has increased the demand for electricity storage systems and encouraged their further development. There are several different types of electricity storage systems, which, depending on the method of energy storage, are divided into: electrochemical, electrical, chemical, and mechanical energy storage systems. This paper describes the development of electricity storage systems from the very beginnings of a particular technology to today's advanced solutions and compares different types of energy storage systems in accordance with their most important properties. Each type of electricity storage system contains a large number of different representatives, and therefore this paper describes only the most important ones, namely batteries, supercapacitors, hydrogen fuel cells, and flywheels.

Keywords: development od electricity storage systems; batteries; supercapacitors; flywheels; fuel cells

Očuvanje hrvatske tehničke baštine

Boris Halasz

Računska pomagala kroz povijest

Sažetak: U članku su obrađena računska pomagala za izvođenje pojedinačnih računskih operacija s punim sudjelovanjem čovjeka operatera u svakom koraku postupka računanja. Od najstarijih pomagala, preko abaka, logaritamskih tablica i logaritamskih računala, mehaničkih računskih strojeva pa do elektroničkih kalkulatora, opisan je njihov razvoj kao rezultat razvoja matematike (potrebe) i tehnologije (mogućnosti). Pregled završava programibilnim elektroničkim kalkulatorima, dakle, ne obuhvaća analogne (električne, pneumatske, mehaničke) ni digitalne kompjutere.

Ključne riječi: računsko pomagalo, abak, logaritamske tablice, logaritamsko računalo, mehanički računski stroj, elektronički kalkulator

Uvod

Računanje je nedvojbeno jedan od najvećih dosega ljudskog uma. Teško je reći kad se u povijesti prvi put pojavilo nešto što bismo mogli nazvati računanjem i što zapravo proglasiti početkom računanja. Začeci računanja obavijeni su maglom daleke povijesti, skriveni nepostojanjem materijalnih artefakata te vrste i nepostojanjem ikakvih pisanih tragova. Pukim nagađanjem može se pretpostaviti da su prve računske operacije bile zbrajanje i oduzimanje, a da su prva pomagala za to bili nekakvi kamenčići, prutići i slično. Stoljeća, pa i tisućljeća, bila su potrebna da bi se računska pomagala razvijala onako kako se razvijala potreba za sve složenijim računanjem, ali i tehnologija koja bi omogućila izradu adekvatnih pomagala.

Novije doba razvoja matematike, a time i računanja, nastupilo je nakon srednjeg vijeka u Europi. To je vjerojatno povezano sa širenjem arapskog svijeta na zapad sve do Španjolske. Napredna matematika koju su oni donijeli imala je nulu i prikaz brojeva s mjesnom vrijednošću.

Razvoj matematike koji je nastupio dobro je došao za tri grane djelatnosti koje su se baš tad počele sve intenzivnije razvijati − navigaciju za plovidbu svjetskim morima, astronomiju te geodeziju (zemljomjerstvo) – za koje je opsežno i precizno računanje od odlučujućeg značenja.

Sedamnaesto stoljeće svjedočilo je naglom razvoju računskih pomagala baziranih na otkriću logaritama i na izumu logaritamskog računala te početku razvoja mehaničkih računskih strojeva.

Drugi je veliki skok procvat proizvodnje mehaničkih računskih strojeva u drugoj polovini XIX. stoljeća, uvjetovan potrebama i mogućnostima industrijske revolucije, koji se protegnuo i u drugu polovinu XX. stoljeća. Tad je nastupio i treći veliki skok – nagli razvoj elektroničkih kalkulatora i digitalnih kompjutera.

1. Definicija računanja

Pod nazivom "računanje" podrazumijevaju se sljedeći matematički postupci:

1. računske aritmetičke operacije (zbrajanje, oduzimanje, množenje i dijeljenje)
2. računanje vrijednosti matematičkih funkcija (kvadriranje, kubiranje, vađenje drugog i trećeg korijena, izračunavanje trigonometrijskih, eksponencijalnih, logaritamskih i drugih funkcija).

Pritom treba imati na umu sljedeće: osim rijetkih iznimaka (neke računske operacije s nekim brojevima koje rezultiraju cijelim brojevima ili razlomcima pa su "egzaktne"), velika većina računanja služi se realnim brojevima predstavljenim decimalnim brojevima s ograničenim brojem znamenki, dakle približnim brojevima! Dakle, većina naših računanja, čak i danas s pomoću najmodernijih pomagala, tek je približna!

Podjela računskih pomagala prema načinu prikaza brojeva

Prema načinu prikaza brojeva računska pomagala mogu biti:

– **analogna**, kod kojih je iznos broja predstavljen magnitudom neke "kontinuirane" veličine (najčešće duljine, ali može biti i napona, struje, kuta zakreta i slično) i
– **digitalna**, kod kojih je broj predstavljen znamenkama s mjesnom vrijednošću.

Analogna računska pomagala

Najvažnije je računsko pomagalo analognog tipa klasično (opće) logaritamsko računalo (engl. *slide rule*, njem. *Rechenschieber*, iz čega je u Hrvatskoj nastao popularan naziv "šiber") kod kojeg je broj predstavljen duljinom na

skali, a slična su bila i brojna ‘analogna računala’ specijalizirana za pojedine uske primjene. Iako dosta jednostavna za uporabu, takva su računala imala veliku manu u ograničenoj preciznosti očitanja ‘broja’, koja je ovisila o iznosu mjerene veličine i razlučivosti “mjernog uređaja” (oka za duljinu, voltmetra za napon, ampermetra za struju i slično). Primjerice, tipično je logaritamsko računalo duljine skale 25 cm i najboljem oku operatera (sposobnom razlučiti položaj crtice na desetinku milimetra) omogućavalo preciznost očitavanja četvrte znamenke na lijevom kraju skale (brojevi od 1 do 2) ili treće znamenke na desnom kraju skale (brojevi od 8 do 10), što je u oba slučaja značilo preciznost unosa ili očitanja broja od oko ± 0,1 %. To je bilo dovoljno za većinu tehničkih računa jer ni ulazni podaci često nisu preciznije poznati. No, za osjetljivije račune (zemljomjerstvo / geodezija, astronomija, navigacija), korišteni su podaci iz logaritamskih tablica (logaritmi brojeva i trigonometrijske funkcije) koji su bili precizni na obično pet, sedam ili devet znamenki), a za izvođenje aritmetičkih operacija služili su mehanički (digitalni) računski strojevi s većim brojem znamenki ili računanje “pješice” na papiru pa čak i abak.

Analognog su tipa bile i različite geometrijske konstrukcije koje su služile za npr. množenje ili dijeljenje po pravilu sličnosti trokuta i dr. I kod njih je točnost bila ograničena preciznošću crtanja pojedinih dužina ili kutova.

Digitalna računska pomagala

Većina ostalih računskih pomagala bila je digitalnog tipa (abak, računanje pisanjem na papiru, različite tablice, svi mehanički računski strojevi, zbrajalice tipa “Troncet”, elektronički kalkulatori) i kod njih se mogla postići bilo koja željena preciznost računanja uporabom pomagala s potrebnim brojem znamenki (mjesnih vrijednosti). Iako gornje granice broja znamenki nema, iz praktičnih razloga (složenost konstrukcije, veličina uređaja i cijena, ali i realno potreban broj znamenki pri unosu ili znamenki rezultata), broj znamenki ustalio se na 12 do čak 16 za računovodstvene potrebe ili na 8 do 13 za znanstvene i ostale potrebe.

Važno je uočiti da su, sve do pojave elektroničkih kalkulatora, sva digitalna računska pomagala obavljala samo aritmetičke operacije! Neka od njih mogla su samo zbrajati i oduzimati, neka i množiti i dijeliti (ili samo množiti), a uz posebne kompliciranе operaterove zahvate neka su mogla čak i vaditi drugi i treći korijen, ali sve do kraja razvoja mehaničkih računskih strojeva ni jedan od njih nije imao mogućnost izračunavanja transcendentnih funkcija! Jedina dva mehanička stroja koja su trebala moći izračunavati i transcendentne funkcije bili su Difference engine (oko 1822.) i Analytical engine (oko 1835.) Engleza Charlesa Babbagea, ali oni su bili toliko kompliciranі da nisu s tadašnjom tehnologijom mogli biti dovršeni. Kao kuriozitet, londonski Muzej znanosti (Science

Museum) konstruirao je funkcionalni Diferencijalni stroj 2 između 1989. i 1991. godine u čast 200. godišnjice Babbageova rođenja. Napravljen točno prema Babbageovim crtežima, bio je sastavljen od 25 tisuća dijelova, težio je 13,6 tona i bio 2,4 m visok.

Dakle, prije ere elektroničkih kalkulatora potrebne funkcije (izračunavanje trigonometrijskih, eksponencijalnih, logaritamskih i drugih funkcija, a donekle i kvadriranje, kubiranje, vađenje drugog i trećeg korijena) nisu se po potrebi računale, nego su se iz tablica ili sa skala logaritamskog računala očitavale njihove vrijednosti koje je netko ranije mukotrpno izračunao (najčešće razvojem funkcije u red) i te rezultate objavio. I knjige (tablice) i logaritamska računala bili su razmjerno mali jer su samo prikazivali već izračunate rezultate.

Čemu služe računska pomagala?

Naoko suvišno pitanje ipak ima smisla – četiri su zadatka koja obavlja računsko pomagalo za aritmetičke operacije:

1. unos i, eventualno, pamćenje prvog unesenog broja
2. unos drugog broja za aritmetičku operaciju
3. obavljanje same računske (aritmetičke) operacije
4. prikaz i pamćenje dobivenog rezultata.

Redoslijed drugog i trećeg koraka kod nekih pomagala može biti i zamijenjen.

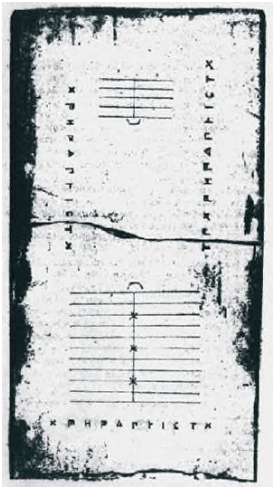
Za "izračunavanje" (očitavanje) neke od transcendentnih funkcija (jedne varijable) tri su koraka računskog pomagala:

1. unos i, eventualno, pamćenje prvog unesenog broja
2. obavljanje same operacije izračunavanja funkcije (ili očitanja izračunate funkcije)
3. prikaz i pamćenje dobivenog rezultata.

2. Računska pomagala kroz povijest

Počeci računanja sežu u daleku prošlost. Nema gotovo nikakvih tragova o samim počecima računanja pa je sve o tome izneseno u nastavku tek nagađanje. Vjerojatno su prve računske operacije bile zbrajanje i oduzimanje, a tek znatno kasnije množenje i dijeljenje.

O računskim pomagalima iz tog doba vrlo malo se zna, može se samo pretpostaviti da su bila jednostavna, možda skup kamenčića (lat. *calculus*, kamenčić) ili štapića, nekakav predmet na koji su urezivani zarezi i slično. Kasnije, ali još uvijek davno, pomagala su dotjerivana pa se navodno prije oko



Sl. 1.: Abak iz Salamine, dim. 150 cm × 75 cm × 4,5 cm



Sl. 2.: Sakupljač poreza računa na svojem abaku; prizor s Darijeve vaze (340. – 320. pr. Kr.), Arheološki muzej u Napulju



Sl. 3.: Köbel Böschenteyn, 1514.



Sl. 4.: Gregor Reisch, Margarita Philosophica, 1508.

5000 godina u Mezopotamiji pojavilo nešto nalik kasnijem abaku, dakle, pločica s urezima po kojoj su se pomicale kuglice.

Kao rezultat sve brojnijih arheoloških istraživanja danas se često pronalaze stari artefakti kojima se pripisuje uloga računskog pomagala i oko toga se ispredaju sve fantastičnije priče. Odvija se prava utrka tko će naći impresivnije pomagalo iz što dalje prošlosti. Godine 1846. na otoku Salamini pronađena je mramorna ploča datirana oko 300. pr. Krista, slika 1., koja je po svemu sudeći služila za računanje. Iz tog doba potječe i slika sakupljača poreza koji računa

na svojem pomagalu, slika 2., prizor s tzv. Darijeve vaze (340. – 320. pr. Kr.). I među knjigama iz XVI. stoljeća mogu se naći one koje opisuju onodobno računanje, slike 3. i 4. Očito je to bila tajnovita i komplicirana djelatnost, ali lukrativna, a osobe koje su se njom bavile mogle su od toga živjeti.

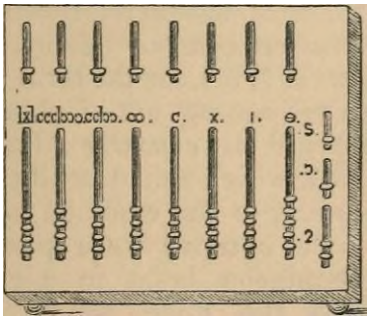
3. Abak

Abak u osnovi konstrukcije ima nizove kuglica (u početku smještenih unutar žlijeba, kasnije nanizanih na šipke ili žice), čijim se pomicanjem s jedne strane žlijeba / žice na drugu moglo obavljati zbrajanje ili oduzimanje. Dakle, abak je služio ponajprije za zbrajanje i oduzimanje brojeva. Znatno kasnije su Kinezi (kin. *suanpan*) i Japanci (jap. *soroban*) na njima mogli i množiti i dijeliti brojeve, a navodno obavljati i još neke računske operacije, poput vađenja drugog pa čak i trećeg korijena broja.

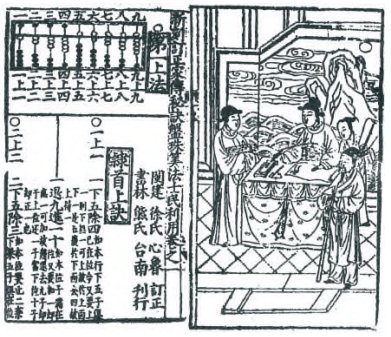
Zanimljiv je "rimski" abak, slika 5., naime, nizovi kuglica u utorima podsjećaju na kasnije abake kod kojih svaka žica predstavlja jednu mjesnu vrijednost broja, ali stari Rimljani nisu poznavali mjesnu vrijednost broja! (Sjetimo se samo rimskih brojeva!). To bi govorilo u prilog tezi da je rimski abak služio više za brojenje nego za računanje.

Predstavljanje broja znamenkama s mjesnom vrijednošću postalo je moguće tek nakon 'izuma' nule kao znamenke, a to se dogodilo znatno kasnije i u drugom dijelu svijeta. I danas se vode rasprave o tome gdje se to i kad dogodilo. U svakom slučaju, 'nula' je kao znamenka u Europu dospjela tek početkom XIII. stoljeća (1202.), kad ju je Fibonacci preuzeo iz arapske matematike.

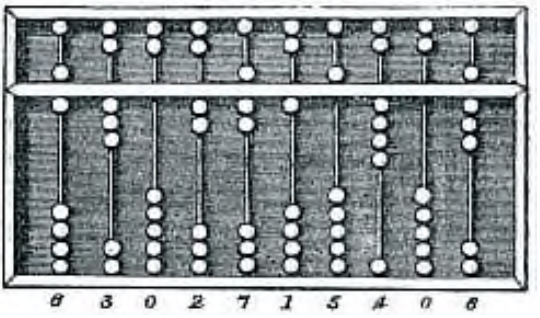
Kineski je *suanpan*, slike 6. i 7., izumljen znatno ranije, ali je tek u doba dinastije Ming (1368. − 1636.) poprimio oblik kuglica na žici i postao popularan.



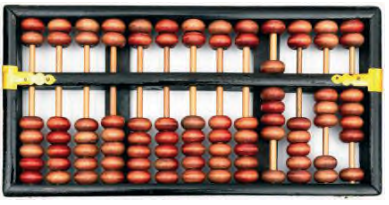
Sl. 5.: "Rimski" abakus, replika



Sl. 6.: *Suanpan* iz doba dinastije Ming, 1573.



Sl. 7.: Broj 6,302,715,408 predstavljen na *suanpanu*



Sl. 8.: Moderni kineski *suanpan*



Sl. 9.: Moderni japanski *soroban*

Uočljiva je (slična) koncepcija kineskog, slika 8., i japanskog, slika 9., abaka – oba imaju okomite šipke i postoje dva polja: donje ("zemlja") u kojem svaka kuglica vrijedi '1', i gornje ("nebo"), u kojem svaka kuglica vrijedi '5'. Dakle, japanski *soroban* s (4 × 1 + 1 × 5) kuglicom može na svakoj žici prikazati brojke od '0' do '9', dok kineski s (5 × 1 + 2 × 5) kuglice može na svakoj žici prikazati znamenke od '0' do '15', dakle, osim dekadskog brojevnog sustava on može prikazivati i brojeve u heksadecimalnom sustavu (baze 16).

Japanski *soroban* nastao je razvojem iz kineskog, koji je bio uvezen u Japan u XIV. stoljeću. U početku je izvorni *suanpan* bio popularan u Japanu zbog heksadecimalnog japanskog novčanog sustava, ali oko 1850. jedna je nebeska kuglica uklonjena, a oko 1890. uklonjena je i jedna zemaljska i tako je stvorena moderna inačica *sorobana*.

Može se reći da su pred kraj razvoja, tj. u XX. stoljeću, i kineski *suanpan* i japanski *soroban* postali dobra računska pomagala za sve četiri računske operacije, pa čak i za vađenje drugog i trećeg korijena. Za računanja u kojima nije bilo potrebe za izračunavanjem trigonometrijskih funkcija može se reći da su to bila čak i bolja pomagala od (na "zapadu" uobičajene) kombinacije logaritamskog računala ili logaritamskih tablica s mehaničkim računskim strojem ili olovkom i papirom! A ako su bile potrebne i trigonometrijske funkcije, nije bilo drugog rješenja osim tablica trigonometrijskih funkcija (obično su bile u sklopu logaritamskih tablica).



Sl. 10.: Ruski *ščot*

Ruski je abak (rus. *ščot*) drukčiji – njegove su žice položene horizontalno i kuglice se pomiču lijevo-desno. Žice su izbočene da se spriječi slučajno premještanje kuglice na krivu stranu. Obično ima 13 žica s po deset kuglica, osim četvrte žice (gdjekad i prve) koja ima samo četiri kuglice, slika 10. Dvije srednje kuglice na svakoj žici tamne su boje, a ostale su svjetlije. Znatno je novijeg datuma, uveden je oko 1660. godine, a navodno se zadržao u nekim krajevima Rusije sve do danas kao pomagalo za zbrajanje u prodavaonicama.

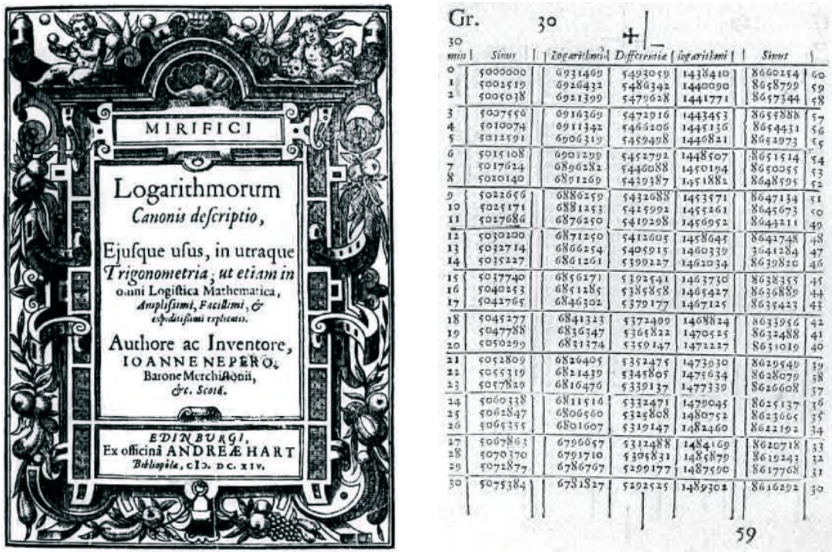
Osim abaka, za "više" računske operacije (množenje, dijeljenje, neka vrsta trigonometrije), potrebne za neke važne djelatnosti poput građevinarstva i navigacije, služile su tablice ili dijagrami na pločicama i slično. Tu su poznata dostignuća starih Grka u geometriji, ali i drugih starih naroda s područja Bliskog istoka.

4. Otkriće logaritama, logaritamske tablice

Iako se sve četiri osnovne računske operacije mogu i "pješice" provesti razmjerno brzo, ipak je množenje i dijeljenje tražilo više vremena, pogotovo ako je bila riječ o operacijama s višeznamenkastim brojevima. Zato je otkriće logaritama 1614. godine došlo kao brža alternativa za operacije množenja i dijeljenja.

Škot John Napier objavio je 1614. knjigu *Mirifici Logarithmorum Canonis descriptio* (*Opis čudesnog zakona logaritama*), slika 11., u kojoj je prvi opisao svojstva logaritama (prvi je logaritme otkrio Švicarac Joost Bürgi desetak godina prije, ali je to objavio tek 1620.).

Napier je otkrio tzv. prirodne logaritme i objavio prve tablice logaritama, čime je potaknuo i druge autore da prionu na mukotrpno računanje logaritama.
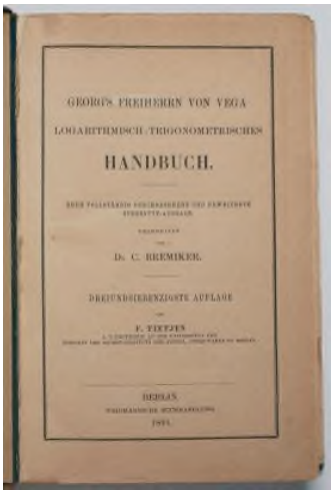


Sl. 11.: Naslovnica Napierove knjige *Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio* i jedna stranica iz njegovih tablica

Iako su prirodni logaritmi sastavni dijelovi mnogih važnih fizikalnih zakona, na prijedlog Henryja Briggsa, umjesto prirodnih, za računanje logaritama koji bi se upotrebljavali za množenje uzeti su dekadski logaritmi zbog dekadskog sustava kojim se i inače služimo. Time je bitno pojednostavnjena izrada i korištenje tablica. U tablicama je trebalo samo navesti mantisu logaritma (dio iza decimalnog zareza), a cjelobrojni dio bio je određen brojem cijelih mjesta broja ispred decimalnog zareza. Zato je bilo dovoljno, npr., navesti mantise logaritama brojeva od 1 do 10, a onda su logaritmi brojeva od 10 do 100 bili samo za "1" veći, logaritmi brojeva od 100 do 1000 bili još za "1" veći! Primjerice, $\log_{10}2$ @ 0,30103, $\log_{10}20$ @ 1,30103, a $\log_{10}200$ @ 2,30103 itd.!

Osim Napiera i Briggsa, tablice logaritama objavio je velik broj autora, među kojima se ističe Slovenac Jurij Vega, čije su tablice prvi put objavljene 1783. Još opširnije izdanje objavio je 1794., da bi u sljedećih gotovo dvjesto godina doživjele više od sto izdanja širom svijeta.

Logaritmi brojeva nalaze se u 'logaritamskim tablicama', a navedeni su obično na pet, sedam ili devet decimala.

Osnovna je značajka i prednost logaritamske funkcije ta da je logaritam umnoška dvaju brojeva jednak zbroju logaritama tih dvaju brojeva. Dakle, trebamo li pomnožiti dva broja, umjesto uobičajenog postupka množenja na papiru, možemo uzeti njihove logaritme i zbrojiti ih, a dobiveni je zbroj logaritam traženog umnoška. Analogno, logaritam kvocijenta dvaju brojeva jednak je razlici logaritama dividenda i divizora.





Sl. 12.: Primjeri logaritamskih tablica – lijevo: Vegine tablice iz 1891., desno: Schlömilchove tablice iz 1926.

Praktički, to znači da logaritme dvaju brojeva moramo očitati iz tablica, što nije sasvim jednostavno, pogotovo za višeznamenkaste brojeve – prvo treba naći list u tablicama na kojem se nalazi prvi zadani broj, gdjekad i interpolirati vrijednosti ako se ne može izravno očitati logaritam, potom to isto učiniti za drugi broj te zbrojiti ta dva logaritma. Onda treba u tablicama naći stranicu na kojoj se nalazi izračunati logaritam (zbroj) i obratnim putem pronaći kojem broju pripada taj logaritam. Iako načelno brži, postupak baš i nije bio velika ušteda vremena zbog listanja po tablicama i potrebnih interpolacija.

Nažalost, pravilo logaritama vrijedi samo za množenje i dijeljenje, tako da te tablice nisu bile korisne za zbrajanje ili oduzimanje brojeva. Samom svojom pojavom logaritmi su ponudili prednost za množenje i dijeljenje, ali poteškoće vezane uz njihovu uporabu (mukotrpno očitavanje logaritama iz tablica) to su otežale.

Nešto treba spomenuti: brojevi u svim tim tablicama bili su navedeni na danas uobičajen način sa znamenkama koje imaju mjesnu vrijednost pa su po tome one bile digitalna pomagala!

5. Logaritamsko računalo, *Rechenschieber*, šiber

Napierovo otkriće logaritama imalo je dalekosežne učinke na povijest računanja. Naime, na temelju svojstva logaritama da zbrajanje logaritama dvaju brojeva odgovara množenju samih brojeva, Edmund Gunter došao je 1620. na

ideju da logaritme brojeva nanese na ravnalo kao dužine i da, zahvaćajući šestarom razmake koji odgovaraju logaritmima dvaju brojeva i nastavljajući šestarom te razmake jedan na drugi, na ravnalu očita zbroj tih logaritama, a to znači očita i umnožak tih dvaju brojeva.

Ubrzo je, 1622., tu ideju usavršio William Oughtred, nadovezujući dva jednaka ravnala jedno uz drugo (umjesto šestarom dvaju razmaka na jednom ravnalu). Tako je stvoreno logaritamsko računalo koje je ostalo u uporabi dulje od tristo godina, sve negdje do 1975.

Logaritamsko je računalo tijekom tih godina doživjelo niz poboljšanja i dotjerivanja, ali osnovna ideja ostala je nepromijenjena — osnovni dio bili su "tijelo" ili "štap" računala (na kojem se nalazila jedna logaritamska skala) i pomični dio ("jezik"), na kojem se nalazila druga logaritamska skala. Uzdužnim pomicanjem jezika u odnosu na štap skale su se nastavljale u smislu zbrajanja ili oduzimanja dužina i tako su se obavljale operacije množenja ili dijeljenja.

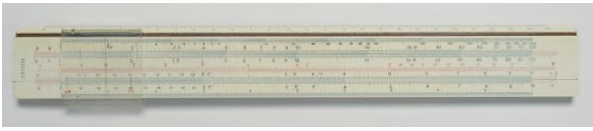
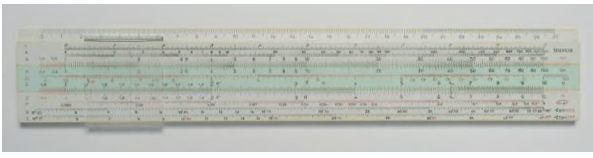
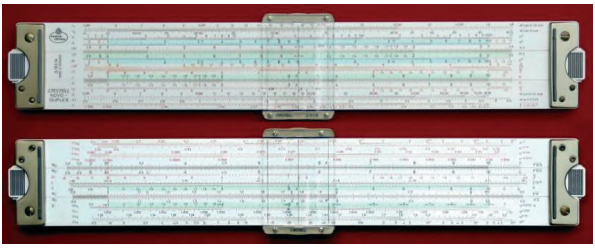
Osim toga, i na štapu, a obično i na jeziku, nalazile su se dodatne skale poravnane s logaritamskim skalama, koje su odgovarale različitim matematičkim funkcijama. Svakoj vrijednosti na logaritamskoj skali trajno je bila pridružena vrijednost njezine funkcije na nekoj skali. Postavljanjem kazaljke klizača na zadanu vrijednost argumenta na logaritamskoj skali odmah se mogla uočiti i očitati njoj pridružena vrijednost te funkcije. Ne samo to: ako se postavi kazaljka na vrijednost funkcije na skali funkcije, može se na logaritamskoj skali očitati pripadajuća vrijednost argumenta. Dakle, svaka funkcija na logaritamskom računalu imala je odmah i svoju inverznu funkciju!

U početku je logaritamsko računalo imalo svega dvije ili nekoliko skala, ali iskustvo je pokazalo da bi trebalo nekako standardizirati koje bi skale za koju struku bile potrebne. Kao prvo takvo standardizirano računalo spominje se sustav Mannheim iz 1859., slika 13., prema prijedlogu Francuza Amédéea Mannheima, koje je imalo samo jedan par osnovnih i jedan par kvadratnih skala. Duplex računalo sa skalama na objema stranama štapa i jezika predložio je William Cox godine 1891., slika 16., ali ono je pravu popularnost steklo tek znatno kasnije, oko sredine XX. stoljeća u sklopu nastojanja da se u jedno računalo uklopi što više skala. Još dva sustava bila su iznimno popularna među inženjerima: sustav Rietz koji je 1902. predložio njemački inženjer Max Rietz, slika 14., i sustav Darmstadt, slika 15., koji je 1934. godine predložio Alwin Walther, profesor na Tehničkoj visokoj školi u Darmstadtu.

Brzina rada s pomoću logaritamskog računala višestruko je veća nego s logaritamskim tablicama jer je (sporo) traženje logaritama brojeva u tablicama zamijenjeno (brzim) namještanjem kazaljke klizača, a (sporo) zbrajanje logaritama (brzim) pomicanjem jezika.

No, treba uočiti da je, zamjenom 'broja dužinom' čija duljina odgovara veličini broja, Gunterovo ravnalo i iz njega dobiveno logaritamsko računalo

Tablica 1: Četiri osnovna standarda logaritamskih računala

Tipični standardi logaritamskih računala	Popis skala
 Sl. 13.: Sustav Mannheim	logaritamsko računalo "No. 431", Gebr. Wichmann, Njemačka, oko 1900. SKALE SPRIJEDA: A [B, C] D SKALE STRAGA: nema
 Sl. 14.: Sustav Rietz	logaritamsko računalo "Castell 1/87 Rietz", A. W. Faber&Castell, Zapadna Njemačka, 1956. SKALE SPRIJEDA: K, A [B, CI, C] D, L SKALE STRAGA: [S, ST, T]
 Sl. 15.: Sustav Darmstadt	logaritamsko računalo "Staedtler Mars Model 54401", Zapadna Njemačka, 1967. SKALE SPRIJEDA: L, K, A [B, CI, C] D, P, S, T. SKALE STRAGA: [LL1, LL2, LL3]
 Sl. 16.: Sustav Duplex	logaritamsko računalo "Castell 2/83N Novo-Duplex", A. W. Faber&Castell, Zapadna Njemačka, 1973. SKALE SPRIJEDA: T1,T2, K, A, DF [CF, B, CIF, CI, C] D, DI, S, ST, P. SKALE STRAGA: LL03, LL02, LL01, LL00, W2 [W2', CI, L, C, W1'] W1, D, LL0, LL1, LL2, LL3.

postalo analogna računska sprava! Očitana duljina sad je postala ovisna o preciznosti oka onoga tko očitava, a to znači da je točnost logaritamskog računala ograničena. Dok su logaritamske tablice bile precizne na pet, sedam ili devet znamenki / decimala, rezultati očitani s logaritamskog računala bili su pouzdani na tri, najviše četiri znamenke, ovisno o mjestu na skali s kojeg su očitani. To odgovara točnosti rezultata na ± 0,1 % što je za mnoge tehničke račune dovoljno točno, ali, npr., za geodeziju ili astronomiju nije.

Tijekom tristogodišnjeg razvoja logaritamskog računala taj se nedostatak nije mogao bitno promijeniti iako se pokušavalo na različite načine. Očitavanje položaja kazaljke s pomoću povećala samo je malo poboljšalo preciznost, veća

duljina skale također je malo pomogla, ali logaritamsko računalo postalo je predugo i nespretno za rukovanje. Uobičajene duljine skala bile su 12,5, 25 i 50 centimetara. Bilo je i drastičnog povećanja duljine skala njihovim "namotavanjem oko plašta cilindra", ali čak ni skale duljine 12 do 18 metara nisu pružale točnost bolju od pete znamenke!

I drugo ograničenje logaritamskog računala, vezano uz svojstvo samih logaritama, bila je nemogućnost zbrajanja brojeva u području njihovih logaritama! Zbrajanje se moralo obaviti nekim drugim pomagalom. Već pred sam kraj razvoja i uporabe logaritamskih računala, oko 1960. godine, njemačka tvrtka Faber&Castell dodala je na poleđinu nekih modela svojih logaritamskih računala veličinom prilagođen adijator (zbrajalicu) tipa Troncet, ali taj pokušaj ostao je usamljen jer su ubrzo, nakon pojave elektroničkih kalkulatora, logaritamska računala potpuno izbačena iz uporabe.

Potreba za većom duljinom skala logaritamskog računala radi mogućnosti preciznijeg očitanja, kod računala oblika ravnala dovela je do nespretnog rukovanja dugim štapom. Da se to izbjegne, skale su se umjesto na ravni štap nanosile na okruglu ploču kao spirale ili na plašt cilindra kao zavojnice. Kako je spomenuto, takvo postizanje veće duljine skala nije baš jako povećalo inače slabu preciznost inherentnu analognim računskim spravama.

6. Analogna računala

U različitim područjima znanosti ili gospodarstva često se pojavljuju računski postupci koji sadrže jednu ili nekoliko formula za rješavanje jednog točno određenog problema kao što je, primjerice, preračunavanje mjernih jedinica u različitim mjernim sustavima, izračunavanje pada tlaka u cjevovodima, rješavanje Kirchhoffova zakona u strujnom krugu, zrakoplovna navigacija i slično. Potaknuti jednostavnošću uporabe logaritamskog računala, korisnici su smišljali njima slične naprave za rješavanje i takvih računa. Tako je nastao niz pomagala koja su čak i vizualno bila slična logaritamskim računalima (s tijelom, klizačem i kazaljkom).

Zanimljivo je da su s pojavom elektroničkih kalkulatora logaritamska računala do kraja sedamdesetih godina XX. stoljeća naglo nestala iz uporabe. Za razliku od toga, mnoga analogna računala nerijetko se još i danas koriste, pa čak i proizvode!

Nomogrami, dijagrami

Neke vrste formula bile su previše složene ili takvog oblika da nije bilo moguće smisliti pomagalo koje bi nalikovalo logaritamskom računalu. Za takve

probleme rješenje se moglo tražiti s pomoću tzv. nomograma ili dijagrama koji su sadržavali nekoliko skala. Za očitanje nomograma bilo je potrebno ravnalo kojim su se povezivale točke na pojedinim skalama.

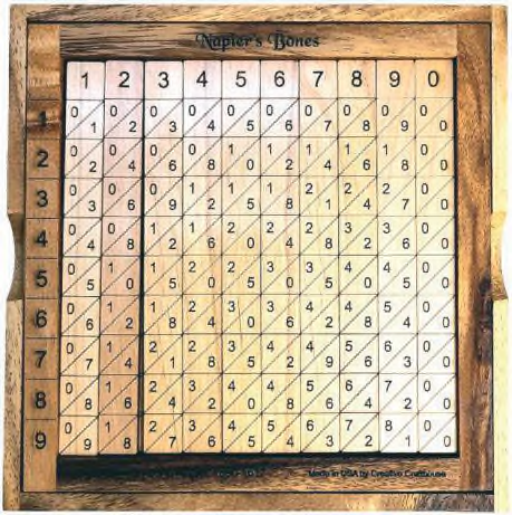
Zbog nešto manje spretne uporabe, nomogrami su bili manje popularni od klasičnih analognih računala i rjeđe u uporabi. Ipak, neki od njih i danas se gdjekad upotrebljavaju za brze približne račune.

7. Različita egzotična računska pomagala

John Napier objavio je 1617. još jedan izum pomagala za množenje — tzv. Napierove šipke. U knjizi *Rabdologiae, seu Numerationis per Virgulas Libri Duo* (*Rabdologija, ili Dvije knjige o brojenju s pomoću šipki*) predstavio je način množenja brojeva s pomoću šipki kvadratnog presjeka na kojima su na svakoj stranici po duljini ispisane brojke na poseban način, tako da se slaganjem šipki jednu uz drugu brojevi mogu "pomnožiti" i umnožak očitati na samim šipkama, slika 17.

Taj izum nije bio pogodan za množenje višeznamenkastih brojeva višeznamenkastim. Ako je množenik imao više jednakih znamenki, trebalo je za svaku takvu znamenku imati po jednu šipku, ili umjesto četvrtastih šipki koristiti okrugle s nizovima brojki ispisanih duž deset izvodnica.

Napierov izum "šipki" bio je kratka vijeka, a najvažniji je njegov spomen u Schickardovu računskom stroju.



Sl. 17.: Deset Napierovih (vertikalnih) šipki u okviru

8. Mehanički računski strojevi

Početkom XVII. stoljeća, nekako u slično doba kad je počeo razvoj logaritamskih računskih pomagala (tablica i računala), počeo je i razvoj mehaničkih računskih strojeva. Povijesno gledano, javila se potreba za računskim pomagalima (navigacija, astronomija, geodezija i ostalo), a baš je nekako tad tehnološki razvoj dosegao potrebnu minimalnu razinu precizne izrade (pojava mehaničkih satova) potrebne za izradu mehaničkih računskih strojeva.

Iako se kroz tristotinjak godina razvoja pojavio velik broj vrlo različitih mehanizama, može se s oprezom reći da je osnovno načelo rada većine mehaničkih računskih strojeva to da se za svaku mjesnu vrijednost broja, tj. za svaku njegovu znamenku, jednim zupčanikom ili segmentom zupčanika na jednoj osovini pokreće drugi zupčanik ili segment zupčanika na drugoj osovini. Pomak prvog zupčanika povezan je s ulaznom znamenkom, a pomak drugog zupčanika s odgovarajućim rezultatom računanja. (Mehanički računski strojevi redovito su bili 'digitalni'!)

Prvi se računski stroj pripisuje Nijemcu Wilhelmu Schickardu 1623. godine, ali taj je prototip nestao u požaru prije nego što je predstavljen javnosti. Ostali su samo crteži, prema kojima je 1960. na Sveučilištu u Tübingenu u Njemačkoj napravljena replika koja dokazuje funkcionalnost stroja. Schickardov stroj zapravo nije bio čisti mehanički računski stroj. Za zbrajanje i oduzimanje upotrebljavao je zupčanike, ali za množenje i dijeljenje služilo je zakretanje Napierovih šipki.

8.1. Zbrajalice (strojevi s dvjema računskim operacijama)

Godine 1642. glasoviti Blaise Pascal izumio je računski stroj – zbrajalicu, slika 18., temeljenu na nizu ozubljenih kotačića od kojih svaki označava jednu mjesnu vrijednost broja, a unutar vijenca ima devet rupica raspoređenih ukrug, u koje se umeće šiljak (*stilus*) kojim se svaki kotačić zakreće u smjeru kazaljke na satu (za pribrajanje) ili obratno (za oduzimanje). U izradi je bilo dosta problema zbog nedovoljne točnosti tadašnjih tehnologija, ali i zbog loše riješenog mehanizma prijenosa desetice na višu vrijednost. Iako je u "višim krugovima" izazvao velik interes, komercijalni je uspjeh izostao jer je prodano svega nekoliko primjeraka. Na temelju Pascalova izuma pojavilo se još nekoliko sličnih, primjerice, računski strojevi Engleza Samuela Morlanda, ali prenošenje desetice na višu vrijednost ostalo je velik problem u prvim mehaničkim strojevima. Zbrajalice na tom načelu sporadično su se proizvodile čak i nakon Drugog svjetskog rata, slika 19. Bile su razmjerno jeftine i služile su za pojedinačna računanja. Nisu bile pogodne za intenzivna zbrajanja, primjerice za računovodstva tvrtki, zbog sporog unosa brojeva i dosta izraženog trošenja prouzročenog trenjem.



Sl. 18.: Zbrajalica Blaisea Pascala iz 1652. godine, vlastoručno potpisana



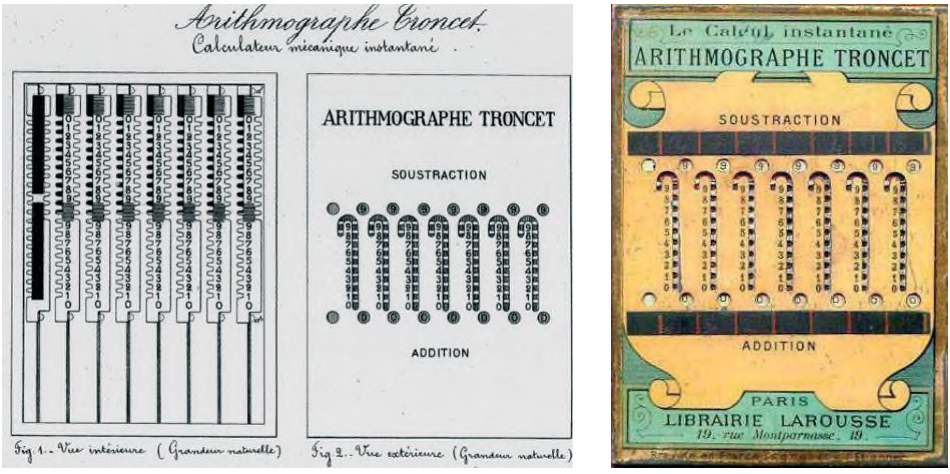
Sl. 19.: Zbrajalica Lightning iz 1942. godine

Tronceti

Slično je načelo (unos brojeva putem šiljka − *stilusa*), korišteno i u linearnim zbrajalicama *Arithmographe*, popularno nazivanim ‘tronceti’ prema izumitelju Louisu Troncetu koji je takvu napravu patentirao 1889. godine, slika 20. Umjesto ozubljenog kotačića, svaku mjesnu vrijednost broja ovdje označava jedna dvostrano ozubljena traka koja se kroz prorez šiljkom pomiče dolje za zbrajanje ili gore za oduzimanje. Prenošenje desetice na višu vrijednost obavlja se elegantno, prevlačenjem šiljka preko “zavijutka”. I te su naprave bile podložne trošenju, ali jeftine i popularne, a proizvodile su se sve do pojave elektroničkih kalkulatora.

Tronceti su bili jedine mehaničke računske naprave džepnog formata sve do 1947. godine i pojave Curte, džepnog mehaničkog računskog stroja za četiri računske operacije, opisanog kasnije.

Iako povijest zbrajalica počinje od Pascalova izuma 1642. godine, do procvata njihova razvoja i proizvodnje dolazi od sredine XIX. stoljeća, s industrijskom revolucijom koja je i stvorila potrebu za njima (računovodstva sve većih



Sl. 20.: *Arithmographe* L. Tronceta – lijevo: slika iz patenta 1889., desno: prvi komercijalni primjerak

tvrtki sa sve većim prometom), ali i omogućila njihovu sve savršeniju proizvodnju kroz razvoj precizne mehanike.

Danas izgledaju možda smiješno zastarjeli, ali u ono doba bili su to pouzdani i trajni strojevi, kojima se moglo brzo zbrajati. Računovodstva velikih tvrtki imala su odjele s više desetaka, pa i stotina takvih strojeva na kojima su radile isključivo žene, slika 21. Čak su se organizirala natjecanja u brzom zbrajanju, slično kao i u brzom pisanju na pisaćem stroju. Neki su se modeli zadržali u uporabi sve do pojave elektroničkih kalkulatora pa je nerijetko spretan operater mehaničkog stroja bio mnogo brži od operatera elektroničkog kalkulatora zbog bržeg unosa brojeva.



Sl. 21.: Računski odjel američke državne institucije 1924. godine



Sl. 22.: Uredske zbrajalice s punom tipkovnicom – lijevo: zbrajalica tvrtke Burroughs, desno: zbrajalica Comptometer tvrtke Felt&Tarrant

Kod mnogih se zbrajalica unos brojeva obavljao preko tzv. pune tipkovnice, slika 23., na kojoj je za svaku mjesnu vrijednost unesenog broja postojala cijela kolona od devet tipki za znamenke od 1 do 9 (nula na nekoj mjesnoj vrijednosti jednostavno se nije unosila!), pa su se višeznamenkasti brojevi mogli unositi odjednom, poput sviranja akorda na glasoviru.

Iako je već 1902. zbrajalica Dalton imala tipkovnicu od deset tipki u dva reda, slika 24., tek je 1914. godine Oscar J. Sundstrand patentirao tipkovnicu s deset tipki kakvu i danas poznajemo, slika 25. Kod obiju tipkovnica brojke (i nula!) unosile su se uzastopno slijeva nadesno pa je takav unos bio sporiji nego kod pune tipkovnice i mehanizam je bio složeniji, ali strojevi su mogli biti manjih dimenzija.

Vodeći u proizvodnji uredskih zbrajalica bili su proizvođači iz SAD-a, primjerice, Burroughs, Felt&Tarrant, slika 22., Dalton, ili National Cash Register Company u proizvodnji gotovinskih blagajni. Tipično za uredske strojeve, i uneseni brojevi i rezultati vrlo često su ispisivani na papirnatu traku radi kontrole.



Sl. 23.: Puna tipkovnica



Sl. 24.: Daltonova tipkovnica



Sl. 25.: Sundstrandova tipkovnica

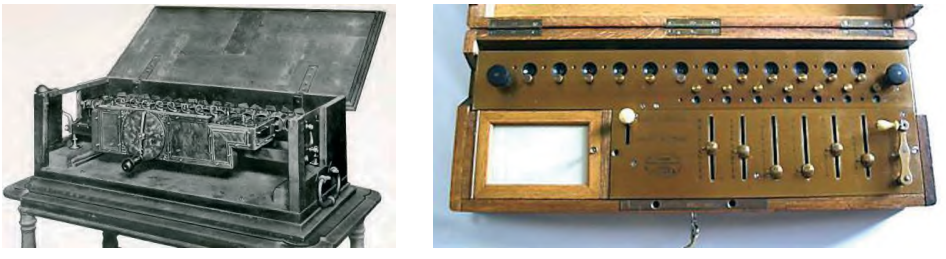
8.2. Strojevi s četiri računske operacije

Strojevi na načelu ozubljenog valjka (engl. *stepped drum*)

Njemački matematičar i filozof Gottfried Wilhelm Leibniz, potaknut Pascalovim izumom zbrajalice, odlučio je oko 1672. godine napraviti računski stroj koji može izvoditi sve četiri računske operacije. Mehanizam se temeljio na valjku na čijem se plaštu, usporedno s izvodnicama, nalazilo devet zubaca različite duljine, poredanih po veličini tako da je razvijeni plašt nalikovao na stube. Na osovini paralelnoj s valjkom nalazio se zupčanik pomičan duž valjka. Ovisno o mjestu po duljini valjka na kojem se zupčanik nalazi, pri jednom okretaju valjka on dolazi u zahvat s različitim brojem zubaca na valjku i tako se jednim punim okretajem valjka mogu predstaviti različiti brojevi od nula do devet. Takav set valjak-zupčanik bio je potreban za svaku znamenku broja kojim se računa. Iako je načelo rada stupnjevanog valjka očigledno, tražena preciznost izrade vrlo je visoka i čini se da je za Leibnizova života napravljeno samo nekoliko primjeraka, od kojih su do danas sačuvana samo dva, lijeva slika 26.

U sljedećih stoljeće i pol dogodio se velik broj pokušaja izrade računskog stroja, ali svi su ti strojevi bili vrlo komplicirani za rukovanje i tehnološki nedorađeni. Tek je Francuz Charles Xavier Thomas de Colmar sa svojim *Arithmometerom* uspio izraditi stroj koji je bio u stanju računske operacije obavljati točno i pouzdano kroz dulje vrijeme bez kvarova, što je osnovni preduvjet za komercijalni uspjeh. Od izuma 1820. do pune zrelosti stroja (oko 1851.) proteklo je više od trideset (!) godina, a proizvodio se još šezdesetak, negdje do 1914., desna slika 26. Načelo rada *Arithmometera* temeljilo se na Leibnizovu ozubljenom valjku (imao je po jedan valjak za svaku mjesnu vrijednost broja s kojim se računa). Najviše su se proizvodili modeli sa 12 do 20 znamenki rezultata, iako je bilo (u početku) modela sa 6 do 10 znamenki, a kao kuriozitet za izložbu u Parizu 1855. proizveden je i model s čak 30 znamenki.

Oko 1880. počele su europske tvrtke kopirati *Arithmometer*, a prije Prvog svjetskog rata to je činilo čak dvadesetak proizvođača.



Sl. 26.: lijevo: Leibnizov računski stroj (1672.); desno: Thomasov *Arithmometer* (1820.)

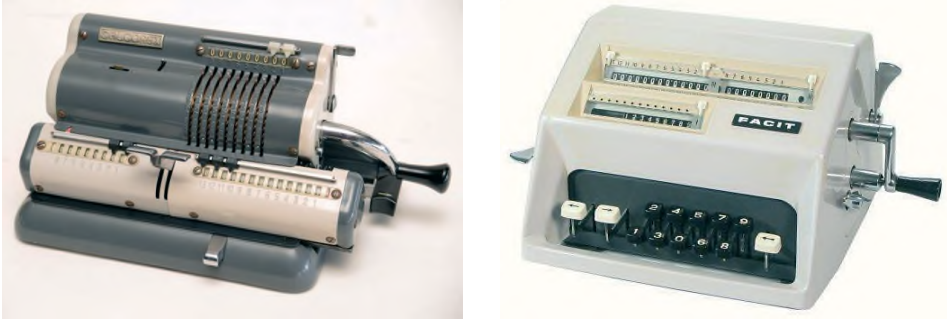


Sl. 27.: Dvije izvedbe ručnog mehaničkog stroja Curta: Curta I (1947. − 1970.) s kapacitetom 8/6/11 znamenki (desno) i Curta II (1953. − 1971.) s kapacitetom 11/8/15 znamenki (lijevo)

Razvoj računskih strojeva na Leibnizovu načelu ozubljenog valjka kulminirao je nakon Drugog svjetskog rata, 1947. godine izumom Kurta Herzstarka pod nazivom Curta, koji je bio savršenstvo precizne mehanike, slika 27.

Strojevi na načelu kotača s izvlačivim trnovima

Važan izum novog načela rada (kotač s trnovima, engl. *pinwheel*) dogodio se gotovo istodobno u SAD-u (Frank Stephen Baldwin, 1873.) i Europi (Willgodt Theophil Odhner, Sankt Peterburg, Rusija, 1874.). U tom se izumu promjenljiv broj zubaca ulaznog zupčanika postigao izvlačenjem odgovarajućeg broja trnova izvan oboda inače glatkog kotača, tako da pri jednom punom okretu njegove osovine na zakret sekundarnog zupčanika djeluju samo izvučeni trnovi, dakle, od nula do devet, kolika već treba biti znamenka na toj mjesnoj vrijednosti broja. Za svaku mjesnu vrijednost broja treba jedan takav kotač s trnovima, slika 28.



Sl. 28.: Računski strojevi tipa *pinwheel* – lijevo: Calcorex Tvornice računskih strojeva Zagreb (unos brojeva s pomoću polugica); desno: Facit C1-13 (unos brojeva preko Daltonove tipkovnice)

Dok je Odhnerov izum već 1890. ušao u proizvodnju i postigao veliku popularnost širom svijeta, a proizvodili su ga mnogi proizvođači u golemom broju primjeraka sve do sredine sedamdesetih godina XX. stoljeća, Baldwinov je patent čekao sve do 1911., kad ga je Jay Randolph Monroe III. kupio i osnovao tvrtku Monroe koja je od oko 1920. proizvodila računske strojeve sve do dolaska elektroničkih kalkulatora.

I strojevi Leibnizova i oni Odhnerova tipa zbrajali su i oduzimali brojeve izravno, zakretanjem glavnog vratila, a množenje i dijeljenje vršili su uzastopnim zbrajanjem, odnosno oduzimanjem. Zato je množenje, a pogotovo dijeljenje, bilo dugotrajna operacija koja je tražila dosta pažnje pri izvođenju. Da bi se te dvije operacije obavile brže i lakše, javljali su se mnogi pokušaji da se one obave izravno, jednim zakretom glavnog vratila. Jedan od najinovativnijih izumitelja / konstruktora novih računskih mehanizama u prvoj polovini XX. stoljeća bio je Nijemac Christel Hamann čiji strojevi i danas izazivaju divljenje.

8.3. Elektromehanički računski strojevi

Rad na mehaničkim računskim strojevima tražio je od operatera da snagom svojih ruku pokreće mehanizam, što je bilo dosta zamorno. Zato se odmah po izumu elektromotora, a posebno od dvadesetih godina XX. stoljeća, pojavljuju strojevi pokretani električnim motorom, što je opet dovelo do nekih novih ili bar dotjeranih metoda računanja.

Sa stanovišta operatera, uporaba elektromotora značila je da kod zbrajalica umjesto potezanja i vraćanja ručice treba samo pritisnuti jedan gumb za svaku operaciju zbrajanja ili oduzimanja. Slično i za množenje i dijeljenje, koje je prije tražilo višekratno zakretanje ručice, s elektromotorom je značilo znatno jednostavniji zahvat, gdjekad i samo jedan pritisak na gumb ili polugu. No, dijeljenje je ipak znatno složenija operacija od množenja pa neki strojevi, iako "moderni", nisu sve do sedamdesetih godina i kraja razvoja mehaničkih računskih strojeva imali automatsko dijeljenje!

Na svojem su vrhuncu mehanički računski strojevi imali na tisuće dijelova i bili vrlo skupi. Poznat je i ilustrativan primjer stroja Olivetti Divisumma 24, slika 34., koji je 1956. u Italiji stajao 325 000 lira, kad je novi automobil Fiat 500 Nuova stajao 465.000 lira! Kad su se pojavili elektronički kalkulatori, zbog tisuća ugrađenih skupih tranzistora i dioda cijene su postale još više, pa je dobar stroj koštao na tisuće ondašnjih dolara, više i od dobrog automobila!



Sl. 29.: Remington Rand 99



Sl. 30.: TRS Zagreb, Zagreb Simplex



Sl. 31.: Mercedes Euklid Mod. 21 (C. Hamann)



Sl. 32.: Hamann Selecta



Sl. 33.: Rheinmetall SAR IIc



Sl. 34.: Olivetti Divisumma 24 (N. Capellaro)



Sl. 35.: Ekipa "ljudskih kompjutera" na djelu, NASA Dryden Research Center, 1949.



Sl. 36.: NACA Lewis Flight Propulsion Laboratory − "kompjuter" sa šiberom i Friden računskim strojem

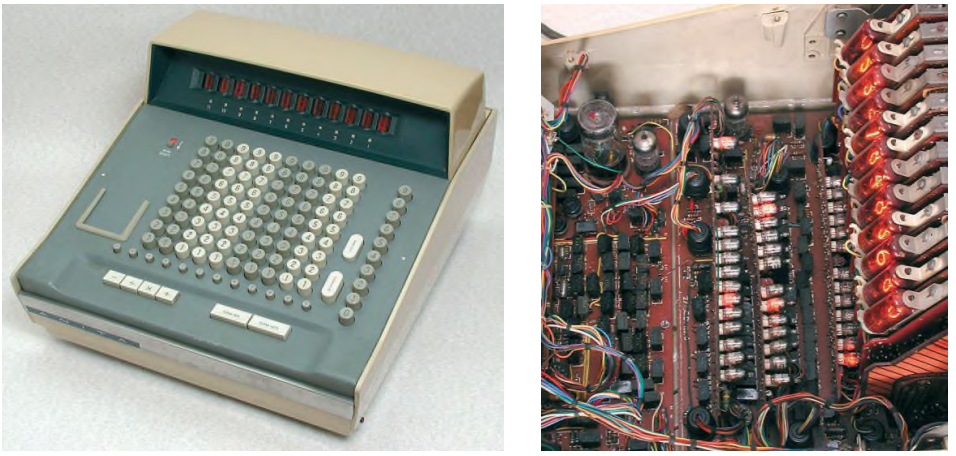
9. "Ljudski kompjuteri"

Mnogo godina, sve do izuma elektroničkih kalkulatora i kompjutera, usporedno su se upotrebljavali mehanički računski strojevi (za četiri računske operacije) i logaritamska računala ili logaritamske tablice (za izračunavanje transcendentnih funkcija). S bržim razvojem tehnike do kojeg je došlo između dva svjetska rata naglo je narasla potreba za intenzivnim računanjem pa je sporost rada mehaničkih računskih strojeva, ali i sporost prenošenja rezultata s jednog pomagala na drugo radi nastavka računanja, postala kočnica daljnjeg razvoja znanosti i tehnike.

Za računski vrlo zahtjevne probleme kao što su bili, npr., Projekt Manhattan ili obrada mjerenih podataka probnih letova aviona, formirale su se ekipe "kompjutera", velikog broja ljudi koji su s pomoću takvih prvotnih računskih pomagala obavljali te složene zadaće razbijene na veći broj paralelnih zadataka. Iako se na taj način, pukim brojem ljudi koji su radili usporedno na istoj zadaći, računanje ubrzalo, ljudske su pogreške u računu bile i dalje prisutne. Tek su elektronička računska pomagala (kalkulatori i kompjuteri) dala računima, uz dotad neviđenu brzinu, i potpunu pouzdanost. Tako se danas uopće ne govori o mogućnosti da računalo pogriješi; ako se to i dogodi, to je sigurno posljedica ljudske pogreške, bilo kod unosa podataka, bilo kod pisanja programa za računalo.

10. Elektronički kalkulatori

Kako je tehnologija tijekom XX. stoljeća napredovala, a potrebe za brzim i točnim računanjem rasle, zastarjelost i sporost postojećih računskih pomagala



Sl. 37.: Sumlock Anita Mk 8 – pogled izvana (“puna tipkovnica”!) i iznutra (elektronske cijevi!)

postajala je sve očitija i tražili su se bolji načini računanja. Brzina električnih pojava (u usporedbi s mehaničkim) bila je uočljiva pa se javljaju prvi pokušaji realizacije električnog računskog pomagala. Prvi je bio, čini se, Nijemac Konrad Zuse 1935. s modelom Z1 i elektromagnetskim relejima i dvadesetak godina kasnije (1957.) japanska tvrtka Casio s modelom 14A. Sporost i nepouzdanost releja nije im davala prednost pa se pokušalo s elektronskim cijevima koje su načelno brže, ali ni one nisu bile pretjerano pouzdane, a trošile su goleme količine struje zbog vrućih katoda.

10.1. Prvi elektronički kalkulatori – stolni

Kao kuriozitet treba spomenuti da je 1961. godine engleska tvrtka Sumlock-Bell Punch, koja je dotad proizvodila mehaničke računske strojeve, proizvela prvi i jedini stolni kalkulator s minijaturnim elektronskim cijevima, model Anita Mk VII (i Mk 8), slika 37., koji je radio s dekadskim brojevnim sustavom i imao tzv. punu tipkovnicu poput mnogih mehaničkih strojeva.

Tek je izum poluvodičkih dioda i tranzistora 1948. dao nadu da elektroničko računsko pomagalo bude bitno bolje od mehaničkih. Nakon dosta godina razvoja poluvodičke industrije, 1964. se gotovo istodobno pojavilo nekoliko stolnih elektroničkih kalkulatora – američki Friden EC-130, slika 38., i Mathatronic Mathatron slika 43., japanski Sharp Compet CS10A, slika 39. i Canon Canola 130, slika 40., talijanski IME 84, slika 41., njemački Olympia RAE 4/15, slika 42. Svi su oni sadržavali stotine i tisuće dioda i tranzistora i obavljali četiri računske operacije, a samo neki od njih i kvadratni korijen.



Sl. 38.: Friden EC-130



Sl. 39.: Sharp Compet CS10A



Sl. 40.: Canon Canola 130



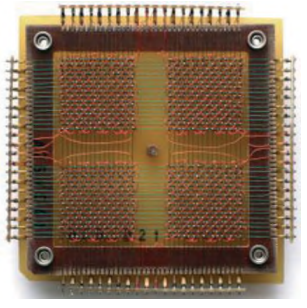
Sl. 41.: IME 84

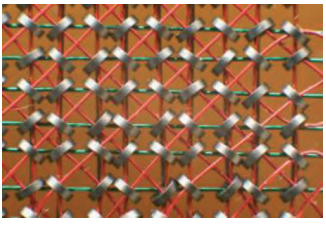


Sl. 42.: Olympia RAE 4/15



Sl. 43.: Mathatronic Mathatron





Sl. 44.: 1024-*bit ferrite core memory* (cijela i uvećani dio)



Sl. 45.: *Delay line memory*

Problem je bio i prikaz rezultata – ekrani su mahom bili posuđeni iz onodobnih elektroničkih instrumenata. Tipični su bili ekrani sastavljeni od niza *nixie* cijevi (po jedna za svaku mjesnu vrijednost broja), staklenih ampula ispunjenih plinom neonom u kojoj je svakoj bilo deset žica, svaka savijena u obliku jedne od znamenki od '0' do '9', poredanih jedna iza druge. Da bi se za neku mjesnu vrijednost prikazala tražena znamenka, u određenoj je ampuli žica koja odgovara toj znamenci morala biti stavljena pod napon od oko 200 V i na površini te žice došlo bi do plinskog izboja narančaste boje koji je samo nju od svih žica učinio vidljivom. Korištene su i katodne cijevi poput onih u

osciloskopima, a neki kalkulatori (Mathatron) sve su brojeve i operatore ispisivali horizontalno duž uske papirnate trake.

I memorije su bile problem kao, uostalom, i u onodobnim kompjuterima druge generacije. Koristile su se memorije od pravokutne mreže žica na čijim su presjecištima bili feritni prstenčići (engl. *magnetic core memory*), slika 44., ili torzijske vibracije žica savijenih u kolute (engl. *delay line memory*), slika 45. Tipični kapaciteti tih ranih memorija bili su jedan ili nekoliko brojeva, a kod ranih programibilnih kalkulatora kapacitet memorije za brojeve i programske korake bio je nekoliko desetaka do nekoliko stotina bajta!

Uslijedilo je nekoliko godina ubrzanog razvoja s pojavom mnogih novih proizvođača i mnogo novih modela, ali i dalje s četiri računske operacije. Jedino je Wang LOCI-2 iz 1965., slika 47., mogao računati logaritme, a Hewlett-Packard HP-9100A iz 1968., slika 46., i sve ostale transcendentne funkcije.

Od samog početka nastojalo se u kalkulatore ugraditi mogućnost programiranja. Mathatron je već 1964. mogao obavljati kraće programe, 1965. to su mogli i Olivetti Programma 101 i Wang LOCI-2, a prvi doista dorađen model s programiranjem bio je opet HP-9100A iz 1968., slika 46. Hewlett-Packard lansirao je 1971. i 1972. tri stolna programibilna kalkulatora: HP-9810A, slika 48., 9820A i 9830A, a zatim i niz sve boljih modela, pomalo brišući granicu između kalkulatora i kompjutera.

Osim tih vrhunskih modela, počela je i golema proizvodnja običnih stolnih kalkulatora za potrebe administrativnih poslova, poput računovodstva. Početni modeli nisu bili jeftini jer su sadržavali mnoge još uvijek skupe tranzistore i diode, ali ni adekvatni mehanički računski strojevi nisu bili jeftini. Elektronički su pružali prednost tihog rada i trajnosti.

Potencijalno tržište stolnih kalkulatora bilo je golemo, ali početna tehnologija značila je i visoku cijenu vrlo složenih aparata. Težnja za sniženjem cijena stolnih modela, ali i nastojanje da se proizvede što manji kalkulator koji bi bio prijenosan i stalno dostupan, dakle i na terenu, dovela je do nevjerojatno brzog tehnološkog razvoja svih komponenata kalkulatora i na kraju do vrlo moćnih džepnih kalkulatora.



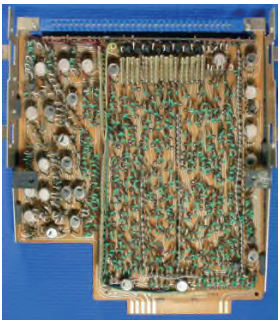
Sl. 46.: Hewlett-Packard HP-9100A, 1968.



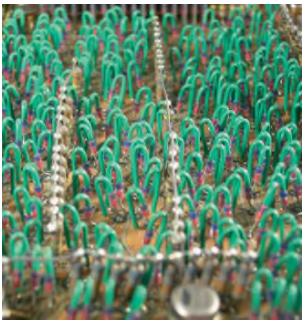
Sl. 47.: Wang LOCI-2, 1965.



Sl. 48.: Hewlett-Packard HP-9810A, 1971.



Sl. 49.: PCB s tranzistorima i diodama (Toshiba BC-1213, 1969.)

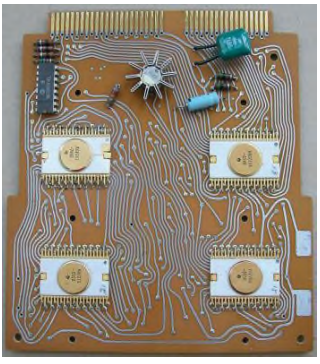




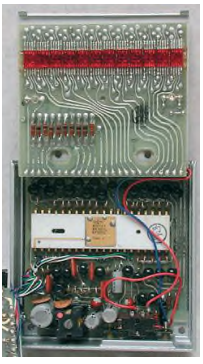
Sl. 50.: PCB s MSI čipovima (Canon Canola 1200, 1969.)

Golem tehnološki napredak

Sve do kraja šezdesetih godina kalkulatori su bili isključivo stolni (veliki), s velikim brojem dioda i tranzistora, slika 49. Iako su integrirani krugovi izumljeni 1958. (Jack S. Kilby iz tvrtke Texas Instruments) i 1959. (Robert Noyce iz tvrtke Fairchild), proizvođačima je trebalo više od deset godina da razviju pouzdanu i isplativu tehnologiju i proizvedu komercijalno dostupne integrirane krugove (čipove). Prednjačile su američke tvrtke Fairchild, Rockwell, National Semiconductor, Texas Instruments i još neke. Prvi integrirani krugovi sadržavali su samo desetak ili više komponenata (dioda ili tranzistora), nazvani su SSI (engl. *small scale integration*) i nisu pružali neku veliku prednost u odnosu na diskretne diode i tranzistore jer ih je trebalo i stotinjak za obavljanje svih kalkulatorskih funkcija. Sljedeća je generacija integriranih krugova − MSI (engl. *medium scale integration*), sadržavala sto ili više komponenata i oni su već dosta utjecali na konstrukciju tiskanih ploča kalkulatora (engl. *printed circuit*



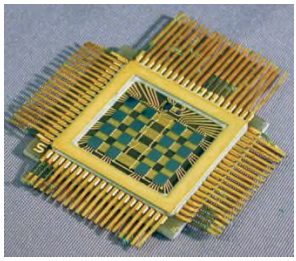
Sl. 51.: PCB s 4 LSI čipa (Sharp QT-8D, 1969.)



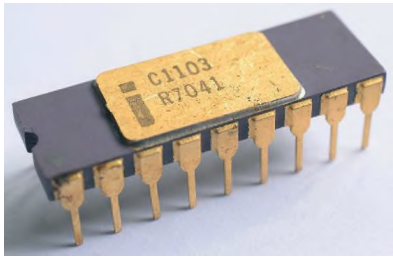
Sl. 52.: PCB s jednim čipom – (Busicom LE-120A, 1970.)



Sl. 53.: Sve je u jednom čipu (Commodore 796M. 1975.)



Sl. 54.: Fairchild SAM, 1024 bit (1968.)





Sl. 55.: 1024-bitni Intel 1103 memorijski čip, izvana i jezgra (1971.)

board − PCB), jer ih je nekoliko desetaka bilo dovoljno za kalkulatorske funkcije, slika 50.

Tek kad su se potkraj šezdesetih pojavili komercijalno dostupni čipovi s tisućama tranzistorsko / diodnih elemenata − LSI (engl. *large scale integration*), jedan ili svega nekoliko čipova bilo je dovoljno za sve kalkulatorske funkcije. Otvoren je put za izradu prvo "ručnih", veličine npr. telefona, slika 51., a potom i "džepnih", slike 52. i 53., kalkulatora.

Golemi su napori ulagani u minijaturizaciju ostalih kalkulatorskih komponenata. Osim integriranih krugova koji su trebali zamijeniti tisuće tranzistora i dioda u logičkom dijelu kalkulatora, razvijale su se i tipkovnice, memorije i ekrani.

Najvidljivije, ali i tehnološki najmanje inovativne bile su tipkovnice. U početku preuzete iz pisaćih strojeva, u stolnim su modelima više-manje i do danas zadržale svoju veličinu i funkcionalnost, a za džepne kalkulatore minijaturizacija je rezultirala dvjema glavnim vrstama tipki – onih s metalnom membranom i onih s gumenom membranom.

Razmjerno glomazne dotad korištene feritne memorije i vibrirajuće žice zamijenjene su memorijama u obliku integriranih krugova. Prvi proizvođači bili su Fairchild, Intel i Mostek oko 1969., slike 54. i 55., da bi kasnije Japan i Južna Koreja (Toshiba, Hitachi, Samsung i drugi) zavladali tržištem.

Prvi minijaturni ekran Itron razvile su 1967. tvrtke Sharp i Iseden. Bio je to ekran s plavozelenim fluorescentnim izbojem na hladnoj katodi (engl. *vacuum fluorescent display* − VFD, sl. 56.). U početku je za svaku znamenku bila posebna ampula, a potom su, posebno za džepne modele, sve znamenke bile u zajedničkoj ampuli, slika 57. Ti su se ekrani proizvodili na Dalekom istoku, najviše u Japanu, stoga su bili razmjerno rijetki u američkim kalkulatorima.

Godine 1970. jedan laboratorij u sastavu američke kompanije Monsanto proizveo je prve ekrane od (crvenih) svjetlećih dioda, čije su znamenke bile vrlo sitne pa su ispred njih bile ugrađene leće, slika 59. Kasnije su ih proizvodili brojni, uglavnom američki, proizvođači kao što su Hewlett-Packard, Dialight, Fairchild, Litronix, Motorola, Bowmar i Texas Instruments.



Sl. 56.: Itron, prvi fluorescentni ekran (VFD) (Sharp QT-8D, 1969.)



Sl. 57.: Kasniji VFD ekran (1976.) (Canon Palmtronic F-31)



Sl. 58.: Burroughs Panaplex II ekran, neonski izboj na hladnoj katodi (Sanyo ICC-82D, 1971.)



Sl. 59.: Crveni LED ekran (Texas Instruments SR-50, 1974.)

Sve rane vrste ekrana bile su 'aktivne', odzračivale su svoju vlastitu svjetlost pa su za to trošile dosta energije. Prvi pasivni ekrani od tekućih kristala (engl. *liquid crystal display* − LCD), koji mogu reflektirati dozračenu svjetlost pa time i trošiti bitno manje struje, pojavili su se dosta rano. Već 1972. pojavila su se tri stolna kalkulatora s tekućim kristalima: Lloyd's Accumatic 100, Sears C1 i Rapid Data Rapidman LC 208 (sve ih je proizvela, čini se, ista tvrtka: North American Rockwell Microelectronics Inc.). Ti ekrani nisu bili "štedni" jer su bili osvjetljivani običnom žaruljicom koja je trošila puno struje, slika 60.), a zbog velike nepouzdanosti brzo su povučeni na doradu! Godinu kasnije, 1973., japanski Sharp proizveo je prvi kalkulator s LCD ekranom, Sharp Elsimate EL-805 i još nekoliko modela, slika 61.). I oni su imali problema pa su također povučeni. Obje te vrste ekrana imale su bijele brojke na crnoj podlozi.

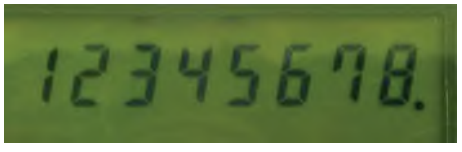
"Pravi" i pouzdani LCD ekrani javili su se 1976. i vrlo brzo, do 1980. godine, istisnuli sve ostale vrste ekrana u džepnim kalkulatorima većine



Sl. 60.: Sears C1 (Rockwellov LCD), 1972.



Sl. 61.: Sharp EL-805 ELSI MATE, 1973.



Sl. 62.: Žuti LCD, oko 1976.



Sl. 63.: Konačni LCD, od 1978.

svjetskih proizvođača. U početku su ti ekrani imali žutu foliju kao zaštitu od UV zraka, slika 62., ali ona je ubrzo nestala i ostali su samo poznati ekrani s crnim brojkama na sivoj podlozi, slika 63.

Koliko su te tehnološke inovacije značile za potrošnju struje, može ilustrirati podatak da su prvi stolni kalkulatori iz šezdesetih godina trošili od 50 do 100 W struje. Prosječni džepni kalkulatori iz 1975. s integriranim krugovima i VFD ili LED ekranima trošili su oko 0,5 W, a prosječni kalkulatori s LCD ekranima iz 1980. trošili su samo 0,0005 W struje! U odnosu na prve stolne modele to je smanjenje potrošnje energije od sto tisuća puta!

10.2. Prvi elektronički kalkulatori – ručni

Prvi ručni (engl. *hand-held*) kalkulator bio je japanski Sharp QT-8D micro Compet s jezgrom od četiri Rockwell čipa i ranim Sharpovim VFD ekranom s odvojenim ampulama za svaku znamenku, velik poput telefona i jedva da se mogao uzeti u ruku, slika 64. Imao je samo 15 velikih tipki preuzetih iz stolnih modela, za koje je na velikoj plohi bilo dovoljno mjesta. Proizveden je 1969., a stajao je 495 američkih dolara. Uz Sharp, mnogo se proizvođača uključilo u unosnu proizvodnju kalkulatora, a sve do kraja 1972., pa čak i 1973., još su se prodavali glomazni modeli veličine cigle, slika 65., često u luksuznim kutijama obloženim plišem i s cijenom koja se iskazivala u stotinama američkih dolara.

Veliki ekrani i još uvijek prisutne diskretne poluvodičke komponente (za pogon ekrana) tražili su puno struje pa se većina tih *hand-held* kalkulatora napajala iz mreže ili, ako su trebali biti prijenosni, iz četiri pa čak i šest baterija ili punjivih akumulatora veličine ‘C’ ili ‘D’.

No, napredak tehnologije bio je zapanjujuće brz i rezultirao je sve moćnijim čipovima i sve manjim ekranima, pa su se među “dinosaurima” sve češće viđali i znatno manji pa čak i džepni modeli, a cijene su brzo i drastično padale.



Sl. 64.: Sharp QT-8D micro Compet, 1969.



Sl. 65.: Sears C1, 1972.

10.3. Elektronički kalkulatori – džepni

Prvi stvarno džepni kalkulator proizvela je 1971. japanska tvrtka Busicom. Bio je to model LE-120 Handy s jednim integriranim krugom, slika 66., i crvenim LED ekranom sa 12 znamenki. Ta je tvrtka poznata po tome što je iz njezine suradnje s novoosnovanom tvrtkom Intel proizišao prvi mikroprocesor na svijetu, Intel 4004, koji je 1971. ugrađen u stolni kalkulator Busicom 141-PF.

Sve do 1972. svi su ti kalkulatori obavljali samo četiri računske operacije i možda kvadratni korijen, slika 67. Za ozbiljna računanja s transcendentnim funkcijama još uvijek je trebalo, uz kalkulator, koristiti i logaritamske tablice (ili logaritamsko računalo, ali ono je drastično smanjivalo preciznost računanja!).

I onda je, početkom 1972., tvrtka Hewlett-Packard lansirala prvi džepni kalkulator HP-35, slika 68., koji je imao sve potrebne funkcije i koji je mogao i najkompliciranije formule rješavati bez ispisivanja međurezultata, zahvaljujući tzv. obrnutoj poljskoj notaciji (RPN) i četirima radnim registrima! Bio je to nevjerojatan šok u znanstvenoj i inženjerskoj zajednici, a unatoč visokoj cijeni od ondašnjih 395 američkih dolara, u tri godine prodano je oko tristo tisuća primjeraka!

Trijumfalan pohod u područje džepnih kalkulatora Hewlett-Packard nastavio je 1973. s još boljim modelom HP-45, potom je 1974. u jednakom kućištu lansirao programibilni HP-65, slika 69., i tako svake godine poneki sve bolji model. Jedini proizvođač koji ih je bar pokušao pratiti bio je Texas Instruments, koji je 1974. lansirao model SR-50 sličan modelu HP-35, slika 70., i onda također u brzom ritmu niz znanstvenih i programibilnih kalkulatora, slike 71. i 72. Iako se njihova utrka malo usporila oko 1980. godine, obje su tvrtke ostale u tom biznisu i danas su među rijetkim proizvođačima vrhunskih kalkulatora.



Sl. 66.: Busicom LE-120 Handy, 1970.



Sl. 67.: Bowmar 901B, 1971.



Sl. 68.: Hewlett-Packard HP-35, 1972.



Sl. 69.: HP-65, 1974.



Sl. 70.: TI SR-50, 1974.



Sl. 71.: TI-59, 1977.



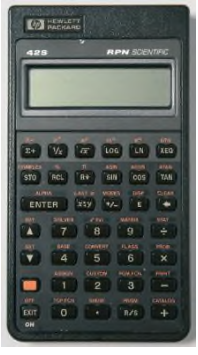
Sl. 72.: HP-41C, 1979.



Sl. 73.: Sharp EL-8024 ELSI MATE, 1977.



Sl. 74.: Olympia LCD 380 Lithium-Power, 1980.



Sl. 75.: Hewlett-Packard HP-42S, 1988.

Sve ostale tvrtke, a bilo ih je na stotine, jako su zaostajale za njima, bar što se tiče znanstvenih i programibilnih kalkulatora, iako je među njima bilo i nekoliko tehnološki vrlo naprednih proizvođača, primjerice Sharp, Casio, Canon… Te su tri tvrtke, zajedno s Hewlett-Packardom i Texas Instrumentsom, do danas ostale u najužem krugu eminentnih proizvođača.

Kraj sedamdesetih i početak osamdesetih godina obilježila je ofenziva LCD ekrana s tekućim kristalima i s tim povezan kraj "velikih" (veličine AA ili AAA) baterija i NiCd akumulatora koje je trebalo zamjenjivati ili dopunjavati svakih nekoliko dana i uvođenje "malih" (gumbastih) baterijica koje su u stanju kalkulator pokretati mjesecima i godinama, slike 73., 74. i 75.

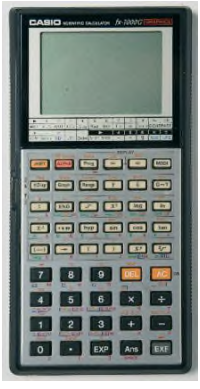
U to doba došlo je do još jedne bitne novine – kako je tehnologija izrade integriranih krugova sve brže napredovala, nove generacije VLSI (engl. *very large scale integration*) i ULSI (engl. *ultra*…) čipova omogućile su izradu sve

boljih ‘stolnih kompjutera’, koji su u nadolazećem razdoblju, s razvojem kapaciteta i programske podrške, bili u stanju preuzeti sve veći dio računanja koja su dotad obavljali kalkulatori. To se odnosi prije svega na programibilne kalkulatore kojima su veća memorija, ali i neusporedivo bolje sučelje kompjutera oduzeli glavni dio posla i ostavili samo pojedinačne račune ili najjednostavnije ponavljajuće račune za koje se ne isplati pisati program.

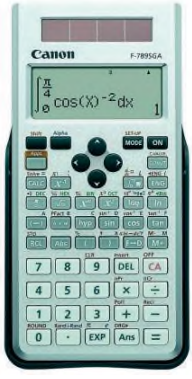
Pokušaj odupiranja toj sudbini napravio je Casio 1985. godine, lansirajući grafički i programibilni kalkulator Casio fx-7000G, slika 76., koji je imao rasterizirani LCD ekran sa 96 × 64 točkica (piksela), na kojem je mogao, osim do 16 brojki ili slova u osam redova, prikazivati i grafove funkcija u koordinatnom sustavu. Slijedili su, naravno, i ostali važni proizvođači sa svojim sličnim modelima. Danas se grafički i programibilni kalkulatori smatraju vrhuncem u svojoj kategoriji, bolji su od svojih prethodnika s početka osamdesetih, ali ne više bitno. Iako bi tehnologija danas bez problema omogućila enormno veću memoriju za rješavanje iznimno kompliciranih problema, takvi se kalkulatori ne proizvode jer za takve probleme imamo cijenom pristupačne kompjutere s neusporedivo boljim sučeljem.

Ostatak proizvodnje čine “obični” (neprogramibilni) znanstveni kalkulatori, slika 77., i kalkulatori s četiri računske operacije, slika 78. Osim što su tehnološki savršeniji od nekadašnjih, pa i osjetno jeftiniji, nisu bitno različiti od njih – ono što se može danas njima izračunati, moglo se i onda, možda samo malo sporije.

Gledajući unazad, prošlo je gotovo šezdeset godina od prvog stolnog elektroničkog kalkulatora (Anita Mk. VII, 1961.) i oko pedeset godina od prvog ručno-džepnog kalkulatora (Sharp QT-8D, 1969.) – malo više od jednog radnog vijeka čovjeka! U tom je razdoblju došlo do nezamislivog tehnološkog razvoja računskih pomagala koji je, ustvari, bitno promijenio cijelu ljudsku civilizaciju.



Sl. 76.: Casio fx-7000G, 1985.



Sl. 77.: Canon F-789SGA



Sl. 78.: Sharp ELSI MATE EL 240S

Uzme li se u obzir da je razvoj kalkulatora bio najbrži negdje od početka pa do kraja sedamdesetih godina, dakle trajao je samo oko deset godina, i da je nakon toga težište prebačeno na razvoj kompjutera, cijela priča još je impresivnija.

Od logaritamskog računala i mehaničkog računskog stroja, čiji je razvoj trajao tristotinjak godina, u svega petnaestak godina (od otprilike1965. do otprilike 1980.) način računanja nezamislivo se promijenio. Iz razdoblja kad je računanje bilo sporo i zamorno i tražilo dosta operaterova znanja i napora, ušlo se u razdoblje kad je računanje postalo jednostavno tipkanje bez fizičkog i mentalnog napora, a s brzim i pouzdanim rezultatom. Može se reći da se brzina računanja enormno povećala i da je zapravo kočnica postala operaterova fizička sposobnost da brojeve utipka u kalkulator te očita i ispiše rezultate. Samo računanje, kakva god bila operacija, kalkulator obavlja tako brzo da se može smatrati trenutačnim.

Povećanje brzine računanja omogućeno elektroničkim računskim pomagalima posebno je uočljivo kod kompjutera, gdje je izbjegnuta najsporija i najnepouzdanija faza kalkulatora – ručni unos brojeva i ispis rezultata. Primjerice, logaritamske tablice, koje su nekad računale stotine ljudi i to nekoliko godina, danas bi najobičniji PC kompjuter, jednom programiran, izračunao i ispisao vjerojatno u vremenu koje se mjeri sekundama ili najviše minutama!

No, takav fantastičan napredak, osim pozitivnih strana, ima i posljedicu oko koje se mišljenja razilaze: dok su nekadašnji operateri, osim strpljenja, a gdjekad i fizičke snage, morali imati i dosta znanja i nekoliko trikova "u rukavu", za računanje s pomoću kalkulatora ne treba ništa od toga. Većina današnjih korisnika ne treba pa i nema nikakav osjećaj za brojeve i njihov red vrijednosti. Zato se i može dogoditi, a i događa se, da u nekim situacijama neka pogreška (npr. pogrešno utipkan broj ili decimalni zarez utipkan na krivom mjestu), rezultira pogrešnim redom vrijednosti rezultata, a da to operater ni ne primijeti! Takve se pogreške nekadašnjim operaterima nisu često događale.

Zajedničko svim ranijim računskim pomagalima bilo je to da su većinu računa obavljala s mantisama brojeva, a da je položaj decimalnog zareza morao odrediti operater. Iznimke su bile uredske zbrajalice (obično dva decimalna mjesta) i tzv. log-log skale na logaritamskim računalima. Od samog su početka elektronički kalkulatori uzimali u račun i decimalni zarez.

Logično je da se od početka osamdesetih godina, čim je tehnološki razvoj integriranih krugova to omogućio, prionulo razvoju kompjutera koji, za opsežnije računske zadatke, izbjegava baš te dvije kritične faze – unos ulaznih podataka i izlaz dobivenih rezultata. Ne treba zaboraviti da je ljudsko računanje bilo popraćeno neizbježnim pogreškama koje kod kompjutera praktički ne postoje. No, to je druga, još impresivnija tema.

Zaključak

Računska pomagala oduvijek su bila prilagođena potrebama računanja u skladu s djelatnostima i raspoloživim tehnologijama. Nagli rast znanosti i tehnike u drugoj polovini XX. stoljeća doveo je do potreba za sve bržim računanjem radi obrade sve veće količine mjerenih podataka, ali i omogućio je potpuno novu i dotad nezamislivu tehnologiju brzog računanja. U usporedbi s nekoliko tisuća godina "vladanja" abakom i tristo godina usporednog korištenja logaritamskih računala i mehaničkih računskih strojeva, nekoliko desetaka godina razvoja elektroničkih računskih pomagala nevjerojatno je kratko razdoblje, u kojem je potpuno izmijenjena slika računanja, ali i svijeta u cjelini.

Literatura (izvori podataka, dostupno 10. 9. 2020.)

Od davnina:

https://www.rechnen-ohne-strom.de/ − Široki pregled svih vrsta računskih pomagala "bez struje"

Logaritamska računala:

http://sliderulemuseum.com/ − International Slide Rule Museum

http://www.oughtred.org/ − Oughtred Society

http://www.rechenschieber.org/

http://www.sliderules.info/index.htm

http://sliderules.lovett.com/

http://sliderule.ozmanor.com/index.html

http://www.sliderule.it/

Analogna računala:

https://www.rechenschieber-werbemittel.de/

https://prof.beuth-hochschule.de/heimann/rechenschieber-fuer-das-bauwesen/wasserbau/

Mehanički računski strojevi:

http://www.rechnerlexikon.de/wiki.phtml – Više od 6000 jedinica!

http://www.ifhb.de/Rechenmaschinen.php – podaci o čak 1809 modela mehaničkih računskh strojeva

http://www.rechenmaschinen-illustrated.com/ − *web*-stranica bazirana na knjizi Ernsta Martina *Die Rechenmaschinen* iz 1925.

http://www.storiaolivetti.it/ − mehanički računski strojevi i elektronički kalkulatori talijanske tvrtke Olivetti

http://public.beuth-hochschule.de/hamann/ – mehanički računski strojevi

http://www.w-hasselo.nl/mechn/index.php – mehanički računski strojevi

http://www.curtamania.com/curta/code/home.html − ručni Curta mehanički računski stroj i elektronički kalkulatori

http://retrocalculators.com/ − sve vrste računskih pomagala

http://www.mechanicalculator.com/ − mehanički računski strojevi

http://history-computer.com − širok pregled svih vrsta računskih pomagala

http://www.mechrech.info/ − povijesni pregled najstarijih računskih pomagala

http://www.officemuseum.com/ − stara uredska oprema, uključujući uredske računske strojeve

Elektronički kalkulatori:

http://www.calcuseum.com/ − najopsežnija baza podataka o svim elektroničkim kalkulatorima (više od 10 000 modela!)

http://www.hpmuseum.org/ − najopsežnija baza podataka o elektroničkim kalkulatorima Hewlett-Packard

http://www.datamath.org/ − najopsežnija baza podataka o elektroničkim kalkulatorima Texas Instruments

http://www.casio-calculator.com/ − najopsežnija baza podataka o elektroničkim kalkulatorima Casio

http://www.vintagecalculators.com/ − opsežan povijesni pregled razvoja elektroničkih kalkulatora

http://www.oldcalculatormuseum.com/index.html − stolni elektronički kalkulatori

http://www.johnwolff.id.au/index.htm − opsežna baza podataka o mehaničkim računskim strojevima i elektroničkim kalkulatorima

http://www.leningrad.su/museum/ − sovjetski kalkulatori Sergej Frolov

http://www.rskey.org/CMS/ − programibilni džepni kalkulatori

http://www.rechenkasten.de – stolni elektronički kalkulatori

http://computermuseum.informatik.uni-stuttgart.de/cm002.html

http://www.epocalc.net/pages/mes_calcs_01.htm

http://ernst.mulder.com/calculators/

http://web.tiscali.it/city/@calculators.htm

http://www.decadecounter.com/vta/tubelist.php

Branko Hanžek, Arijana Kolak Bošnjak

Milenijska izložba u Budimpešti 1896. godine

Sažetak: U radu je dan osvrt na Milenijsku izložbu Kraljevine Ugarske koja je održana u Budimpešti 1896. godine. Dan je uvid u povijesne okolnosti povezane s tim događajem kao i uvid u nastup kraljevina Hrvatske i Slavonije u sklopu izložbe. Nastup se odvijao u tri paviljona: šumarskom, gospodarsko-industrijskom i umjetničko-povijesnom. Poseban osvrt posvećen je izlagačima u gospodarsko-industrijskom paviljonu s ciljem da se istakne osobita isprepletenost gospodarstva, znanosti, tehnike i nastave. Pojedini izlagači iz Hrvatske i Slavonije za svoj su istaknuti nastup dobili medalje, odnosno Diplomu priznanicu. Nastup poznatijih izlagača detaljnije je obrazložen, a osobita pozornost posvećena je prirodi njihovih izložaka odnosno tehničkih pronalazaka, gotovo u smislu izuma.

Ključne riječi: Milenijska izložba, Budimpešta, kraljevine Hrvatska i Slavonija, gospodarsko-industrijski paviljon, izlagači i njihovi izumi, medalje, Diploma priznanica

Uvod

Promatrajući isprepletenost gospodarstva, znanosti, tehnike i nastave na Milenijskoj izložbi u Budimpešti 1896. postavilo nam se pitanje je li moguće da danas sve manje uvažavamo poslovicu (stanovište?) da je povijest učiteljica života. Promatrajući odnos nastave prema gospodarstvu kao da smo zaboravili sve ono što su tadašnji suvremenici mislili o nastavi kao aktivnom pokretaču razvitka gospodarstva. Ili je možda još dramatičnije kad je riječ o tome? Je li došlo ne do zanemarivanja, nego čak do namjernog odbacivanja važnosti uloge nastave u razvitku gospodarstva? Nadajmo se da će buduće generacije biti

mnogo objektivnije u pretresanju tog pitanja i da neće prihvaćati danas tužno prevladavajuća stanovišta da je nastava samo trošak. Stoga ćemo ovaj rad nastojati učiniti što korisnijim i pružiti perspektivni uvid i jasniji osvrt na nekadašnju ulogu nastave u razvitku gospodarstva. Namjera nam je dati valjanu osnovu za postavljanje novih ideja ili stanovišta u tijek sveukupnog navedenog razvitka.

U vezi s izložbom valja istaknuti nekoliko momenata koji su s njom povezani. Dana 4. svibnja 1884. donesen je Zakonski članak o autorskom pravu. Njim je regulirano autorsko pravo tako da je opći rok trajanja autorskih prava 50 godina poslije smrti autora. Taj propis uređivao je pitanje književnih djela, glazbenih djela, javnih predstava, igrokaza, glazbenih djela i glazbenih igrokaza, proizvoda obrazovne umjetnosti (crtanja, rezbarstva, slikarstva, kiparstva), zemljoslovnih i zemljopisnih mapa, prirodoznanstvenih, mjerstvenih, graditeljskih i drugih tehničkih crteža i likova i, konačno, svjetlopisa (fotografije) [1]. Zakonski članak o povlasticah na izume od 12. listopada 1895. uređivao je davanje povlastice za svaki novi izum koji se uz pomoć obrta dao unovčiti [2]. Zakon o zaštiti pronalazaka (zakon o patentima) od 11. siječnja 1897. isključio je davanje patenata koji ističu naučna pravila i načela [3].

U knjizi *Kraljevine Hrvatska i Slavonija na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi Kraljevine Ugarske u Budimpešti 1896.* navedeni su u Odjeljku: Paviljon industrije, Skupini III, rubrici: Nastava, podrubrikama: I. Javna obuka, II. Znanstveni zavodi i muzeji, III. Stručna naobrazba, IV. Učila, učevne knjige i učevna sredstva, pravni i fizički subjekti koji su trebali izlagati na toj izložbi [4]. Zanimljivo je da pravni subjekti nisu bili u mogućnosti dobiti neku nagradu (medalju ili Diplomu priznanicu) te je to bilo rezervirano za fizičke osobe. Tako je u spomenutoj knjizi navedeno da će na Milenijskoj izložbi izlagati Kraljevska velika gimnazija u Gospiću te da će, među ostalim, profesor Vaclav Pavlat (koji je bio zaposlenik te škole) izložiti svoj izum elektroforno munjilo. Profesor Pavlat za svoj je izložak dobio Diplomu priznanicu prema odluci (ocjeni) skupinske porote, koja je ocijenila da rad na tom pronalasku ima karakter vrijedne djelatnosti. S druge strane, u knjizi je navedeno da će izlagati Fizikalni zavod Kr. sveučilišta Franje Josipa I. koji će izložiti aparate za akustičke rotacije i za prispodobu jakosti zvuka, dok je Veliku zlatnu medalju dobio sveučilišni profesor dr. Vinko Dvořák. Diplome priznanice i medalje podijeljene su također za učila i knjige. Od 24 imenom i prezimenom navedene osobe u spomenutoj knjizi, šest ih je nagrađeno (dvije Izložbenom medaljom, a četiri Diplomom priznanicom). Zanimljivo je da je Sudioničku medalju dobio i dr. Srećko Bošnjaković za knjigu *Vina Hrvatske i Slavonije*. Dio te knjige je i *Uputa za iztraživanje i ocjenu vina*, koja je objavljena 1896. u Zagrebu i kao zasebna knjiga. Iako su u knjizi koja je prethodila izložbi navedeni pravni i fizički subjekti (i javni i privatni), u njoj Bošnjaković nije spomenut.

1. Povijesne okolnosti

Milenijska izložba u Budimpešti održana je u sklopu obilježavanja tisućite godišnjice doseljenja Mađara u Karpatski bazen. Ona je bila središnji događaj te obljetnice, a svijetu je trebala pokazati gospodarski i kulturni razvoj Ugarske od doseljenja Mađara te napredak Ugarske koji se dogodio u razdoblju nakon sklapanja Austro-Ugarske nagodbe, odnosno nakon što je Ugarska stekla visok stupanj samostalnosti u odnosu na austrijski dio Monarhije i proširiti sliku o Mađarima kao stabilnoj i "velikoj" naciji, koja ispunjava civilizacijsku misiju na prostoru koji je zaposjela.[1]

1.1. Pripreme za Milenijsku izložbu

Pripreme za Milenijsku izložbu trajale su gotovo cijelo desetljeće, a Mađari su se potrudili promovirati je u svakoj prilici.[2] U Banskoj Hrvatskoj (kraljevine Hrvatska i Slavonija) već se tijekom 1894. intenzivno radilo na tome da Hrvatska i Slavonija budu na izložbi što dostojnije zastupane. U svibnju 1894. predstavnici Osječke trgovačko-obrtničke komore, koji su bili iznimno zainteresirani za sudjelovanje na Milenijskoj izložbi, obratili su se banu Khuen-Héderváryju i Zemaljskoj vladi tražeći konkretne upute za pripreme za izložbu. Tad im je obećano kako će Vlada podnijeti Saboru prijedlog za dodjelu subvencija za sudjelovanje na izložbi u Budimpešti i to s objašnjenjem kako je sudjelovanje na toj izložbi važno s ekonomskog aspekta. Khuen je tu tvrdnju ponovio u Saboru, koji je zatim odobrio 100.000 forinti za sudjelovanje na Milenijskoj izložbi, unatoč prosvjedu pravaša, koji su tad činili vrlo slabu parlamentarnu oporbu.[3]

Zatim je, nakon što je u Budimpešti osnovan Zemaljski izložbeni odbor koji je bio glavno tijelo za izložbene poslove, takav odbor osnovan i u Banskoj Hrvatskoj. Hrvatski ban Khuen-Héderváry 1. prosinca 1894. putem Naredbe o sudjelovanju kraljevinah Hrvatske i Slavonije na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske u Budapešti godine 1896., ustrojio je Zemaljski izložbeni odbor kraljevina Hrvatske i Slavonije, koji je trebao biti glavno tijelo za vođenje izložbenih poslova i ustrojavanje izložbenog odjela kraljevina Hrvatske i Slavonije. Dio članova spomenutog odbora imenovao je ban, a dio je

[1] Dinko Šokčević, *Hrvati u očima Mađara, Mađari u očima Hrvata. Kako se u pogledu preko Drave mijenjala slika drugoga*, Zagreb, 2006., str. 171. László Kontler, *Povijest Mađarske. Tisuću godina u zapadnoj Europi*, Zagreb, 2007., str. 296-297.

[2] *Povijest Mađarske*, ur. Péter Hanák, Zagreb, 1995., str. 175.

[3] Kroatien auf der Milleniums-Ausstellung, *Agramer Zeitung* (dalje: *AZ*), br. 107, 10. 5. 1894., str. 5. *Grazer Volksblatt*, br. 166, 25. 7. 1894., str. 1. D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 175.

izabran po pojedinim institucijama pa su, među ostalim, po jednog člana trebali imenovati Kraljevsko sveučilište Franje Josipa I. i JAZU, Hrvatsko naravoslovno (prirodoslovno) društvo i Društvo inžinira i arhitekata za Hrvatsku i Slavoniju. Od sveučilišnih profesora u organizaciji izložbe vezano za prirodne znanosti važno su mjesto zauzeli dr. Antun Heinz, dr. Mijo Kišpatić te dr. Dragutin Gorjanović, dok je na sjednicama Zemaljskog izložbenog odbora Sveučilište zastupao prof. dr. Vinko Dvoržak (Dvořák).[4] Prema odredbama spomenute

O sudjelovanju kraljevinah Hrvatske i Slavonije na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske u Budapešti godine 1896.

Kako je našim čitateljem jur poznato, radi se već živo na tom, da bude naša domovina na tisućgodišnjoj zem. izložbi kraljevine Ugarske što dostojnije zastupana, a da bude spomena o pripremah za tu izložbu i u našim „Vjestim" priobćujemo predbježno:

A. Naredba.

bana kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije od 1. prosinca 1894. broj 4325 predsj. glede sudjelovanja kraljevinah Hrvatske i Slavonije na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske u Budimpešti godine 1896.

Da budu kraljevine Hrvatska i Slavonija prema zakonom ustanovljenom i zajamčenom im državopravnom položaju što dostojnije zastupane na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske u Budimpešti godine 1896., na koju su izložbu ove kraljevine po kralj. ugarskoj vladi pozvane, nalazim odrediti sliedeće:

§. 1.

Za središnje vodenje izložbenih posalah i za ustrojenje posebnog izložbenog odjela kraljevinah Hrvatske i Slavonije na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske, koja će se obdržavati godine 1896. u Budimpešti, ustrojava se zemaljski izložbeni odbor.

§. 2.

Sjedište zemaljskog izložbenog odbora jest Zagreb.

Naslov mu je: „Zemaljski izložbeni odbor kraljevinah Hrvatske i Slavonije za sudjelovanje na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi kraljevine Ugarske u Budimpešti godine 1896."

Pečat mu je sjedinjeni grb kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije sa krunom sv. Stjepana.

§. 3.

Na čelu zemaljskog izložbenog odbora stoji predsjednik, a zamjenjuje ga podpredsjednik, koje imenuje ban kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije.

Članovi zemaljskog izložbenog odbora jesu dielom imenovani po banu kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije, dielom izabrani po pojedinih korporacijah, na sudjelovanje pozvanih.

§. 4.

Zemaljski izložbeni odbor imade uglaviti načelna pitanja, koja se tiču sudjelovanja kraljevinah Hrvatske i Slavonije, kao i način toga sudjelovanja na gore spomenutoj izložbi.

§. 5.

Zemaljski izložbeni odbor donaša zaključke absolutnom većinom prisutnih glasovah.

Pravo potvrde donesenih zaključakah pridržaje si ban kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije.

§. 6.

Na sjednice zemaljskog izložbenog odbora pozivaju se članovi pismenim pozivom predsjednika, a u njegovom zapriečenju podpredsjednika.

Sjednica može donieti zaključak, ako je barem šest članovah prisutnih.

§. 7.

O sjednicah zemaljskog izložbenog odbora vode se zapisnici.

Zapisnik ovjerovljuju osim predsjednika, odnosno podpredsjednika i tajnika, imenovanog po banu kraljevinah Hrvatske, Slavonije i Dalmacije, još dva za to izabrana odbornika.

§. 8.

U svrhu brzog toka i provadjanja izložbenih posalah ustrojava se kod zemaljskog izložbenog odbora posebni eksekutivni odbor.

Predsjednik zemaljskog izložbenog odbore jest ujedno predsjednikom eksekutivnog odbora, a podpredsjednikom potonjeg jest posebna po banu imenovana osoba

Eksekutivni odbor sastoji od potrebitog broja po banu imenovanih članovah i tajnika zemaljskog izložbenog odbora.

§. 9.

Eksekutivni odbor može stvarati zaključke samo u okviru donesenih i potvrdjenih zaključakah zemaljskog izložbenog odbora, i to, ako je prisutna barem četvrtina članovah.

Perovodju eksekutivnog odbora imenuje predsjednik zemaljskog izložbenog odbora.

§. 10.

Za obavljanje perovodnih, pisarskih i inih u savezu s time stojećih posalah, ustrojava se izložbeni ured, koji stoji pod neposrednom upravom predsjednika, odnosno podpredsjednika zemaljskog izložbenog odbora.

§. 11.

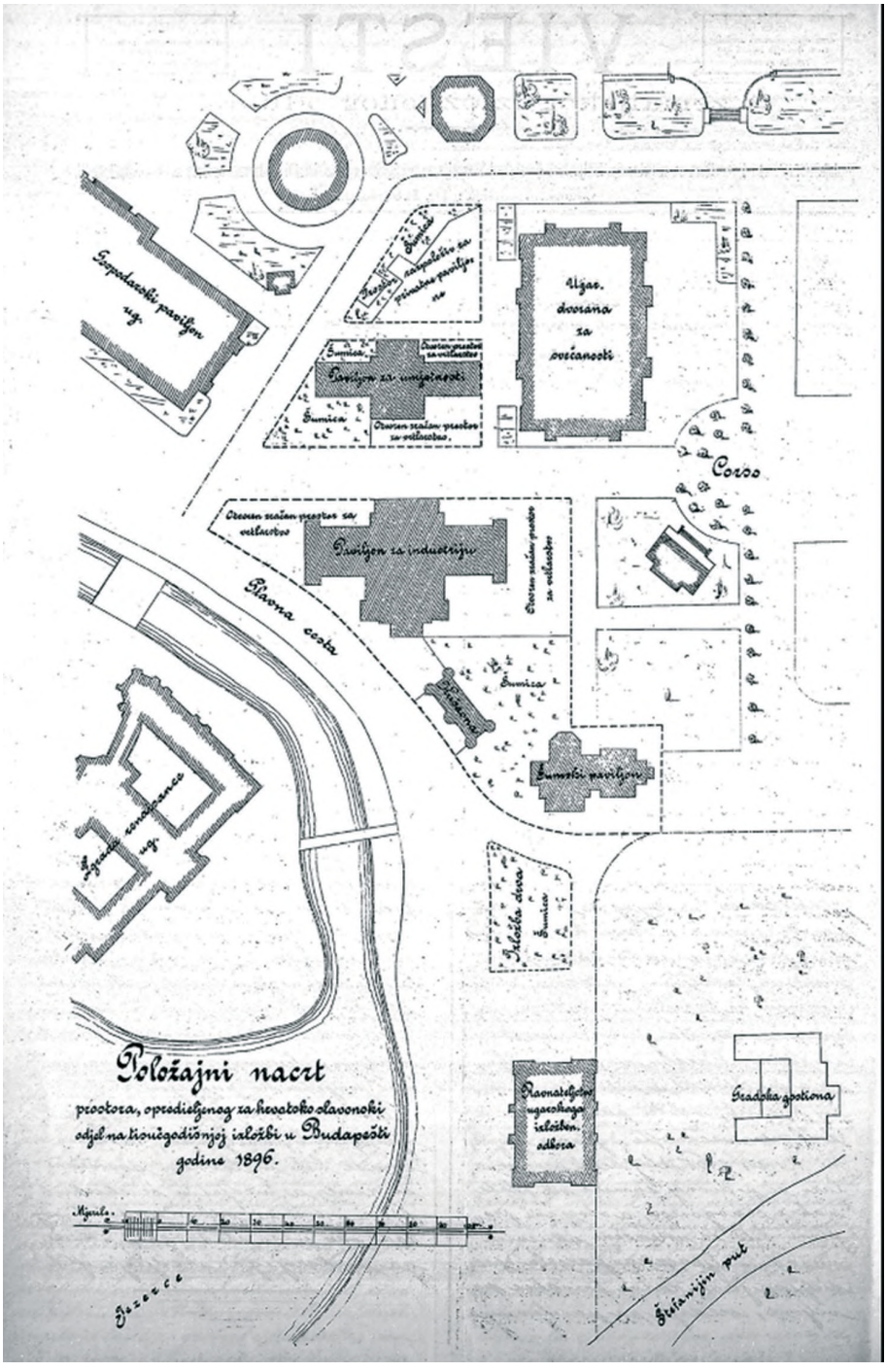
U svakoj županiji imade se za područje njezino i područnih gradovah ustrojiti posebni županijski izložbeni odbor pod predsjedničtvom kr. velikog župana dotične županije.

Županijski izložbeni odbor sastoji od dvadeset po kralj. velikom županu imenovanih članovah

Županijski izložbeni odbori stoje u neposrednom občenju sa predsjedničtvom zemaljskog izložbenog odbora u Zagrebu, od kojega će primati potrebite ubaviesti i naputke i na koji se imadu obraćati u izložbenih poslovih.

Sl. 1.: Naredba o sudjelovanju kraljevinah Hrvatske i Slavonije na tisućgodišnjoj izložbi kraljevine Ugarske u Budapešti godine 1896.

[4] Viesti zemaljskog izložbenog odbora, br. 4, 11. 3. 1895., br. 24, 15. 5. 1895.



Sl. 2.: Položajni nacrt prostora određenog za Hrvatsko-slavonski odjel na izložbi u Budimpešti [11]

Naredbe i na nižim razinama, tj. u svakoj županiji trebali su se ustrojiti posebni izložbeni odbori kojima su predsjedali veliki župani.[5]

Odbor se s prve sjednice održane 29. prosinca 1894. obratio novinstvu tražeći potporu za svoj rad, a opravdavajući sudjelovanje na izložbi tvrdnjom kako ono potpuno odgovara državnopravnom položaju kraljevina Hrvatske i Slavonije, odnosno kako će one na izložbi imati posve odijeljen teritorij označen kao 'Izložba kraljevina Hrvatske i Slavonije'.[6] I zaista, hrvatsko-slavonski izložbeni prostor bio je zaseban i prostirao se na 11 000 m^2.[7]

Zahtjev spomenutog Odbora prema novinstvu nije bio bez razloga. Naime, hrvatska javnost bila je podijeljena oko sudjelovanja, čemu su kumovale političke okolnosti, odnosno prijeporni odnosi između Hrvata i Mađara.

1.2. Odnosi između Hrvatske i Ugarske u vrijeme pripreme Milenijske izložbe

Hrvatsko-ugarskom nagodbom iz 1868. godine trebao je biti definiran položaj Trojedne kraljevine, tj. kraljevina Hrvatske i Slavonije u novouređenoj državnoj zajednici, Austro-Ugarskoj Monarhiji. Nagodbom je trebao završiti proces kojim se nastojala osigurati stabilnost u Monarhiji i učvrstiti njezin položaj kao velesile na međunarodnoj političkoj pozornici.

No, Nagodba je donesena u ozračju manipulacije izbornim procesom pri čemu su pristaše unije s Ugarskom odnijele pobjedu i ubrzo potom sklopile Nagodbu odrekavši se financijske i gospodarske samostalnosti kraljevina Hrvatske i Slavonije, što je za posljedicu imalo stalne međusobne sukobe i veliko nezadovoljstvo hrvatske strane. Usto, odredbe Nagodbe u pojedinim su dijelovima bile nedorečene, a hrvatska i mađarska verzija nagodbenog ugovora također nisu bile identične, što je dovodilo do čestih zloporaba s mađarske strane kao snažnijeg političkog faktora i nezadovoljstva hrvatske strane svojim statusom. Hrvatska strana smatrala je, naime, kako je Nagodbom potvrđena njezina državnost, jer je imala zaseban teritorij, zakonodavstvo i vladu te je priznata

[5] Nedugo nakon što je Naredba donesena počeli su se osnivati i županijski odbori za organizaciju Milenijske izložbe. *Zur Millenium-Ausstellung*, *AZ*, br. 291, 19. 12. 1894., str. 5.

[6] Viesti Družtva inžinira i arhitekata u Hrvatskoj i Slavoniji, br. 3, 1895., str. 25-32. Die Milleniums-Ausstellung, *Montags-Zeitung*, br. 846, 11. 11. 1895., str. 3.

[7] Cijela izložba prostirala se na 120 000 m^2, a imala je više od 21 000 izlagača. Milan Krešić, *Izvješće o milenijskoj izložbi kraljevine Ugarske i kod te prigode sudjelujuće Bosne i Hercegovine te kraljevina Hrvatske i Slavonije god. 1896.*, Zagreb, 1897., str. 6-7. Viesti Družtva inžinira i arhitekata u Hrvatskoj i Slavoniji, br. 3 (1895), str. 32.

kao politička nacija, dok je mađarska strana tumačila kako je tek jednom dijelu svoje države dala određeni stupanj autonomije.[8]

Upravo zbog tako različitog tumačenja položaja kraljevina Hrvatske i Slavonije dolazilo je do prijepora između Hrvata i Mađara, a oni su još ojačali nakon što je mađarski nacionalizam od 1880-ih ponovno počeo jačati. Taj nacionalizam najsnažnije su osjetili nemađarski narodi u Ugarskoj, ali bio je uperen i prema Hrvatskoj i Slavoniji i to pokušajima da se okrnji njihova autonomija. Mađari su postupcima poput postavljanja dvojezičnih hrvatsko-mađarskih ploča na javne institucije u Hrvatskoj i Slavoniji kao i osnivanjem mađarskih škola te uvođenjem obvezatnog učenja mađarskog jezika u gimnazije, što je 1894. uveo upravo ban Khuen-Héderváry, snažno nasrtali na hrvatsku autonomiju nastojeći postići političku prevlast nad Hrvatskom i Slavonijom.

U Ugarskoj su, naime, pristaše mađarskog nacionalizma vodile službenu politiku, najprije Kálmán Tisza, za čije se vladavine (1875. − 1890.) mađarizacija počinje poticati i sredstvima koja su kršila zakon, a 1895. na čelo mađarske vlade došao je Dezső Bánffy, vatreni branitelj mađarskog suvereniteta.[9] No, valja naglasiti kako su Mađari podržavali nagodbeni sustav, koji je osiguravao mađarsku prevlast u istočnom dijelu Monarhije te okvir za gospodarski i kulturni razvoj Mađara i njihove nacionalne politike.[10] Khuen-Héderváry poslan je u Zagreb zbog nezadovoljstva Hrvata nagodbenim sustavom i mađarizacijom, a s ciljem da učvrsti dualizam i oslabi protumađarske težnje. No, efekt je bio suprotan, iako je uspio otupiti oporbenu oštricu.

1.3. Gospodarski interes Hrvatske za sudjelovanje na Milenijskoj izložbi

Nezadovoljstvo hrvatske strane nije proizlazilo samo iz političkih prijepora s Mađarima nego i zbog gospodarskog zaostajanja Hrvatske i Slavonije. Zbog svega navedenog trebalo je privoljeti pojedince iz različitih sfera javnog života da sudjeluju na Milenijskoj izložbi, koja je imala i veliko političko značenje za Mađare. Njom se, naime, potvrđivala mađarska politika oblikovana u razdoblju dualizma, a temeljila se na golemom gospodarskom i kulturnom razvoju

[8] L. Kontler, *Povijest Mađarske*, str. 287. Éva Somogyi, Hrvatska u zajedničkom sustavu, *Hrvatsko-mađarski odnosi. Zbronik radova*, ur. Milan Kruhek, Zagreb, 2004., str. 264.

[9] Iván Berényi Ml., Komu ni khuenovština nije bila dostatno prougarska, *Prekretnice u suživotu Hrvata i Mađara. Ustanove, društvo, gospodarstvo i kultura*, ur. Pál Fodor, Dinko Šokčević, Budimpešta, 2015., str. 92, 97.

[10] L. Kontler, *Povijest Mađarske*, str. 286-288, 293-296. Ladislav Heka, Grof Karlo (Károly) Khuen-Héderváry i Hrvati, *Zbornik Pravnog fakulteta Sveučilišta u Rijeci*, br. 3 (2016), str. 1072-1073.



BAN DRAGUTIN grof KHUEN-HÉDERVÁRY

Sl. 3.: Ban Khuen-Héderváry [12]

Ugarske, što je, pak, bila čvrsta podloga za daljnje jačanje mađarskog nacionalizma, a to hrvatskoj javnosti nije promaknulo.[11]

Vlada i provladin tisak poduzeli su zato korake kako bi paviljon Hrvatske i Slavonije izgledao što impresivnije. Hrvatska vlada od pojedinih je stručnjaka naručivala radove za izložbu.[12] Ban Khuen-Héderváry poticao je odlazak na izložbu argumentom da hrvatsko gospodarstvo od nje može imati konkretnu korist jer će svoje proizvode predstaviti mađarskim poslovnim krugovima i potrošačima, što je s obzirom na gospodarski razvoj u Ugarskoj bio zaista čvrst argument.

[11] L. Kontler, *Povijest Mađarske*, str. 296-297. D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 171-172. Željko Holjevac, Mađaroni i mađarizacija između mita i zbilje u svjetlu hrvatsko-mađarskih odnosa u 19. stoljeću, *Hrvati i manjine u Hrvatskoj: moderni identiteti*, ur. Marijana Marinović, Zagreb, 2014., str. 112-113.

[12] Tako je osim Bošnjakovićeva rada vezanog uz hrvatsko-slavonska vina Zemaljska vlada naručila, a zatim u Budimpešti i izložila djelo Antuna Lobmayera *Kr. primaljsko učilište i zemaljsko rodilište u Zagrebu od 1877. do 1896.* te knjigu *Školstvo u Hrvatskoj i Slavoniji od njegova početka do konca god. 1895. uz prijegled humanitarnih i kulturnih zavoda. Sastavljeno po službenim podacima prigodom milenijske izložbe u Budimpešti godine 1896.* Osim toga, i slikari i fotografi dobili su također narudžbe da naprave određena djela za izložbu i za to su dobili novčanu naknadu. Usp. Oto Švajcer, Sigmund Lansinger, biografski osvrt na razdoblje do 1896. godine, *Radovi Instituta za povijest umjetnosti*, 8 (1984.), str. 86.

Naime, proizvodnja ugarskog gospodarstva u nagodbenom se razdoblju povećala najmanje tri puta, rastao je bruto društveni proizvod, a u najmodernijim granama industrije, tj. kemijskoj i industriji električne energije, bila je među najnaprednijim zemljama svijeta.[13] Milan Krešić, tajnik Trgovačko-obrtničke komore u Zagrebu vidio je, pak, na mađarskoj izložbi izvrstan primjer napretka, koji bi i Hrvate trebao potaknuti na ustrajnost i jače pregnuće.[14] Promicanju sudjelovanja i odlaska na izložbu pridružile su se i provladine novine, *Narodne novine* i *Agramer Zeitung,* donoseći članke u kojim se pozitivno pisalo o Mađarima i hrvatsko-mađarskim odnosima, a uspješno predstavljanje Hrvatske i Slavonije na izložbi smatrale su potvrdom opravdanosti postojanja hrvatsko-ugarske državne zajednice.[15]

1.4. Prijepori oko sudjelovanja na Milenijskoj izložbi

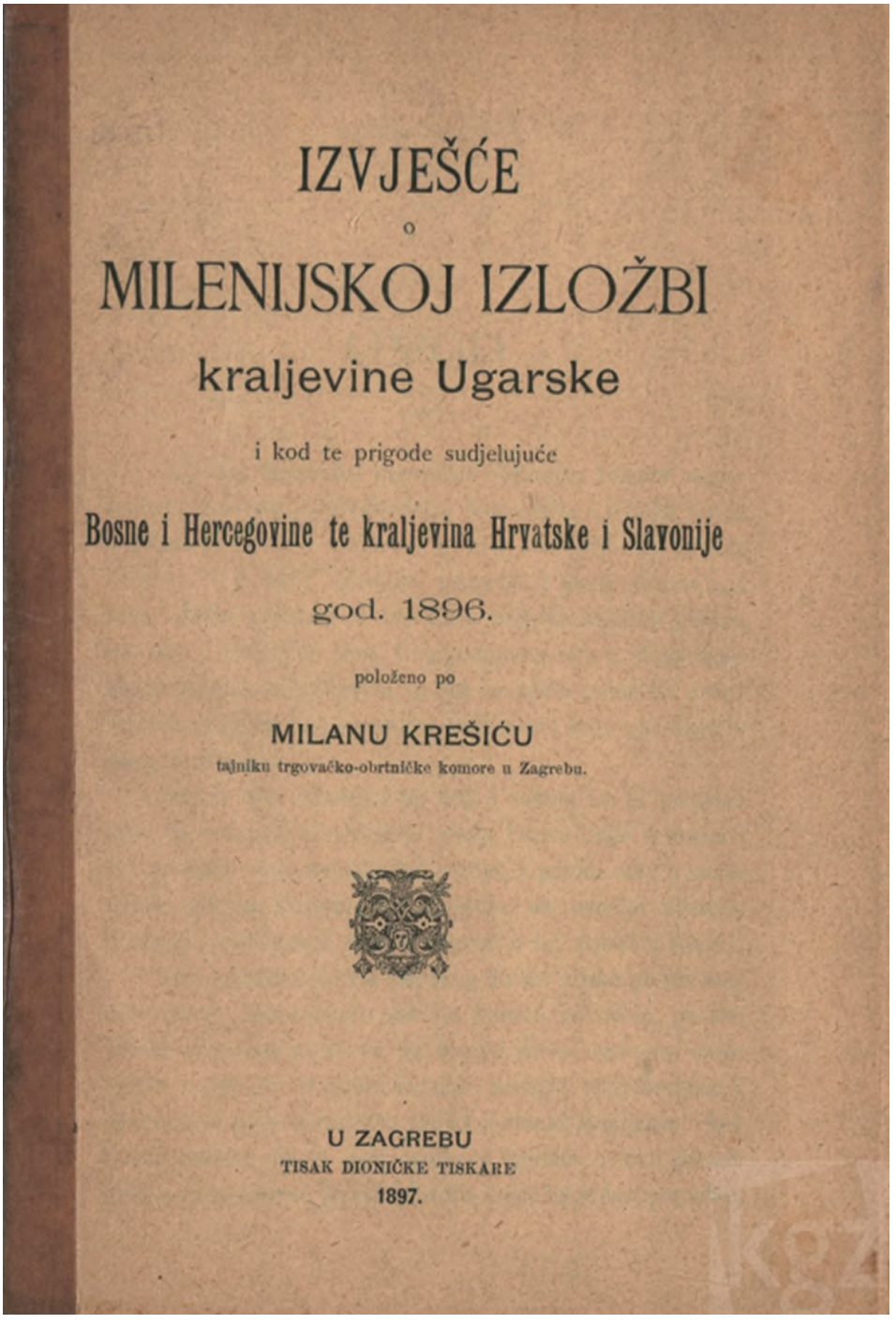
Dio novinstva protivio se sudjelovanju na izložbi i odlasku hrvatskih građana na taj događaj. Dakako, riječ je bila o oporbenim novinama, prije svega o listu *Obzor*, koje su upregnule sve svoje kapacitete kako bi negativno predstavile spomenutu izložbu i pokušale odgovoriti pojedince iz Hrvatske i Slavonije od sudjelovanja. U svojoj argumentaciji koristili su ponajprije državno-pravne elemente. Izložba je u tim novinama prikazana kao reprezentacija jedinstva mađarske države, što su smatrali povredom hrvatske autonomije, odnosno same Nagodbe, a sve one koji su podržavali obilježavanje tisućljetnice prozvali su zbog potpore politici koja želi stopiti Hrvatsku s Ugarskom.[16] Pravaši su se opirali ideji odlaska na obljetnicu tisućljetnice argumentima kako je to ekskluzivno mađarski blagdan i kako Hrvati tamo nemaju što tražiti. Argumentacija hrvatskih oporbenih novina objavljena je i u nekim njemačkim novinama koje također nisu podržavale mađarsku proslavu i tad je bila višeslojna. Prije svega, zamjeralo se hrvatskoj vladi što je za izgradnju hrvatsko-slavonskog paviljona za Milenijsku izložbu odlučila izdvojiti više od 100.000 forinti, a dodatnih tri do četiri tisuće staviti hrvatsko-slavonskom Zemaljskom izložbenom odboru na raspolaganje, dok je za izložbu u Zagrebu 1891. godine ban dopustio samo 20.000 forinti. Zatim se negodovalo zbog informacije da bi Riznica zagrebačke katedrale trebala dati svoje blago kako bi pomogla povećati "izložbu stare mađarske umjetnosti", iako je ostavljen tračak nade da biskup Posilović neće dopustiti da se to blago izloži drugdje osim u hrvatskom paviljonu. Usto, u članku se tvrdi kako je Milenijska izložba zapravo isključivo mađarska izložba pri

[13] L. Kontler, *Povijest Mađarske*, str. 307, 313.

[14] M. Krešić, *Izvješće*, IV.

[15] D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 176, 186.

[16] D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 176-179.


IZVJEŠĆE
o
MILENIJSKOJ IZLOŽBI
kraljevine Ugarske
i kod te prigode sudjelujuće
Bosne i Hercegovine te kraljevina Hrvatske i Slavonije
god. 1896.
položeno po
MILANU KREŠIĆU
tajniku trgovačko-obrtničke komore u Zagrebu.
U ZAGREBU
TISAK DIONIČKE TISKARE
1897.

Sl. 4.: Izvješće o Milenijskoj izložbi koje je sastavio Milan Krešić [13]

čemu su drugi ugarski nemađarski narodi samo iskorišteni da bi se prikazala mađarska veličina, odnosno da Mađari na taj način podređuju druge narode Krune sv. Stjepana i da im izložba služi samo za njihov šovinizam i ruganje drugim narodima u Ugarskoj.[17]

Kad je već bilo izvjesno kako će Hrvatska i Slavonija biti zastupljene na izložbi, u oporbenom tisku promijenjena je taktika te se publiku nastojalo uvjeriti kako one neće biti dostojno predstavljene s obzirom na proračun koji je određen za tu svrhu.[18] To pitanje postavljeno je s pravom, a poslije se pokazalo kako su troškovi sudjelovanja Hrvatske i Slavonije na toj izložbi bili višestruko veći.[19] Negativno stanovište prema obilježavanju tisućljetnice dolaska Mađara u Karpatski bazen zabilježeno je, kako je spomenuto, i u jednom dijelu njemačke javnosti, ali posebno su nezadovoljni tim bili nemađarski narodi u Ugarskoj, koji nisu prihvatili ideju jedinstvene mađarske političke nacije, u koju su i oni trebali biti uključeni, a još više su bili ozlojeđeni jačanjem mađarskog nacionalizma te su na Kongresu narodnosti, koji je održan 1895. u Budimpešti, odbili sudjelovati na Milenijskoj izložbi, što je hrvatski oporbeni tisak podržao.[20]

1.5. O sudjelovanju na Milenijskoj izložbi

Akcija oporbe što se tiče sudjelovanja na izložbi bila je osuđena na propast zato što su poslovni ljudi iz Hrvatske i Slavonije sudjelovanje prepoznali kao izvrstan prostor za promociju na jedinstvenom austrougarskom tržištu, ali i šire, jer su na izložbu stizali posjetitelji iz različitih dijelova Europe. Posljedica je to određenog gospodarskog i kulturnog razvoja u Hrvatskoj i Slavoniji od 1890-ih pa je na izložbi sudjelovalo čak 9278 izlagača iz tih zemalja.[21] Usto, i sam je vladar dao izložbi svoju velikodušnu podršku. Naime, Franjo Josip čak je otvorio kraljevsku riznicu mađarskim istraživačima, a Izložbenom odboru stavio je na raspolaganje sve predmete koji su vezani uz mađarsku povijest.

Ipak, o broju posjetitelja postojale su različite informacije. Iz izvješća M. Krešića čini se kako broj posjetitelja nije bio zadovoljavajući iako su Mađari poduzeli sve potrebno kako bi izložba bila što uspješnija, a to je značilo i što

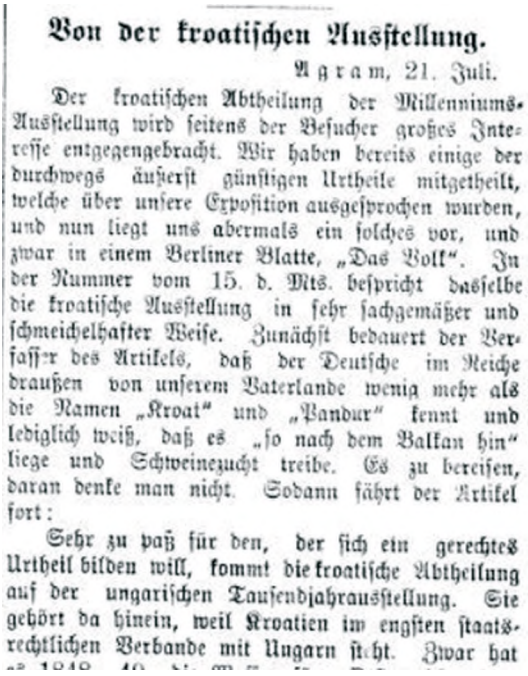
[17] Feuilleton. Die magyarische Milleniums-Ausstellung, *Reichspost*, br. 69, 23. 3. 1895., str. 68. Usp. Goran Arčabić, *Korak do novog stoljeća: gospodarska izložba u Zagrebu 1891.*, Zagreb, 2007.

[18] Kroatien und die Budapester Ausstellung, *AZ*, br. 86, 13. 4. 1896., str. 2.

[19] *Kärntner Zeitung*, br. 188, 18. 8. 1896., str. 7.

[20] D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 172-173, 177-178. L. Kontler, *Povijest Mađarske*, str. 287-288, 297. Usp. Die Eröffnung der Milleniums-Ausstellung in Budapest, *Das interessante Blatt*, br. 19, 7. 5. 1896., str. 7. Die Tausendjahrfeier in Ungarn, *Freie Stimmen*, br. 14, 1. 2. 1896.

[21] D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 173. Ž. Holjevac, "Mađari i mađarizacija", str. 113-114. M. Krešić, *Izvješće*, str. 251.



Von der kroatiſchen Ausſtellung.

Agram, 21. Juli.

Der kroatiſchen Abtheilung der Millenniums-Ausſtellung wird ſeitens der Beſucher großes Intereſſe entgegengebracht. Wir haben bereits einige der durchwegs äußerſt günſtigen Urtheile mitgetheilt, welche über unſere Expoſition ausgeſprochen wurden, und nun liegt uns abermals ein ſolches vor, und zwar in einem Berliner Blatte, „Das Volk". In der Nummer vom 15. d. Mts. beſpricht dasſelbe die kroatiſche Ausſtellung in ſehr ſachgemäßer und ſchmeichelhafter Weiſe. Zunächſt bedauert der Verfaſſer des Artikels, daß der Deutſche im Reiche draußen von unſerem Vaterlande wenig mehr als die Namen „Kroat" und „Pandur" kennt und lediglich weiß, daß es „ſo nach dem Balkan hin" liege und Schweinezucht treibe. Es zu bereiſen, daran denke man nicht. Sodann fährt der Artikel fort:

Sehr zu paß für den, der ſich ein gerechtes Urtheil bilden will, kommt die kroatiſche Abtheilung auf der ungariſchen Tauſendjahrausſtellung. Sie gehört da hinein, weil Kroatien im engſten ſtaatsrechtlichen Verbande mit Ungarn ſteht. Zwar hat

Sl. 5.: Članak iz *Agramer Zeitunga* [14][23]

posjećenija. Tako su stranim novinarima osigurali slobodan prijevoz i besplatan boravak kako bi oni "(...) opjevali golemi napredak mađarske kulture i bezgranično gostoprimstvo u Budimpešti", a Mađarske državne željeznice svim su posjetiteljima izložbe ponudile velik popust.[22]

Naravno, provladine novine izvještavale su pozitivno o izložbi kao takvoj, ali i o uspjehu Hrvatsko-slavonskog odjela izložbe donoseći prije svega pozitivne komentare stranih posjetitelja koji su vidjeli Hrvatsko-slavonski paviljon. Zanimljivo je izvješće *Agramer Zeitung* prenio iz berlinskog lista *Das Volk*, u kojem je, prema ocjeni urednika, hrvatska izložba ocijenjena na vrlo zgodan i laskav način. Čitajući spomenuti članak vidljivo je kako njemačka javnost izvan

[22] M. Krešić, *Izvješće*, str. 243. Milleniumsausklänge, *Pettauer Zeitung*, br. 22, 31. 5. 1896., str. 3. D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 190.

[23] Prijevod. Zagreb, 21. srpnja Za hrvatski odjel Milenijske izložbe posjetitelji su pokazali veliko zanimanje. Već smo izvijestili o nekim iznimno povoljnim mišljenjima izrečenim o našoj izložbi, a sad pred nama leži ponovno jedno takvo, i to iz njemačkih novina *Das Volk*. U broju 15. od ovog mjeseca govori isti o hrvatskoj izložbi na vrlo zgodan i laskav način. Najprije autor članka žali što Nijemac u Carstvu o našoj domovini manje-više zna ime "Hrvat" i "Pandur" te da leži "tamo prema Balkanu" i u njoj se bavi uzgojem svinja. Da je se proputuje na to se ni ne pomišlja. Zatim se članak nastavlja: U vrlo povoljnom trenutku za one koji žele stvoriti pravedno mišljenje dolazi hrvatski odjel na mađarskoj Milenijskoj izložbi. On tamo pripada jer Hrvatska stoji u uskom državno-pravnom savezu s Ugarskom.

Monarhije nije bila upoznata s kraljevinama Hrvatskom i Slavonijom, osim što joj je bilo poznato ime 'Hrvat' i 'Pandur' te činjenica da leži "tamo prema Balkanu" i da se ondje uzgajaju svinje. S obzirom na to, autor članka ugodno je iznenađen novim saznanjima o tim kraljevinama, koja su predstavljena u paviljonu hrvatske izložbe.[24]

Na izložbu se iz Hrvatske i Slavonije ipak odlazilo, ponekad i korporativno. No oporba je u svojim novinama i dalje uporno pozivala građane da ne idu na izložbu i izvještavala o demonstracijama protiv izložbe u Hrvatskoj i Slavoniji te drugim dijelovima Monarhije i izvan nje. O samoj se izložbi u oporbenom tisku vrlo malo pisalo, izvješćujući uglavnom o negativnim pojavama i njezinu neuspjehu. Hrvatske oporbene novine također su negativno reagirale na tekstove mađarskih novina koje su donosile pozitivne ocjene o Hrvatskoj na temelju onog što je predstavljeno u hrvatsko-slavonskom paviljonu.[25] Javnost je i tijekom izložbe bila podijeljena oko toga treba li na nju ići. Tako je prijedlog tajnika Zagrebačke trgovačko-obrtničke komore M. Krešića da ta institucija korporativno posjeti izložbu odbijen, iako se članovi nisu protivili pojedinačnom posjetu. Krešić je članove Komore ipak pokušao nagovoriti na posjet, tvrdeći kako Hrvatska i Slavonija na izložbi sudjeluju kao neovisno kraljevstvo, ali to nije polučilo uspjeh.[26]

Osim Milenijske izložbe, u sklopu obilježavanja tisućljetnice odvijali su se i različiti kongresi, skupovi, koncerti, predstave i drugi kulturni događaji pa je Budimpešta tih šest mjeseci, od svibnja do listopada 1896., bila ono što danas poznajemo pod nazivom europska prijestolnica kulture, što je dodatno moglo utjecati na velik interes izlagača iz Hrvatske i Slavonije.

2. Izlagači iz Hrvatske i Slavonije u industrijsko-gospodarskom paviljonu

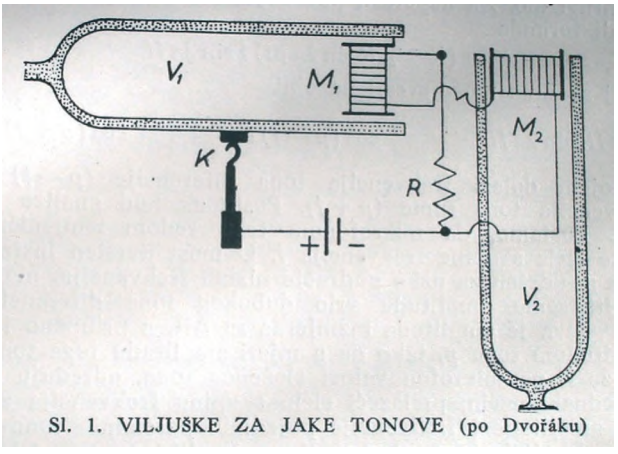
U Budimpešti je 1896. na Milenijskoj izložbi profesor fizike na Sveučilištu u Zagrebu V. Dvořák dobio Veliku zlatnu medalju za izum posebnog elektroakustičkog stalnog i jakog izvora zvuka, koji je ostvaren tako da su dvije

[24] Von der kroatischen Ausstellung, *AZ*, br. 166, 21. 7. 1896., str. 3. Pozitivna izvješća o izložbi vidi u člancima Enthüllung des Milleniums-Denkmals in Munkacs, str. 4. Die Milleniums-Ausstellung in französischer Beleuchtung, *AZ*, br. 143, 23. 6. 1896., str. 5.

[25] D. Šokčević, *Hrvati u očima Mađara*, str. 176, 179-182, 185. Vidi članak Das Comitat Požega und das Millenium, *AZ*, br. 134, 12. 6. 1896., str. 5. Der Besuch der Kroaten in der Ausstellung, *Pester Lloyd*, br. 39, 24. 6. 1896. S druge strane, novine koje su predstavljale protivnike održavanja tisućgodišnjice izvještavale su o nedostatku posjetitelja. Vidi npr. "Ha, ha, ha! ", *Reichspost*, br. 134, 24. 5. 1896., str. 18.

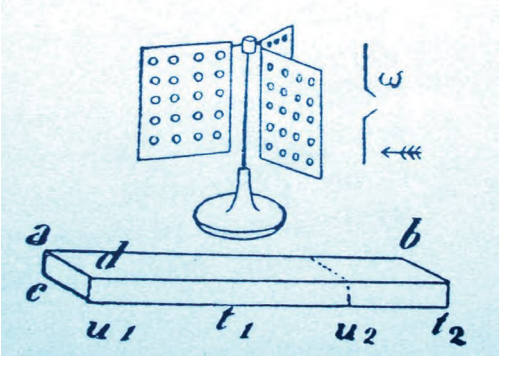
[26] Der Besuch der Milleniums-Ausstellung, *AZ*, br. 143, 23. 6. 1896., str. 5.

glazbene vilice bile povezane isprekidanim strujama s napajanjem iz galvanskog članka. Tako je dobiven kvalitetan uređaj koji se mogao pouzdano koristiti i kao norma zvučne frekvencije. Prema ocjeni skupinske porote, medalja je dodijeljena za novi izum i izvanredne zasluge. Porota je smatrala da je Dvořák u području javne nastave, a u vlastitoj struci, pokazao izvanredan napredak i stekao osobitu zaslugu u izvrsnosti izloženih predmeta.



Sl. 6.: Jaki izvor zvuka po Dvořáku

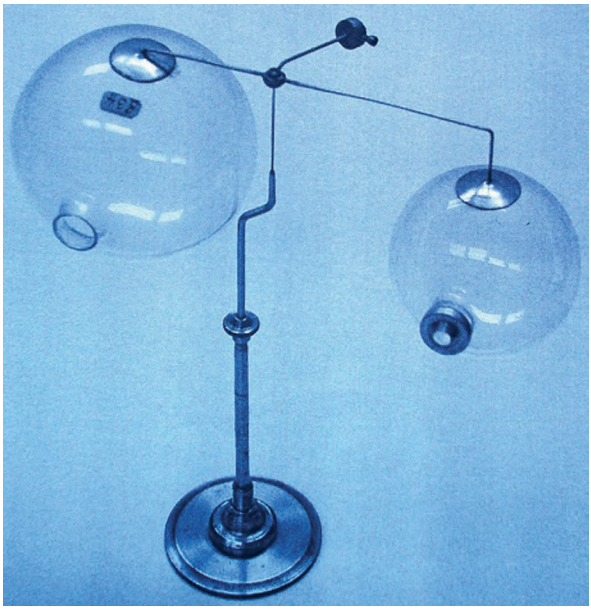
Valja se osobito zadržati na jednom Dvořákovu akustičkom aparatu. Taj poseban aparat sastojao se od tri aluminijske pločice s puno čunjastih rupica, a služio je (i danas služi) za mjerenje razine zvučne jakosti, tzv. zvukomjer (zvučni radiometar). Taj je zvučni radiometar bio tad najbolje izrade u svijetu jer ga je Dvořák prvi počeo izrađivati i mjeriti njim, a što priznaje i nobelovac H. S. W. Rayleigh. Tim se radiometrom mogla mjeriti razina zvučne jakosti tonova



Sl. 7.: Dvořákov zvučni radiometar

iste frekvencije. I to apsolutno mjeriti, dok današnji uređaji mjere samo relativne razine zvučne jakosti pa je, po mišljenju nekih hrvatskih elektroakustičara, taj stari uređaj u prednosti pred suvremenijim!

Na izložbi je predstavljen i uređaj koji je pokazivao mehaničko djelovanje zvuka. Taj se uređaj sastojao od dva Helmholtzova rezonatora (dvije staklene sfere) koja su imala otvore. Kako su ti rezonatori bili ovješeni na metalnoj igli, mogli su se okretati (u smislu revolucije planeta) i to zbog otiskivanja na zračnim vrtlozima koji su izlazili kroz otvore.



Sl. 8.: Dvořákov uređaj s Helmholtzovim rezonatorima

Dvořákov eksperiment u kojem je pokazao strujanje zraka u Kundtovoj cijevi kao i učinak prozvan po njemu i danas su citirana postignuća koja su navođena u mnogim sveučilišnim udžbenicima [5].

Izložbenu medalju dobili su i: Oton Kučera, kasniji učitelj matematike i fizike na Šumarskoj akademiji pri Mudroslovnom fakultetu također u Zagrebu, Stanko Plivelić, profesor fizike u Kraljevskoj realnoj gimnaziji i s njome spojenoj višoj trgovačkoj školi u Zemunu. Sudioničku medalju dobio je i dr. Srećko Bošnjaković, kasniji profesor kemije na Šumarskoj akademiji pri Mudroslovnom fakultetu. Prof. Vaclav Pavlat dobio je svjedodžbu priznanicu. Srebrna državna medalja dodijeljena je i izlagaču na Milenijskoj izložbi prof. dr. M. Kišpatiću.

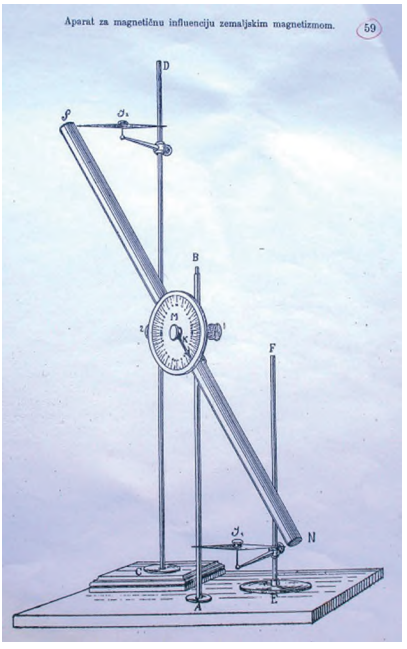


Sl. 9.: Medalje Milenijske izložbe: Medalja sudionika, lijevo), Velika medalja (u sredini), Izložbena medalja, desno) [15]



Sl. 10.: Izložbena medalja [16]

Oton Kučera (1857. − 1931.), bio je u vrijeme izložbe profesor u Velikoj realki u Zagrebu te je za svoj izložak (uređaj) za "magnetičnu influenciju" zemaljskim magnetizmom dobio Izložbenu medalju [6]. Izložbenu medalju Kučera je dobio "jer je u nastavi pokazao vrijedne zasluge". Svoj uređaj opširno je opisao u radu objavljenu u *Nastavnom vjesniku* 1898. godine. U radu ističe da dosad demonstracijski uređaji nisu dobro pokazivali glavnu činjenicu:



Sl. 11. Kučerin uređaj za magnetičnu influenciju zemaljskim magnetizmom

magnetiziranje u ravnini magnetičkog meridijana uz kut inklinacije. Stoga je Kučera, uz potporu visoke kraljevske zemaljske vlade, konstruirao poseban uređaj koji je izradila tvrtka Lorenz u Chemnitzu. Također je istaknuo da je uređaj bio izložen 1896. na Milenijskoj izložbi u Budimpešti, gdje je dobio medalju. Nakon što je potanko opisao uređaj, Kučera je iscrpno naveo eksperimentiranje s tim uređajem te zaključio da uređaj puno točnije pokazuje navedenu pojavu, da ne vezuje ruke eksperimentatora te da se željezni štap ne mora ni dotaknuti rukom pa se čuva od hrđanja. Na kraju je Kučera istaknuo u kakvu se položaju taj uređaj čuva u ormaru [7].

Stanko Plivelić (1868. − 1925.), profesor fizike u Kraljevskoj realnoj gimnaziji i s njome spojenoj višoj trgovačkoj školi u Zemunu također se bavio elektricitetom i za svoj izložak dobio je Izložbenu medalju. Najvjerojatnije mu je dodijeljena za brošuru ili knjigu pod nazivom *Tehnička uporaba električnoga svjetla* koja je tiskana 1891. godine. O tome je jedini pisao Milan Krasović u nekrologu posvećenom Stanku Pliveliću, a koji je objavljen u *Nastavnom vjesniku* 1926. godine [8]. Pregledom Građe za hrvatsku retrospektivnu bibliografiju knjiga, 1835.− 1940. nažalost nije nađena potvrda za tu Krasovićevu tvrdnju u pogledu knjige. Na taj način jedino što preostaje neprovjeren je, ali najvjerojatniji podatak da je riječ o Plivelićevoj brošuri koja je svoj odjek imala u nastavi.

Srećko Bošnjaković (1865. − 1907.), za svoju je knjigu dobio Sudioničku medalju. Na nju su imali pravo svi oni koji su po državnim oblastima, zavodima i poduzećima sudjelovali u znatnoj, nagrade vrijednoj mjeri. U toj nagrađenoj knjizi prezentirani su analitički podaci od 810 prirodnih vina iz Hrvatske i Slavonije. Vina su istraživana u Javnom analitičko kemijskom zavodu Dra S. Bošnjakovića u Zagrebu. Utemeljitelj i voditelj te privatne ustanove bio je imenovani nakon što je dvije godine prije dobio koncesiju za već spomenuto djelovanje. Jedan od važnih čimbenika u pogledu te knjige bila je činjenica da se Bošnjaković u inozemstvu upoznao s ekspertima za alkoholno vrenje. Godine 1895. imenovan je Bošnjaković tajnikom Zemaljskog povjerenstva za istraživanje vina, a postao je i sudski vještak za to područje [9].


UPUTA

ZA

IZTRAŽIVANJE I OCJENU VINA.

OBRADIO

PREMA USTANOVAMA ZA PROVEDBU Z. ČL. XXIII.: 1893.,

KOJIM SE ZABRANJUJE PRAVITI I U PROMET STAVLJATI

UMJETNA VINA

Dr. S. BOŠNJAKOVIĆ.

U ZAGREBU

TISAK DIONIČKE TISKARE

1895.

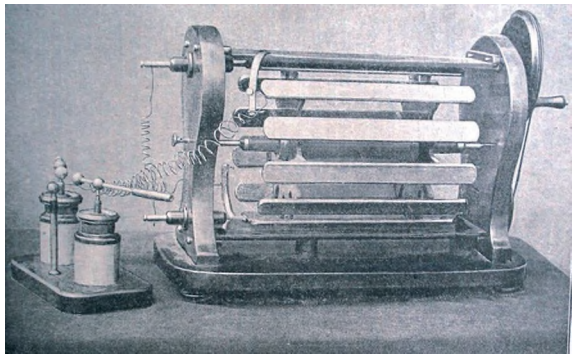
Sl. 12.: Stranica Bošnjakovićeve nagrađene knjige

Vaclav Pavlat dobio je za izum "elektroforno munjilo" Diplomu priznanicu. Tu diplomu dobili su izlagači koji nisu imali pravo na ostale nagrade, ali priznata im je vrijedna djelatnost te im je dodijeljena takva vrsta nagrade. Pavlat je radio kao profesor fizike u Velikoj gimnaziji u Gospiću. Svoj elektroforni uređaj opisao je u *Nastavnom vjesniku* 1893. godine. Valja istaknuti da je elektroforni uređaj prvi konstruirao Aleksandro Volta 1775. godine radi pokusa sa statičkim elektricitetom. Za objašnjenje rada uređaja treba objasniti načelo influencije. Pojmom influencije objašnjava se pojava razdvajanja pozitivnog i negativnog naboja u vodičima pod utjecajem vanjskog električnog polja. Dok traje influencija mogu se korisno nevezani naboji odvoditi s vodiča i pohranjivati u tadašnje kondenzatore.

Pavlat je u spomenutom časopisu opisao nedostatke sličnih uređaja, npr. Holzova uređaja, i istaknuo kako je on poboljšao i ubrzao punjenje tadašnjih kondenzatora (lajdenskih boca). Crtežima je popratio objašnjenja i opis rada uređaja. Dvije ploče od gume (električni izolator) negativno su nabijene i s donje strane obložene staniolom. Između tih ploča vrlo brzo se okretao induktor (električni vodič), koji je bio načinjen od 12 plosnatih mjedenih valjaka. Taj je induktor bio učvršćen na dvije ebonitne ploče. S jedne se ploče pozitivni naboj odvodio na jednu lajdensku bocu, a s druge se negativni naboj odvodio na drugu lajdensku bocu. Obje su se boce vrlo brzo napunile, za razliku od ostalih elektrofornih uređaja. Odvođenje je bilo ostvareno vodičem u obliku žice na čijem je jednom kraju bila četkica. Pavlat je istaknuo i drugu veliku prednost svojeg uređaja: bio je neosjetljiv na vlagu u zraku, što nije bio slučaj kod ostalih sličnih uređaja. O Pavlatovu uređaju pisao je i Oton Kučera u radu *Ueber eine neue Elektrofor-Maschine von Prof. Pavlat* (O jednom novom elektroforskom stroju prof. Pavlata), objavljenu u *Glasniku Hrvatskoga naravoslovnog društva*, Zagreb,VIII. (1895./96.). Kučera je u tom radu također na slici prikazao elektroforni uređaj [10].



Sl. 13.: Vaclav Pavlat: diploma priznanica



Sl. 14.: Pavlatov elektroforni uređaj

Zaključak

Nastup izlagača iz Hrvatske i Slavonije na Milenijskoj izložbi 1896. u Budimpešti bio je posebno zapažen. O tome, s jedne strane, govore podaci o našim nagrađenim izlagačima, a s druge strane pohvale drugih zemalja kad je riječ o našem nastupu. Tako je 1610 imenovanih izlagača dobilo medalje ili Diplome priznanice. Po kategorijama nagrade su podijeljene na sljedeći način: 169 imenovanih izlagača dobilo je Veliku milenijsku medalju, 360 Izložbenu medalju, 175 Sudioničku medalju i 906 Diplomu priznanicu. Od tog broja imenovanih izlagača, koji su izlagali u industrijsko-gospodarskom paviljonu koji je detaljnije razmatran u skupini III. Nastava, 51 je dobio takvo priznanje: sedam Veliku milenijsku medalju, 15 Izložbenu medalju, 23 Sudioničku medalju i šest Diplomu priznanicu. Treba naglasiti da su u radu detaljnije prezentirani poznatiji izlagači čiji su izlošci imali prirodu tehničkog pronalaska. S obzirom na navedeno, očito je da je u vrijeme izložbe nastava imala vrlo važnu ulogu u razvoju gospodarstva, što je bilo tad i političko stanovište, ali i stanovište šire i uže (stručne) javnosti.

Literatura

[1] Zakonski članak o autorskom pravu od 4. svibnja 1884.

[2] Zakonski članak o povlasticah na izume od 12. listopada 1895.

[3] Zakon o zaštiti pronalazaka (zakon o patentima) od 11. siječnja 1897.

[4] *Kraljevine Hrvatska i Slavonija na tisućgodišnjoj zemaljskoj izložbi Kraljevine Ugarske u Budimpešti 1896*, Zagreb, 1896.

[5] Branko Hanžek: *Rani razvoj tehnike*, monografija: Sveučilište u Zagrebu − 350 godina, Zagreb, 2019., str. 377-381.

[6] Tatjana Kren, Branko Hanžek: *Oton Kučera*, Vinkovci, 2013., str.44-46.

[7] Oton Kučera: Aparat za magnetičku influenciju zemaljskim magnetizmom, *Nastavni vjesnik*, knj. VI. (1898.), Zagreb, str. 58-61.

[8] Milan Krasović: † Dr Stanko Plivelić, *Nastavni vjesnik*, knj. 34. (1926.), Zagreb, str. 53-55.

[9] Srećko Bošnjaković (1865. − 1907.), znanstvenik i poduzetnik, Edicija: Rasprave i građa za povijest znanosti, knj. 16, Zagreb, 2016., str. 20-21.

[10] Vladimir Muljević: *Elektrotehnika, kronologija razvitka u Hrvatskoj*, Zagreb, 1999., str. 28.

Mrežni izvori

[11] http://dnc.nsk.hr/DataServices/ImageView.aspx?id=2dbe398f-24a1-4f81-b039-1fb344445fbb

[12] https://digitalna.nsk.hr/pb/?concept=info&id=113081

[13] https://digitalnezbirke.kgz.hr/?object=view&id=19101

[14] http://anno.onb.ac.at/cgi-content/anno?aid=apz&datum=18960721&seite=3&zoom=33

[15] https://epa.oszk.hu/00000/00030/02204/pdf/02204.pdf

[16] Muzej za umjetnost i obrt, http://athena.muo.hr/?object=view&id=56695,http://athena.muo.hr/?object=view&id=56695&pt=2

The Millennium of Hungary and the National exhibition, Budapest, 1896

Branko Hanžek, Arijana Kolak Bošnjak

Abstract: A historical overview of the Millennium exhibition of the Kingdom of Hungary occurred in Budapest in 1896 is presented. An insight into the historical circumstances related to this event was provided, as well as an insight into the appearance of the Kingdom of Croatia and Slavonia as part of that exhibition. The performance took place in three pavilions: forestry, economic-industrial and art-historical. A special review is dedicated to the exhibitors at the economic-industrial pavilion. The special intertwining of economy, science, technology and teaching was emphasized. Some exhibitors from the Kingdom of Croatia and Slavonia received medals and diplomas receipts for their outstanding performance. The appearance of well-known exhibitors is explained in more detail and special attention is paid to the technical invention of the nature of their exhibits, almost in the sense of the invention.

Keywords: Millennium exhibition, Budapest, Kingdom of Croatia and Slavonia, economic-industrial pavilion, exhibitors and their inventions, medals and diplomas receipts

Tatjana Kren

Naše nebo, najpopularnija knjiga Otona Kučere u izdanju Matice hrvatske

Sažetak: U radu je analizirana knjiga *Naše nebo*, tiskana 1895., njezina uloga i važnost. *Naše nebo* najpopularnija je knjiga Otona Kučere (1857. − 1931.) i najpopularnija njegova knjiga u izdanju Matice hrvatske. Prikazano je Kučerino djelovanje u Hrvatskom prirodoslovnom društvu (HPD). *Naše nebo* pokazuje se kao temelj za osnivanje Zvjezdarnice HPD-a na Popovu tornju u Zagrebu. Posredno je zaslužno za asteroid 589 Croatia, otkriven iz Heidelberga 1906., kao i za asteroid 7364 Otonkucera, prvi asteroid otkriven iz Višnjana (1996.). Analiziran je utjecaj i popularnost te knjige za vrijeme Kučerina života te suodnos *Našeg neba* i Zvjezdarnice na Popovu tornju. Razvidno je da se *Naše nebo* pokazuje kao poseban fenomen koji je, zajedno sa Zvjezdarnicom, znatno utjecao na razvoj i promicanje astronomije i astrofizike u Hrvatskoj.

Ključne riječi: Hrvatsko prirodoslovno društvo, Matica hrvatska, *Naše nebo*, Oton Kučera, Zvjezdarnica na Popovu tornju

Uvod

Oton Kučera (1857. − 1931.) rođen je i odrastao u ozračju neslobode hrvatske države i hrvatskog jezika, u Vojnoj Hrvatskoj (Vojnoj krajini), koja je bila izravno pod austrijskom upravom i u kojoj je jezik u nastavi bio njemački. Rođen je 1. siječnja 1857. u Petrinji, u učiteljskoj obitelji, što mu je zbog izvrstnosti obaju roditelja uvelike pomoglo da izraste u istaknutu osobnost, sa zavidnim znanjem hrvatskog jezika. Njegov otac krajiški učitelj Franjo Kučera

prepoznao je sinove talente te ga je poticao i znatno utjecao na njegovo školovanje. [1] Kao dječak često je zbog očeva zanimanja mijenjao boravišta. Pučku školu pohađao je u Otočcu, gimnaziju je nastavio u Senju, a potom u Vinkovcima. Tijekom školovanja upoznao je prednosti i nedostatke tadašnjeg školskog sustava, kao i razlike i podudarnosti u obrazovanju u pojedinim hrvatskim područjima. Maturirao je kao šesnaestogodišnjak, 1873. godine. Bio je odličan i talentiran učenik te je dobio krajišku stipendiju za studij fizike, matematike i astronomije u Beču. Praktično zvjezdoznanstvo izučavao je na Bečkoj zvjezdarnici, čiji je ravnatelj bio austrijski astronom Karl von Litrow[1]. Nakon studija vratio se u Vinkovce, gdje je sa samo 19 godina počeo predavati u gimnaziji. Nakon dvije godine položio je u Beču profesorski ispit, kako su zahtijevali tadašnji propisi, slika 1. Iz Vinkovaca (1876. − 1886.) premješten je u Požegu (1886. − 1892.), gdje je u svjetlarniku na krovu gimnazije osnovao prvu školsku zvjezdarnicu u kontinentalnoj Hrvatskoj[2] i napisao svoju prvu knjigu *Crte o magnetizmu i elektricitetu* (1891.), čiji je izdavač bila Matica hrvatska, slika 2. Potom je 1892. premješten u Zagreb, na Visoku realku na Griču.

Nakon razdoblja germanizacije Hrvatsku je zahvatio val mađarizacije za dvadesetogodišnje vladavine bana *Khuen-Héderváryja*[3] od 1883. do 1903. godine. Kučerino najživlje djelovanje pada u to doba pa njegov doprinos hrvatskoj kulturi, prosvjeti, znanosti i tehnici, u takvom povijesnom okviru, dodatno dobiva na vrijednosti.

Godine 1899. obranio je prvu disertaciju iz povijesti matematike na zagrebačkom sveučilištu. Od 1899. do 1916. bio je učitelj fizike i matematike na Šumarskoj akademiji pri Mudroslovnom fakultetu te naslovni izvanredni profesor. Suosnivač je i prvi predstojnik Geodetskog tečaja (zavoda) u Šumarskom domu (1908. − 1910.), koji je bio preteča Tehničke visoke škole i Geodetskog fakulteta. U Geodetskom tečaju postao je prvi profesor sferne astronomije. Bio

[1] Karl von Litrow (1811. − 1877.), astronom, sin astronoma Johanna von Littrowa, kojeg je naslijedio na mjestu ravnatelja bečke zvjezdarnice

[2] Kučera je napravio pravu malu zvjezdarnicu u svjetlarniku na krovu požeške gimnazije. Prva astronomska opažanja sa svojim učenicima počeo je 1888. godine. Svjetlarnik je stajao sve do obnove i dogradnje gimnazijske zgrade 1939. godine. U spomen na tu Kučerinu školsku zvjezdarnicu na novoj zgradi gimnazije u Požegi izgrađena je na krovu nova školska Zvjezdarnica *Oton Kučera* i otvorena 5. svibnja 2011. godine. Poznato je da je u Malom Lošinju zalaganjem Eugena Jelčića (Đelčić) (1854. − 1915.), profesora i upravitelja Nautičke škole osnovane 1855., u razdoblju između 1881. i 1895. izgrađen mali astronomski opservatorij ispred zgrade Pomorske škole. Imao je pasažni instrument i top koji bi hicem označavao podne da bi brodovi u luci mogli namjestiti svoje kronometre. Zbog te zvjezdarnice dio luke ispred Nautičke škole zvao se Zvjezdarnička luka. Zasad nije poznata točna godina početka njezina djelovanja te je moguće da je starija od Kučerine.

[3] Grof Dragutin Khuen-Hedervary (1849. − 1918.), madžarski političar te hrvatski ban od 1883. do 1903. godine. Kao ban služio se represivnim metodama, gušeći politička i građanska prava te hrvatsku autonomiju. Uz njegovu je vladavinu vezana sustavna mađarizacija Hrvatske. Podržao je osnivanje Hrvatskog naravoslovnog društva i Astronomijske sekcije.



Sl. 1.: Sačuvani Kučerini instrumenti u vinkovačkoj gimnaziji



Sl. 2.: Zgrada požeške gimnazije sa svjetlarnikom

je znanstvenik, profesor, prosvjetitelj, pedagog, predavač, veliki učitelj, izvrstan organizator. Nosi epitet najsvestranijeg hrvatskog prirodoslovca i najvećeg popularizatora tehnike i prirodoslovlja. Nazivaju ga astronomskim romantičarom, tvrdoglavim entuzijastom, velikim vizionarom te lučonošom na hrvatskim prostorima, slika 3.

Pisac je brojnih knjiga i udžbenika [22] te članaka (više od 300). Preteča je suvremenog alpinizma, planinarski pisac, povjesničar i ideolog. Napisao je

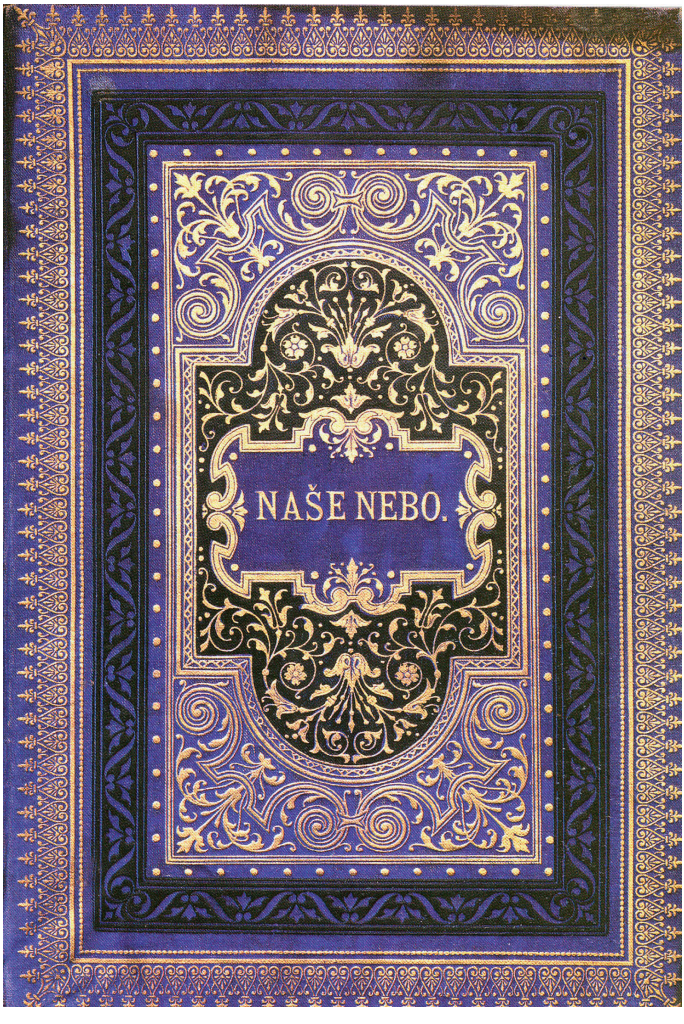


Sl. 3.: Oton Kučera

spomenicu za 25. obljetnicu Hrvatskog planinarskog društva. Bio je predsjednik Hrvatskog društva srednjoškolskih profesora (1907. − 1910. i 1930. − 1931.), predsjednik Matice hrvatske (1909. − 1917.) i predsjednik Hrvatskog prirodoslovnog društva (1910.) Uređivao je *Glasnik HPD-a* (1902. − 1913.) i *Kalendar Bošković* (1918. − 1926.) te bio suosnivač i suurednik za matematiku *Nastavnog vjesnika* (1892. − 1905.). Inicijator je osnivanja Astronomske sekcije u Hrvatskom prirodoslovnom društvu (HPD), inicijator osnivanja i prvi predstojnik Zvjezdarnice HPD-a na Popovu tornju u Zagrebu (1903. − 1913. te 1920. − 1926.). Bio je prvi predsjednik Radio-kluba Zagreb (1923. − 1926.) i suosnivač prve radijske postaje (1926.) u Kraljevini SHS – Radio Zagreba. U Družbi Braće Hrvatskoga Zmaja nosio je naziv Zmaj petrinjski (1907. − 1931.). Izabran je za člana radnika Hrvatskog književnog društva sv. Jeronima u Zagrebu (1923.), koje je 1897. objavilo njegovu knjigu *Prirodni zakonik – Elektricitet i magnetizam.* Umro je u Zagrebu 29. prosinca 1931. godine. [2],[3],[4],[5]

1. Kučerina knjiga *Naše nebo*

Godine 1895., u jeku vladavine bana Hedervaryja, Matica hrvatska tiskala je Kučerino astronomsko djelo *Naše nebo*, koje je doživjelo veliku popularnost ne samo zbog zanimljivog astronomskog sadržaja nego i zbog lijepog hrvatskog jezika i književno-znanstvenog stila kojim je Kučera pisao, premda se, kako je rečeno, školovao na njemačkom jeziku. Knjiga je tiskana u velikoj nakladi od 12 000 primjeraka i prodana u kratkom roku. Do današnjih dana ostala je najpopularnija Kučerina knjiga, ne samo među izdanjima Matice hrvatske nego između 22 Kučerine knjige, od kojih su neke također iznimno vrijedne, slika 4.



Sl. 4.: Naslovnica *Našeg neba* (1895.)

Knjigu *Naše nebo* Kučera je zacijelo pripremao godinama, čitajući i prikupljajući dostupnu astronomsku literaturu. Koristio se djelima Flammariona i Guillemina (Francuska), iz kojih je većina ilustracija, Newcombe-Vogela, Diesterwega, Littrowa, Secchija i dr. (Njemačka), talijanskim publikacijama nove Vatikanske zvjezdarnice u Rimu, Lockyerovom elementarnom astronomijom (Engleska) te časopisima *L'Astronomie*, *Sirius, Himmel und Erde* i dr. Premda se koristio literaturom drugih naroda, u pisanju *Našeg neba* išao je svojim putem, kako kaže u predgovoru prvog izdanja:

> "Literaturu je drugih naroda pisac savjesno upotrebljavao i njom se koristio. Nu da je išao svojim putem, opazit će jamačno svaki, koji se potrudi, da isporedi ovu knjigu s popularnim astronomijama u drugih naroda" [6].

Razvidno je, međutim, da je imao dobru predodžbu kako se obratiti hrvatskom narodu, kojem je knjiga namijenjena. Da je o svemu razmišljao pokazuje i izbor naslova: *Naše nebo. Crtice iz astronomije*. Kaže se da 'naslov prodaje knjigu' pa bi potencijalni čitatelj zacijelo drukčije pristupio knjizi koja bi imala strogo stručni naslov, poput 'Astronomija' ili 'Astrognozija'. O izboru naslova Kučera je u predgovoru prvom izdanju zapisao:

> "'Naše nebo' ime je knjizi, jer se u njoj opisuju tek čudesa svemira, što ih pokazuje onaj dio neba, koji se vidi u zemljama, gdje narod hrvatski obitava. Tolik ih je broj, da pisac nije smatrao nuždnim pripoviedati o onim dielovima neba, koje mogu tek pojedinci iz naroda vidjeti na dalekim putovanjima po zemaljskoj kruglji. Izišla je ova knjiga nešto veća od sličnih poučnih knjiga 'Matice', jer su i pisac i 'Matica' mislili, da za hrvatsku publiku treba da u njoj nadje mjesta i 'astrognozija' − poznavanje zviezda, koju drugi veliki narodi obradjuju u posebnim knjigama. Pisac je pače mislio, da je opis našega noćnoga neba tek pravi ulaz, kroz koji treba da udje onaj, koji želi doista uživati u rezultatima prave astronomije."

Predgovor zaključuje riječima:

> "I tako neka podje u sviet ova prva astronomija hrvatska sa dvojakom zadaćom, da u narodu razširi pozitivne i sjajne istine njezine − do sada bez dvojbe najveće triumfe ljudskoga uma u svim granama znanja, ali da ujedno i potiče na razmišljanje o velikim i zadnjim problemima prirodne nauke. U tom će se razmišljanju možda naći moment, koji će jako utjecati na to, da se umire i natrag potisnu strasti, koje nisu ures naobraženih ljudi." [6]

Možda je već u Vinkovcima, a sigurno u Požegi, Kučera pravio bilješke za učenike za koje je organizirao školsku zvjezdarnicu. Dolazak u Zagreb, u središte prirodoslovnih znanosti, vjerojatno ga je motivirao da poveže bilješke u knjigu koja bi dala pregled osnovnih znanja iz opće astronomije svakomu koga zanimaju tajne zvjezdanog neba. Neka su poglavlja knjige još prije, kako kaže, "bar u jezgri svojoj" kao članci objavljena u hrvatskim časopisima *Smotra* [7], *Vienac* [7-26] i *Pobratim* [8].

Brojni srednjovjekovni hrvatski astronomi i njihova djela, i na području hrvatskih zemalja i širom Europe i svijeta, pokazuju da Hrvatska u znanstvenom pogledu nije zaostajala za drugim zapadnoeuropskim zemljama, a za astronomiju svjedoči i najstariji dosad poznati astronomski tekst nastao u hrvatskim krajevima, astronomski kalendar, koji je godine 1292. ili 1293. nastao u samostanu sv. Krševana u Zadru, a danas se čuva u Oxfordu. Paralelno s tim vidom astronomskih i astroloških istraživanja, u tadašnjim krugovima obrazovanih Hrvata postojalo je, tijekom svih prošlih stoljeća, znanje o prirodnim pojavama i zakonitostima čuvano u puku i prenošeno pretežno usmenom predajom iz generacije u generaciju. Poljodjelac se nikako nije mogao zabuniti koja je Mjesečeva mijena, ili pak na kojem dijelu obzora treba očekivati izlazak Sunca tijekom godine. Bez pogreške je razlikovao Danicu (Veneru) od neke sjajne zvijezde i znao je pratiti gibanje Sunca, Mjeseca i planeta po tragu ravnine ekliptike, kroz 12 zodijačkih zviježđa. Narod je čuvao puno više znanja nego što smo skloni vjerovati, a poput svojih učenih znalaca, bio je sklon svakom nebeskom objektu i pojavi pridati i astrološko značenje ili stvarna zbivanja na nebeskom svodu ukrasiti mitološkim pričama. Svoja je astronomska znanja spontano ugrađivao u narodne običaje, glazbu, usmenu književnost i drugo. Usmena dramska književnost, ali također i crkvene drame, crpile su motive iz živog narodnog blaga, u kojem su astronomski motivi bili uvelike zastupljeni. [6],[7, str. 109-134]

Provodeći djetinjstvo u Otočcu, a gimnazijske dane u Senju pa u Vinkovcima, zainteresiran za sve što ga je okruživalo i s čime je dolazio u dodir, svakako je bio upoznat s narodnim predajama i to različitih hrvatskih krajeva. Stoga nije čudno što je u svojim zrelim godinama, pišući *Naše nebo,* u knjigu unio mnogo toga što je ljudima njegova vremena bilo dio narodne predaje. Pišući o Suncu kaže:

> "'Čist je kao Sunce' stara je rieč u hrvatskom narodu. Pa zbilja, ako kušaš pogledati u Sunce prostim okom, svagda ćeš mu naći ploču čistu i sjajnu kao suho zlato. Ali nije lako gledati u Sunce – to zna svaki čovjek od svog izkustva."

U puku je s Mjesecom bila povezana slika pastira koji se brine za stado zvijezda. Kučera je tu sliku ugradio u *Naše nebo* na sljedeći način:

> "Tek što je kraljica dana potonula, eno ga pastira nebrojenomu stadu zvjezdica. Prati ih vazda na putu po neizmjernom svemiru i svojim im sjajnim ali blagim svjetlom pokazuje, rekao bi, pute. Kud i kamo veći i sjajniji od svih zviezda na noćnom nebu sgodno nam se predstavlja kao kralj noći, razsvjetljujući ju svojim blagim sjajem. Pridodaš li k tomu još i čudne oblike, u kojima nam se ukazuje − sad uštap, sad mladj, sad četvrt, i nehotice ćeš se zapitati: Odkud je, što je i kuda će?" [6]

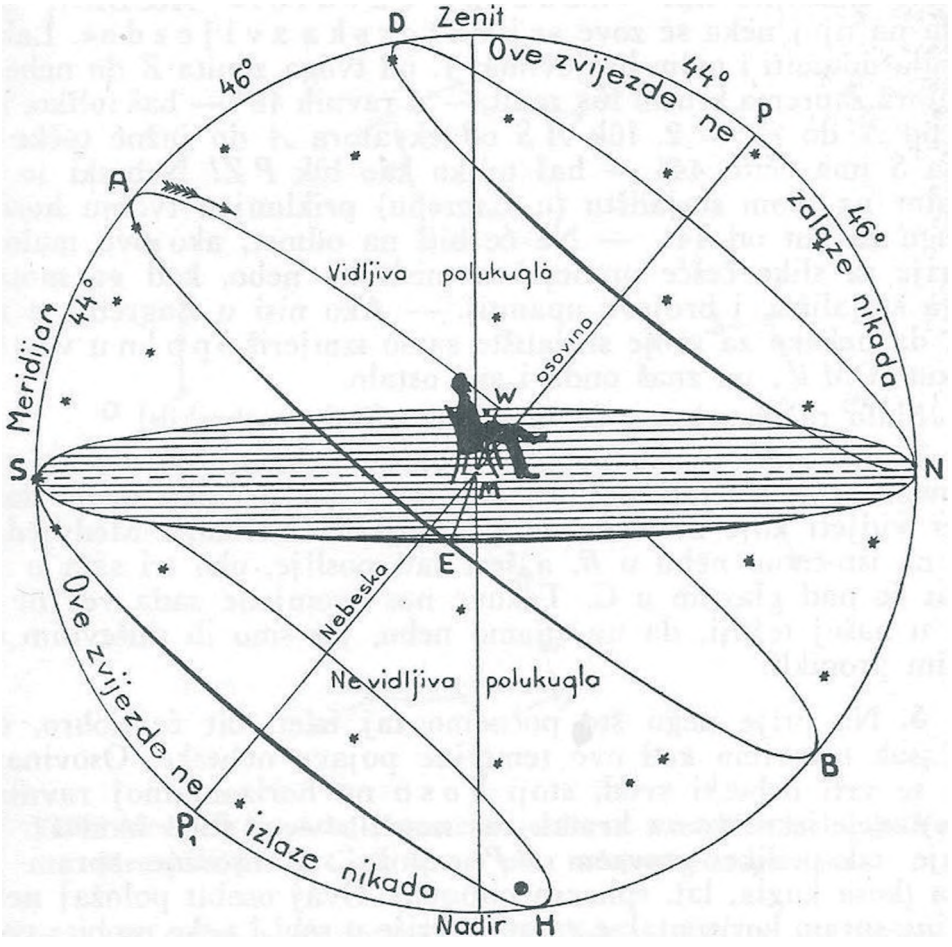
Mnogi su hrvatski pisci u svojim djelima također spominjali nebeska tijela i pojave. Toga je Kučera itekako svjestan kad u knjizi postavlja pitanje:

> "Tko ne poznaje sjajnu zviezdu, što se uviek pokazuje u pratnji Sunca ili kao Večernjica iza zapada Sunca, ili kao sjajna Danica prije izhoda Sunca? Tko ne poznaje u Hrvata stihove, kojima Danicu u Gundulićevoj krasnoj Dubravci pred zoru pozdravljaju seljaci?" [6]

Mitologija je iskustvo općih tema ljudskog bivanja. Posebice su se kod Grka mitske priče razvile do klasične ljepote. Mitologija je od velike važnosti za izučavanje psihe pojedinog naroda, jer je u njoj sadržano narodno mišljenje i vjerovanje u određenom razdoblju. Ona je, dakle, riznica narodnog mišljenja i vjerovanja koje potječe još iz najstarijih vremena. Zanimljivo je stoga da se Kučera u svojoj knjizi odlučio za klasičnu ljepotu helenske mitologije i u tome bio vrlo dosljedan. Zato u *Našem nebu* nema zabilježenih priča iz hrvatske mitologije, povezanih s pojedinim zviježđima. Kučera je, što se vidi iz *Našeg neba*, poznavao stara vjerovanja i predaje pa razlog takvom pristupu treba tražiti u tadašnjem klasičnom odgoju, čije tragove nalazimo u gotovo svih pisaca XIX stoljeća. Helenski mit dobro su poznavali obrazovani hrvatski krugovi pa ga je Kučera koristio u sažetom obliku − u pričama vezanim uz pojedina zviježđa, a u skladu s poučnom namjenom knjige. Za razliku od helenskog mita, hrvatski mit bio je fragmentaran pa je pisac samo mjestimično mogao za zviježđa i nebeska tijela vezati hrvatske mitološke priče te je i to, vjerojatno, bio jedan od razloga takvom odabiru. [6, str. 7-26],[7]

Sedam poglavlja knjige *Naše nebo*

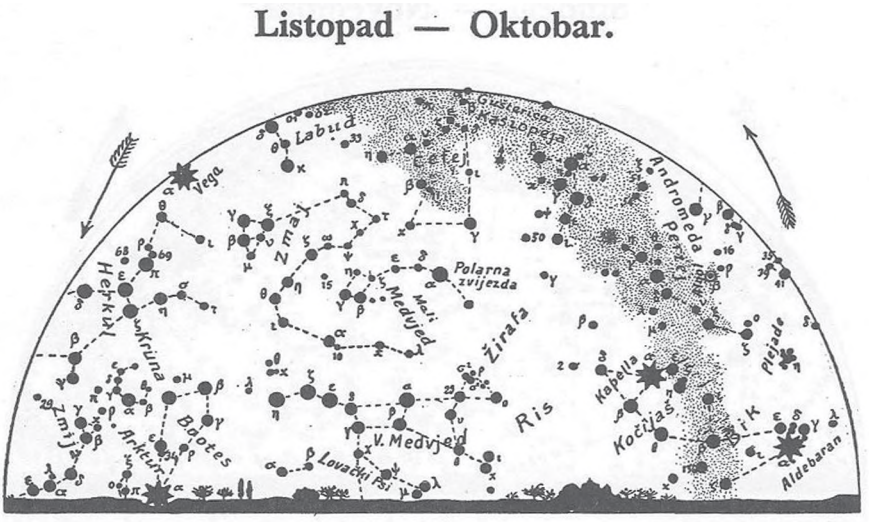
Naše nebo Kučera je podijelio u sedam poglavlja. Prvo je poglavlje, pod naslovom Naše noćno nebo, posvećeno astrognoziji. Jednostavnim i pristupačnim rječnikom autor opisuje zvjezdano nebo i osnovna gibanja koja vidimo. Čitateljima predstavlja opći pregled noćnog neba, zvijezde i njihove udaljenosti, prividne zvjezdane veličine, prividno gibanje nebeskog svoda, osnovne termine



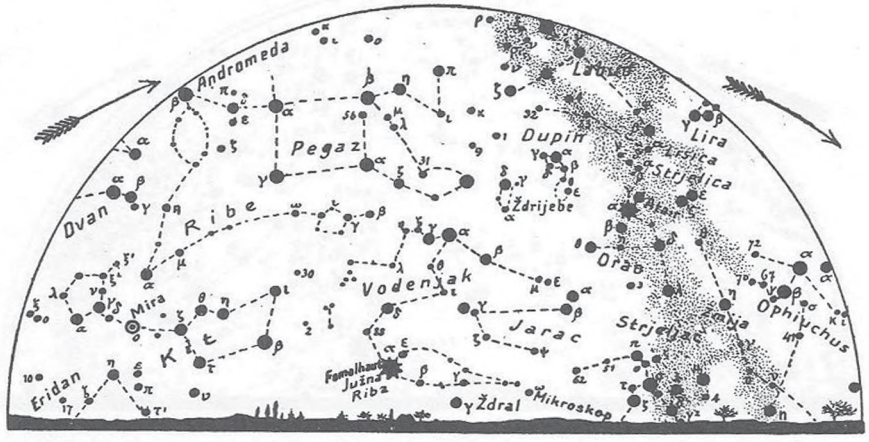
Sl. 5.: Motrište i nebeski svod

kao što su nebeski polovi, zenit, dnevna vrtnja nebeskog svoda, slika 5. Zatim podrobno opisuje izgled neba 1. siječnja, 1. travnja, 1. srpnja i 1. listopada svake godine u 21 sat. Opisuje cirkumpolarna zviježđa[4], godišnju vrtnju nebeskog svoda te pojedina zviježđa i zvijezde koje ih čine. Potom opisuje Sunce, Mjesec i planete na nebeskom svodu, životinjski pojas (zodijak), gibanje Sunca po ekliptici od zapada prema istoku te Mjeseca i planeta, slika 6. Kučerina astrognozija može se i danas koristiti, uz nužan oprez prema zastarjelim podacima o spektralnim tipovima zvijezda, njihovim udaljenostima i slično, što se

[4]Za zviježđe Kučera koristi termin zvjezdište, danas zaboravljen. U izdanju 1895. su cirkumpolarna zvjezdišta, a u izdanjima iz 1921. i 1930., cirkumpolarna zviježđa. Također, naslov *Novi položaj jur poznatih zvjezdišta* u izdanju iz 1930. glasi *Novi položaj već poznatih zviježđa*.



Sl. 111. **Zvjezdano nebo, sjeverna polovina, dne 1. listopada u 21 sat 30 minuta ili dne 15. listopada u 20 sati i 30 minuta.**



Sl. 112. **Zvjezdano nebo, južna polovina, dne 1. listopada u 21 sat 30 minuta ili dne 15. listopada u 20 sati i 30 minuta.**

Ove karte vrijede također:

Dne 15. rujna u 22h 30m; dne 1. rujna u 23h 30m; dne 15. kolovoza u 0h 30m.

Sl. 6.: Crteži noćnog neba za listopad

daljnjim istraživanjima sve točnije određivalo te je i danas podložno promjeni, slika 7.

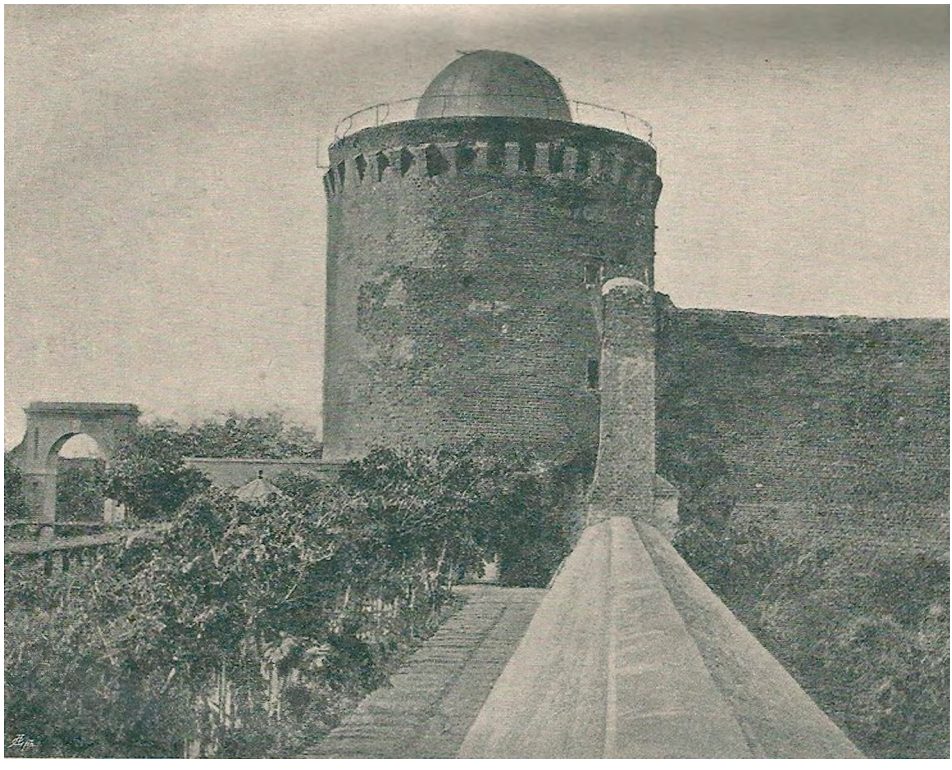
101

Dodatak: Pregled glavnih zvjezdišta našega noćnoga neba i kada se vide u nas.

Zvjezdište:	Kada se vidi?
Mali Medvjed	Cielu godinu.
Veliki Medvjed	„ „
Zmaj	„ „
Kasiopeja i Kefej	„ „
Lovački Psi	Od siečnja do rujna.
Kosa Berenikina	„ veljače „ rujna.
Bootes (Arcturus)	„ ožujka „ rujna.
Sjeverna Kruna	„ ožujka „ listopada.
Herkules	„ travnja „ studenoga.
Lira (Vega)	„ svibnja „ prosinca.
Sjeverni Križ ili Labud (Deneb)	„ svibnja „ siečnja.
Kočijaš (Kapella)	„ rujna „ lipnja.
Perzej (Algol)	„ kolovoza „ svibnja.
Andromeda	„ srpnja „ ožujka.
Pegaz	„ kolovoza „ veljače.
Dupin	„ lipnja „ studenoga.
Orao (Atair)	„ lipnja „ studenoga.
Ophiuchus i Zmija	„ svibnja „ listopada.
Ribe	„ kolovoza „ veljače.
Ovan	„ rujna „ ožujka.
Bik (Adelbaran)	„ listopada „ ožujka.
Plejade	„ listopada „ travnja.
Blizanci (Kastor i Pollux)	„ studenoga „ svibnja.
Rak	„ studenoga „ srpnja.
Veliki Lav (Regulus)	„ prosinca „ srpnja.
Djevica (Klas ili Spica)	„ siečnja „ kolovoza.
Vaga	„ veljače „ rujna.
Skorpion (Antares)	„ ožujka „ listopada.
Streljač	„ travnja „ studenoga.
Jarac	„ svibnja „ prosinca.
Vodenjak	„ lipnja „ siečnja.
Mali Pas (Procyon)	„ srpnja „ svibnja.
Orion	„ prosinca „ travnja.
Hydra, Gavran i Vrč	„ studenoga „ lipnja.
Veliki Pas (Sirius)	„ veljače „ travnja.
Kit (Mira Ceti)	„ siečnja „ veljače.
Južna Riba (Fomalhaut)	„ listopad i studeni.

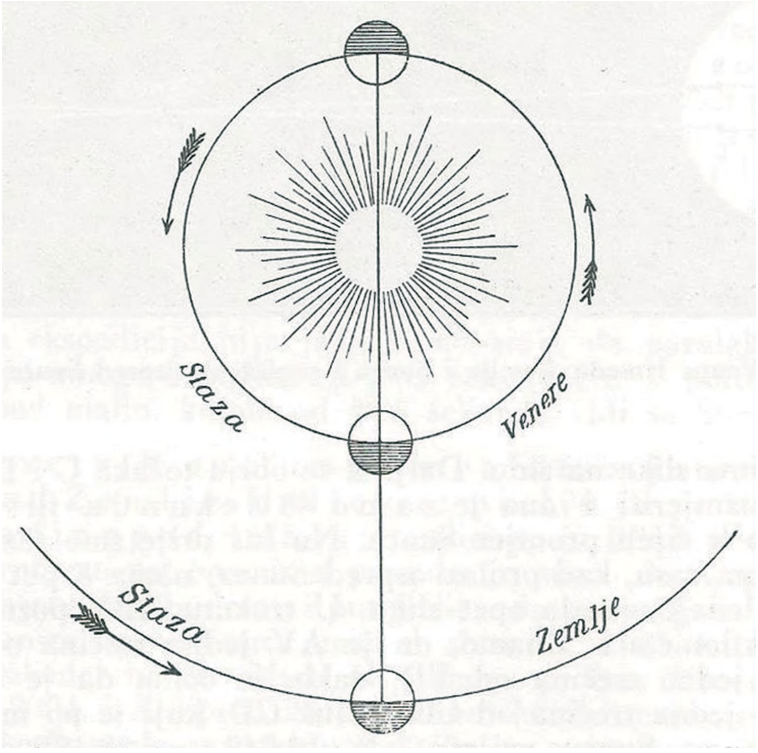
Sl. 7.: Vidljivost zviježđa tijekom godine

Slijedi drugo poglavlje, U novovjekoj zvjezdarni, koje danas može služiti kao slika zvjezdarnica u XIX. stoljeću. Zanimljivo je stoga svakom koga zanima povijesni pogled u dosege tog doba. Kučera opisuje u ono vrijeme najveću svjetsku zvjezdarnicu, Lickovu zvjezdarnicu na Mount Hamiltonu u Kaliforniji, kao i teleskop koji posjeduje te pogodni smještaj zvjezdarnica izvan gradova i način rada u zvjezdarnici. Piše o onodobnim najvećim teleskopima te novoj Vatikanskoj zvjezdarnici. Predočuje i način rada astronoma amatera i njihove male zvjezdarnice, motrenja golim okom i teleskopom te ispitivanje teleskopa, slika 8.



Sl. 8.: Nova Vatikanska zvjezdarnica pape Lava (Leona) XIII.

Treće poglavlje, Kako mjeri astronom svemirske daljine, uglavnom se i danas može koristiti za stjecanje predodžbi o klasičnim načinima mjerenja udaljenosti u svemiru. Objašnjava prividne veličine Sunca i Mjeseca i nužnost velikih brojeva u astronomiji zbog velikih svemirskih udaljenosti. Piše o udaljenosti Sunca i Mjeseca i o njihovim značajkama, o starim mišljenjima o Zemlji kao ravnoj ploči i valjku, sve do spoznaje da je Zemlja kugla te njezinoj veličini i udaljenosti Mjeseca i Sunca od Zemlje. Prikazuje i mišljenje starih



Sl. 9.: Donja i gornja Venerina konjunkcija[5]

naroda. Objašnjava Venerine prolaze ispred Sunca te pravu udaljenost Sunca od Zemlje, slika 9.

Četvrto poglavlje − Svjetlo glasnik iz svemira. Astrofizika − zanimljivo je kao prikaz početaka astrofizike u XIX. stoljeću. Upoznaje čitatelje sa svjetlošću kao glasnikom o sastavu nebeskih tjelesa. Piše o spektroskopu i lomu svjetlosti, o Sunčevu spektru, Frauenhoferovim linijama i njihovu tumačenju, spektralnoj analizi, kontinuiranom i diskontinuiranom spektru, sastavu materije, spektru Sunca i zvijezda, svemirskim maglicama, kometima, pomrčini Sunca i njegovim protuberancama (prominencijama), njegovoj kromosferi i fotosferi te apsorpciji spektra, slika 10. Piše i o spektru krvi, zasigurno zanimljivom potencijalnom čitatelju:

[5]Konjunkcija je pojava kad dva nebeska tijela imaju približno jednak položaj na nebeskom svodu za motritelja sa Zemlje. Kad njihove staze ne bi bile nagnute prema ekliptici, ravnini gibanja Zemlje oko Sunca, pri svakoj donjoj konjunkciji vidjeli bismo njihov prividni prolaz ispred Sunčeva diska (tranzit). No, zbog nagnutosti njihovih orbita, oni za opažače sa Zemlje prolaze sjeverno ili južno od Sunčeva diska, a pojava prividnog prolaza Merkura ili Venere ispred Sunčeva diska iznimno je rijetka.

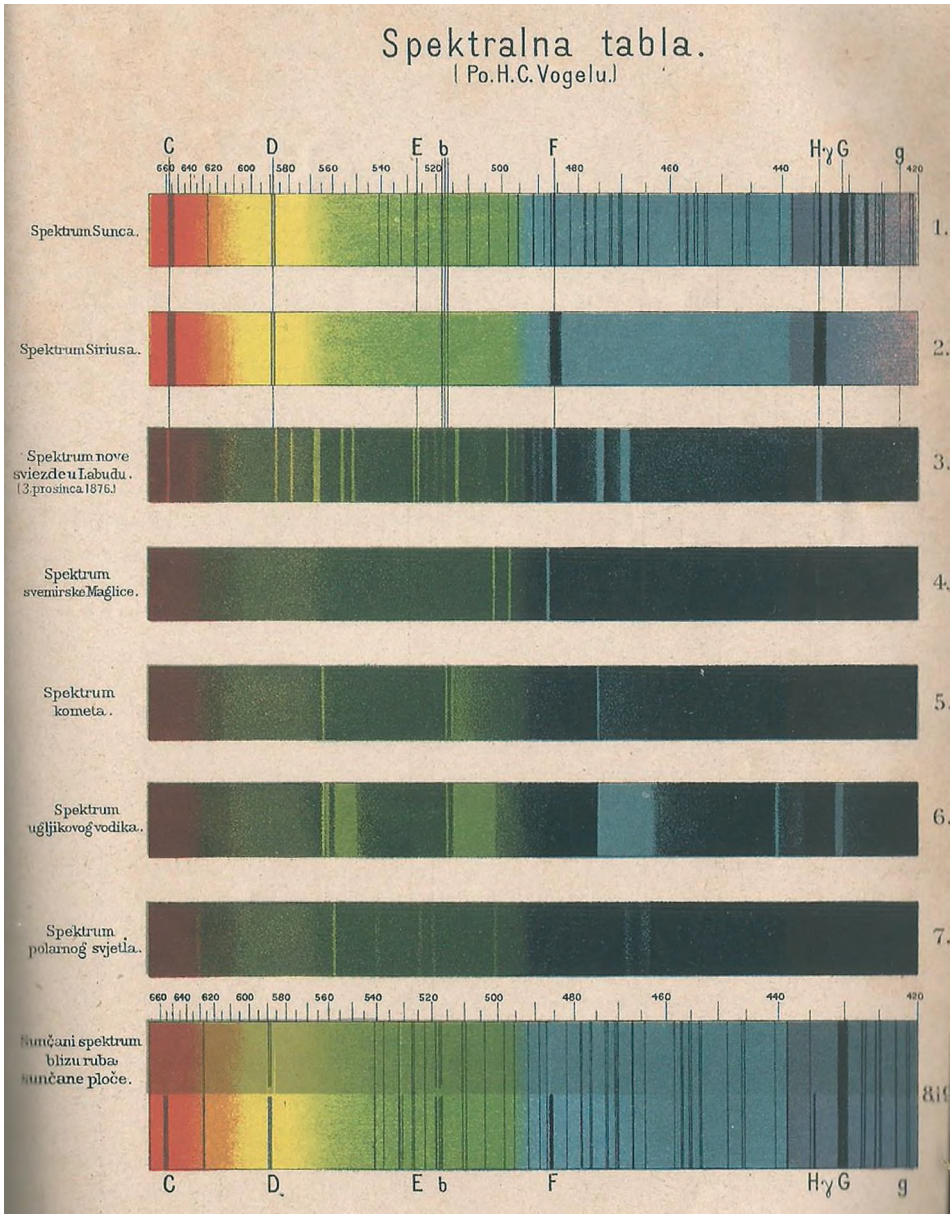
> "Izmedju tekućina, koje isto tako po izbor trakove bieloga svjetla gutaju, svakako je najzanimivija krv čovječja. Prodje li bielo svjetlo kroz posudu, u kojoj je nešto krvi – pa bilo i razriedjene vodom – pokaže se u spektru nekoliko tamnih mjesta (...) Karakterističan je taj spektrum krvi osobito tim, što se u crvenom i žutom dielu spektra pokažu široke tamne pruge, po kojima se na prvi mah prepoznati može, da je bielo svjetlo prošlo tekućinom, u kojoj je bilo krvi. Taj je znak krvi čovječje tim znamenitiji, što se ove pruge uviek točno na istom mjestu pokazuju."

Piše i o drugim zanimljivostima što se tiču spektra krvi, posebice u kriminalistici i koliko je važan spektroskop za otkrivanje tragova krvi pa kaže: "I o životu i smrti čovjeka može dakle da odluči gdjekada taj naš mali čudak – spektroskop."

Peto poglavlje, Harmonija svemira, donosi povijest astronomije od Hiparha do Newtona. Detaljno obrazlaže faze spoznaja o svemiru od najstarijih vremena do Hiparha, piše o Eudoksovu nebu, kristalnim sferama i anomalijama u gibanju planeta. Posebnu pozornost posvećuje Hiparhu i njegovu razmatranju o nejednakosti godišnjih doba i ekscentričnom krugu, a potom Ptolemejevu geocentričnom sustavu i načinu prikaza gibanja planeta epiciklima i deferentima, slika 11. Sljedeći dio govori o Koperniku i njegovu heliocentričnom sustavu, a zatim slijedi razmatranje o spoznajama od Kopernika do Newtona. Opisan je Keplerov život i djelo, Keplerovi zakoni s naglaskom na harmoniji svijeta. Na kraju piše o Galileiju i Newtonu, principu ustrajnosti, opisuje Galileijevu borbu s inkvizicijom te Newtonovu spoznaju o uzroku gibanja planeta oko Sunca i njegovu zakonu gravitacije.

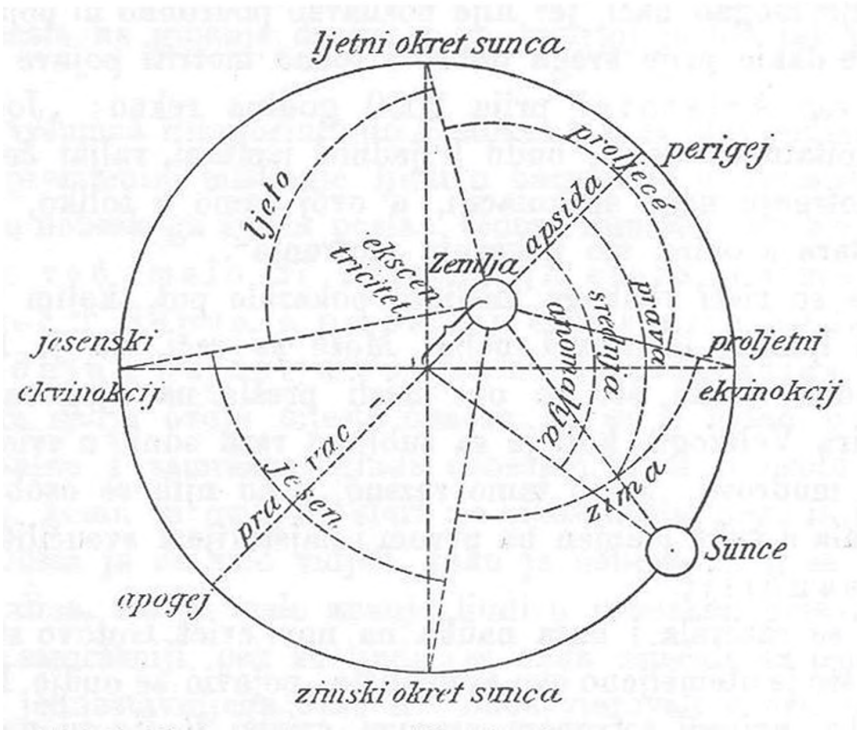
Šesto poglavlje, Obitelj našega Sunca, daje pregled znanja o Sunčevu sustavu u Kučerino vrijeme pa treba imati na umu zastarjelost pojedinih podataka i konzultirati današnje podatke. Prema spoznajama svojeg vremena donosi opći pregled o planetima, planetoidima (asteroidima), periodičnim kometima, meteorima (kriesnicama), zodijačkom svjetlu. Potom opisuje Sunce kao glavu obitelji, njegovu atmosferu, kromosferu, protuberance (prominencije), oluje na Suncu, Sunčevu koronu, Dopplerov princip i spektrografiju, potpune pomrčine Sunca i pretpostavljenu budućnost Zemlje kad ne bi bilo Sunca, slika 12.

U prikazu veličine Sunca gledane s glavnih planeta njegove obitelji uključena su i dva najveća planetoida (asteroida) − Feronija i Maksimilijana, što je potrebno objasniti. Riječ je o prvom otkrivenom planetoidu Ceresu (Cerera), danas patuljastom planetu. Otkrio ga je 1. siječnja 1801. talijanski astronom Giuseppe Piazzi (1. siječnja 1801.). Nakon otkrića nazivan je Ceres Ferdinandea po kralju Ferdinandu III. od Sicilije, a u Njemačkoj je nazivan Hera. Kučera ga naziva Feronia po rimskoj božici Feroniji. Drugi je planetoid 2-Pallas, koji je u



Sl. 10.: Spektralna tabla

Kučere Maksimilijana, po bavarskom kralju Maksimilijanu I. Josipu Bavarskom, koji je vladao od 1806. do 1825. godine. Pallas je 1802. godine otkrio njemački astronom Heinrich Wilhelm Olbers. Konačno su usvojena imena 1-Ceres i 2-Pallas. Zanimljivo je da Kučera u 6. dijelu poglavlja Mali planeti ili

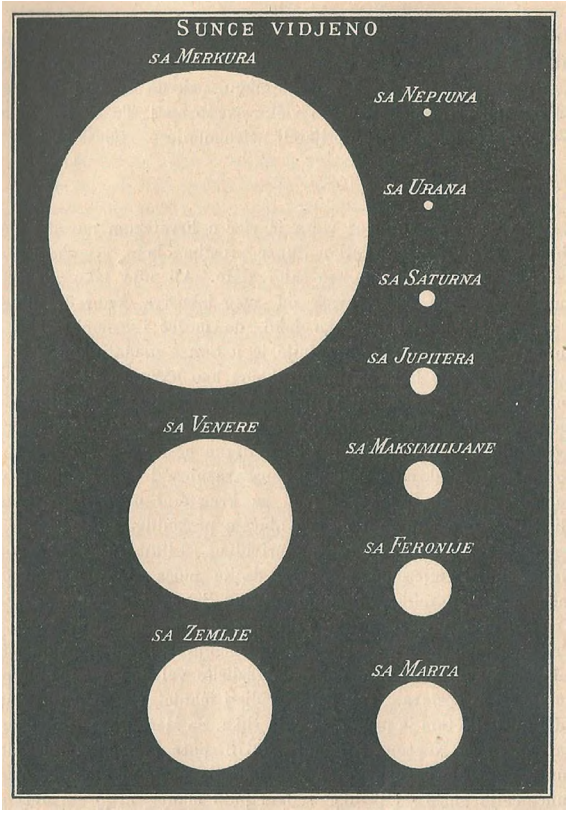


Sl. 11.: Nejednakost godišnjih doba po Hiparhu

asteroidi navodi imena Cerera i Pallada, što možda znači da je Kučerin crtež na kojem su imena Feronija i Maksimilijana nacrtan znatno ranije, dok se još raspravljalo o imenima malih planeta. Crtež otkriva još jednu zanimljivu činjenicu. U to vrijeme još nije bio otkriven Pluton (otkriven je tek 1930.) te je Sunčev sustav imao osam planeta, kao što je prikazano na crtežu. Do 2006. godine Pluton je smatran devetim planetom, a onda je usvojena nova kategorija patuljastih planeta u koju su ušli Pluton, Ceres i neki veliki asteroidi iz otkrivenog vanjskog asteroidnog pojasa. Tako Sunčev sustav od 2006. ponovno ima samo osam planeta.

U dijelu o glavnim članovima obitelji, odnosno planetima i njihovim mjesecima, detaljno proučava Zemlju kao "zviezdu svemira" i Mjesec te sve planete i njihove tad poznate pratitelje. U završnom se dijelu poglavlja posebno osvrće na meteore i komete, meteorske rojeve, odnos između rojeva meteora i kometa te piše o kometima, njihovu obliku i putu kroz svemir i o nekim zanimljivim kometima.

Sedmo poglavlje, Izlet u sviet stajačica, Kučerin je pogled u daleki svemir, čija se slika do danas znatno promijenila te je ponajprije zanimljivo za uspored-



Sl. 12.: Sunce gledano s planeta

bu kako se o zvijezdama i dalekom svemiru razmišljalo krajem XIX. stoljeća, a kako danas. Usporedno koristi naziv sunce i zvijezda jer se radi o sinonimu. Piše o drugim suncima i njihovu broju, o osobitim suncima, dvostrukim i mnogostrukim suncima, njihovoj udaljenosti, o dva najbliža sunca, udaljenosti sunaca od Zemlje, o promjenjivim i novim zvijezdama, Algolu i njegovu pratitelju, o zvjezdanim skupovima, Kumovskoj slami, zvjezdanim sustavima i svemirskim maglicama. Završno razmišlja o životu u svemiru te piše:

> "Al jedno je još pitanje, što nam u velike svima zaokuplja misao i srce. Taj veličanstveni, taj bezkrajni kosmos, u kojem je vječno gibanje i komešanje, ali u savršenoj upravo harmoniji – je li taj kosmos – mrtav? Nema li nigdje iskre organskoga života, nema li nigdje u tom bezbroju sunčanih obitelji razumnih bića – nego, na jedinoj Zemlji? Daš li rieč srcu, protivi se nekako instinktivno toj neutješljivoj misli. Al nije ovdje mjesta srcu, red je na prirodnoj nauci, osobito astronomiji, da odgovara i na to pitanje."

Dalje razmišlja o velikim udaljenostima i osamljenosti u neizmjernom svemiru i smatra srećom da nije ničim opravdan zaključak da je priroda vezana na ograničen broj oblika, u kojima ona podržava život. Tekst završava riječima:

> "Ne! Svemir sada za nas nije više pust i mrtav. Na stotine će hiljada biti u njemu krugalja, na kojima može biti, a po tom i ima organičkoga života. Sada se smijemo otisnuti u svemir i na krilima fantazije: možemo izmišljati po miloj volji životne forme u najneobičnijim oblicima, koje postaju prema različitim prilikama na tim dalekim planetima drugih sunaca. Ovlašteni smo pače predpostaviti, da ima i takovih stvorova, koji su nas slaboumne stanovnike zemaljske daleko pretekli umnim sposobnostima – bića, kojima su naši najveći problemi, oko kojih se muči ljudski rod na Zemlji već tisuće godina – tek istine, koje se same po sebi razumievaju!
>
> Na zviezdah su možda dusi višeg sklada,
>
> Kako ovdje pakost, tamo krepost vlada!"

Ti su stihovi možda odraz dotadašnjeg iskustva u Kučerinu životu, ali onda još nije ni slutio da će ga pakost, jal i zloba nekih njegovih kolega trajno pratiti i stavljati mu na put pogubne prepreke. [5] Ipak, i ti stihovi pokazuju koliko je Kučera vjerovao da je baš astronomija znanost koja pomaže uzdizanju čovječjeg duha i pomaže mu pobijediti prizemnost i vezanost uz materijalno.

Knjizi je Kučera priložio Alignementkartu našega neba (na presavijenom listu u džepiću na unutarnjim koricama knjige), Spektralnu tablu, Topografičnu kartu Mjeseca i Preglednu kartu planeta Marsa. Knjiga ima 430 stranica, sa 142 slike u tekstu i 4 navedena priloga. Tiskana je u tiskari K. Albrechta. Nagrađena je iz zaklade grofa Draškovića za 1894. godinu. [7, str. 7-26],[8]

2. Hrvatsko naravoslovno[6] društvo i Zvjezdarnica na Popovu tornju

Godina osnutka Hrvatskog naravoslovnog društva, 1885., važna je za hrvatsko prirodoslovlje. Bilo je to prvo društvo prirodoslovaca u Hrvatskoj, ali i na slavenskom jugu. Do utemeljenja Društva došlo je dugotrajnim zalaganjem

[6]Od 1907. Hrvatsko prirodoslovno društvo (HPD)-

Spiridiona Brusine[7] i Gjure Pilara[8], a od 1884. godine, dok je još predavao u Vinkovcima, kao suosnivač je surađivao i Oton Kučera. Za prvog predsjednika Društva izabran je Spiridion Brusina. Prvih godina Društvo je imalo dvije sekcije: Geografsku i Ornitološku, a članovi nisu bili samo onodobni hrvatski prirodoslovci nego ljudi različitih struka zainteresirani za prirodoslovlje. [9] U prvom broju *Glasnika Hrvatskoga naravoslovnog društva* iz 1886. (str. 24) Brusina je napisao:

> "Vrlo liepu zadaću postavilo si je društvo tim, što će nastojati, da popularnimi predavanji upoznade nestrukovnjake sa krasotami ovih znanosti, pa da ih u što većem broju oko sebe prikupi (...) Glavna svrha društva bit će izdavanje 'Glasnika', koji će izlaziti svakoga drugoga mjeseca, a donašat će samo znanstvene radnje; dočim popularna predavanja tiskati će se u kojem hrvatskom listu..."

Nakon osnutka Hrvatskog naravoslovnog društva Kučera se odmah uključio u njegov rad te je već u prvom broju glasila napisao članak Čovjek i prirodna znanost, u kojem je dao pregled razvoja prirodnih znanosti.

Sedamnaest godina kasnije, 1902., Geografskoj i Ornitološkoj sekciji pridružila se Astronomska sekcija. Kučera je zapisao da niti u "najvišim vrstama hrvatske inteligencije" još nije bilo dovoljno shvaćanja o važnosti i potrebi astronomije kao "kulturnom elementu u naobrazbi svakoga inteligenta bez obzira na njegovo zvanje i zanimanje". [10] On, međutim, smatra da ni kod velikih naroda nije bilo drukčije i navodi da je iste godine kad je osnovano Hrvatsko naravoslovno društvo, Camille Flammarion[9] osnovao Francusko astronomsko društvo u Parizu te da je to društvo, u jednom od najciviliziranijih naroda svijeta, od 40 milijuna ljudi, u prvoj godini djelovanja okupilo jedva 90 članova

Kučera je smatrao da je odnos čovjeka prema znanosti o zvjezdanom nebu posve drukčiji nego prema bilo kojoj drugoj znanosti i da se može usporediti s

[7] Spiridion Brusina (1845. − 1908.), ugledni znanstvenik, jedan od najpoznatijih hrvatskih prirodoslovaca XIX. st., utemeljitelj Hrvatskog narodnog zoološkog muzeja i prvi sveučilišni profesor na Katedri za zoologiju Mudroslovnog fakulteta Kraljevskog sveučilišta Franje Josipa I. Bio je inicijator, suosnivač i prvi predsjednik Hrvatskog prirodoslovnog društva, osnovanog 1885., te pokretač i prvi urednik društvenog časopisa *Glasnik*.

[8] Gjuro Pilar (1846. − 1893.), geolog, mineralog, paleontolog i astronom. Studirao je u Bruxellesu i Parizu. Godine 1870. izabran je za pristava na Mineraloško-geološkom odjelu Narodnog muzeja. Bio je sveučilišni profesor geologije i mineralogije na Mudroslovnom fakultetu, a akad. god. 1886./1887. preuzeo je i predavanja iz astronomije. Nakon njegove smrti nitko nije nastavio predavati astronomiju sve do 1910. godine. Sa S. Brusinom osnovao je Hrvatsko prirodoslovno društvo 1885. godine.

[9] Camille Flammarion (1842. − 1925.), francuski astronom i popularizator astronomije, pisac više znanstveno-popularnih astronomskih djela. Godine 1886. u Parizu je osnovao Francusko astronomsko društvo.

odnosom čovjeka i njegove prirođene ljubavi za rodnu grudu i širu domovinu. Astronomija usmjerava čovjeka na razmišljanje o posljednjim i najvećim problemima prirode i čovjeka u njoj, a takva razmišljanja jako utječu na to da se "umire i natrag potisnu strasti, koje nisu ures naobraženih ljudi". [10] U tome je snaga astronomije i njezina velika odgojna vrijednost za sve naraštaje. Nezadovoljan statusom astronomije u hrvatskom narodu, Kučera je pisao:

> "Žalosna činjenica, da je astronomija u našem narodu u širim vrstama obrazovanih ljudi i danas još jedva po imenu poznata i da je još veoma daleko doba, kada će neka suma znanja o zvjezdanom nebu biti bitan elemenat u naobrazbi svakoga kulturnoga našega čovjeka, ima po mom mišljenju svoj glavni uzrok u naopakom položaju te nauke u sustavu obuke u osnovnim i srednjim školama, a i ono, što o njoj ulazi u tu obuku, tako se pedagogički naopako izvodi, da je čovjek upravo osupnut, ako to omjeri o dotjeranu nauku o uzgoju. Važnost i vrijednost astronomije kao elementa općene naobrazbe, korist njezina, ljepota i filozofska vrijednost tako su nepoznate stvari u sustavu te obuke, da je to prava sramota. A ipak nauka o nebu vodi ne samo k istini nego i dobroti mladu dušu i u njoj budi u životu toliko korisni astronomski duh, kojega se nestašica tako teško osjeća u nas u sukromnom i javnom životu na svakom koraku. − Astronomiji dati u osnovnoj i srednjoj obuci dolično mjesto i nju od najnižega do najvišega stupnja te obuke po primjerenoj metodi obučavati, bit će za budućnost jedna od najspasonosnijih reforma osnovne i srednje škole. (...) Astronomija ipak u hrvatskom narodu ne bijaše *terra incognita*. Našlo se u njem od davnih vremena umova, koji joj posvetiše pažnju ili stupiše u njenu službu" [10].

Što se tiče obrazovanja djece i mladeži, Kučera je imao potpuno pravo jer je i u kasnijim razdobljima obrazovanje zanemarivalo astronomiju i davalo joj mjesto na marginama te je "pedagogički naopako prikazivalo". No, istraživanja povijesti egzaktnih znanosti u Hrvata jasno pokazuju da astronomija u hrvatskom narodu nije bila *terra incognita*, nego znanost koja je bila trajno prisutna kroz djelovanje hrvatskih umova na hrvatskim prostorima i širom Europe i svijeta te se u Hrvatskoj u znanstvenom pogledu zbivalo isto što i u drugim zapadnoeuropskim zemljama. Djela iz područja astronomije imala su određenu znanstvenu vrijednost i kao takva bila poznata uskom krugu obrazovanih, pretežno vezanih uz Crkvu.

Praznine i nedostatke u obrazovanju iz astronomije trebalo je ukloniti Hrvatsko prirodoslovno društvo (HPD). Kučera je izlaz vidio u osnivanju Astronomske sekcije i Zvjezdarnice, o čemu je pisao:

> "Kada je pisac ovih redaka g. 1901. u 'Hrvatskom Prirodoslovnom Društvu' u Zagrebu, osnovanom g. 1886., pokrenuo misao da se jur postojećim dvjema sekcijama, geografskoj i ornitološkoj, pridruži treća nova sekcija astronomijska i da se s njom u vezi u Zagrebu uredi društveni astronomijski opservatorij, javiše se dosta obilno glasovi odobravanja iz krugova hrvatske inteligencije, ali s vrlo uvaženih i odličnih strana inteligenata, inače velikih prijatelja svakoga naučnoga napredovanja, i prigovori tomu naumu društva, koji se mogoše u glavnom sintetizirati u dvoje: 1) da je to u tako malenu narodu, kao što je hrvatski, za sada *luksus*, jer da može u njem biti samo veoma malen broj ljudi, koji se mogu zanimati za tu nauku, još manji, nego za druge nauke kao geografiju, povjest i t. d. a osim toga da imamo mnogo prečih potreba i 2) da je to zadaća vlada, ustrajati i održavati takve kulturne institute. − Na ovom je mjestu posve zališno suzbijati ove prigovore. Dosta je citirati poznatu rečenicu filozofa Kanta, jednoga od najdubljih mislilaca čovjekova koljena do sada na ovom planetu: 'Dvije su stvari, koje su nada sve vrijedne, da na se svraćaju pažnju ljudskoga uma i da ga opet i opet napunjuju udivljenjem: *moralni zakon u nama i zvjezdano nebo nad nama*'." [10].

Kučera je tu Kantovu misao stavio 1895. kao epigraf *Našem nebu*. Bio je nezadovoljan interesom za prirodoslovlje jer je broj članova HPD-a opadao umjesto da raste. Stanje se promijenilo tek osnutkom Astronomske sekcije i izgradnjom Zvjezdarnice, kad je broj članova s 95 narastao na oko 230. Djelomično su za pad članstva bila kriva vrlo skromna sredstva. Djelujući u HPD-u, bez obzira na otpore i unutar Društva, Kučera je uspio realizirati svoju zamisao o hrvatskoj samostalnoj građanskoj zvjezdarnici, a druženje s istomišljenicima u Društvu dalo mu je dodatni motiv da posebnu pozornost posveti popularizaciji astronomije. Kučerina knjiga *Naše nebo* i njezina velika prihvaćenost i popularnost u narodu bila je temelj za osnivanje Zvjezdarnice, što je razvidno u velikoj potpori svih slojeva hrvatskog naroda koji se, ovisno o svojim mogućnostima, uključio u doniranje sredstava za hrvatsku Zvjezdarnicu slika 13.

Istomišljenicima u krilu Astronomske sekcije obratio se prigodom otvaranja Zvjezdarnice, 5. prosinca 1903. godine, riječima:

> "Vi gospodo, moji mili prvi drugovi u astronomskoj sekciji ovog našeg društva shvatili ste prvo veliku vrijednost i veličinu astronomije (...) Vi ćete svakom zgodom upozoravati na njenu korist, njezinu ljepotu i njezinu filozofsku vrijednost. Vi sijete dobro sjeme, Vi u narodu hrvatskom pripravljate i dovodite k nama pristaše i time uvećavate broj onih, koji žive u svjetlosti i istini ..." [5]



Sl. 13.: Zvjezdarnica HPD-a na Popovu tornju 1904.

Veliku važnost Kučera je pridavao pisanju poučnih knjiga namijenjenih širokim slojevima stanovništva, uvjeren da je to najbolji put za prosvjećivanje.

U HPD-u je Kučera bio pročelnik Astronomske sekcije te prvi upravitelj (predstojnik) Zvjezdarnice HPD-a od 1903. do 1913. te od 1920. do 1926. godine, a 1910. izabran je za predsjednika HPD-a.

3. Kučerine neostvarene želje u vezi s astronomijom

Za visoko školstvo i razvoj znanosti u Hrvatskoj važna je 1874. godina. Prethodne je godine za hrvatskog bana izabran Ivan Mažuranić[10], čijim su

[10]Ivan Mažuranić (1814. − 1890.), pravnik, pjesnik, političar, hrvatski ban, ali i astronom amater. Na svojem je posjedu imao teleskop i više astronomskih pomagala te literaturu iz područja astronomije. Umro je držeći u rukama knjigu francuskog astronoma i popularizatora astronomije Camillea Flammariona.

zalaganjem ostvareni napori hrvatskih intelektualaca da kralj odobri otvaranje osuvremenjenog Kraljevskog sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu. Dotadašnja visokoškolska ustanova, koja je od 1669. godine imala sva prava sveučilišta, proširena je novim znanstvenim područjima, prije svega matematičkim i prirodnim znanostima[11]. Mažuranić je utjecao i na donošenje sveučilišnog zakona, kojim se na Matematičko-prirodoslovnom odjelu predviđalo i održavanje predavanja iz astronomije kao izbornog predmeta. U prilog tomu Kučera je zapisao:

> "U sveučilišnom zakonu od g. 1874., kojim se osniva Zagrebačko sveučilište, navodi se doduše među stolicama filozofskoga fakulteta na prvom mjestu stolica za astronomiju (tadašnji ban hrvatski Ivan Mažuranić, bijaše velik prijatelj i revan motrilac zvjezdanoga neba), ali je ostala na papiru sve do dana današnjega!" [11]

Zakonom o ustrojstvu sveučilišta iz 1874., u čl. 50., pod e) astronomija, bila je predviđena nastava astronomije kao neobvezatnog (pomoćnog) predmeta pa je u zimskom semestru 1886./1887. sveučilišni profesor geologije Gjuro Pilar počeo predavati astronomiju za studente geologije i geografije na Fakultetu, ali tad uvjeti nisu dopuštali osnivanje katedre za astronomiju, što je bila Pilarova želja. Očito su poduzeti koraci u smjeru dobivanja zakonske dozvole za osnivanje katedre iz astronomije te je u zakonima iz 1894. i astronomija uključena u paragrafu 49. u Fakultet, pod stavkom y) astronomija, čime je bio otvoren put za popunu katedre iz astronomije. [11] No, Pilar je umro 1893., ne dočekavši to odobrenje, a nitko ga nije naslijedio te su studenti bili zakinuti u stjecanju znanja iz astronomije.

Nakon dolaska u Zagreb na Visoku realku 1892. godine Oton Kučera ubrzo je podnio molbu za stjecanje doktorata i 1893. obranio radnju *O Marinu Getaldiću, patriciju dubrovačkom, znamenitom matematiku i fiziku na početku 17. vijeka*. Trebao je položiti predviđene ispite da bi mogao biti promoviran u doktora filozofije. Godine 1895. objavio je knjigu *Naše nebo* i drugi se put oženio, nakon što je pet godina bio udovac s malom kćeri Elzom. Godine 1896. drugi je put postao otac. U takvim se uvjetima polaganje ispita oduljilo. Znajući da katedra nije popunjena i da studentima Mudroslovnog fakulteta nitko ne održava nastavu astronomije, Kučera je krajem 1896. predao molbu Mudroslovnom fakultetu da ga primi kao suplenta (pomoćnog nastavnika) za astronomiju. Priložio je dvije knjige koje je dotad objavio: *Crte o magnetizmu i elektricitetu* i *Naše nebo*, koje je tema ovog članka. U odgovoru na molbu, od 14. siječnja

[11] Od 1850. do 1874. stoljetna tradicija visokoškolske nastave u okviru filozofije na Zagrebačkoj akademiji (Academia Zagrabiensis) vraćena je na srednjoškolsku razinu te je samo pravo zadržalo visokoškolski status.

1897., navedeno je da Profesorski zbor Mudroslovnog fakulteta na II. redovitoj sjednici od 8. siječnja 1897. nije mogao uvažiti njegovu molbu za suplenturu iz astronomije. Uputili su ga da traži dvije godine dopusta od Vlade u svrhu "da se na nekoj vanjskoj zvjezdarnici uvježbate u praktičnoj astronomiji i da se habilitirate za ovu obuku". Kučeri to u navedenim uvjetima nije bilo moguće jer se morao skrbiti za obitelj. [12]

Kučera je u Beču studirao i astronomiju, a praktično zvjezdoznanstvo na bečkoj zvjezdarnici. Bez dodatnih podataka ne može se zaključiti je li bilo moguće uvažiti Kučerinu molbu jer ni sveučilišni profesor geologije Gjuro Pilar nije habilitirao astronomiju, a nije se ni dodatno uvježbao na nekoj vanjskoj zvjezdarnici da bi predavao astronomiju na Sveučilištu. Na Mudroslovnom fakultetu bio je Pilarov prijenosni refraktorski teleskop i još neki instrumenti koje je Pilar nabavio. Možda je velikim uspjehom knjige *Naše nebo* Kučera već izazvao zavist nekih kolega ili su astronomiju na Sveučilištu smatrali suvišnom, s obzirom na to da nije tražen dolazak nekog astronoma izvan Hrvatske da preuzme katedru, kao što je to učinjeno u slučaju fizike (Čeh Vinko vo*řák*), kemije (Čeh Gustav Janeček) i matematike (Čeh Karel Zahradnik). [5]

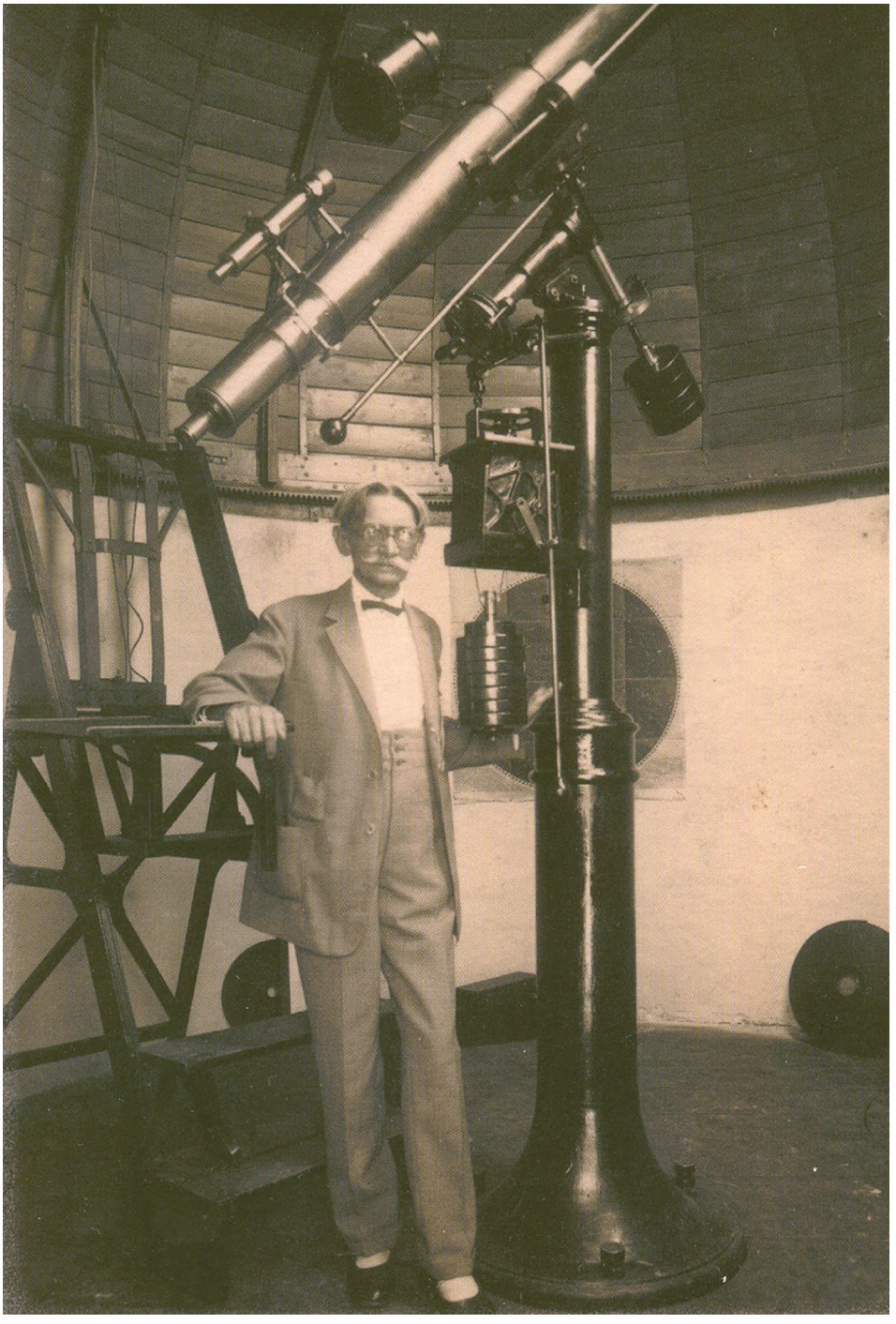
Kučera je 1899. doktorirao te je izabran za učitelja matematike i fizike s mehanikom u Kr. šumarskoj akademiji pri Mudroslovnom fakultetu. Status Šumarske akademije bio je privremen i trebala je postati ravnopravan dio Mudroslovnog fakulteta, što se nije dogodilo. Novonastali uvjeti osnivanjem društvene Zvjezdarnice u okviru Hrvatskog naravoslovnog društva 1903. i planiranog znanstvenog rada iz astronomije naveli su Kučeru da krajem 1905. ponovno pokuša uvesti astronomiju na Mudroslovni fakultet. Kučera je u molbi predložio da preuzme predavanja iz astronomije u svojstvu učitelja (danas bismo rekli predavača) jer za status docenta nije imao uvjet. Računao je da bi nakon stjecanja uvjeta mogao napredovati u docenta i dalje, kao što je bio uobičajen slijed kod njegovih kolega. Time bi zaživjela katedra iz astronomije, Zvjezdarnica bi dobila mlade stručnjake te bi bio postavljen temelj za razvoj hrvatske astronomije i u znanstvenom pogledu. Bilo bi to i rješenje njegova statusa kojim nije bio zadovoljan. Tekst njegove molbe glasi:

> "Slavni profesorski zbore! − Posljednjih je godina potpisani iz krugova sveučilišnih slušača navlastito filozofskoga fakulteta, ponovno umoljen, da ih uvodi u astronomiju, pak se je toj molbi, koliko je mogao, i odazivao. Tako je on članove kluba geografa i historika u mudroslovnom fakultetu ovoga sveučilišta uvodio u astronomiju, a u posljednjem je ljetnom semestru slušačima šumarstva, kojima se je i nekoliko filozofa priključilo, na njihovu molbu privatno predavao elemente astronomije po 2 sata na tjedan u zvjezdarnici hrv. naravoslovnoga društva,

a na koncu je tih predavanja umoljen, da ih i u ovoj školskoj godini nastavi. Molba je na početku ovoga semestra ponovljena. − Iz ovih činjenica izlazi, da se u krugovima sveučilištnih slušača osjeća potreba redovitih predavanja o astronomiji bar u opsegu pomoćne nauke za dublji studij prirodnih nauka, matematike i geografije, pak i za kasnije obučavanje astronomijskih partija u srednjim školama. − Potpisani se izjavljuje spremnim taka predavanja iz astronomije u spomenutom opsegu preuzeti kao učitelj astronomije, pak bi elemente ove nauke u tom stegnutom opsegu redovito predavao po 3-4 sata na nedjelju, ako se slavni profesorski zbor nađe prinukanim, da ga visokoj kr. Zemaljskoj vladi predloži za učitelja astronomije u tom stegnutom opsegu uz običajnu nagradu za takvo učiteljevanje. Potpisani se nada, da će slavni profesorski zbor njegovu molbu moći to lakše uvažiti, što je on već godine 1899. po prijedlogu ovoga slavnoga zbora imenovan učiteljem matematike i fizike s mehanikom u Kr. šumarskoj akademiji pripojenom ovomu mudroslovnom fakultetu. − S dubokim počitanjem − U Zagrebu dne 7. studenoga 1905. − Prof. Dr. Oton Kučera − učitelj u mudroslovnom fakultetu", slika 14. [3]

Svi su se ondašnji hrvatski prirodoslovci poznavali i družili u okviru HPD-a, ali samo je mali broj bio u statusu sveučilišnih profesora ili docenata. Neki od njih bili su protiv osnivanja Zvjezdarnice, a neki su o popularizaciji astronomije i laiciziranju Društva imali gledišta suprotna Kučerinim, što se odrazilo i u odnosu prema Kučeri. Kao kandidat za isto mjesto prijavio se i Andrija Mohorovičić[12] koji je imao slične uvjete. Iz fakultetskog izvještaja podnesenog Vladi razvidno je da su nakon rasprava i suprotstavljenih stavova oba kandidata odbijena, a taj je prijedlog prošao s većinom od 9 glasova za, prema 8 protiv. Kraljevska vlada priklonila se fakultetskom izvještaju i volji većine i nije odobrila predavanja iz astronomije. [11]

[12] Andrija Mohorovičić (1857. − 1936.), od 1898. akademik, studirao je matematiku i fiziku u Pragu, a zatim bio profesor u gimnazijama u Zagrebu i Osijeku te Nautičkoj školi u Bakru, gdje se počeo baviti meteorologijom. Na vlastitu molbu bio je 1891. premješten na Visoku realku u Zagrebu te je 1. siječnja 1892. postao upravitelj Meteorološkog opservatorija na Griču. Godine 1893. položio je ispite iz struke, a 1894. iz filozofije te je promoviran za doktora filozofije. Godine 1897. habilitirao se kao privatni docent iz meteorologije. Od 1898. do 1919. predavao je meteorologiju i klimatologiju na Šumarskoj akademiji. Godine 1910. postao je izvanredni profesor na Mudroslovnom fakultetu te predavao i seizmologiju i astronomiju. Svjetski poznat postao je otkrićem plohe diskontinuiteta u unutrašnjosti Zemlje.



Sl. 14.: Kučera uz teleskop u kupoli Zvjezdarnice

4. Oton Kučera i Matica hrvatska

Godine 1842. osnovana je Matica hrvatska, a 1868. izgrađena je Matičina palača na Strossmayerovu trgu u Zagrebu. Matica hrvatska osnovana je sa ciljem prosvjećivanja hrvatskog naroda s obzirom da je u Hrvatskoj i Slavoniji u tom razdoblju bilo malo znanstvenika i osoba s visokim obrazovanjem. U Maticu su posebno bili uključeni srednjoškolski profesori, već i po naravi svojeg posla. To je bilo posebno važno za promicanje prirodoslovlja, koje je u XIX. stoljeću doživjelo preporod, a profesori prirodoslovnih znanosti imali su važnu ulogu u prosvjećivanju i unapređenju hrvatske znanosti.

Uključeni u Maticu, bili su posrednici između Matice i stanovništva. Pretplata, kupnja i širenje Matičinih izdanja na taj način trajali su do kraja Prvoga svjetskog rata, a Matica hrvatska je povjerenike i pretplatnike imala u svim hrvatskim gradovima. Međutim, sve do 1886. godine pristup Matičinim knjigama bio je zabranjen u Istri, Dalmaciji i Dubrovniku te drugim dijelovima Monarhije. Stoga je Matica dalmatinska u Zadru u ime Matice hrvatske izdavala hrvatske narodne pjesme i drugo. Do 1881., za vrijeme Hrvatsko-slavonske vojničke granice pod direktnom austrijskom upravom, Matica hrvatska ni na tim prostorima nije bila poželjna. [13]

Međutim, Oton Kučera već je kao gimnazijalac u Senju s ostalim gimnazijalcima bio upoznat s njezinim izdanjima i čitao je časopis *Vienac,* u kojem je želio surađivati. Časopis je slijedio politiku bana Ivana Mažuranića. Kučera bio pristaša bana Mažuranića, ali i Strossmayerove Narodne liberalne stranke koja je Mažuranića predložila za bana. Kad je nakon studija u Beču postao profesor vinkovačke gimnazije, promicao je Matičina izdanja među svojim učenicima i postao Matičin suradnik. Dolaskom u Zagreb suradnja s Maticom još se više učvrstila. Knjiga *Naše nebo* koju je Matica hrvatska tiskala 1895. doživjela je velik uspjeh, a također i ostale Kučerine knjige. [5]

Kučera je naglašavao da je Matica hrvatska učinila važan doprinos prirodoslovnim znanostima tiskajući knjige iz raznih područja prirodnih znanosti. Velika je vrijednost 37 popularnih znanstvenih djela u Poučnoj knjižici Matice hrvatske, objavljenih tijekom tri desetljeća, a čiji su autori bili istaknuti stručnjaci tog razdoblja u Hrvatskoj. Kučera je zastupljen s četiri knjige: *Crte o magnetizmu i elektricitetu* (1891.), *Naše nebo. Crtice iz astronomije* (1895.), *Vrieme. Crtice iz meteorologije* (1897.) te *Valovi i zrake* (1903.) Matica hrvatska ukupno je objavila devet njegovih knjiga, od kojih je jedna knjiga 3. popunjeno i popravljeno izdanje, I. svezak *Našeg neba* (1930.) Ostale su četiri knjige: *Novovjeki izumi u nauci, obrtu i umjetnosti, knj. III. Noviji električni pojavi i izumi* (1910.), *Novovjeki izumi. Knj. IV.* (1913.) *Gibanja i sile. Crtice iz mehanike neba i zemlje* (1915.) te *Novovjeki izumi u nauci, obrtu i umjetnosti. Knj*

V. Telegraf i telefon bez žica (1925.). Deseta Kučerina knjiga koju je objavila Matica hrvatska pretisak je knjige *Telegraf i telefon bez žica* (1995.). [14]

Uz Hrvatsko prirodoslovno društvo, za popularizaciju prirodoslovlja u hrvatskom narodu Kučera je odgovornom smatrao Maticu hrvatsku, kao ustanovu za popularizaciju svih znanosti. Matica hrvatska u svojoj je Poučnoj knjižnici dala važno mjesto prirodnim znanostima. U tri desetljeća, od 1877. do 1906., u toj je knjižnici objavila 28 svezaka. Kučera je 1907. napisao:

> "Na čast se 'Matici Hrvatskoj' more reći, da je ona nakon svoga preporoda u svojoj poučnoj knjižnici dala razmjerno odlično mjesto prirodnoj nauci i što je u Hrvatskoj za popularizaciju prirodne nauke učinjeno, to je gotovo sve rabota 'Matice Hrvatske'. I u tom je pogodila pravi duh vremena i narodnju potrebu (…) Na moju je ponuku tadašnji književni odbor stvorio zaključak da je 'Matica Hrvatska' spremna izdavati popularna predavanja i essaye iz prirodne nauke u jednoj knjizi svake godine i te članke prema potrebi ilustrirati, a pisce nagrađivati. Taj zaključak stoji i danas − neizvršen. Zašto? No, jer se nije našao dovoljan broj suradnika za ovu veoma savremenu redovitu ediciju 'Matice' i jer na to u prvom redu pozvani faktori poradi slaba odziva ne mogoše priređivati cikluse popularnih prirodoslovnih predavanja."

U vezi s popularizacijom prirodoslovlja u hrvatskom narodu zaključuje:

> "1. Započetu seriju osnovnih, prijeglednih djela popularno naučnih iz prirodne nauke u bržemu tempu nastaviti i završiti i klasična djela te ruke prevoditi. 2. Pojedine važne ili aktuelne partije svih grana prirodne nauke u Matičinoj 'Maloj Knjižnici' podrobnije obrađivati. 3. U redovitim edicijama 'Matice' osnovati godišnjak prirodne nauke, u kojem se u pristalu obliku izvješćuje popularno o napredovanju prirodne nauke. 4. U tu svrhu veoma bi dobro došla kooperacija s 'Hrvatskim naravoslovnim društvom' i koncentracija svih pozvanih sila oko tih dvaju centara. Na ime 'Matice Hrvatske' usrdno molim i pozivam sve stručnjake prirodne nauke, da ju u tom narodnjem poslu pomažu svojim savjetom i darivaju svojim radovima." [14]

Kučerino mišljenje o popularizaciji znanosti vrijedi i danas:

> "U nas je kultura još posve razdijeljena u kaste: uz mali broj naučnjaka i stručnjaka zamjerne visine stoji najveća masa ljudi i naobraženih i radničkih (materijalnih radnika), koji o duševnim tekovinama nauke nemaju ili nikakova pojma ili imaju najpovršniji pojam. U takvim je prilikama neosnovano govoriti o kulturi *naroda*. Da do nje dođe i da

> ta kultura bude *trajna* i *plodna* za narod, za to treba da se stručnjaci i naučnjaci narodni spuste *dolje*, a odozdo treba da ide struja *gore*, obje se struke moraju pomiješati i dopunjavati. Zastupnici su nauke to načelo u naprednijih naroda priznali i prihvatili i mi vidimo, kako se u njih *najslavnija učena imena* nalaze među popularizatorima. (...) U hrvatskom se narodu to dvojako strujanje jedva opaža. Na jednoj se strani kasta naučnjaka i stručnjaka drži gotovo posve po strani, gledajući s visoka na nastojanje pojedinaca u tom smjeru, a u drugu se ruku tek počinje javljati želja odozdo za prirodoslovnom obukom" [14].

Tim je stavom Kučera stekao opasne protivnike, koji će uspjeti uništiti mnoga njegova nastojanja, pa gotovo i Zvjezdarnicu, koja je ubrzo nakon Kučerine smrti (u Zagrebu 1931. godine) gotovo zatvorena kao nepotrebna. Koliko je pak Kučera dobro shvaćao bit i značaj popularizacije znanosti u narodu koji je bio gušen neslobodom, pokazuju njegova sljedeća razmišljanja:

> "U takim se prilikama ne bi po mom mišljenju mogli uspješno prenositi produkti popularno-naučne literature drugih naroda neposredno u prijevodima u naš narod, nego će biti bolje, da osnovna, prijegledna serija naše prirodoslovne biblioteke stoji nešto niže, pak da za osnovnu notu uzme *budjenje prvoga interesa* za nauku osobito birano, jednostavnom formom prikazivanja bez naučnoga aparata. Nije joj zadaća, da se u njoj sva sila gradiva i zakona ili čak nedokazanih hipoteza i teorija obrađuje, nego da u čitača budi razumijevanje *načina*, po kojima je moderna nauka u svojoj raboti uspjela, da u pitanja najopćenijega materijalnoga, socijalnoga i duševnoga interesa unese nešto svjetlosti. Nije glavno, da čitač samo znade, što nauka ovaj čas na takva pitanja odgovara, nego da se počinje uživljavati u *metode*, što ih je nauka upotrijebila, da dođe do tih odgovora, pak da na toj osnovi i sam pomalo počne o tom suditi, koliko su današnji odgovori nauke pouzdani. U tom je ona prava prirodoslovna naobrazba, koja toliko manjka i inteligenciji i radništvu našega naroda. Jasno je, da ovakovu dobru i jedino opravdanu popularizaciju nauke mogu uspješno izvoditi samo najbolje sile narodnje na polju nauke. Već je Schopenhauer rekao, da su samo savršeni majstori kadri elemente čiste nauke zaista dobro predavati, jer baš samo oni razumiju stvar zaista, pak im nikada riječi ne nadoknađuju misli. U takvoj je popularizaciji i najbolji ustuk toli opasnoj polunaobrazbi, koja se i u nas žalibože naglo širi i sve više razmeće" [14].

Potrebno je spomenuti i Kučerin prijedlog iz 1915. da Matica hrvatska počne za svoju 75. obljetnicu izdavati *Enciklopediju općenoga znanjA*, što je objavljeno u *Narodnim novinama* od 11. rujna 1915., ali tad nije ostvareno. [10]

Prigodom slavljeničkog jubileja 70. godišnjice Kučerina rođenja 1927. godine, tadašnji je predsjednik Matice hrvatske poznati hrvatski pjesnik Dragutin Domjanić napisao:

> "(...) Matica Hrvatska imade posebnog razloga, da se toj Vašoj slavi pridruži, što se zahvalno sjeća velikih dobara, koje je u svome radu i životu postigla za vrijeme Vašega odličnog predsjednikovanja, a koja su dobra umnožena brojnim djelima, što su izašla iz Vašega pera."

4.1. Izbor Kučere za predsjednika Matice hrvatske

Nakon odlaska bana Khuena s vlasti činilo se da za hrvatski jezik i književnost dolaze bolji dani. Međutim, baš je tad došlo do nepotrebnog sukoba književnika okupljenih u Matici i Društvu hrvatskih književnika, koje je Matica utemeljila 1900. godine. Na tezu predsjednika Gjure Arnolda, hrvatskog filozofa, pedagoga i pjesnika, da književnost mora služiti narodu, tzv. mladi okupljeni u Društvu hrvatskih književnika burno su reagirali protiv tzv. starih, tražeći slobodu književnosti i umjetničkog izražavanja premda to nikad nije ni dolazilo u pitanje. Međutim, Gjuro Arnold odlučio je 1909. odstupiti s mjesta predsjednika. Premda nije pripadao klasičnom književnom miljeu, Kučeri je iskazana najveća čast u tadašnjem hrvatskom književnom krugu izborom za predsjednika Matice hrvatske. Protukandidat mu je bio Isidor Kršnjavi[13], s kojim je inače dobro surađivao. Kučera je prvo izabran za razdoblje od 1909. do 1912., no zbog izbijanja Prvog svjetskog rata na čelu Matice ostao je sve do 1917. godine. Izabran je ne samo kao jedan od autora Matičinih izdanja i ugledan profesor nego i autor članka o Matici hrvatskoj 1907., u kojem je pokazao da dobro shvaća njezine temeljne zadatke. Osim toga, smatran je jednim od najpomirljivijih intelektualaca te se vjerovalo da će biti uspješan posrednik između 'starih' i 'mladih'. To je povjerenje itekako opravdao te je pod njegovim vodstvom Matica i po knjigama i po autorima bila iznimno uspješna. Uspio je pomiriti 'stare' i 'mlade', odnosno one koji nisu shvaćali da već samim činom pisanja

[13] Isidor Kršnjavi (1845. – 1927.), povjesničar umjetnosti, slikar i političar; svestran djelatnik u hrvatskoj kulturi, povijesti, školstvu, galeristici, etnologiji i drugim područjima. Bio je profesor Mudroslovnog fakulteta, glavni pokretač osnivanja Društva umjetnosti, Obrtne škole i Muzeja za umjetnost i obrt. Postavio je glasovitu Strossmayerovu zbirku u palači JAZU. U politici je prvo prišao pravašima, a zatim je bio saborski zastupnik na listi Khuenove Narodne stranke te je izabran za predstojnika Odjela za bogoštovlje i nastavu, smatrajući to najboljim načinom da zaštiti Hrvatsku od represivnog režima. Na taj je način uspio izgraditi brojne javne zgrade u Zagrebu i Hrvatskoj, financirao je tiskanje udžbenika i osuvremenio školstvo. Pravašima se vraća nakon pada Khuen-Héderváryja 1903. godine. Bio je važan donator za izgradnju Zvjezdarnice i član Astronomske sekcije HPD-a.

na hrvatskom jeziku služe interesima hrvatskog naroda. U razdoblju njegova upravljanja došlo je do spajanja Matice dalmatinske s Maticom hrvatskom.

Za vrijeme Prvog svjetskog rata sve su kulturne ustanove bile zabranjene. Kučera je, međutim, uspio da Matica hrvatska kao društvo ne djeluje, ali da se dopusti rad Matičine izdavačke kuće s obzirom na obilje pripremljenih rukopisa koji čekaju tiskanje. Dok je vodio Maticu tiskane su najljepše opremljene knjige na području Austro-Ugarske Monarhije, i to ne samo po vanjskoj opremi, odnosno koricama nego su cjelokupnim izgledom bile najveća dostignuća grafičke vještine u Hrvata. [13]

4.2. Suradnja s Maticom slovenskom i Srpskom književnom zadrugom

Na Glavnoj skupštini Matice hrvatske 24. ožujka 1912. predsjednik Kučera je rekao:

> "A sada, gospodo, bacimo oko i u budućnost. Svjedoci smo titanskoj borbi hrvatskoga naroda za emancipaciju od svačijega skrbništva i za ujedinjenje u organičku cjelinu, borbe, koja postaje, hvala sve više rastućoj samosvijesti najširih vrsta narodnih, sve žešća i upornija. Da je samosvijest tako porasla, za stalno je dobar dio doprinijela i Matica svojim književnim radom."

Za vrijeme Prvog svjetskog rata, godine 1917., u predsjedničkom govoru na Skupštini Matice hrvatske, prije nego što je nakon osam godina razriješen predsjedništva, Kučera je rekao:

> "I u hrvatskom narodu treba da si probije put spoznaja, da će svagda nalaziti to mlačnijih prijatelja, što žešće za njima trči, a to veće poštovanje, što se više bude pokazivao zrio i svjestan svojih ciljeva u unutrašnjosti svojoj i spram izvanjih faktora. (…) Treba nam *ljudi*. Ličnost nije samo najveća s r e ć a nas zemaljskih putnika, ona je i naše najveće *pravo* i najveća *dužnost*... U jednu riječ: najpreča su nam potreba ljudi *jaka značaja*."

Kao predsjednik Matice surađivao je sa Slovenskom maticom i Srpskom književnom zadrugom. Maticu hrvatsku vodio je u vremenima književne moderne. U to se vrijeme u Hrvatskoj na političkom planu zbivaju teški stranački sukobi izazvani težnjom odupiranja germanizaciji i mađarizaciji, a približavanja slavenskom korpusu, u čemu se kao logičan izbor činila veza sa Srbijom. Stoga neke oporbene političke stranke rade na približavanju hrvatskog i srpskog

naroda isticanjem potrebe za jugoslavenskim jedinstvom, pa se oko 1910. i u književnosti javlja najmlađa književna generacija, tzv. napredna jugoslavenska omladina. Kučera Maticu vodi u teškim vremenima prije i tijekom Prvog svjetskog rata, kako piše:

> "(...) kada je i rad 'Matice Hrvatske' bio obustavljen i moj položaj kao predsjednika postao osobito težak, da tu najjaču tvrđavu kulturnu iz teške situacije izvedem neoštećenu, što mi je i uspjelo sve do 1917., kada je dopušteno ponovno djelovanje".[5], [13]

5. Utjecaj i popularnost *Našeg neba* za Kučerina života

Popularizatorska i znanstvena dimenzija zanimljivim i jednostavnim jezikom pisane te crtežima i slikama bogato opremljene knjige iz astronomije, namijenjene svim zainteresiranim čitateljima, bez obzira na dob, struku i naobrazbu, potiče nas na analizu značenja i utjecaja za vrijeme Kučerina života, ali i u našoj novijoj literarnoj i znanstvenoj baštini. Činjenica je da se *Naše nebo* čitalo kao najzanimljivije štivo: hrvatsko je pučanstvo prihvatilo tu lijepim hrvatskim, narodu razumljivim jezikom, pisanu knjigu. U njoj su čitatelji mogli naći, sustavno i zanimljivo prikazano, mnogo toga što je puk njegovao i čuvao u svojoj usmenoj predaji, mitologiji i tradiciji, ali također i dopunu tih znanja. Stoga ne čudi da je možemo i danas naći u obiteljskim knjižnicama najrazličitijih društvenih slojeva. U Kučerinoj korespondenciji, među pismima prijatelja, kolega i poznatih suvremenika, sačuvana je i dopisnica jednog čovjeka iz slavonskog sela. Kučeri je bila iznimno draga jer je njegovo gledište da pogled na nebeski svod nije ni u kakvu raskoraku s vjerom nego je može i produbiti, potvrdio svojim riječima običan čovjek iz naroda:

> "Ta me knjiga u velike zanima. Divno ste u njoj opisali ovaj veličanstveni modri šator nebeski. Vjerujte meni, ova divna knjiga usadila u moje srdce vjeru bolje nego sve dosadašnje pobožne knjige. Sad istom poimam kako je svemogući tvorac premudar i preblag." [16]

O utjecaju Otona Kučere i njegove knjige *Naše nebo* uz ostalo svjedoči i primjer nastanka "astronomskog pokreta" u Zadru i tiskanja prvog (i jedinog) broja prvog hrvatskog astronomskog znanstveno-popularnog časopisa *Mladi zvjezdar* koji je, u tiskari u Pustinji Blaca na otoku Braču, 1912. godine tiskao don Niko Miličević, mlađi (1885. − 1963.), prije odlaska na studij astronomije u Beč. Don Niko postao je poznati astronom, koji je u Blacima osnovao

Zvjezdarnicu Blaca (Sternwarte Blaca). U poglavlju *Harmonija svemira* Kučera se u više navrata obraća prijateljima neba te je to očito potaknulo don Niku i njegove prijatelje da časopis *Mladi zvjezdar* nazovu i Vjesnikom prijatelja neba. U tekstu pod naslovom Naš astronomski pokret, najljepšim riječima opisuju Otona Kučeru te navode:

> "Znamo, koliko je on pri ruci bio nekim našim članovima, bilo vrijednim svjetom i korisnim uputama, bilo krasnim i uspješnim poticajima, što nam sve i sada uskratio nije, pak se uhvamo da i ne će, jer smo uvjereni da mu je to naslada, biti pri ruci oduševljenim prijateljima neba." [17]

5.1. Drugo izdanje knjige *Naše nebo*

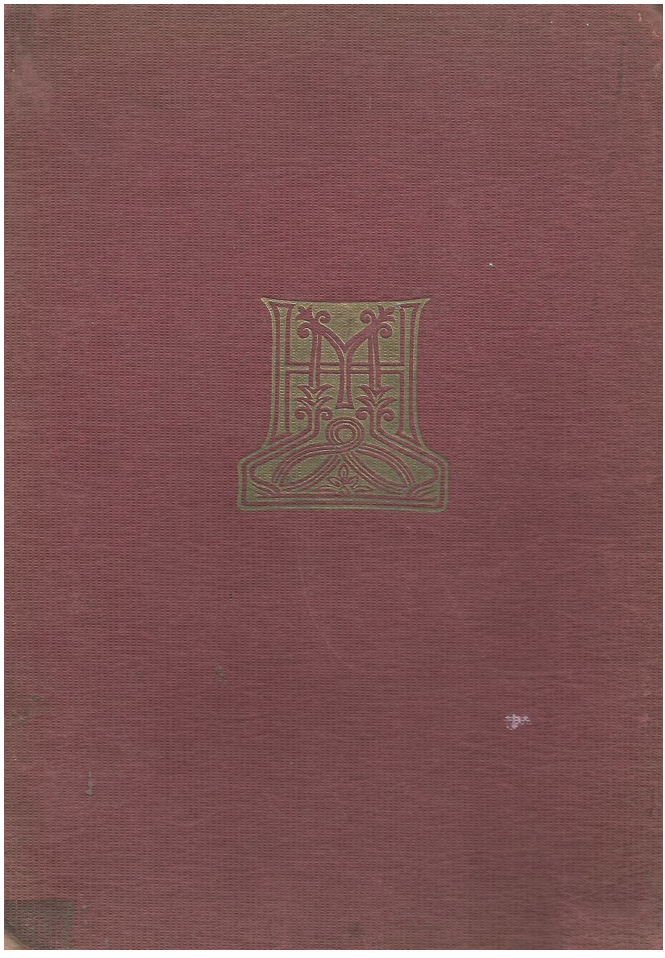
Drugo izdanje *Našeg neba*, 1921. godine, objavilo je Hrvatsko prirodoslovno društvo, ali samo prvi od tri predviđena sveska te je tako knjiga ostala krnja. U predgovoru tom izdanju Kučera ističe:

> "Općeno se lice zvjezdanoga neba u to malo vremena za naše tjelesno oko, nije promijenilo − tomu će trebati eoni vremena! − pa prema tome nije ni ova knjiga trebala da mijenja općenoga svoga obličja, to manje, što se pokazalo, da je pogodila put do srdaca i umova svojih čitatelja i čitateljica. No znanje čovjeka o nebrojenim čudesima i tajnama, što ih beskrajni svemir u svom krilu još uvijek krije za um čovjekov, u ovo je četvrt vijeka snažno pokročilo naprijed." [18]

5.2. Treće izdanje knjige *Naše nebo*

Matica hrvatska je 1930. ponovno tiskala dopunjeno i donekle preuređeno izdanje, ali izišao je samo prvi od dva predviđena sveska, slika 15. Kučera više nije imao snage za objavljivanje kompletnog djela, što se vidi iz obiteljskog pisma iz 1931. godine, u kojem piše:

> "Moje ovogodišnje ljetovanje nije dobro uspjelo. Naučno putovanje na astronomski kongres u Pešti i onda na zvjezdarnicu u Beču odviše me je izmorilo, budući da sam bio već izmoren više mjesečnim radom oko 'Našega Neba'. Sklerozom oslabljeni živci više nisu dorasli takvim naporima i to je bio posljednji jamačno put te vrsti." [19]



Sl. 15.: Treće izdanje *Našeg neba*, 1930.

U predgovoru trećem izdanju Kučera piše:

"I opet ga je naša zaslužna 'Matica Hrvatska' uzela pod svoje okrilje, pa time omogućila piscu, da ovo svoje miljenče pod kasnu jesen života, opremljeno kako treba, još jednoč pošalje u narod. Općenoga svoga lica knjiga nije trebala da mijenja, jer se je pokazalo, da je pogodila put do umova i srdaca svojih čitatelja (...) i pisac smije reći, da je svoju svrhu u obilnoj mjeri postigla: u široke je vrste naroda hrvatskoga, a i dalje na slavenskom jugu, unijela pozitivnoga znanja o uredbi svemira i probudila i razmijenila zanimanje i uživanje u izučavanju prirode, navlastito zvjezdanoga neba. Izvanji su tomu znaci, da je postala zvjezdarnica Hrvatskoga prirodoslovnog društva na Popovu

tornju u Zagrebu (1903.) i da je mali planet 589, iz obitelji našeg Sunca u nauci dobio ime 'Croatia' (1909.)[14]" [20].

Tiskani I. svezak imao je 267 stranica sa 156 slika u tekstu, jednom kartom zvjezdanog neba, jednom tablom u bojama i jednom tablom na čelu knjige, a tiskano je u Zakladi tiskare Narodnih novina. Od trećeg nepotpunog izdanja *Našeg neba* u Kučerinoj ostavštini sačuvani su korekturni arci 4. i 5. poglavlja, ispravci tiskanog teksta i bilješke 5. i 6. poglavlja, ispravke uz tiskani tekst 6. i 7. poglavlja te 77 slika. [21].

6. Zvjezdarnica na Popovu tornju i Kučerina knjiga

Veliku je ulogu u popularizaciji *Našeg neba* kroz razdoblje od dosad više od 120 godina od objavljivanja imalo drugo Kučerino astronomsko djelo − samostalna hrvatska građanska Zvjezdarnica na Popovu tornju. [22], [23, str. 139-154] Spomenuto je da je *Naše nebo* bilo temelj za uspješno osnivanje Zvjezdarnice 1903. godine. Treće izdanje knjige, tiskano 1930., godinu prije Kučerine smrti, iako nepotpuno, popunjavalo je prazninu nastalu nedostatkom popularizacije astronomije i slabim djelovanjem Zvjezdarnice prije Drugog svjetskog rata. Nakon rata Zvjezdarnica je ponovno uspješno nastavila rad, sve do danas.

Nažalost, odlukom Ministarstva prosvjete iz 1949. godine u srednjim je školama ukinuta nastava astronomije, čime je astronomija marginalizirana kao znanost − i to u godini kad je na Mount Palomaru montiran najveći teleskop na svijetu. [24]. Stoga je desetljećima Zvjezdarnica bila jedino okupljalište ljubitelja astronomije, a Kučerino *Naše nebo* jedna od prvih stuba u stjecanju osnovnih astronomskih znanja, posebice iz astrognozije i na određeni način kultna knjiga koju je svaki ljubitelj astronomije svakako trebao pročitati. Mnogi su ulagali velike napore da dođu do prvog izdanja iz 1895. godine, dok je treće izdanje bilo nešto lakše nabaviti. *Naše nebo* bilo je temeljni poticaj za daljnje učenje astronomije onima kojima je ta znanost postala životni poziv, posebice današnjim vodećim hrvatskim astrofizičarima, a ostalima poučno štivo u kojem su nalazili odgovore na pitanja o zvjezdanom nebu i njegovim tajnama, s obzirom da u obrazovnom sustavu astronomija nije bila adekvatno zastupljena.

[14] Kučera je u rujnu 1906. prisustvovao astronomskom kongresu u Jeni, na kojem je primljen za člana astronomskog društva u Heidelbergu**.** Na kongresu je imao izlaganje o Zvjezdarnici HPD-a. Potaknuo je upravitelja zvjezdarnice u Heidelbergu Maxa Wolfa da asteroidu, otkrivenom pod rednim brojem 589, a koji je 5. ožujka 1906. s te zvjezdarnice otkrio astronom August Kopff, Wolfov asistent, uz suglasnost otkrivača, bude dan naziv *Croatia*, u počast osnivanja Zvjezdarnice, što je 1909. službeno provedeno. Prema današnjim podacima asteroid je promjera 90 km, a na priloženom crtežu zauzima udaljenost od Zagreba do Varaždina.

Stanje je danas u Hrvatskoj povoljnije za astronomiju: djeluju brojna astronomska društva sa solidnim instrumentarijem, mnogim pojedincima dostupni su teleskopi pa i vlastite male zvjezdarnice, a astronomska literatura neusporedivo je dostupnija. Ipak, ni jedna popularno-znanstvena knjiga nije uspjela dosegnuti literarnu razinu i osebujnost Kučerina *Našeg neba*, koja mu je donijela toliku popularnost. Kučera je izbjegao šturo slaganje činjenica, dajući osjećajne opise viđenog, stvorivši djelo književno-znanstvenih značajki. Svojedobno je učenicima sedmog razreda osnovne škole upravo na primjeru Kučere objašnjavan pojam književno-znanstvenog djela. Tekstovi su odabrani iz knjige *Naše nebo*, koja obiluje zavidnim spojem književno-umjetničkog i znanstvenog teksta:

> "Tek što su utrnule zadnje boje večernje rumeni, eno se na nebu užegle male ali sjajne luči, treptanjem svoga svjetla eno te baš zovu da baciš oko k njima, a u duši ti se i nehotice javljaju pitanja: Što su te luči, otkuda su i čemu su? (...) Milijuni i milijuni zvijezda − čini ti se tako − prosuše se po tom svodu, svaka od njih trepti i kao da ti šalje pozdrav iz neizmjernih daljina, kao da ti dovikuje: čovječe, ti nisi sam u svemiru!
>
> Stari su narodi držali zvijezde osobitim nakitom neba, što su ga dobri bogovi prikovali na kristalni svod nebeski ljudima na uživanje. Tako postade ime 'kosmos' (ures, nakit) za ono što zovemo svemir. A danas? Danas, hvala tisućljetnom nastojanju astronomskih velikana, znademo da su svi ti milijuni zvijezda sunca poput našega, mnoga među njima kudikamo žarča i veća od našega. Svako od njih žari toplinu i svjetlo, svako od njih možda ima svoju obitelj, kao i naše Sunce, kojoj je izvor svega života. Ta nam se sunca samo stoga pričinjaju male svijetle točke tako slaboga svjetla, što su od nas tako neizmjerno daleke da ni najživlja fantazija ne može zamisliti tih daljina. Ni milja ni kilometara ne može astronom upotrijebiti za određivanje tih daljina jer su mu te jedinice premalene: morao bi neprestano raditi s ogromnim brojevima. Astronom mjeri daljine zvijezda *zvjezdnom daljinom i godinom svjetla*." [25]

Te i mnoge druge rečenice koje su s jednakim pravom mogle biti izabrane iz Kučerine knjige nisu ni nakon više od sto godina izgubile svježinu i univerzalnu vrijednost, pa je ta knjiga i danas na strani borbe protiv sve izraženijeg materijalizma, čiju je opasnost Kučera vidio još 1929. godine:

> "Svjetski rat i poslijeratno vrijeme, koje je sa svojim mišljenjem o svijetu, uperenim na najkrutiji materijalizam, posvema potisnulo u stranu sva duševna nastojanja i zavode, koji se oko njih trude, učinilo je i

> tu svoje: zanimanje za nauku o nebu također je znatno popustilo, pa i naša zvjezdarnica, upućena lih na članove društva i njihovu slabašnu potporu, sada teške proživljuje dane, čekajući, ako bude mogla izdržati opet vrijeme, kada će duševna nastojanja ponovno doći do uvaženja, koja im u životu svake obrazovane zajednice pripadaju" [10].

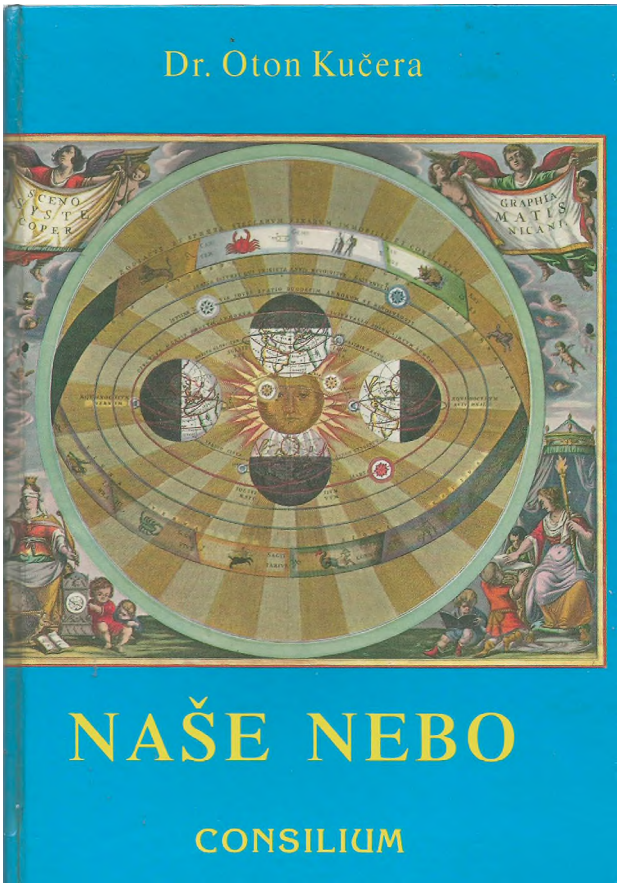
Zvjezdarnica je opstala, a uspomenu na Kučeru i danas čuva njezin znanstveno-popularni časopis Čovjek i svemir, u rubrici pod nazivom *Naše nebo*, koja kontinuirano izlazi više desetljeća. Ne možemo znati kojim bi riječima Kučera opisao danas sve prisutniji materijalizam u svim porama ljudskog života, s obzirom na to da je već za vrijeme nakon Prvog svjetskog rata smatrao da je riječ o najkrutijem materijalizmu.

Kad se u razgovoru spomene astronomija velik broj, posebice starijih ljudi, još uvijek spominje *Naše nebo.* Veliku zaslugu za promociju *Našeg neba* ima Zvjezdarnica na Popovu tornju, a naravno, vrijedi i obratno. Na čitanju te knjige, kao temelju za daljnje učenje astronomije, odrasli su mnogi kojima je astronomija postala životni poziv, ali i oni kojima su Zvjezdarnica, Oton Kučera i *Naše nebo* ostali draga uspomena iz mladih dana. Mnoge rečenice iz Kučerine knjige nisu ni nakon više od sto godina izgubile svježinu i univerzalnu vrijednost. Jedino se znanje o tajanstvenom svemiru donekle proširilo i ponešto promijenilo. Mogli bismo u Kučerinu stilu reći da smo kroz to razdoblje sakupili još pokoju hrpicu kamenčića s nepregledne plaže još nepoznatog!

6.1. Četvrto izdanje knjige povodom stote obljetnice objavljivanja

Sto godina nakon prvog izdanja, u Zagrebu je 1995. nakladnik Consilium tiskao 4. izdanje *Našeg neba*, kao 3. svezak Biblioteke Miscellanea. Urednici su Mirko Rajčić i Drago Jeličić. U knjizi je pretisak trećeg izdanja iz 1930., uz odabrane dijelove prvog izdanja iz 1895. godine, s nadopunama dr. Darka Bidjina te životopisom Otona Kučere i popisom radova, koje je napisao mr. Mladen Švab, slika 16. U Proslovu je dr. Darko Bidjin istaknuo:

> "Punih stotinu godina nakon prvog izdanja evo konačno ponovno pred nama knjige koja na najljepši mogući način dokazuje kako je moguće u jedno povezati znanost i književnost. Kako je to Kučeri uspjelo? Uspjelo mu je jer je u sebi nosio dvije ljubavi, ljubav prema astronomiji i ljubav prema ljudima, pa je pišući o nebeskim pojavama, uvijek mislio na čitatelja, na, kako se to kaže, običnoga malog čovjeka, kome je knjigu namijenio." [26]



Sl. 16.: Četvrto izdanje *Našeg neba* – povodom stote obljetnice

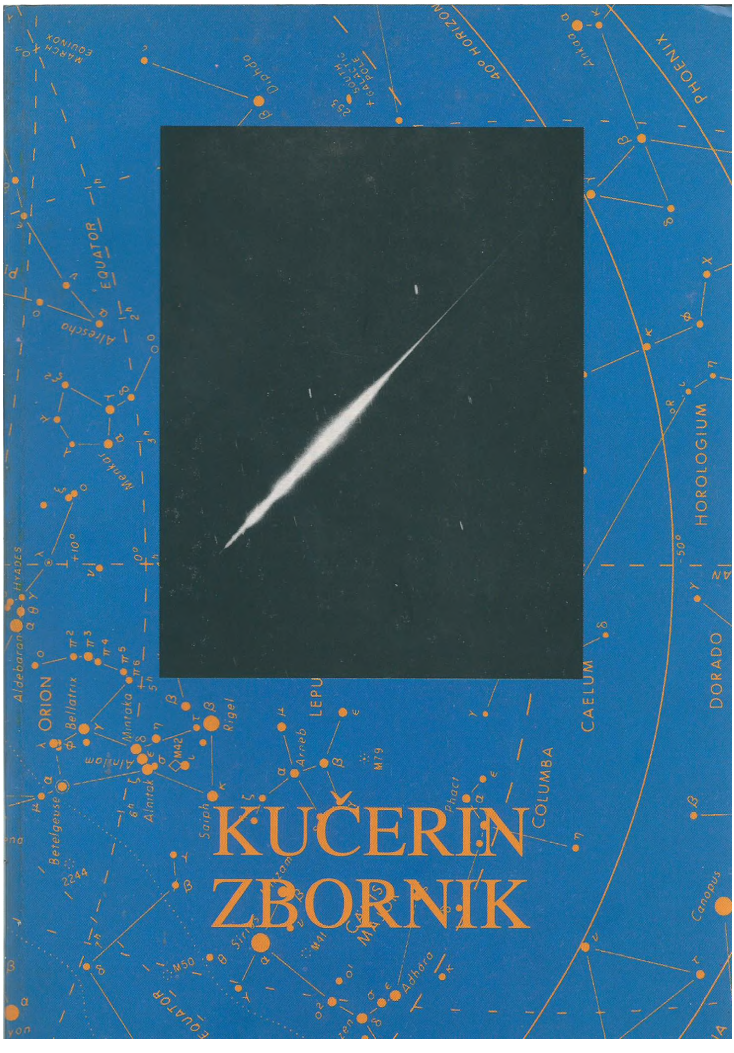
6.2. Kučerin zbornik

Godine 1995. obilježena je stota obljetnica *Našeg neba.* Tom su prigodom Gradska knjižnica *Juraj Šižgorić* i Astronomsko društvo *Faust Vrančić* iz Šibenika priredili *Kučerin zbornik*. Riječ je o zborniku radova iz danas brojnih područja astronomije, od povijesti te znanosti do suvremenih astrofizičkih i kozmoloških tema, između kojih se nalazi i rad o ulozi i značenju Kučerine knjige *Naše nebo*, slika 17. Urednici Miroslav Berić i Vilijam Lakić u predstavljanju *Zbornika* su napisali:

> "Hrvatski su mislioci tijekom stoljeća davali znatan prinos razvoju novovjeke astronomije. Nažalost, ona u nas nije postala dijelom općeg obrazovnog sustava niti je instituicionalizirana kao znanstvena

disciplina. U tim su okolnostima dva događaja na prijelazu stoljeća bila ključna za razvoj i popularizaciju astronomije na hrvatskom tlu: objavljivanje Našeg neba Otona Kučere, u Poučnoj knjižnici Matice hrvatske, 1895. godine, i osnutak, na Kučerin poticaj, Zvjezdarnice Hrvatskog prirodoslovnog društva, na Popovu tornju u Zagrebu, 1903." [27], [6], [7]

Na Zvjezdarnici je održana promocija *Zbornika*, a kao i četvrtog izdanja Kučerine knjige, o kojem je naprijed pisano.



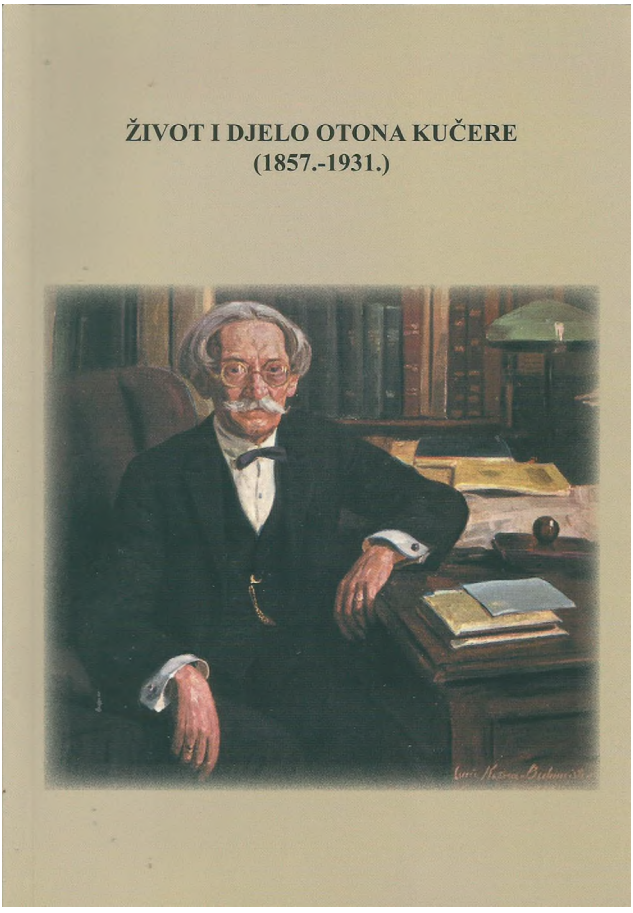
Sl. 17.: *Kučerin zbornik* 1995.

6.3. Znanstveno-stručni skup o Otonu Kučeri

Zvjezdarnica Zagreb na Popovu tornju i Hrvatsko astronomsko društvo odlučili su 150. godišnjicu rođenja Otona Kučere (2007.) obilježiti znanstveno-stručnim skupom koji će osvijetliti različite aspekte njegova plodnog djelovanja. Odazvali su se brojni ugledni znanstvenici iz područja prirodoslovnih, tehničkih i humanističkih znanosti i dali svoj prilog upoznavanju života i djela hrvatskog velikana Otona Kučere. Radovi pokazuju širinu i rezultate njegova djelovanja u znanosti i njezinoj popularizaciji, tehnici, kulturi, prosvjeti i sportu (planinarstvu). Svi ti radovi svjedoče da se Kučera danas, nakon duge marginalizacije, sve snažnije pokazuje nezaobilaznom pojavom u hrvatskoj znanosti, kulturi, prosvjeti, književnosti i drugo.

Kučera je cijelog života doživljavao odobravanja i izraze velikog poštovanja, ali također i velike kritike pretežno bliskih suradnika. Očito je da je bila riječ o velikanu koji je zbog svojih širokih i različitih sposobnosti i težnji često nailazio na nerazumijevanje. U Zborniku radova sa znanstveno-stručnog skupa Život i djelo Otona Kučere (1857. − 1931.), održanog na Zvjezdarnici Zagreb 7. prosinca 2007. godine u povodu obilježavanja 150. godišnjice rođenja hrvatskog velikana Otona Kučere, objavljeno je petnaest radova čije je naslove vrijedno navesti. Agneza Szabo: Utjecaji društvenih i političkih okolnosti na život i rad Otona Kučere (1857. − 1931.); Tihomir Vukelja: Kučerino profesionalno okruženje; Pavle Bucić: Oton Kučera i srednjoškolska nastava; Tatjana Kren i Drago Špoljarić: Kučerino djelovanje na zagrebačkom sveučilištu; Branko Hanžek: Fizičar Oton Kučera; Marijana Borić: Doprinos Otona Kučere istraživanju matematičke i prirodoznanstvene prošlosti u Hrvata; Žarko Dadić: Stavovi Otona Kučere o fizici u prvoj polovici 20. stoljeća; Josip Bratulić: Kučerino djelovanje u Matici hrvatskoj; Alojz Getliher: Kučerin doprinost populariziranju prirodnih – tehničkih znanosti te Oton Kučera i Družba *Braća Hrvatskoga Zmaja*; Zvonimir Jakobović: Oton Kučera kao promicatelj onodobnih otkrića i izuma; Milan Sijerković i Janja Milković: Kučera – meteorološki motritelj i prosvjetitelj; Željko Poljak: Oton Kučera – velikan hrvatskog planinarstva; Tatjana Kren: Kučerina uloga u osnutku Zvjezdarnice HPD; Korado Korlević: Asteroid posvećen astronomu, popularizatoru i prosvjetitelju Otonu Kučeri – (7364)Otonkucera; Goran Ivanišević: Oton Kučera – hrvatski prirodoslovac, slika 18.

Članovi organizacijskog odbora skupa bili su: Tatjana Kren, prof., prof. dr. sc. Drago Špoljarić, dr. sc. Dragan Roša, mr. sc. Goran Ivanišević i dr. sc. Roman Brajša. Moderatori su bili prof. dr. sc. Mladen Martinis i dr. sc. Dragan Roša. Zbornik je uredila Tatjana Kren. [28]

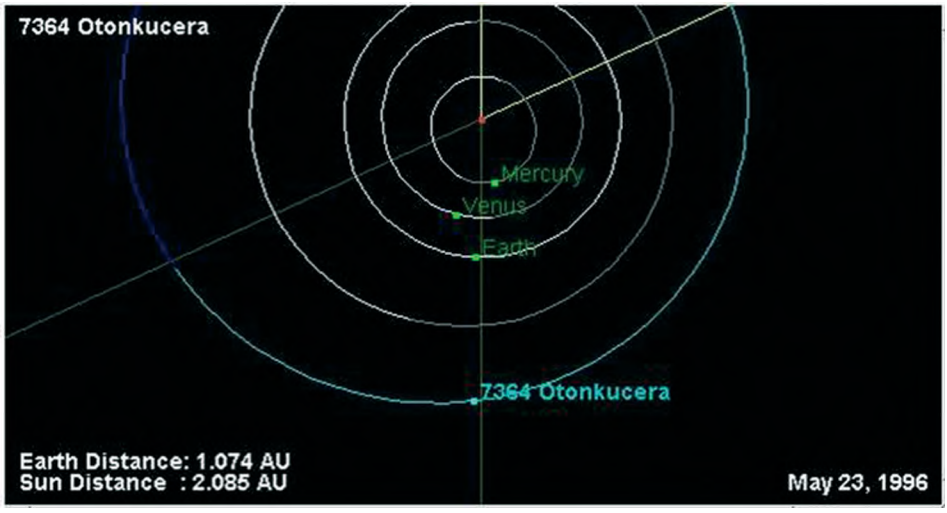


Sl. 18.: Život i djelo Otona Kučere (1857. – 1931.) – Zbornik radova

6.4. Asteroid (planetoid) posvećen Otonu Kučeri

Devedeset godina nakon otkrića asteroida (589) Croatia, 22. svibnja 1996., iz Višnjana je profesor Korado Korlević (1958.), upravitelj Zvjezdarnice Višnjan, otkrio prvi iz niza otkrivenih asteroida sa Zvjezdarnice Višnjan. Prvom asteroidu dao je ime Otona Kučere, hrvatskog astronoma, prosvjetitelja i popularizatora prirodoslovlja i tehnike te je 2001. Međunarodna astronomska unija (International Astronomical Union − IAU) prihvatila naziv asteroida (7364) Otonkučera. [29]

Još kao učenici, Korlević i njegovi kolege uspjeli su posuditi Kučerino *Naše nebo*. Nisu se željeli rastati od zanimljive knjige koja je i njima bila poticajna za opa*žanje nebeskog svoda. Budući da tad* još nije bilo mogućnosti fotokopiranja, počeli su, kako se to nekad radilo, prepisivati. Korlević nije



Sl. 19.: Međusobni položaj asteroida (7364) Otonkučera, Zemlje, Venere, Merkura i Sunca u vrijeme otkrića

zaboravio ni knjigu ni njezina autora te mu se odužio darom asteroida. I ta bilješka pokazuje da Kučerina knjiga nije bila utjecajna samo na zagrebačkoj Zvjezdarnici nego i u drugim dijelovima Hrvatske, u ovom primjeru u Istri, u Višnjanu. Dugoročan je rezultat Korlevićeve ljubavi prema astronomiji osnivanje Zvjezdarnice Višnjan i otkrića brojnih asteroida, a potom i Zvjezdarnice Tićan te brojne vrijedne akcije i istraživanja, slika 19.

Nije lako današnjoj mladeži približiti to vrijeme, kad je literatura iz astronomije bila nedostatna, kad nije bilo računala ni interneta ni mobitela, pa čak ni fotokopirnog uređaja. A nije to bilo tako davno. Prošlo je otad oko pola stoljeća, što je u svemirskim razmjerima tek minijaturan djelić prolaska vremena.

Zaključak

Kučerina knjiga *Naše nebo* bila je čitana kao najzanimljivije štivo. Čitali su je sveučilišni profesori i kućanice, učenici i ljudi najrazličitijih zanimanja. Čini se da se našla u pravo vrijeme na pravom mjestu. Hrvatsko pučanstvo, koje je oduvijek bilo povezano s nebeskim tajnama, upilo je tu, narodu dostupnim hrvatskim jezikom pisanu knjigu, kao što žedna zemlja upija vodu nakon duge suše. U njoj su mogli naći mnogo toga što je puk cijelo vrijeme njegovao i čuvao u svojoj usmenoj narodnoj književnosti, mitologiji i tradiciji, o čemu svjedoče brojne narodne pjesme i pripovijetke. Na takvom je tlu *Naše nebo*

iznimno dobro primljeno. Stoga ne iznenađuje da se primjerak te knjige može i danas naći u kućnim knjižnicama najrazličitijih slojeva ljudi. Povremeno se u antikvarijatima nađe poneki primjerak za prodaju, izišao na svjetlo dana s tavana ili po smrti svojeg vlasnika − i još uvijek brzo nađe novog vlasnika.

Kučera je ljubav prema astronomiji s velikim nadahnućem unio u svoje djelo. To je zacijelo jedan od razloga da se *Naše nebo* i danas, nakon više od 120 godina, u bogatoj literaturi iz astronomije, stranoj i domaćoj, izdvaja jedinstvenim stilom i duhom i još uvijek služi za usporedbu uspješnosti i zanimljivosti, u kojoj ne može ni danas biti zanemareno. Dapače, Kučera je bio sposoban, što mnogi drugi dobri stručnjaci nisu, i najkompliciranije zakonitosti i pojave opisati na jednostavan, razumljiv, zanimljiv i svima dostupan način. Stoga ta Kučerina knjiga nije ni danas zanimljiva samo povjesničarima i onima koje zanima prošlo stanje astronomije jer je u mnogim stvarima, posebice astrognoziji itekako živa i služi svojoj svrsi, a mnogi i danas mogu iz nje učiti kako se piše stručno, jednostavno, zanimljivo, lijepo i s puno ljubavi prema predmetu o kojem se piše i prema onima kojima je knjiga namijenjena. Kako je i želio, Kučera je *Našim nebom,* ali i drugim knjigama i člancima, koje i danas superlativima hvale stručnjaci pojedinih struka, “posijao dobro sjeme i uvećao u



Sl. 20.: Zvjezdarnica na Popovu tornju danas

hrvatskom narodu broj onih, koji žive u svjetlosti i istini". Time je u potpunosti ostvario i Matičinu zadanu ulogu u oblikovanju hrvatskog duhovno-kulturnog identiteta. Uz ostalo, *Naše nebo* bilo je temeljni kamen za Zvjezdarnicu na Popovu tornju, koja je izvršila važnu ulogu u razvoju i promicanju hrvatske astronomije, astrofizike i astronautike, slika 20.

Literatura i izvori

[1] Kren, Tatjana; Hanžek, Branko: Krajiški učitelj Franjo Kučera i hrvatski velikan Oton Kučera, *Prirodoslovlje*,14(1-2), 2014., str. 87-104.

[2] NSK,a: Oton Kučera: obiteljski i osobni dokumenti – R6270/II

[3] NSK,b: Oton Kučera: obiteljski i osobni dokumenti – R6270/III

[4] Kren, Tatjana; Hanžek, Branko: Oton Kučera − život i djelo, *Prirodoslovlje*, 7(1-2), 2008., str. 3-32.

[5] Kren, Tatjana; Hanžek, Branko: *Oton Kučera, Per aspera ad astra* (*Kroz trnje do zvijezda*), Gimnazija Matije Antuna Reljkovića, Vinkovci, 2013.

[6] Kučera, Oton: *Naše nebo: Crtice iz astronomije*, Matica Hrvatska, Zagreb, 1895.

[7] Kren, Tatjana: Uloga i značaj Kučerine knjige Naše nebo, u: *Kučerin zbornik,* (ur. Miroslav Berić i Vilijam Lakić), Gradska knjižnica *Juraj Šižgorić* i Astronomsko društvo *Faust Vrančić*, Šibenik, 1995., str. 7-26.

[8] Kren, Tatjana: *Nebesa se osuše zvijezdam. Hrvatska književnost i astronomija*, HKD Sv. Jeronima, Zagreb, 2004.

[9] Kren, Tatjana: *Astronomijski vremeplov. Crtice iz prošlosti hrvatskoga zvjezdoznanstva*, Hrvatsko književno društvo Sv. Jeronima, Zagreb, 2002.

[10] Kučera, Oton: Nastojanja oko astronomije u Hrvata, *Godišnjak Astronomskog opservatorija Univerziteta u Beogradu*, Beograd, 1929.

[11] Kren, Tatjana: Temeljni kamen za Zvjezdarnicu – Naše nebo Otona Kučere, u: *Spomenica Zvjezdarnice Zagreb 1903. − 2003.*, ur. Tatjana Kren i Dragan Roša, Zagrebački astronomski savez – Zvjezdarnica Zagreb, 2003., str. 36-40.

[12] Kren, Tatjana; Špoljarić, Drago: Kučerino djelovanje na zagrebačkom sveučilištu, u: *Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa* Život i djelo Otona Kučere (*1857. − 1931.*) održanog na Zvjezdarnici Zagreb 7. prosinca 2007. godine u povodu obilježavanja 150. godišnjice rođenja hrvatskog velikana Otona Kučere, ur. Tatjana Kren, Zvjezdarnica, Zagrebački astronomski savez, Zagreb, 2008., str. 37-52.

[13] Bratulić, Josip: Oton Kučera i Matica hrvatska, u: *isto,* str. 77-86.

[14] *Uloga Matičina nakladništva u oblikovanju hrvatskoga duhovno-kulturnog identiteta − Prirodoslovlje i tehnička kultura*, programska knjižica znanstvenog skupa i katalog prirodoslovnih izdanja Matice hrvatske, obilježavanje 175. obljetnice osnutka Matice hrvatske, Križevci: Ogranak Matice hrvatske u Križevcima, 2017.

[15] Kučera, Oton: *Matica Hrvatska i popularizacija prirodne nauke,* Zagreb, 1907.

[16] NSK,c: Pisma raznih upućena Kučeri − R 6271/b.

[17] Kren, Tatjana; Andreić, Željko: Don Niko Milićević, mlađi, svećenik i astronom, *Prirodoslovlje*, 10(1-2),2010., str. 3-34.

[18] Kučera, Oton: *Naše nebo*, predgovor, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb,1921.

[19] Kučera, Vlaho: *Oton Kučera. 100-godišnjica rođenja*, Zagreb, 1957.

[20] Kučera, Oton: *Naše nebo − Crtice iz astronomije*, Matica hrvatska, Zagreb,1930.

[21] NSK,d: Oton Kučera, *Naše nebo* − R 6275.

[22] Kren, Tatjana: Kučerina uloga u osnivanju Zvjezdarnice, u: *Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa Život i djelo Otona Kučere* (*1857. − 1931.*) održanog na Zvjezdarnici Zagreb 7. prosinca 2007. godine u povodu obilježavanja 150. godišnjice rođenja hrvatskog velikana Otona Kučere*,* ur. Tatjana Kren, Zvjezdarnica, Zagrebački astronomski savez, Zagreb, 2008., str. 123-132.

[23] Kren, Tatjana: 90 godina rada Zvjezdarnice HPD-a, u: *Pogled u svemirski ocean − U spomen 90. obljetnice Zvjezdarnice u Zagrebu*, ur. Zdenko Marković, Zvjezdarnica Hrvatskoga prirodoslovnog društva, Zagreb, 1993., str. 139-154.

[23] Rozgaj, Slavko: *Zagrebačka zvjezdarnica* (*1903 – 1953*), rukopis, 38 kartica, 1953.

[24] Antoš, Antica; Bukša, Juraj: *Rasti i cvjetaj: čitanka za sedmi razred osnovne škole*, Školska knjiga, Zagreb,1981.

[25] Kučera, Oton: *Naše nebo. Crtice iz astronomije* (ur. Mirko Rajčić i Drago Jeličić), pretiskano treće izdanje iz 1930. i odabrani dijelovi prvoga izdanja iz 1895. godine s nadopunama dr. Darka Bidjina prigodom 100-godišnjice prvoga izdanja, Consilium, Zagreb 1995.

[26] *Kučerin zbornik* (ur. Miroslav Berić i Vilijam Lakić), Gradska knjižnica *Juraj Šižgorić* i Astronomsko društvo *Faust Vrančić*, Šibenik 1995.

[27] *Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa Život i djelo Otona Kučere* (*1857. − 1931.*) održanog na Zvjezdarnici Zagreb 7. prosinca 2007. godine u povodu obilježavanja 150. godišnjice rođenja hrvatskog velikana Otona Kučere, ur. Tatjana Kren, Zvjezdarnica, Zagrebački astronomski savez, Zagreb, 2008.

[28] Korlević, Korado: Asteroid posvećen astronomu, popularizatoru i prosvjetitelju Otonu Kučeri – (7364) Otonkučera, u: *Zbornik radova...*, isto, Zagreb, 2008., str. 133-138.

Our Sky, the most popular book by Oton Kučera in the edition of Matica hrvatska

Tatjana Kren

Abstract: In this paper was analyzed the book *Our Sky*, printed in 1895, its role and importance. *Our Sky* is the most popular book by Oton Kučera (1857-1931) and his most popular book in the edition of Matica hrvatska. Kučera's work in the Croatian Natural History Society and the importance of *Our Sky* are presented as the foundations for the establishment of the Observatory of Croatian Natural History Society on Priest Tower (Popov toranj) in Zagreb. *Our Sky* is indirectly responsible for naming the asteroid 589 Croatia, discovered in Heidelberg in 1906, as well as for the asteroid 7364 Otonkucera, discovered from Višnjan in 1996. Was analyzed the influence and popularity of this book during Kučera's life and also the relationship between *Our Sky* and the Observatory on Popov toranj. It is obvious that *Our Sky* is proving to be a special phenomenon, along with Observatory, which has greatly influenced the development and promotion of astronomy and astrophysics in Croatia.

Keywords: asteroid 589 Croatia Oton Kučera, asteroid 7364 Otonkucera, Croatian Natural History Society, Matica hrvatska, *Our Sky*, Observatory on Priest Tower (Popov Toranj)

Slobodan Doderović, Željko Pinturić, Vinko Müller, Dubravko Rogale

Tvornice Profesionalna elektronika i Odašiljači iz RIZ − Zagreb, stanje i sudbina

Članak posvećujemo dugogodišnjem rukovoditelju Tvornice RIZ mr. sc. Mirku Kuljišu i svim samozatajnim i nasilno zaboravljenim stvarateljima inženjerima i tehničarima iz razvoja i proizvodnje RIZ-a

Sažetak: Opisana je povijest od nastanka Tvornice Profesionalna elektronika i Tvornice Odašiljači, njihov razvoj, uspjesi i trenutačno stanje. Obje tvornice nastale su u sklopu Radioindustrije − Zagreb, poznatog RIZ-a, osnovanog davne 1948. godine. RIZ je bio središte okupljanja svjetski izvrsnih, genijalnih i samoprijegornih stručnjaka, razvoja, znanja i iskustva. Bez obzira na to, politika ih nikad nije voljela, nemarom političara i države počeo je njihov sunovrat u ponore privatizacije na hrvatski način. U radu su prikazani najznačajniji uspjesi i proizvodi obiju tvornica, njihov razvoj, sadašnje stanje i perspektive.

Ključne riječi: RIZ, Tvornica Profesionalna elektronika, Tvornica Odašiljači

Uvod

Radioindustrija − Zagreb ili RIZ − Zagreb, tvornica je osnovana dekretom 1948. godine, a stariji građani naše zemlje dobro je pamte po proizvodima široke potrošnje, kvalitetnim cijevnim i poluvodičkim radioaparatima, crno-bijelim i tzv. color televizorima, gramofonima, muzičkim linijama i zvučnicima. Oni koji su bili u vojsci Jugoslavije i u Hrvatskoj vojsci radili su s radijskim uređajima RIZ-a, kao i taksisti, bolničari i civilne službe. U bolnicama su se mogli susresti RIZ-ovi medicinski elektronički uređaji, njihove elektroničke komponente, a tranzistori i integrirani krugovi ugrađivani su u brojne naprave drugih proizvođača diljem Jugoslavije. Možda je ponetko od nas koristio ručni sat ili kalkulator proizveden u jednoj od tvornica RIZ-a ili je to bio proizvod

industrijske elektronike koji smo imali na radnim mjestima, slušali smo radiodifuzijski program preko RIZ-ovih odašiljača. Uglavnom, RIZ je bio gotovo svugdje prisutan, vidljiv ili nevidljiv.

Sve znanje koje je nastalo u RIZ-u nastalo je samoprijegornim i samozatajnim radom brojnih inženjera i tehničara, vlastitim razvojem i proizvodnjom. Takvi ljudi i takva proizvodnja nikad nisu bili miljenici politike jer u sredini gdje se kvantificiraju realni rezultati nisu mogle biti omogućene maglovite političke manipulacije. To se događalo u napuštenom političkom sustavu Jugoslavije, ali nastavilo se i u novom sustavu, s novim razvojnim "strategijama" koje su jasno pokazale svoju jalovost i promašenost tek tridesetak godina nakon uspostave hrvatske samostalnosti, kad je praktički nestala industrijska proizvodnja, a procvale tzv. uslužne djelatnosti i zaduživanje države da preživi.

U radu je načinjen kratak prikaz dijela povijesti RIZ-ova razvoja Tvornice Profesionalna elektronika i Tvornice Odašiljači, tvornica sa sjajnim uspjesima, blistavim razvojnim inženjerima i tehničarima i trenutačnim, ne baš blistavim stanjem, ali s jakom pozadinom znanja i iskustva razvoja, stručnjacima i izvrsnim visokotehnološkim proizvodima. Obje su spomenute tvornice od postanka jako vezane uz jedan početni i neizostavno važan dio RIZ-a, a to je IETA, Institut za elektroniku, telekomunikacije i automatizaciju. Zbog toga se, neizostavno i u ovom radu, jednim dijelom spominju i razvojni rezultati te proizvodi, slika 6., koji su nastali u IETA-i, no realno sagledavajući, njih ima toliko mnogo i toliko su značajni da bi njihovo pomno navođenje prešlo dopuštene okvire članka. Stoga autori preuzimaju obvezu, i smatraju to svojom dužnošću, da o IETA-i za idući skup Povijest i filozofije tehnike sastave zaseban, opsežan članak, u kojem će dodatno i sveobuhvatnije pokušati prikazati nastanak, povijest, razvoj i značaj IETA-a te se tom prigodom prisjetiti i navesti najzaslužnije i najvažnije stvaratelje i tog važnog dijela RIZ-a.

1. Kadrovi i vizije

Uspjeh RIZ-a nije bio slučajan. Država i politika nikad mu nisu bili skloni. Stoga su zaposlenici nevjerojatnim samoprijegorom rješavali svakodnevne probleme proizvodnje i razvoja, ali imali su i viziju zdravih temelja na kojima će graditi svoju budućnost.

Zanimljiva je, po opsegu skromna studija od šest stranica Kadrovi i kadrovska politika u RO RIZ – PE[1] (bez naznačenih autora i datuma, jedino požutjeli papir i stari pisaći stroj svjedoče o starosti studije, a tek se kasnije u tekstu može razabrati da je riječ o 1986. godini) o važnosti izbora ljudi za boljitak poduzeća

[1] **PE**, Profesionalna elektronika

[1]. Već u uvodnom dijelu naznačeno je da bez "pravog čovjeka na pravom mjestu" nema tehnološkog ni društvenog razvoja ni dobrih poslovnih rezultata. U svim dostupnim i dosad neobjavljenim dokumentima iz RIZ-a vidljivo je da se sintagma poslovnih rezultata stalno provlači kroz tadašnju stvarnost, za razliku od brojnih poduzeća Jugoslavije koja nije pretjerano uzrujavalo gomilanje gubitaka. Gubitci su već na neki politički način bili sanirani, poglavito iz razloga da ne dođe do izraženog bunta radništva i da se ne naruši idealizirana slika tadašnjeg društva. Autor(i) studije bili su svjesni i navode da je pred RIZ-om ozbiljan razvojni program koji mogu ispuniti samo sposobnim i angažiranim kadrom. Spominju njihov izbor, zapošljavanje, raspored, permanentno obrazovanje (!) i praćenje, što trebaju biti stupovi kadrovske politike. Inzistiraju na odgovornosti, načelima reizbornosti, smjenjivosti prije isteka mandata, izboru natječajima, pravu na obrazovanje i napredovanje i primjerenosti izbora u odnosu na radne zadaće zahtjevnih radnih mjesta, što je sve, u ondašnje vrijeme, bila rijetkost u drugim poduzećima. U studiji nadalje navode da su 2/3 zaposlenih bile u rangu od kvalificiranih do visokoobrazovanih zaposlenika, što je respektabilna stručnost zaposlenih. Od 31 rukovoditelja, 22 su imala završene fakultete i četvorica više škole, a samo troje ih je imalo srednju stručnu spremu i dva su bila kvalificirani radnici. Unatoč dobrim pokazateljima, RIZ-ovci nisu bili zadovoljni kadrovima i kadrovskom politikom pa u spomenutoj studiji navode smjernice poboljšanja. Sve to govori o strogosti izbora sposobnih koja je rezultirala napretkom, a ne zapošljavanjem radi zapošljavanja karakterističnim za današnje vrijeme, četrdesetak godina kasnije, nazvanim simpatičnom sintagmom – 'uhljebljivanje', koje dovodi do zaostajanja države i indignacije društva.

S motrišta vizija u RIZ-u, zanimljivo se osvrnuti na rad autora A. Webera, M. Džepine i M. Rukavine Izvod iz Studije o razvoju RIZ RO PE (namjenska proizvodnja) za razdoblje 1985. – 1990 i dugoročno do 2000. godine iz rujna 1984. godine [2]. U radu autori spominju dotadašnji razvoj u RIZ-u, spominju i teškoće, jer je 1983. godine razvoj i proizvodnja radiouređaja i teleprinterskih uređaja premještena u Srbiju, a telegrafski uređaji i upravljački modemi u Sloveniju i Srbiju. Zanimljiviji je dio opis specijalizacije proizvodnje za iduće razdoblje na kratkovalne i ultrakratkovalne radijske uređaje s kriptozaštitom, telegrafski program, program terminala za negovorne komunikacije, hidroakustičke uređaje i sustave za ratnu mornaricu, raketnu elektroniku, sustave veza za tijela unutarnjih poslova i razvoj novih tehnologija. Spominje se potreba ustrojavanja osam novih laboratorija za istraživanje i razvoj, računalnog centra za projektiranje i niza novih odjela. Sve je to trebalo ustrojiti, razviti i proizvoditi samo jedno poduzeće u sklopu RIZ-a, a pitanje je koliko bi se toga, da se javi potreba, u današnje vrijeme uopće moglo razviti i proizvesti na razini cijele Hrvatske. Valja spomenuti da su to bili realni planovi jer RIZ je već tad, npr. za tijela unutarnjih poslova, imao potpuno razvijen i u uporabi radijski komunikacijski

sustav sa selektivnim pozivima, identifikacijom i mikroprocesorskim upravljanjem. Najzanimljiviji dio studije je razmišljanje o radnoj snazi. Na poslovima istraživanja i razvoja uređaja i tehnologija u tzv. namjenskoj proizvodnji (tako se tad zvala proizvodnja za vojne potrebe) radilo je 180 radnika, od kojih je bilo šest doktora i magistara znanosti te 122 diplomirana i pogonska inženjera. Plan je bio da 1990. godine na tim poslovima radi 15 doktora i magistara znanosti i čak 543 diplomirana i pogonska inženjera. Smatramo da to vrlo slikovito govori o razmišljanjima tadašnjih vodećih rukovoditelja u RIZ-u, koji su budući razvoj tvornice vidjeli i temeljili na znanju visokoobrazovanih ljudi. Praksu zapošljavanja i temeljenja razvoja u proteklih 30 godina hrvatske slobode i samostalnosti dobro znamo i ne trebamo je komentirati.

U siječnju 1989. napravljena je studija nepoznatog autora Analiza stanja organizacije i programske orijentacije RIZ RO PE s naznakom daljnjih aktivnosti u narednom razdoblju, na 30-ak stranica. U njoj također ima obilje zanimljivih informacija, no valja istaknuti dvije. Prvo, govori se o ovladavanju RIZ-a ultrazvukom koji se koristio za podvodnu komunikaciju, sonare, podvodno prisluškivanje, zaštitu luka, dubinomjere i drugo. Navodi se da bi stečena znanja, osim s vojskom i Brodarskim institutom, valjalo podijeliti s hrvatskim tvornicama koje bi u svojim proizvodnjama mogle iskorištavati učinke ultrazvuka, a to su Jedinstvo u proizvodnji strojeva za prehrambenu industriju, Pliva u proizvodnji lijekova, ATM[2] u procesnoj tehnici i drugi (u studiji se ne navodi i zagrebačka Mega, koja je koristila na stotine ultrazvučnih generatora za proizvodnju patentnih zatvarača). Pravilna i sjajna vizija, ali prisjetimo se kako su, zaslugom politike i predatorske privatizacije, brzo nestale ili kako danas izgledaju sve spomenute tvornice i ustanove. Druga impresivna činjenica koja se spominje u studiji je da je 1984. godine izvoz tvornice iznosio oko 32,4 % ukupnog prihoda i to se kasnije veže sa zaključkom studije da budućnost tvornice postoji pri ostvarenju izvoza od 20 do 30 % proizvodnje. Sad se valja prisjetiti činjenice da su 1990-ih na scenu nastupili neuki političari i ekonomisti koji su najavili Hrvatsku kao novu Švicarsku kojoj ne treba proizvodnja (a time niti izvoz) i da ćemo dobro živjeti samo od usluga. Gledano s vremenskim odmakom od 30 godina, očito je da su svi koji su Hrvatsku doveli u stanje kakvo je danas, prije nego su se uhvatili posla oblikovanja budućnosti zemlje, trebali pročitati vizionarske misli tehničkih i poslovnih stručnjaka iz ondašnjeg RIZ-a.

No, nisu samo stručnjaci iz RIZ-a pravilno razmišljali o preustroju i prilagodbi poduzeća izazovima budućnosti. Čak je i na jugoslavenskoj razini bilo dobrih zamisli o onom što se dogodilo, događa i kako bi trebalo temeljiti budući razvoj. Centar za strategijske studije radio je na projektu Konverzija vojnih potencijala u civilne svrhe − značaj za razvojnu strategiju Jugoslavije, a

[2] **ATM**, ???

zanimljiv je uvodni referat za taj projekt autora R. Tomovića i D. Strujića Osnove politike konverzije u Jugoslaviji [4] te studija za taj projekt S. Jovičića Grupacija elektronske industrije [5]. I uvodni referat i studija nađeni su u fotokopiranoj dokumentaciji RIZ-a i očito je da su ih u tvornici ozbiljno shvaćali te da su ulagali napore kako bi prikupljali važne spoznaje o razvoju svjetske elektroničke tehnologije, ali i trendove razvoja koje je zacrtavala Jugoslavija. Iz spomenutog uvodnog referata i studije valja izdvojiti razmišljanja o konverziji (pretvorbi) dijela kapaciteta vojne industrije za potrebe civilnih industrija. Utvrđeni su prioriteti konverzije za prehrambenu industriju, laku (sad prerađivačku) industriju, medicinsku opremu, potrošna dobra, elektroničku industriju, tehnologiju novih materijala i procesa te za opremu za zaštitu životne sredine [4]. U dugoročnoj politici konverzije autori navode sektore razvoja i izgradnju telekomunikacijskih sustava, prometnih sustava (magistralni cestovni pravci, željeznički promet), energetike (pohrana energije, obnovljivi i alternativni izvori energije), sustava i uređaja za ekološke projekte (uključujući procese za preradu otpada i recikliranje) te izvoz sustava, proizvoda i usluga kroz dugoročne aranžmane na bazi zajedničkog ulaganja i industrijske kooperacije. U studiji se spominje potreba uspostavljanja suvremenih informacijskih mreža, spoja strojarstva i elektronike (mehatronika), zatim se spominju fleksibilni proizvodni sustavi, inteligentne kuće, tvornice bez radnika (robotizacija), optoelektronika, medicinska elektronika, industrija softvera, senzorika, elektronika u konverziji i štednji energije, promet, obrazovanje, mikroelektronika, komponente, materijali i industrijska elektronika kroz vidove automatizacije, robotike i razvoja CAD, CAM i CIM sustava [5].

Iz samo jednog dijela dokumentacije iz RIZ-a više je nego očito da su rukovodeći kadrovi itekako dobro znali pravce budućeg uspješnog razvoja. Nažalost, imali su u svemu tome i strašnu nesreću. Našli su se ispred moćnih i bahatih, a u biti neukih političara i ministara neznalica, koji su uspjeli u vrlo kratkom vremenu rasprodati strancima ono što je iznimno vrijedilo u Hrvatskoj, mnoga uspješna poduzeća netragom su nestala u vihoru privatizacijske pljačke na hrvatski način, a znanje i vještine ljudi zatrli su do te mjere da su uspješne proizvodnje i uspjesi, a kroz to i mnogi uspješni inovatori i izumitelji te privrednici, izvrgnuti nasilnom zaboravu. Zato su svjedočanstva ljudi koji su stvarali i bili svjedocima uspjeha i prosperiteta nastalog na znanju i radu iznimno važna s povijesnog motrišta, da istina ne ostane skrivena i da se jednog dana jasno identificiraju ljudi koji su počinili tehnocid hrvatske industrije i proizvodnje, dovevši svojim neznanjem i gramzivošću Hrvatsku na začelje europskih zemalja po gotovo svim pozitivnim pokazateljima.

2. Tvornica Profesionalna elektronika

Zagrebačka tvornica RIZ PE (Profesionalna elektronika) proizvodila je širok spektar komunikacijske opreme i zasigurno je bila njezin najveći hrvatski proizvođač. Nastala je integracijom RIZ-ovih poduzeća: Tvornice telekomunikacijskih uređaja, Tvornice mehaničkih dijelova i Instituta za elektroniku, telekomunikacije i automatizaciju.

Navedena skupina poduzeća u mnogočemu je bila pionir u ondašnjem okruženju. Na slici 1. prikazano je nekoliko uspješnih RIZ-ovih artefakata namijenjenih vojnoj uporabi, pohranjenih u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme[3]. Na slici 1.a) prikazana je prva RIZ-ova prijenosna radiostanica, oznake RUP-3, izrađena početkom 1960-ih u germanijevoj poluvodičkoj tehnologiji s pet frekvencijskih kanala, u području od 52 do 60 MHz, kontroliranih kristalima kvarca. Izlazna snaga od 0,3 W omogućavala joj je domet od 0,5 do 3 km, ovisno o konfiguraciji zemljišta. Napajala se s četiri plosnate baterije od 4,5 V ili iz NiCd akumulatora. Napravljena je vrlo kompaktno u tehnici malih modula koji su se mogli razmjerno brzo i lako zamijeniti u slučaju kvara.

Nasljednik te prijenosne stanice bio je radijski uređaj RUP-33, slika 1.b), izrađen 1978. u silicijevoj tehnologiji. Radio je u istom frekvencijskom području FM modulacijom s razmakom kanala od 50 kHz i s istom snagom od 0,3 W kao i RUP-3, ali imao je digitalni sintezator frekvencije i taddašnje najsuvremenije MOSFET tranzistore te kristalni filtar u prijamniku. I taj se uređaj napajao s četiri plosnate baterije od 4,5 V ili iz NiCd akumulatora. Imao je izvrsne karakteristike pa se s prednjom pločom na engleskom jeziku kasnije izvozio u mnoge zemlje. Inačica na engleskom jeziku prikazana je na slici 1.c).

Vrlo dobar, genijalno konstruiran 1967. godine, kratkovalni primopredajnik RUP-15 prikazan je na slici 1.d). Imao je izlaznu snagu od 15 W i radio je na frekvencijama od 2 do 12 MHZ. Proizveden je u vrijeme kad su se u njega ugrađivali FET-tranzistori RIZ-ove proizvodnje, a imao je također i digitalnu sintezu radnih frekvencija tako da se radna frekvencija birala s pomoću četiri dekadna preklopnika u koracima po 1 kHz. Mogao je raditi CW-telegrafijom[4] ili govornom komunikacijom na načelu amplitudne modulacije (AM) ili s donjim bočnim opsegom (LSB[5]), a imao je ugrađen ručni antenski prilagodni sustav.

Nasljednik primopredajnika RUP-15 bio je još bolji i snažniji uređaj RU-20, prikazan na slici 1.d). Pojavio se krajem 1970-ih i radio je u frekvencijskom području od 2 do 30 MHz s ugrađenim sintezatorom frekvencija i s izlaznom snagom od 20 W (smanjenom snagom zračio je 2 W), telegrafijom (CW),

[3] Zbirku je osnovao prof. dr. sc. Dubravko Rogale. Do danas je prikupljeno 1??? uređaja.

[4] **CW** (engl. continuous wave), neprekinuti val; elektromagnetski val konstantne amplitude i frekvencije

[5] **LSB** (engl. lower sideband), donji bočni pojas



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

Sl. 1.: RIZ-ovi primopredajnici vojne namjene: a) RUP-3, b) RUP-33, c) RUP-33 izvozna inačica, d) RUP-15, e) RU-20, f) RU-20 u Samsoniteovoj aktovci i g) TRC-20H, svi su pohranjeni u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme



Sl. 2.: RIZ-ovi ručni primopredajnici (voki-toki): a) PTR-3, b) Cetina pohranjeni u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme, te c) PRC-143

amplitudnom modulacijom (AM) i SSB[6] načinom s gornjim (USB[7]) i donjim (LSB[8]) pojasom. Podešavanje impedancije izlaznog stupnja na impedanciju antene izvođeno je automatski ugrađenim tjunerom. Mogao je raditi na tzv. štap-antenu za kraće domete i na žičanu antenu AT-35, kad je mogao ostvariti vrlo daleke veze (u dobrim propagacijskim uvjetima cijeli svijet).

Zanimljiva je varijanta RU-20 obojena u tamnosivu nijansu i smještena u plavu Samsoniteovu aktovku za poslovne ljude prikazana na slici 1.f). To očito nije bila vojna varijanta obojena u tamnomaslinastu boju pa je moguće da je bila namijenjena za neopažen prijenos u urbanim sredinama, moguće i za rad, kako se to tad zvalo "na privremeno zauzetom teritoriju", odnosno u špijunske svrhe.

RIZ je početkom 1990-ih za potrebe Hrvatske vojske razvio i proizvodio napredniju inačicu RU-20 oznake TRC-20H s digitalnom upravljačkom glavom i s mogućnošću frekvencijskih skokova kojima se otežava neprijateljsko prisluškivanje.

RIZ je napravio i prvu poluvodičku ručnu prijenosnu radiostanicu (tzv. voki-toki) u robusnom metalnom kućištu s natpisima otisnutim tehnikom sitotiska, slika 2.a). Na njoj su karakteristični gumbi za upravljanje radnim parametrima koji su na neki način postali zaštitni vizualni znak RIZ-a, a kasnije se ponavljaju na nizu drugih prijenosnih radiostanica, slika 2.

[6] **SSB** (engl. single-sideband modulation), jednobočna modulacija

[7] **USB** (engl. upper sideband); gornji bočni pojas

[8] **LSB** (engl. lower sideband); donji bočni pojas



Sl. 3.: Detalj iz RIZ-ove proizvodnje radioуređaja i radna mjesta s najsuvremenijom mjeriteljskom opremom

Još dvije zanimljivosti: prvo, RIZ je dugo godina proizvodio poluvodičke radiostanice dok su se za vojne potrebe još uvijek proizvodile cijevne radiostanice u drugim republikama Jugoslavije; i drugo, RIZ-ove stanice nosile su imena hrvatskih rijeka, za što je u tadašnje vrijeme trebalo imati hrabrosti. Oznake Korana, Sutla i Cetina nosile su prijenosne stanice, a Krka i Mura stacionarne i mobilne stanice u postajama i vozilima policije. Na slici 2.b) prikazana je prijenosna stanica Cetina sa šest kanala kontroliranih kremenim kristalima i mikrotelefonskom kombinacijom MT-10. Možda su postojali uređaji i s nazivima drugih hrvatskih rijeka, ali nisu pohranjeni u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme. Na slici 2.c) prikazan je suvremeni RIZ-ov vojni primopredajnik PRC-143 koji radi u frekvencijskom području od 45 do 60 MHz na 600 kanala (deset ih može memorirati), s izlaznom snagom od 1 W. U uvjetima dobre čujnosti snaga se može smanjiti na 0,1 W. Napaja se NiCd baterijom napona 10,8 V, kapaciteta 0,75 Ah, a na predaji pri snazi od 1 W iz baterije povuče struju jakosti 430 mA. Masa uređaja je 0,9 kg, a s baterijom 1,4 kg [6]. Radioуređaji u Tvornici RIZ proizvodili su se, podešavali i ispitivali prema najstrožim normama i s iznimnom kvalitetom, u kojima su sudjelovali izvrsno obrazovani i vješti radnici, slika 3.

Na slici 4.a) prikazan je izvrstan RIZ-ov kratkovalni prijamnik RP-4 proizveden 1970-ih koji je radio na frekvencijama od 2 do 12 MHz. Nastao je na temelju prijamnog dijela kratkovalnog radioуređaja RUP-15 s dodatkom niskopropusnih filtara koji su selektivnost prijamnika sužavali na 5 kHz, 3 kHz, 700



a)



b)



c)



d)

Sl. 4.: RIZ-ovi vojni radijski prijamnici: a) RP-4, b) RP-6, c) RPrU-5/1 i d) žičana antena AT-35 pohranjeni u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme

Hz ili samo 250 Hz. U njega su također ugrađivani FET-tranzistori RIZ-ove proizvodnje, a imao je digitalnu sintezu radnih frekvencija s korakom od 1 kHz. Mogao je primati telegrafske (CW) i teleprinterske (RTTY[9]) signale ili govornu komunikaciju na načelu amplitudne modulacije (AM) ili s donjim bočnim opsegom (LSB), a imao je ugrađen i ručni antenski prilagodni sustav za poboljšanje prijma.

Minijaturni prijamnik RP-6, slika 4.b), radio je na pet kanala frekvencija od 52 do 60 MHz kontroliranim kristalima kremena. Primao je signale moduliranе frekvencijskom modulacijom. Kao antena služile su kabl-slušalice, a baterija od 9 V uključivala se priključenjem slušalice nakon čega je prijamnik mogao primati signale.

[9] **RTTY** (engl. radioteletype); ???

Kratkovalni prijamnik RPrU-5/1, slika 4.c), nastao je 1982. godine na temelju razvoja RU-20 pa i on radi u frekvencijskom području od 2 do 30 MHz s ugrađenim sintezatorom frekvencija. Prima signale odaslane telegrafijom (CW), amplitudnom modulacijom (AM) i SSB načinom s gornjim (USB) i donjim (LSB) pojasom. Frekvencija se namješta BCD[10] koderima s mogućim skokovima od 100 Hz. Ima vlastiti ispravljač napona i antenski tjuner.

Sva tri RIZ-ova prijamnika i žičana dipol antena AT-35 sa slike 4. pohranjeni su u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme [7, 8].

Na bazi primopredajnika RUP-3, koristeći sklopovska i mehanička konstrukcijska znanja, nastalo je više stanica za civilna poduzeća i službe. Na slici 5. prikazane su prijenosne RIZ-ove radiostanice Sutla i Korana, a izrađene su u germanijevoj poluvodičkoj tehnici s tri frekvencijska kanala kontrolirana kristalima kremena. Služile su za ophodarske civilne službe za nadzor šuma, vodotoka rijeka, cestarske i željezničke ophodnje, servisne terenske službe, u elektroprivredi, naftnoj i plinskoj industriji i drugdje.

Novije inačice za civilne namjene više nisu nosile oznake rijeka nego numeričke oznake poput radiostanica za ugradnju u vozila, stacionarnu uporabu ili za nošenje, slika 6. Razvijene su i proizvođene 1970-ih u RIZ − IETA[11] (današnjem CEI[12] − IETA). Te su vrste izrađivane na bazi silicijeve poluvodičke tehnike, ugrađivane su u vatrogasna, bolnička, taksi i servisna vozila, a koristile su se u postrojbama civilne zaštite. Ovisno o frekvencijskom području za koje su se proizvodile, nosile su oznake 2000, 5000 ili 8000. Proizvodile su se s ugrađenim zvučnicima i ispravljačima, s vanjskim napajanjem i zvučnicima te za nošenje s baterijskim napajanjem.

Nažalost, većina se prikazanih RIZ-ovih uređaja više ne proizvodi, a novi razvoj znatno je smanjen.

Policija Jugoslavije gotovo se u cijelosti koristila tad najsuvremenijim RIZ-ovim stanicama. Na slici 7.a) prikazana je mobilna radiostanica Krka sa 12 frekvencijskih kanala kontroliranih kristalima kremena, a na slici 7.b) pripadajući ispravljač. Mobilna stanica Mura, sličnih karakteristika kao Krka, ali s mogućnošću rada na 6 W manje izlazne snage i na 12 W veće izlazne snage, ovisno o čujnosti kod sugovornika prikazana je na sl. 7.c). Stacionarna stanica Mura s više upravljačkih mogućnosti i predviđena za montažu u policijskim postajama prikazana je na slici 7.d). Znatno modernije policijske stanice s digitalnim pokaznicima[13] i s mogućnostima selektivnog poziva prikazane su na slikama 7.e) – 7.h). To su suvremenije policijske radiostanice s digitalnom sintezom frekvencije i pokaznikom, poput one s oznakom RIZ PPM 250A1/23 izrađenoj u

[10] **BCD** (engl. binary coded decimal), binarno kodirani decimalni broj

[11] **IETA**, Institut za elektroniku, telekomunikacije i automatizaciju

[12] **CEI**, Croatia elektronička industrija

[13] pokaznik (engl. display)



a)



b)



c)



d)

Sl. 5.: RIZ-ove radiostanice za civilnu namjenu: a) Korana, b) Sutla, c) Sutla 48, d) Sutla 48B pohranjene u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme

silicijevoj poluvodičkoj tehnologiji. Na slici 7.i) prikazana je mikroprocesorski upravljana i programirana mobilna policijska stanica M4800V koja se prodavala u praktički svim republikama Jugoslavije i u inozemstvu. To je bio jedan od zadnjih RIZ-ovih modela policijskih stanica koji je imao digitalne kodirnike[14] za namještanje prijamne i predajne frekvencije, a osim govorne komunikacije, mogao je primati i slati digitalne podatke. Na slici 7.j) prikazan je zvučnik koji se također proizvodio u RIZ-u za radiostanice EZV3-1, a lakiran je u tamnosivu nijansu. Postojao je i zvučnik oznake ZV-1 u svjetlosivoj nijansi.

Na temelju radiostanice M4800V razvijena je vojna inačica UKV stanice koja je osim govorne komunikacije mogla poslužiti i za složenu i brzu podatkovnu razmjenu, slika 8.

[14] kodirnik (engl. encoder)



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

Sl. 6.: Radiostanice za civilne službe, razvijene i proizvođene u RIZ − IETA, pohranjene u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)



j)

Sl. 7.: RIZ-ove radiostanice i uređaji za policijske namjene pohranjeni u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme



Sl. 8.: Vojna inačica RIZ-ove radiostanice s mikroprocesorskim upravljanjem pohranjena u Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme

Tvornica RIZ PE preživjela je sve nedaće koje su se dogodile RIZ-u. Iako sa znatno manjim brojem radnika, opstala je na tržištu te i dalje razvija brojne sofisticirane uređaje namijenjene vojnim i civilnim potrebama. Najpoznatiji je plod njihova razvoja i proizvodnje vrlo moderna prijenosna taktička radiostanica s nazivom TAKRAD. Temelji se na SDR[15] tehnologiji i osim glasovne komunikacije omogućava prijenos podataka, mapa, biofizičkog stanja vojnika, njegova položaja i stanja. Može biti opremljena različitim vrstama antena, mikrotelefonskih kombinacija i baterija, slika 9. Radi na frekvencijama od 225 do 450 MHz, snagom od 100 mW do 2 W, ima masu od samo 0,31 kg. Ima ugrađen GPS sustav, enkripciju govora, mogućnost frekvencijskog skoka, automatskog praćenja biometrijskog stanja i pozivanja u pomoć, istodobnog rada u dvije komunikacijske mreže, suzbijanje ometanja i još niz drugih suvremenih opcija koje se postavljaju pred sadašnje vojne uređaje. Neupitno je da je TAKRAD jedan od najsofisticiranijih vojnih uređaja koji danas postoje u svijetu, a razvili su ga hrvatski stručnjaci za potrebe Hrvatske vojske i u potpunosti se proizvodi u zagrebačkim pogonima tvrtke RIZ − Profesionalna elektronika. RIZ-ovim kadrovima u osmišljavanju projekta pridružili su se kolege iz tvrtke Impel Group koja se bavi razvojem inovativnih elektroničkih sustava, Robert Tomljanović i Jakov Matulić vrhunski inženjeri (bivši djelatnici tvrtke RIZ − Odašiljači) i Jozef Ferčec iz tvrtke CEI Mikroelektronika (bivša tvrtka RIZ − Tvornica poluvodiča).

[15] **SDR** (engl. software defined radio),



Sl. 9.: RIZ-ova vojna prijenosna radiostanica TAKRAD

Zahvaljujući implementaciji najsuvremenijih znanstvenih spoznaja iz područja radijskih komunikacija te iznimnoj tradiciji i razvojnom iskustvu RIZ-ovih stručnjaka, TAKRAD u tehnološkom smislu spada među nekoliko najboljih takvih vojnih komunikacijskih uređaja u svijetu te je stoga konkurentan i na svjetskom tržištu. Riječ je o novom, izvrsno osmišljenom, naprednom taktičkom radiouređaju za glasovnu i podatkovnu komunikaciju. Uređaj je bio podvrgnut najstrožoj eksploatacijskoj provjeri u terenskim uvjetima, za što je dobio izvrsne ocjene. Kad projekt zaživi, sa stručnjacima iz RIZ-a i njihovim kooperantima bit će posla za najmanje 50-ak ljudi, pretežno inženjera i tehničara, koji će ostati u Hrvatskoj radeći vrhunski proizvod za plaću primjerenu vrhunskom inženjerskom poslu.

Stoga na svim razinama u Hrvatskoj valja prepoznati, vrednovati i istinski podržati razvoj takvih visokotehnoloških sustava. Njihova uspješna prodaja i izvoz znače i ubrzan razvoj tehnološke razine naše zemlje, nova i atraktivna radna mjesta za visokoobrazovane kadrove te istodobno tehnički i tehnološki ugled Hrvatske u svijetu.

Dobro je znano da iza svakog uspješnog proizvoda stoji razvoj temeljen na znanju, iskustvu, radu i samoprijegoru, a to su ujedno odlike koje u sebi nose stvaraoci, vrijedni i često vrlo skromni i samozatajni ljudi, koji zaslužuju našu i društvenu zahvalnost, pažnju, divljenje i poštovanje. Na primjeru tvrtke RIZ − Profesionalna elektronika u tom smislu valja posebno istaknuti skupinu takvih ljudi, stvaralaca i zaljubljenika u svoju struku, ljudi koji su ostali vjerni RIZ-u i u najtežim trenucima, a aktivni su i danas. To su Stjepan Prah, Slobodan Doderović, Luka Sekulić, Dražen Rozner, Mijo Puškar i Ivica Horvat, slika 10. Svi su kao dvadesetogodišnjaci došli u RIZ PE, to im je bila i prva tvrtka u kojoj



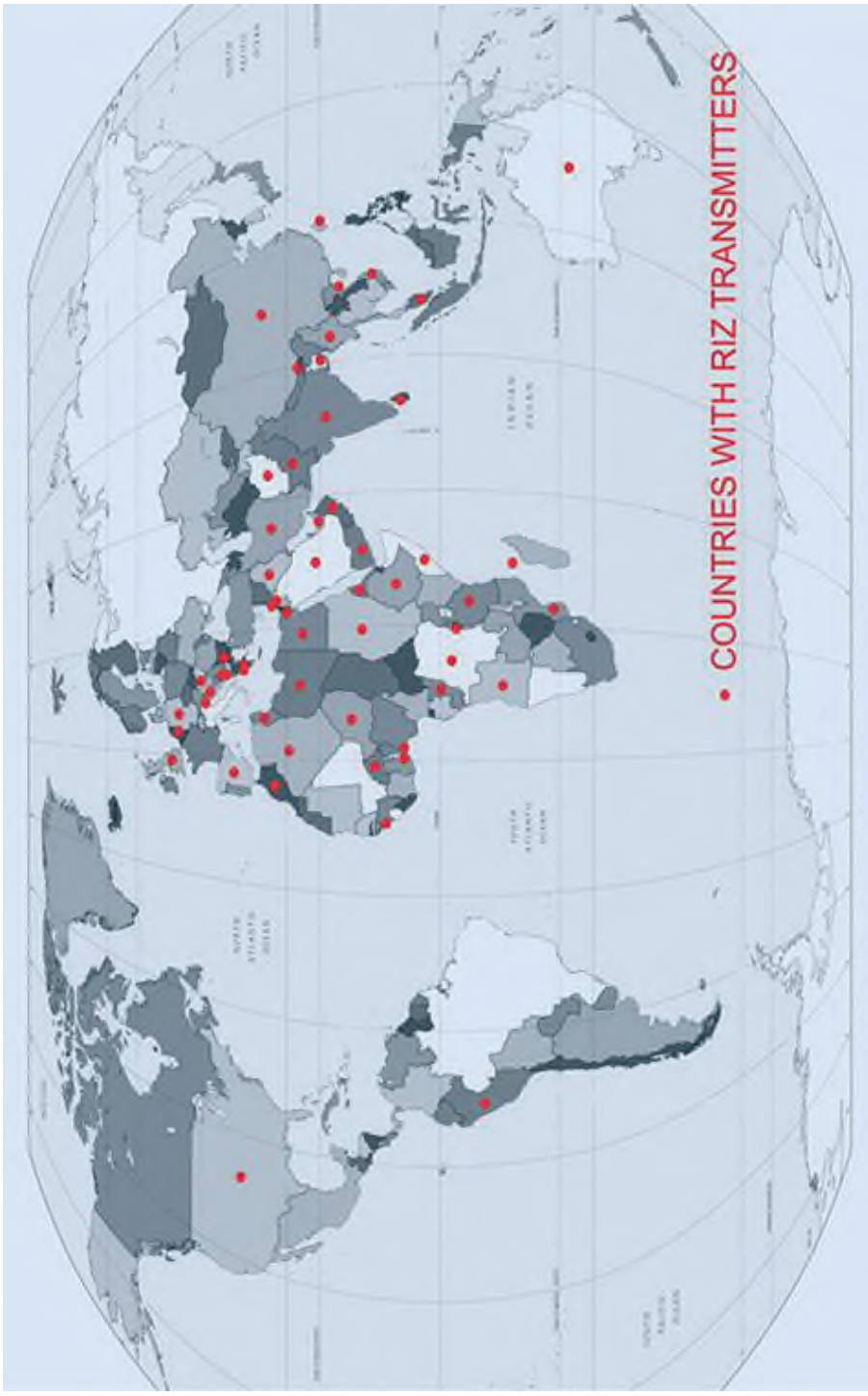
Sl. 10.: Skupina zaslužnih zaposlenika i stvaralaca u poduzeću RIZ PE: Stjepan Prah, Slobodan Doderović, Luka Sekulić, Dražen Rozner, Mijo Puškar i Ivica Horvat. Cijeli svoj stvaralački radni vijek proveli su u RIZ-u i još su uvijek aktivni

su se zaposlili. Ostali su joj vjerni do današnjeg dana uza sve nevolje koje su prolazili u zadnjih 30 godina. Svi imaju više od 40 godina radnog staža, ali i dalje su puni entuzijazma, prvi u sedam sati dolaze na posao, a zadnji odlaze. Nije im teško doći na posao u subotu, nedjelju, za praznike… Pravi profesionalci u svojem poslu. Takvih je u dugogodišnjoj tradiciji RIZ-a bilo puno, a ovaj osvrt upućen je upravo njima i čitatelju koji poštuje rad, znanje i stvaranje. Upravo su oni i njima slični ljudi postavili temelje za nove generacije mladih kadrova s TAKRAD-om, o kojem će se, sigurni smo, još puno pisati.

3. Tvornica odašiljača

Tvornica odašiljača također je jedna od poznatijih iz okrilja RIZ-a. Često je bila medijski praćena na temelju svojih impresivnih postignuća, gradeći srednje i kratkovalne radiodifuzne odašiljače u Jugoslaviji i svijetu. Osnovana je 1948. godine kao Radio Industrija Zagreb dekretom Narodne Republike Hrvatske s ciljem proizvodnje odašiljača za radiodifuziju.

Prvi proizvod, radioodašiljač Učka, počinje se serijski proizvoditi 1952. godine. Njihovi odašiljači nalaze se doslovno na svakom kontinentu, slika 11., što je rijetkost u svjetskim razmjerima, posebno ako se sagleda i s financijskog stanovišta. Tvornica je počela s izgradnjom srednjovalnih (SV) i kratkovalnih (KV), a kasnije i ultrakratkovalnih (UKV), odašiljača za jugoslavenske potrebe

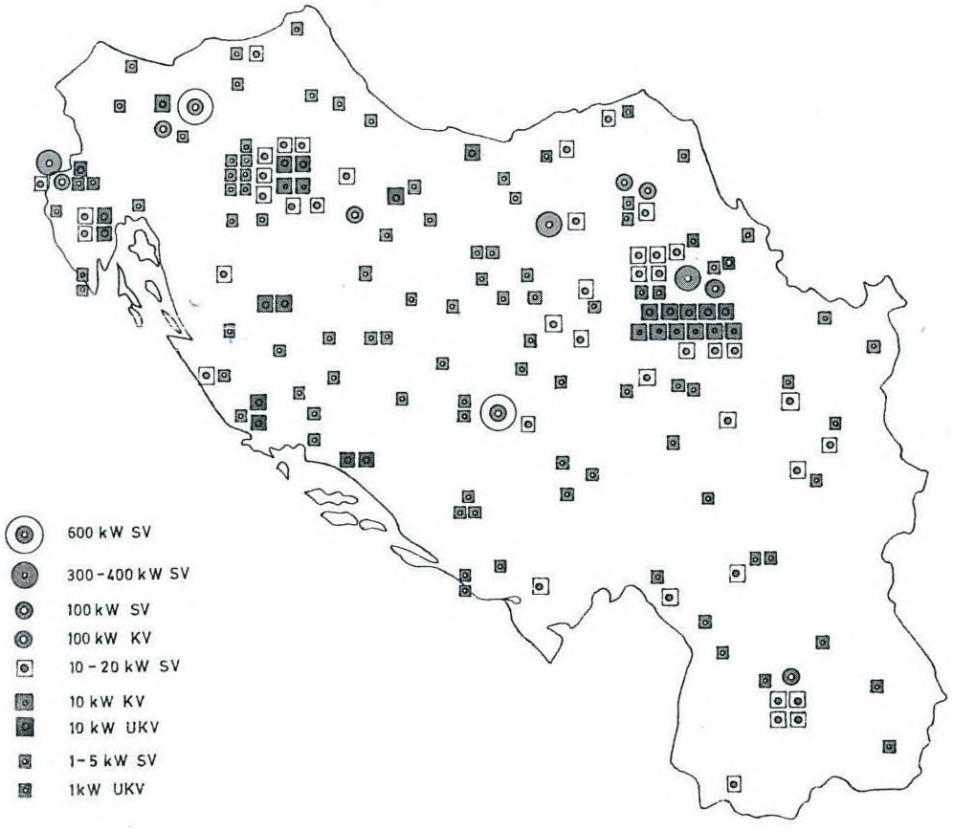


Sl. 11.: Zemlje svijeta s instaliranim RIZ-ovim odašiljačima

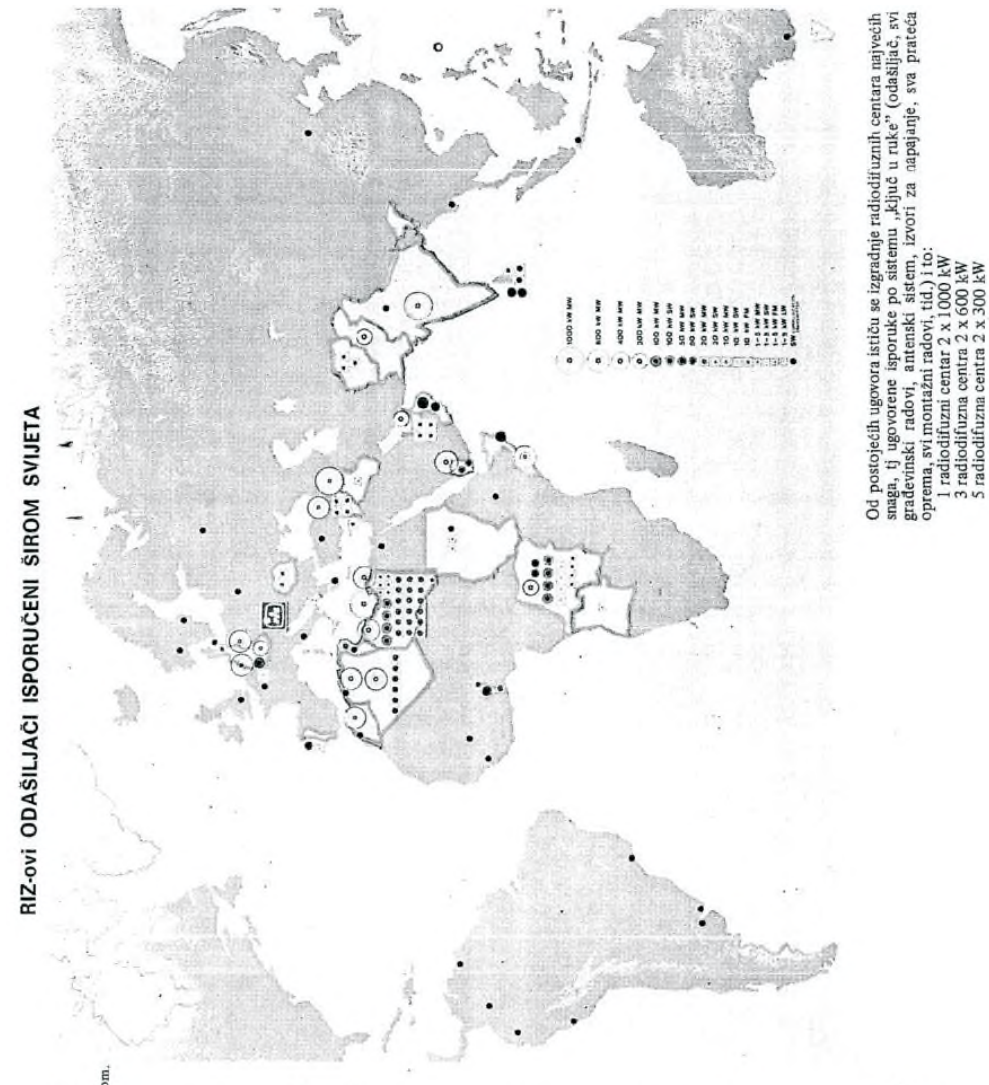
obnove i razvoja radiodifuzijske mreže, slika 12. Iz slike je vidljivo da su instalirani odašiljači za sva spomenuta valna područja i da je njihova snaga zračenja bila od 1 kW pa sve do impresivnih 600 kW. Trenutačno proizvodi samo odašiljače, antene i elektronička brojila električne energije i, nažalost, nalazi se u stečaju.

S obzirom na to da je Jugoslavija promovirala politiku nesvrstanih i da je ondašnja diplomacija, uz politiku, promovirala i gospodarsku komponentu, došlo je do nagle ekspanzije radiodifuznih odašiljača u većinu nesvrstanih zemalja, slika 13. Gradili su se odašiljači za radiodifuziju, ali i vojni komunikacijski odašiljači te odašiljači za ometanje. Na slici 13. prikazane su nesvrstane zemlje, ali i zapadne, te zemlje nekadašnjeg istočnog bloka, sa značajnijim instaliranim odašiljačima, njihovim brojem i snagom.

Sa slike je vidljivo da su se izvozili uređaji snage od 1 kW do 2 MW za dugo, srednje i kratkovalno frekvencijsko područje, a posebno je respektabilna činjenica da je tvornica izgradila i pustila u rad i tzv. radiodifuzijske centre na



Sl. 12.: Prikaz pozicija s instaliranim RIZ-ovim odašiljačima u Jugoslaviji



Sl. 13.: Prikaz zemalja svijeta s instaliranim RIZ-ovim odašiljačima



Sl. 14.: RIZ-ov srednjovalni odašiljač snage 2 × 300 kW

načelu "ključ u ruke". Na taj način tvornica je proizvodila odašiljače, a bila je zadužena za izvođenje svih građevinskih radova, izvora napajanja, antenskih sustava, prateće opreme, svih montažnih radova i drugih poslova koji su prethodili uspješnom puštanju odašiljača u rad. Spomenute su činjenice impresivne, posebno kad se razmatraju s odmakom većim od tridesetak godina i kad se stave u razmjer s mjerilima i stanjem naše sadašnje ekonomije. Danas su RIZ-ovi odašiljači temeljeni na najsuvremenijim tehničkim spoznajama, digitalizirani i računalno upravljani, slika 14.

Tvornica Odašiljači u najvećoj mjeri svoje antenske sustave temelji na vertikalnim antenama s radijalnim uzemljenjem i s mogućnošću promjenjive polarizacije kako bi zračile u odabranim pravcima, ovisno o pozicijama slušatelja, slika 15.

Osim izvoza najvećim dijelom u nesvrstane zemlje, odašiljači su se izvozili i u razvijene zemlje, poput visokotehnološke Južne Koreje, industrijske zemlje koja većinu proizvodnje plasira na strana tržišta. RIZ je uspješno prodavao svoje odašiljače i toj zemlji, na opće iznenađenje svih, pa i samog južnokorejskog veleposlanika Nj. Eksc. Hyung-won Suha. On je 19. rujna 2014. posjetio Tvornicu Odašiljači povodom nastavka ustupanja visokih tehnologija RIZ-a drugim vladinim institucijama Južne Koreje, a ne samo javnoj korejskoj televiziji KBS, slika 16. [9]. Nakon što su mu KBS-ovi inženjeri objasnili zašto elektronsku opremu kupuju u Hrvatskoj i od RIZ-a, veleposlanik je dao izjavu:

> "Šokiran sam i oduševljen. Nisam mogao vjerovati da će KBS kupovati visoku tehnologiju u Hrvatskoj, a Koreja je u elektroničkoj industriji na samom svjetskom vrhu. Čestitam! Kad ste mogli elektroničku opremu prodati našim inženjerima, onda je možete prodati cijelom svijetu."

Nakon posjeta južnokorejskog veleposlanika valja se zapitati koliko je pak hrvatskih veleposlanika posjetilo RIZ kako bi se upoznalo s razinom svjetskog znanja i vrhunskih tehnologija koja je razvijena u tvornici te kako bi tu spoznaju i hrvatsko znanje plasirali tijekom svojeg djelovanja u stranim zemljama u okvirima tzv. gospodarske diplomacije? Niti jedan.

I na kraju bismo željeli prikazati i jednu antologijsku fotografiju, slika 17., nastalu također u Tvornici Odašiljači, a endemski rijetku u hrvatskom ozračju. Hrvatski viličar utovaruje visokotehnološki hrvatski proizvod za izvoz, odredište Južna Koreja. Za razliku od tridesetogodišnje hrvatske zbilje u kojoj se u našoj zemlji u pravilu istovaruje uvozna roba, često čak i ona najbanalnija, na radost razgranatog i snažnog uvoznog lobija.



Sl. 15.: Vertikalna emisiona antena RIZ-ovih odašiljača



Sl. 16.: Posjet južnokorejskog veleposlanika Nj. Eksc. Hyung-won Suha RIZ-ovoj Tvornici Odašiljači



Sl. 17.: Utovar sanduka s dijelovima odašiljača za izvoz u Južnu Koreju (izvući natpis na sanduku, povećati ga i staviti kraj slike)

Kako se na primjeru jednog sudionika u epohi RIZ-ova uspona i niza uspjeha stvarao hrvatski tehnološki ugled u svijetu može se iščitati iz emotivnog teksta Željka Pinturića, dugogodišnjeg uspješnog rukovoditelja proizvodnje u Tvornici Odašiljači, koji prenosimo u cijelosti i bez kraćenja:

4. Životni put jednog RIZ-ovca

Željko Pinturić… mladi zaljubljenik u elektroniku, radioamater iz Jaske… posvetio život i radni vijek RIZ-u. Zaposlio se samostalno u RIZ-u (bez veze), jer u ono vrijeme, 1983. godine, je bilo to nemoguće… Vezu si je sam stvorio tokom četverogodišnje prakse u Tvornici RIZ − Odašiljači iz Tehničke škole Ruđera Boškovića koja je u to vrijeme bila vodeća obrazovna ustanova za elektroničare. Te 1983. godine, početak rada u RIZ-u, bile su zlatne godine za RIZ. Ogromni projekti za Irak i Libiju bili su u punom jeku…

Naravno, nakon 5 mjeseci rada u RIZ-u, prvi teren Irak… nas 15-tak mladih tehničara i još toliko inženjera mjesecima smo instalirali odašiljače i opremu koja je sva bila proizvedena u RIZ-u… U to vrijeme bio je to vrlo zahtjevan projekt koji je sadržao sedam baznih radiostanica, a na svakoj stanici po 6 kratkovalnih i srednjovalnih odašiljača… Radilo se u iznimno teškim uvjetima na visokim temperaturama i opasnim ratom zahvaćenim područjima cijelog Iraka, od Basre na kuvajtskoj granici, pa sve do Mosula na sjeveru Iraka… Projekt Irak trajao je najmanje dvije godine, a naravno i drugi projekti u to vrijeme nisu bili zapostavljeni….

Libija, šest baznih stanica, odašiljači snage od 300 kW pa do 1 MW, instalirani su u srcu pustinje i duž libijske mediteranske linije od Zuare pa do Tobruka… Libijske stanice radili smo godinama i kad sve mjesece skupa pobrojim, dođem do skoro četiri godine provedene u Libiji… Poslije se nastavljaju radovi i po ostalim Arapskim zemljama koje su u to vrijeme bili najveći kupci RIZ-ove opreme… Maroko, Tunis, Egipat, Saudijska Arabija, Eritreja, Etiopija, Botsvana, Burkina Faso… itd.

Naravno, RIZ je razvijao najmoderniju tehnologiju u radiodifuzijskim odašiljačima koje su prepoznale i vodeće Europske zemlje i radiodifuzijski divovi kao njemački DW (Deutsche Welle) i Engleski BBC (British Broadcasting Company) za koje smo u posljednjih 20 godina isporučili preko 20 kratkovalnih odašiljača snage od 100 kW pa do 500 kW i kratkovalnih odašiljača s automatskim ugađanjem na svim frekvencijama od 4 MHz pa do 26 MHz. Iznimno je interesantna montaža četiri kratkovalna odašiljača snage 250 kW na otoku Ascension Island u središtu Atlantika, otoku bez stanovnika, osim vojnih snaga RAF-a, te američkih radiostanica, baze NASA-e i BBC Atlantic radio centra. Taj podatak bio je presudan za najveću radijsku kuću u Aziji, KBS[16], Koreja, koja je u posljednjih osam godina instalirala 12 kratkovalnih odašiljača snage od 100 kW pa do 250 kW… Samo jedan podatak je fascinantan… Južna Koreja ne kupuje skoro ništa, sve proizvode sami, imaju velike firme kao Samsung, LG, Hyundai, Kia … koja proizvodi doslovno od igle do lokomotive, ali kupuju RIZ-ove odašiljače …

[16] **KBS**, Korean Broadcasting System

Bila su to prekrasna vremena rada u RIZ-u i na svim tim terenima gdje sam, s malom skupinom svojih kolega, provodio mjesece rada po pustinjama i po Burmanskim prašumama i sve je bilo relativno lako, jer radili smo s ponosom za RIZ... Nažalost RIZ je nedugo proslavio 70 godina rada i stvaranja novih tehnologija u elektroničkoj industriji u kojoj je bio vodeći u ovom dijelu Evrope, ali nažalost završio je u stečaju, otpustio 200 djelatnika, a upiti za nove poslove dolaze iz cijelog svijeta i nikome nije jasno zašto je do toga uopće trebalo doći… Naravno, treba spomenuti i proizvodnju RIZ − Brojila koja su se proizvodila u RIZ-u proteklih 15 godina i instalirana po cijeloj Hrvatskoj, ali nažalost i tome dolazi kraj…

Kao vizualan prilog ovom sadržaju, na slici 18. prikazan je Rukovoditelj proizvodnje Željko Pinturić sa skupinom svojih suradnika nakon montaže odašiljača i postrojenja faziranih vertikalnih antena u Južnoj Koreji, slika 19., jednog od antenskih postrojenja koje smo tamo instalirali. Na slici 20. vidi se iskazivanje nacionalnog ponosa razvijanjem hrvatskog barjaka na vrhu antenskog stupa instaliranog s odašiljačem i opremom u afričkoj državi Eritreji.

Uspješna tvornica RIZ – Odašiljači zbog nemara mnogih struktura danas je u stečaju. Traži se izlaz iz nemile situacije. Dio radnika uključen je u proizvodnju brojila električne energije, koja pripadaju samom vrhu te tehnologije, a isključivi su plod razvoja inženjera i tehničara RIZ-a. I u toj proizvodnji ima tegoba, problema sa servisom i drugih, no nadamo se da će tvornici stići i toliko potrebna potpora politike, na da je se protežira, nego da joj se omogući pošten rad bez opstrukcija interesnih lobija.



Sl. 18.: Željko Pinturić (treći slijeva, drži južnokorejsku zastavu) sa skupinom suradnika nakon montaže antenskog sustava u Južnoj Koreji



Sl. 19.: Pogled na instalirani antenski fazirani sustav (s mogućnošću usmjeravanja zračenja) u Južnoj Koreji



Sl. 20.: Hrvatski barjak na vrhu antenskog stupa zajedno sa zastavom afričke države Eritreje

Zaključak

Zaključak možda nije ni potreban. Umjesto njega navedimo nekoliko misli iz pera mr. sc. Mirka Kuljiša, jednog od rukovoditelja u RIZ-u i jednog u plejadi samozatajnih stvaralaca RIZ-ovih uspjeha. Čovjeka koji je puno dao svojoj domovini, a od nje je primio vrlo malo, gotovo ništa. On u svojoj knjizi Na valovima sudbine radioelektronike u Hrvatskoj (1942.− 2014.) (Kiklos − Krug knjige, 2014., [10]) na str. 352 piše:

"…Kad danas gledam kako je RIZ – Tvornica odašiljača s Brankom Tkalčevićem gradila odašiljače i velike odašiljačke centre po svijetu, onda lijepo vidim da pomoć od države treba uvijek, ali ona se ne rađa kroz elaborate. To dolazi kroz društveno-politički i gospodarstveni sustav, koji iz korijena stvaraju jaka poduzeća i korporacije kojima upravljaju menadžerske elite u suradnji s bankama, koje aktivno sudjeluju u nacionalnim poduhvatima. A onda nastupa i nacionalna politika koja može mnogo napraviti. Zar bi neka japanska banka mogla opstruirati Toyotu? Treba samo pogledati poznatog južnokorejskog diva Samsunga i zapitati se zašto su hrvatska brodogradnja, elektroindustrija, elektronika i telekomunikacije koji su tada bili jači od Samsunga nestali ili se pretvorili u industrijske patuljke…"

RIZ-ova Tvornica Profesionalna elektronika i Tvornica Odašiljači još posluju, prva u jako smanjenom opsegu, a druga je u stečaju. U njima još rade ljudi koji su ih stvarali i svjedočili entuzijazmu, ljudi u kojima je nepresušno vrelo znanja i bogatog iskustva. Vjerujemo da još postoji nada u dolazak vremena kad će se u Hrvatskoj ponovno cijeniti znanje i proizvodnja temeljena na istraživanjima i visokim tehnologijama.

Literatura

[1] Anonimno: Kadrovi i kadrovska politika u RO RIZ – PE, RIZ, Zagreb, 1986.

[2] Weber, A.; Džepina, M. i Rukavina M.: Izvod iz Studije o razvoju RIZ RO PE (namjenska proizvodnja) za razdoblje 1985. – 1990 i dugoročno do 2000. godine, Zagreb, rujan 1984.

[3] Anonimno: Analiza stanja organizacije i programske orijentacije RIZ RO PE s naznakom daljnjih aktivnosti u narednom razdoblju, Zagreb, 1989.

[4] Tomović, R. i Strujić, D.: Osnove politike konverzije u Jugoslaviji, Uvodni referat za projekt Konverzija vojnih potencijala u civilne svrhe − značaj za razvojnu strategiju Jugoslavije, Centar za strategijske studije, siječanj 1991.

[5] Jovičić, S.: Grupacija elektronske industrije, Studija za projekt Konverzija vojnih potencijala u civilne svrhe − značaj za razvojnu strategiju Jugoslavije, Centar za strategijske studije, siječanj 1991.

[6] Anonimno: Short review of military production program, RH-ALAN, Zagreb

[7] Rogale, D.; Fajt, S.; Knezić, Ž.; Lukša, D.: Prva hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, *Zbornik Povijest i filozofija tehnike 7. simpozij PIFT 2018.,* Benčić, Z. (ur), Kiklos – Krug knjige, Zagreb, 2018., str. 355-364.

[8] Rogale, D.: Struktura i artefakti Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme, Hrvatska tehnička i industrijska baština, Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske za 2019. godinu, HATZ, Zagreb, str. 323-338.

[9] Gloković, M. i Brezak, S.: Pismo Predstojniku Državnog ureda za upravljanje državnom imovinom Mladenu Pejnoviću, RIZ Odašiljači, Zagreb, 24. 9. 2014.

[10] Kuljiš M.: *Na valovima sudbine radioelektronike u Hrvatskoj (1942. − 2014.)*, Kiklos – Krug knjige, Zagreb, 2014.

RIZ Professional Electronic and Transmiter Factory, State and Destiny

Slobodan Doderović, Željko Pinturić, Vinko Müller, Dubravko Rogale

Abstract: The history from the establishment of the Factory of Professional Electronics and Transmitter Factories, their development, successes and the current state of affairs is described. Both factories were established within the Radio Industry Zagreb, the well-known RIZ, founded in 1948. RIZ was the center of gathering world-class, ingenious and self-sacrificing experts, development, knowledge and experience. Regardless of that, politics never liked them, due to the negligence of politicians and the state, their downfall into the abysses of privatization in the Croatian way began. This paper presents the most significant successes and products of both factories, their development, current state and perspectives.

Key words: RIZ, Factory of Professional Electronics, Transmitter Factory

Branka Marijanović, Marko Tucaković

Očuvanje arhivske građe i kulturne baštine FER-a

Sažetak: U radu je prikazana povijest Kraljevske tehničke visoke škole te Središnje knjižnice Fakulteta elektrotehnike i računarstva s posebnim naglaskom na fakultetsku baštinu, koja svjedoči o povijesti i razvoju tehničkih znanosti na Sveučilištu u Zagrebu. Autori rada predstavljaju Projekt digitalizacije kulturne baštine tehničkih znanosti, koji Središnja knjižnica FER-a provodi od 2016. godine. Dok je primarni cilj projekta zaštititi građu kao kulturno dobro Fakulteta, digitalizacijom stare i vrijedne građe također se nastoji približiti kulturnu baštinu FER-a znanstveno-istraživačkoj zajednici.

Ključne riječi: Kraljevska tehnička visoka škola, FER, Središnja knjižnica FER-a, povijest tehničkih znanosti, Projekt digitalizacije kulturne baštine tehničkih znanosti

Uvod

Visokoškolske knjižnice kao sastavni dio fakulteta imaju za primarnu zadaću podupirati nastavno-znanstveni rad matične ustanove. Uz to, ovisno o području u kojem djeluju, visokoškolske knjižnice dužne su brinuti se o dokumentiranim dostignućima i razvoju znanosti. Tehničke znanosti imaju snažnu poziciju u sustavu visokoškolskog obrazovanja, a vrlo širok raspon te heterogenost područja djelovanja, kao i primjenjivost tehnike u svakodnevnom životu, a tako i industriji, knjižnicama iz područja tehničkih znanosti daje odgovoran zadatak praćenja, selektiranja, dokumentiranja, čuvanja i osiguravanja pristupa

građi koja je ogledalo razvoja te okosnica tehničkih znanosti. Iako usluge suvremenih visokoškolskih knjižnica prate razvoj informacijsko-komunikacijske tehnologije i suvremenih zahtjeva društva u kojem živimo i razvijaju se u skladu s njima, razvoj poslovanja nije moguć bez osiguravanja temelja na kojima tehničke znanosti počivaju.

1. Povijesni pregled Fakulteta

Kraljevska tehnička visoka škola u Zagrebu osnovana je 1918. godine, ali začeci ideje o njezinu osnivanju sežu mnogo dalje. Društvo inženjera i arhitekata u Hrvatskoj i Slavoniji već je 21. veljače 1898. na svojoj skupštini jednoglasno prihvatilo prijedlog članova Milana Lenucija i ing. Mihajla Ursinija da se u Zagrebu otvori Tehnička visoka škola, odnosno Tehnički fakultet, ali u idućim je godinama sve ostalo samo na ideji zbog nedostatka novca. Pitanje osnutka Tehničke škole ozbiljno se ponovno postavilo prigodom proslave dvadeset pete obljetnice Društva hrvatskih inženjera i arhitekata u Zagrebu 1903. godine. Sastavljač *Spomen-knjige* Julije Stanisavljević, pišući o povijesti Društva, tekst završava riječima:

"Nema dvojbe da će se u nedalekoj budućnosti ustrojiti Tehnička visoka škola u Zagrebu, i tako oživotvoriti jedno od najmilijih misli našeg društva za kulturni i materijalni napredak našega naroda, koji se bez visoke tehničke škole neće nikada podignuti do one visine, na kojoj se nalaze napredniji narodi." [1]

Nakon osnivanja Zaklade za osnutak i uzdržavanje Tehničkog fakulteta na Sveučilištu 1910. godine, donesen je zaključak da se te godine otvori Tehnička visoka škola, ali i taj je put sve ostalo na ideji jer je prevladalo mišljenje da je isplativije školovati inženjere na drugim fakultetima s pomoću stipendija. Tijekom Prvog svjetskog rata pripremljen je zakon o osnivanju škole, što je konačno realizirano nakon rata. [2]

Tako je na inicijativu predstojnika Odjela za bogoštovlje i nastavu Milana Rojca izrađena osnova zakona o osnivanju Tehničke visoke škole, koju je Povjereničko vijeće SHS prihvatilo 10. prosinca 1918. godine [3]. Tijekom 1919. imenovani su nastavnici koji će održavati predavanja u školi, a 1. listopada te godine počela je nastava na četiri odsjeka. Godine 1926. škola ulazi u sastav Sveučilišta u Zagrebu kao Tehnički fakultet. [4]. Tehnički fakultet bio je prvi sveučilišni studij tehnike na hrvatskom jeziku na ovim prostorima. Fakultet je djelovao do 1956., kad iz njega nastaju četiri nova fakulteta u okviru Sveučilišta u Zagrebu: Elektrotehnički fakultet (ETF), Arhitektonski fakultet, Građevinski fakultet i Fakultet strojarstva i brodogradnje [5].

Osamostaljivanjem Fakulteta počinje nova faza razvoja obrazovanja u području elektrotehnike u Zagrebu i Hrvatskoj. Od svojeg osnutka ETF je djelovao s ciljem

trajne modernizacije studija elektrotehnike, polja čijem je brzom razvoju iznimno pridonio. Osim toga, Fakultet već 1968. godine uspijeva osigurati sredstva i nabavlja prvo elektroničko računalo IBM 1130, čime počinje i nastava računarstva. Uvidjevši važnost brzorastućeg znanstvenog polja računarstvo, ETF 1995. godine mijenja naziv u Fakultet elektrotehnike i računarstva – FER [6].

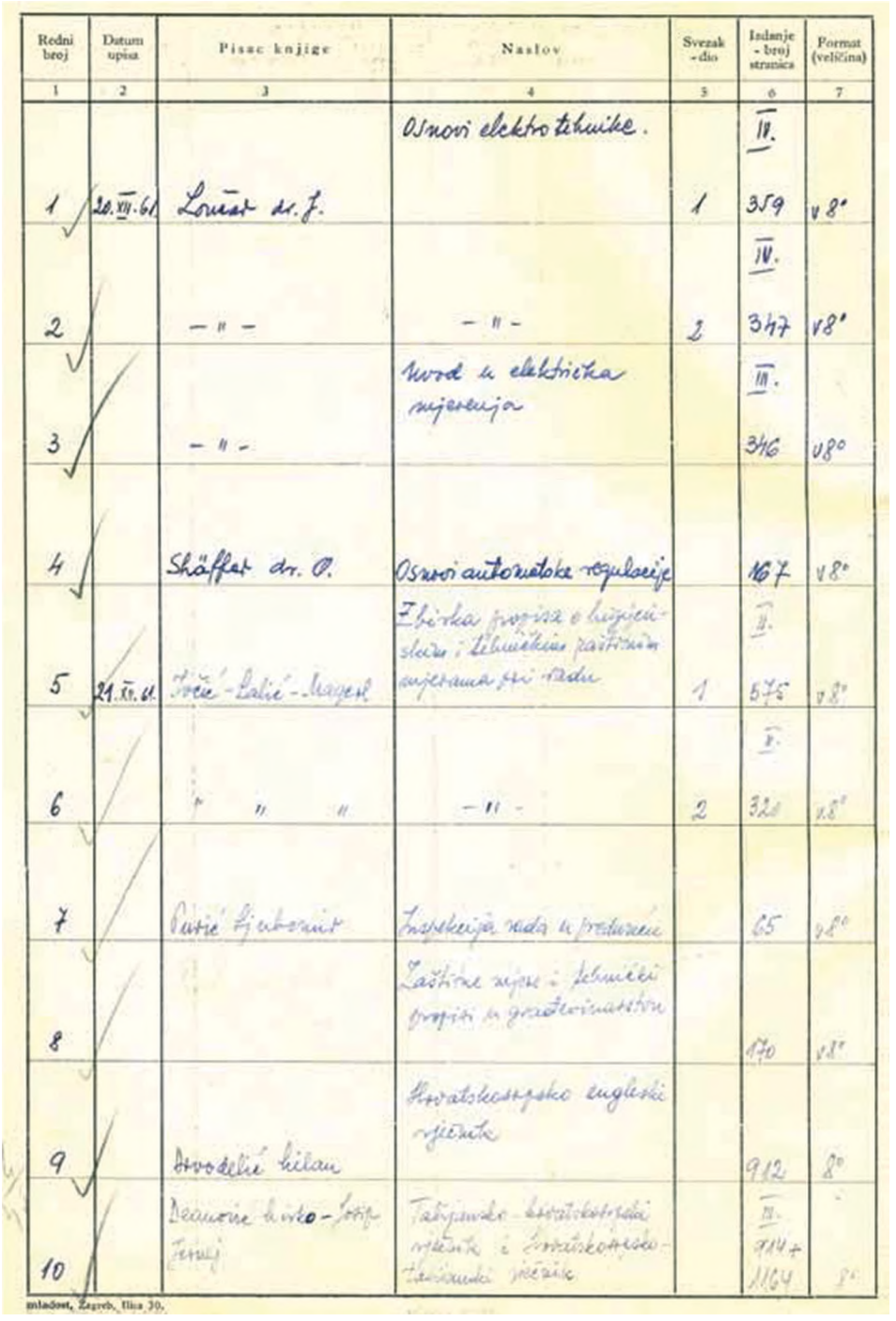
Fakultet je kroz povijest bio poznat po obrazovanju vrhunskih stručnjaka, a i danas spada u najatraktivnije hrvatske fakultete. Dokaz tomu je i činjenica da svake godine privlači velik broj maturanata s najboljim rezultatima na maturi. Međutim, FER je danas u Hrvatskoj i regiji poznat i po znanstveno-istraživačkom radu te suradnji s gospodarstvom, a zadnjih desetak godina iznimno je aktivan i u istraživačkim programima. Trenutačno se na njemu provodi više od 200 projekata, od čega su gotovo trećina međunarodni. [7] FER je pri vrhu hrvatskih institucija u smislu privlačenja sredstava iz europskih fondova te trenutačno provodi najveći broj međunarodnih projekata od svih sastavnica Sveučilišta. Zahvaljujući činjenici da se dijelom financira prihodima od suradnje s gospodarstvom i kroz osnovnu djelatnost, Fakultet sustavno uspijeva zadržati vrhunske standarde opremljenosti i uvjeta za studiranje i rad [8].

2. Utemeljenje Centralne knjižnice ETF-a

Utemeljenjem Tehničke visoke škole osnovana je i Knjižnica koja se nalazila u prizemlju zgrade Obrtne škole u Zagrebu. Prva knjiga upisana je u inventar knjiga 7. siječnja 1920. godine, a prvi knjižničar bio je dr. Franjo Dejak [3]. Knjižnica u toj formi djeluje do diobe Tehničkog fakulteta na četiri sastavnice 1956., a do osnutka Centralne knjižnice Elektrotehničkog fakulteta dolazi tek 1961. godine.

Naime, krajem 1959., na prijedlog Radenka Wolfa javlja se inicijativa za osnivanje fakultetske knjižnice. Na 47. redovnoj sjednici Fakultetskog vijeća 31. 10. 1959. usvaja se prijedlog profesora Wolfa, dok je 4. studenog 1960. donesena odluka da se Knjižnica Elektrotehničkog fakulteta odvoji od Knjižnice Tehničkih fakulteta. U listopadu 1961. zaposlena je voditeljica Centralne knjižnice Marija Pavunić[1] te knjižničar Mirko Prekrit. Posuđivanje knjiga počelo je 3. siječnja 1962. godine. U to vrijeme fond se sastojao od 2540 svezaka knjiga i 660 svezaka časopisa [3].

[1]Marija Pavunić rođena je 3. rujna 1930. u Virju. VIII. žensku gimnaziju u Zagrebu završila je 1949., dok je historijske nauke diplomirala 1954. na Filozofskom fakultetu u Zagrebu. Diplomu bibliotekarstva (Diplôme supérieur de bibliothécaire) stekla je 1960. u Parizu. Na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu (Centar za studij bibliotekarstva, dokumentacije i informacionih znanosti) obranila je 1966. magistarski rad *Struktura i djelovanje knjižnice Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu*. Na Elektrotehničkom fakultetu radi do umirovljenja 1990. godine.



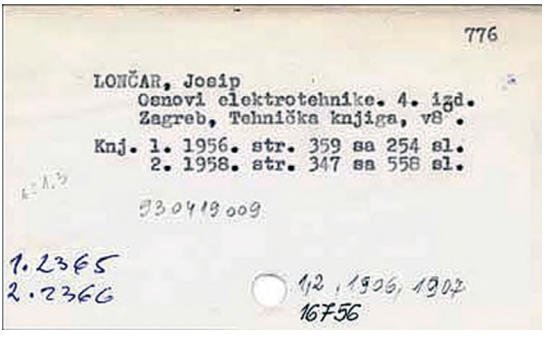
Redni broj	Datum upisa	Pisac knjige	Naslov	Svezak - dio	Izdanje - broj stranica	Format (veličina)
1						
1	20.VII.61	Lovšat dr. J.	Osnovi elektrotehnike.	1	IV. 359	v 8°
2		— " —	— " —	2	IV. 347	v 8°
3		— " —	Uvod u električna mjerenja		III. 346	v 8°
4		Schäffer dr. O.	Osnovi automatske regulacije		167	v 8°
5	21.XI.61	Jovič - Galić - Magerl	Zbirka propisa o knjigovodstvu i tehničkim pitanjima mjerenja pri radu	1	II. 575	v 8°
6		" " "	— " —	2	V. 320	v 8°
7		Ratić Ljubomir	Inspekcija rada u praksi		65	v 8°
8			Zaštitne mjere i tehnički propisi u građevinarstvu		170	v 8°
9		Hrvatsko dr. Milan	Hrvatskosrpsko engleski rječnik		912	8°
10		Društvo hrvatsko-sovjetskog prijateljstva	Tehnički hrvatskosrpski rječnik i hrvatskosrpsko-talijanski priručnik		III. 714+ 1164	8°

mladost, Zagreb, Ilica 30.

Sl. 1.: Prva inventarizirana knjiga Centralne knjižnice ETF-a

Već u to doba jasno su postavljeni ciljevi i temeljne zadaće Knjižnice, za koje možemo reći da su utkani u poslovanje i misiju današnje, suvremene Središnje knjižnice FER-a. Kako navodi Pavunić [3],

> "Uloga koju knjižnica obavlja u sklopu navedenih zadataka jest da dobro organiziranim radom izabire i nabavlja nove publikacije, da bira načine kako bi sve veći broj publikacija bio dostupan korisnicima, da osigura zaštitu i čuvanje publikacija, a napose njihovo racionalno korištenje."
>
> "Centralna knjižnica vodit će brigu oko nabave literature na zahtjev pojedinih zavoda, a za centralnu knjižnicu nabavljat će se literatura uglavnom za potrebe studenata, ali i za sva djela od veće važnosti za samu struke elektrotehnike."


776

LONČAR, Josip
Osnovi elektrotehnike. 4. izd.
Zagreb, Tehnička knjiga, v8 .
Knj. 1. 1956. str. 359 sa 254 sl.
2. 1958. str. 347 sa 558 sl.

830413009

1.2365
2.2366

12 , 1906, 1907
16756

Sl. 2.: Primjer kataložnog listića Centralne knjižnice ETF-a

Osnutak Centralne knjižnice ETF-a zbio se u doba koje obilježavaju mnoge promjene u svijetu industrije, znanosti i tehnologije. U vremenu u kojem se svijet oporavio od Drugog svjetskog rata dolazi do razvoja industrije te je zabilježen porast informacija općenito, a posebno u području elektrotehnike i telekomunikacija. Paralelno se javlja potreba za informiranjem o istraživanjima i znanstvenim dostignućima te je kao rezultat toga došlo do naglog porasta broja objavljene tehničke literature te referentnih časopisa. U svijetu se otvaraju informacijski i dokumentacijski centri te indeksne službe u pojedinim poduzećima kojima je svrha upravljanje, za pojmove onog doba, velikim priljevima informacija (npr. *Document Digest* u Kanadi, *SEDOCAR* u Francuskoj i sl.). I u bivšoj Jugoslaviji se 1950-ih godina osnivaju centri za dokumentaciju te informacijsko-dokumentacijske službe čija je uloga, među ostalim, i obrada te popisivanje strane literature, nabava i koordinacija stručne literature, izrada kataloga te davanje informacija na temelju stručne literature. U Zagrebu je oformljena suradnja među stručnim knjižnicama iz tehničkog područja znanosti, čiji je cilj

bio razvoj INDOK djelatnosti, uspostava centralnog kataloga časopisa iz elektrotehnike te uspostava koordinirane nabave stranih časopisa. Nešto kasnije, 1986. godine, uspostavljena je i Sekcija za tehničke knjižnice Hrvatskog bibliotekarskog društva, a za predsjednicu Sekcije imenovana je upravo Marija Pavunić. Sekcija se bavila edukacijom djelatnika tehničkih knjižnica, poticanjem razvoja knjižnica, unapređivanjem međuknjižnične suradnje te sudjelovanjem u radu ostalih tijela Društva [9].

3. Središnja knjižnica FER-a danas

Suvremeni knjižnični sustav FER-a sastoji se od Središnje knjižnice te dislociranih knjižničnih zbirki 12 fakultetskih zavoda. Temeljna svrha Središnje knjižnice i dalje ostaje unapređenje i potpomaganje obrazovnog, stručnog i znanstvenog rada u području tehničkih znanosti [10].

Također, u okviru djelatnosti Knjižnice, na Fakultetu djeluje Knjižnično povjerenstvo koje, kao stalno radno tijelo Fakultetskog vijeća, obavlja sve poslove važne za organizaciju poslovanja te razvoj Središnje knjižnice.

Knjižnični fond Fakulteta čini 77 083 svezaka knjiga (51 889 naslova), s vrlo vrijednom zbirkom priručnika, rječnika i enciklopedija te udžbenika koji



Sl. 3.: Središnja knjižnica danas

pokrivaju područje nastavnog programa Fakulteta. U fondu se nalaze i ocjenski radovi (završni i diplomski radovi od 2013. do 2020., magistarski i specijalistički radovi, doktorske disertacije). U fondu su i 662 naslova znanstvenih časopisa te 732 naslova knjiga koje pokrivaju ostala znanstvena područja.

Kako je i navedeno Pravilnikom o radu središnje knjižnice [11], osnovne zadaće knjižnice su sljedeće:

- prikupljanje, obrada i pohranjivanje knjižnične građe u tiskanom i elektroničkom obliku
- izgradnja i razvijanje računalnog mrežnog kataloga
- vođenje centralizirane nabave na razini Fakulteta
- osiguravanje pristupa informacijskim izvorima
- suradnja s drugim knjižnicama
- koordiniranje izdavačke djelatnosti Fakulteta
- briga o institucijskom repozitoriju Fakulteta u vidu prikupljanja, trajne pohrane i obrade digitalne građe
- praćenje znanstvene produktivnosti Fakulteta te poticanje otvorenog pristupa, diseminacije znanja i povećanje vidljivosti fakultetske znanstvene produkcije
- zaštita stare i vrijedne građe te kulturne baštine Fakulteta,

dok kao usluge Središnje knjižnice izdvajamo:

- posuđivanje građe
- korištenje čitaonice
- pretraživanje online baza podataka i izvora na internetu
- provjera citiranosti određenih članaka i časopisa te njihovih faktora odjeka te izdavanje bibliometrijskih potvrda
- međuknjižnična posudba.

Usluga međuknjižnične posudbe namijenjena je korisnicima kojima je potrebna građa iz drugih knjižnica u zemlji i inozemstvu. Iako je usluga prisutna i u tradicionalnom knjižničarstvu, danas je razlikuje mogućnost tzv. *Document delivery*, odnosno dostave dokumenata, znanstvenih radova i literature u digitalnom obliku te u kratkom vremenskom roku.

Važno je istaknuti i informacijske usluge koje podrazumijevaju pretraživanje *online* baza podataka i izvora na internetu, kao i specijalizirane bibliometrijske usluge, kao što je izdavanje potvrda o indeksiranosti i citiranosti radova te potvrda o metričkim pokazateljima časopisa za potrebe znanstveno-nastavnog napredovanja. Usto, knjižničari izrađuju i bibliometrijske analize na zahtjev, što uključuje analizu znanstvene produktivnosti ustanove, zavoda ili skupine znanstvenika.

U suradnji s Nacionalnom i sveučilišnom knjižnicom te Ministarstvom znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske osiguran je i pristup bazama podataka te elektroničkim izvorima za znanstveno-nastavno osoblje te studente FER-a.

Time je omogućen pristup recentnoj znanstvenoj literaturi te renomiranim bazama podataka poput *IEEE Xplore*, *Scopus*, *Web of Science* i slično.

Središnja knjižnica u okviru izdavačke djelatnosti obavlja poslove sustavnog prikupljanja, obrade, trajnog čuvanja i osiguravanja vidljivosti objavljenih djela Fakulteta. U tom smislu Knjižnica u okviru djelatnosti Knjižničnog povjerenstva sudjeluje u pripremi prijedloga godišnjeg plana izdavačke djelatnosti za sljedeću akademsku godinu, aktivno sudjeluje u izradi prijedloga izmjena i dopuna Pravilnika o izdavačkoj djelatnosti Fakulteta, prati izdavačku djelatnost te u suradnji s Nacionalnom i sveučilišnom knjižnicom u Zagrebu osigurava međunarodne standardne brojeve te ispunjenje obveze dostave obveznog primjerka.

Središnja knjižnica vodi brigu i o Institucijskom repozitoriju FER-a te je zadužena za razvoj i održavanje zbirki digitalne građe Fakulteta. Trenutačno su u Repozitoriju pohranjene digitalne verzije diplomskih i završnih radova, doktorskih disertacija i magistarskih radova te je u planu pohrana znanstvenih radova djelatnika Fakulteta kao i digitalizirane zbirke *Stare i vrijedne građe*.

Uz modernizaciju poslovanja i razvijanje novih usluga, djelatnici Središnje knjižnice njeguju tradiciju Centralne knjižnice te se brinu o ostavštini Fakulteta smatrajući to zalogom za budućnost. Tako se uz suvremenu građu na različitim medijima, u fondu Središnje knjižnice nalazi i zbirka *Stara i vrijedna građa* koja predstavlja kulturnu baštinu Fakulteta, ogledalo doba u kojem je nastao te u kojem se razvijao. Mnoga djela i dokumenti iz te zbirke svjedoče i o kulturno-političkim prilikama onog doba te razvoju samog Sveučilišta u Zagrebu te tehničkih znanosti na ovim područjima.

Iz zbirke *Stara i vrijedna građa* izdvajamo zbirku časopisa, zbirke velikana tehničkih znanosti, referentnu zbirku Središnje knjižnice te zbirku doktorskih disertacija.

4. Zbirka Stara i vrijedna građa

4.1. Časopisi – kulturno i znanstveno nasljeđe

Kako ističe Pavunić [3], počeci znanstvene publicistike iz područja elektrotehnike datiraju još iz 1897., kad je počeo izlaziti časopis *Science Abstracts*, a njegova je podsekcija od 1964. postao *Electrical Engineering Abstracts*, u to doba vodeći časopis u elektrotehnici. Među važnijim časopisima valja istaknuti i *Engineering index*, *Physics Abstracts*, *Bulletin signaletique* i *Solid State Abstracts*.

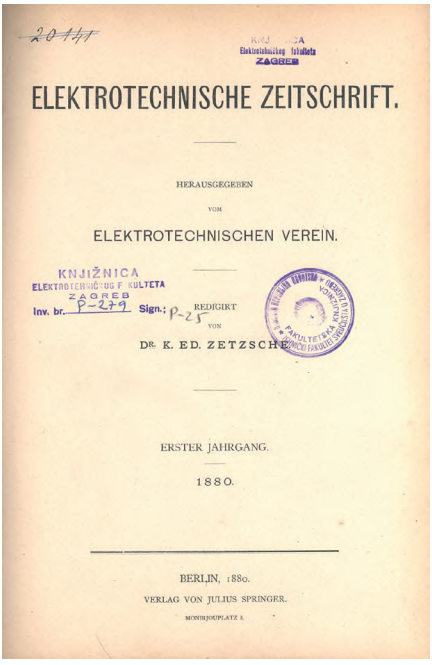
Marija Pavunić objavila je 1965. godine Popis časopisa Centralne i zavodskih knjižnica ETF-a do 1964. godine. U predgovoru Pavunić [12] navodi:

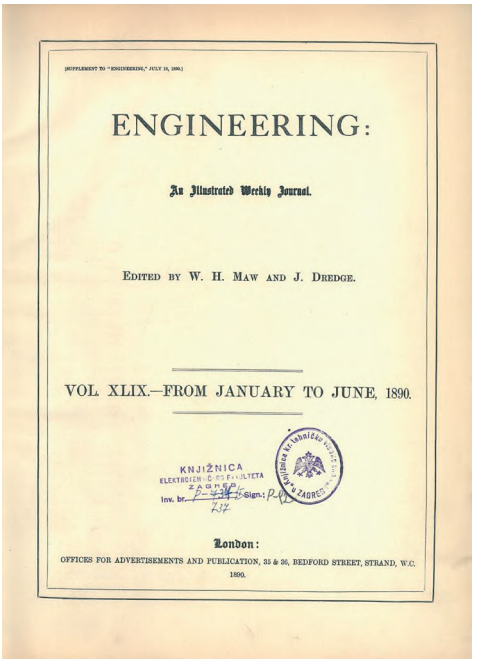
> "Ovaj popis časopisa na ETF-u u Zagrebu ima zadaću olakšati naučni i nastavni rad kako osoblja samog Fakulteta, tako i svih zainteresiranih inženjera u privrednim organizacijama i biti pomoćno sredstvo za rad kod davanja informacija svim bibliotekarima elektrotehničkih i srodnih fakulteta u zemlji."

Ta je bibliografija preteča kataloga Središnje knjižnice FER-a, a sadržajno nas upućuje na povijest politike nabave jedne fakultetske knjižnice tog doba, olakšava nam uvid u stručno-znanstveni rad u području tehničkih znanosti u tadašnjoj Jugoslaviji, Europi i svijetu te pokazuje da je i u to doba naše znanstveno-nastavno osoblje pratilo recentnu literaturu iz struke, dok se stručno knjižnično osoblje brinulo o kvaliteti fonda, dostupnosti informacija te je vrijedno radilo na razvoju i modernizaciji usluga. U bibliografiji su popisani važni časopisi iz struke, kao što je *Electrotechnik und Maschinenbau* (Wien, Springer, 1907. −), *Electronics* (New York, MacGraw-Hill 1950. −), *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* (New York, 1901. −), *Pomiary Automatyka Kontrola* (Warszawa, Organ Polskiego Pomiarov, 1960. –). U svojem se fondu Središnja knjižnica može pohvaliti i časopisima *Tehnički list* (1922. −), *Elektrotechnische Zeitschrift* (1880. −), *Engineering* (1890. −) te *Archiv für Electrotechnik*, 1927. −).



Sl. 4.: Naslovnice časopisa *Elektrotehniški vesnik* iz 1946. i *Tehnički list* iz 1922. godine





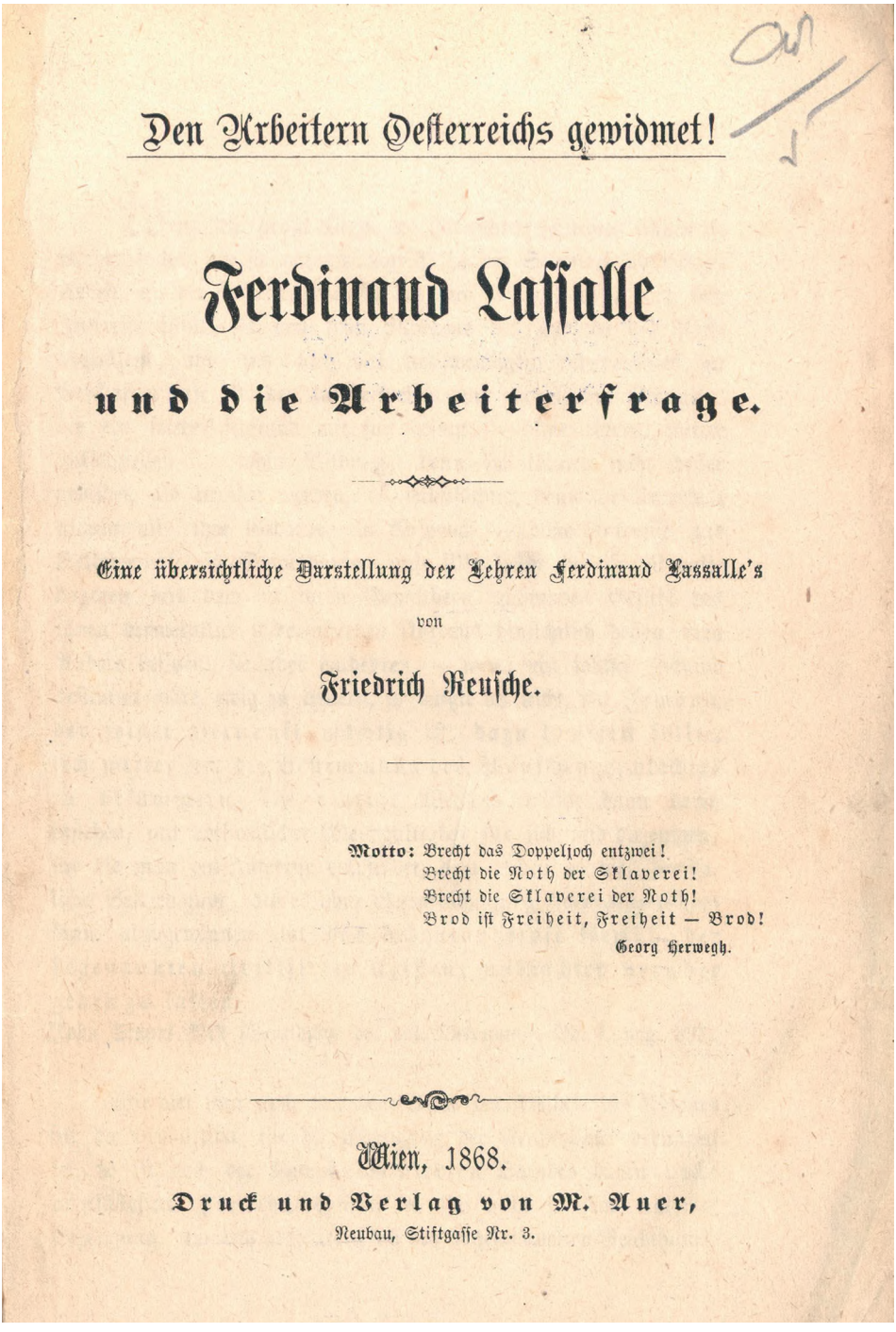
Sl. 5.: Naslovnice časopisa *Elektrotechnische Zeitschrift* iz 1880. i *Engineering* iz 1890. godine

4.2. Zbirke velikana tehničkih znanosti

Imena mnogih profesora utkana su u povijest Fakulteta. To su pojedinci koji su svojim djelovanjem na Fakultetu, ali i u struci, ostavili snažan trag u njegovoj povijesti. Zadaća nam je tu povijest i značaj tih ljudi sačuvati te približiti javnosti. Zavodske su knjižnice te profesorski uredi nepresušan izvor vrijednih materijala kojima Knjižnica kontinuirano dopunjava svoje zbirke velikana tehničkih znanosti, a često i obiteljske ostavštine budu velikodušno darovane Središnjoj knjižnici na brigu. Dosad su u Središnjoj knjižnici oformljene tri takve zbirke: Babić, Lončar te Muljević, a rad na proširenju zbirki i pronalaženju neotkrivenih ostavština se nastavlja.

Vrijedno je istaknuti kao primjer zbirku Muljević. Sadrži 784 naslova, među kojima su mnoga vrijedna dijela struke te djela povijesne važnosti, primjerice:

- *Ferdinand Lassalle und die Arbeiterfrage*, 1848.
- *Georg's Freiherrn von Vega logarithmisch-trigonometrisches Tafeln*, 1856.
- *Elméleti elemi mértan tankönyve*, 1868.
- Netoliczka, Eugen. *Repetitorium der Mathematischen Physik*, 1872.
- Hoüel, J. *Tables de logarithmes a cinq decimales*, 1897.
- Kučera, Oton. *Vrieme*, 1897.



Den Arbeitern Oesterreichs gewidmet!

Ferdinand Lassalle

und die Arbeiterfrage.

Eine übersichtliche Darstellung der Lehren Ferdinand Lassalle's

von

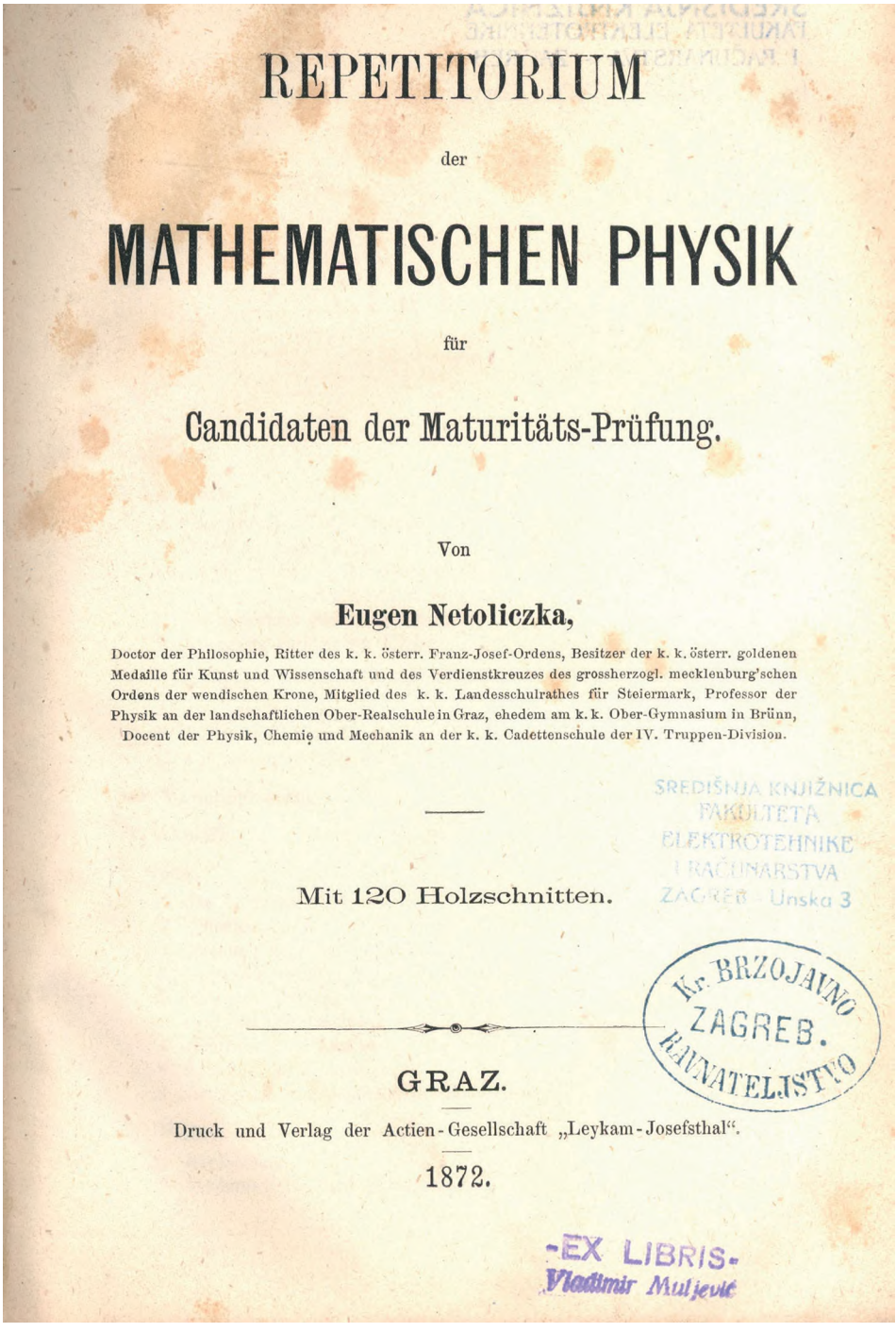
Friedrich Reusche.

Motto: Brecht das Doppeljoch entzwei!
Brecht die Noth der Sklaverei!
Brecht die Sklaverei der Noth!
Brod ist Freiheit, Freiheit — Brod!
Georg Herwegh.

Wien, 1868.

Druck und Verlag von M. Auer,
Neubau, Stiftgasse Nr. 3.

Sl. 6.: *Ferdinand Lassalle und die Arbeiterfrage*, 1848.



REPETITORIUM

der

MATHEMATISCHEN PHYSIK

für

Candidaten der Maturitäts-Prüfung.

Von

Eugen Netoliczka,

Doctor der Philosophie, Ritter des k. k. österr. Franz-Josef-Ordens, Besitzer der k. k. österr. goldenen Medaille für Kunst und Wissenschaft und des Verdienstkreuzes des grossherzogl. mecklenburg'schen Ordens der wendischen Krone, Mitglied des k. k. Landesschulrathes für Steiermark, Professor der Physik an der landschaftlichen Ober-Realschule in Graz, ehedem am k. k. Ober-Gymnasium in Brünn, Docent der Physik, Chemie und Mechanik an der k. k. Cadettenschule der IV. Truppen-Division.

SREDIŠNJA KNJIŽNICA
FAKULTETA
ELEKTROTEHNIKE
I RAČUNARSTVA
ZAGREB - Unska 3

Mit 120 Holzschnitten.

Kr. BRZOJAVNO
ZAGREB.
KNJIŽARA

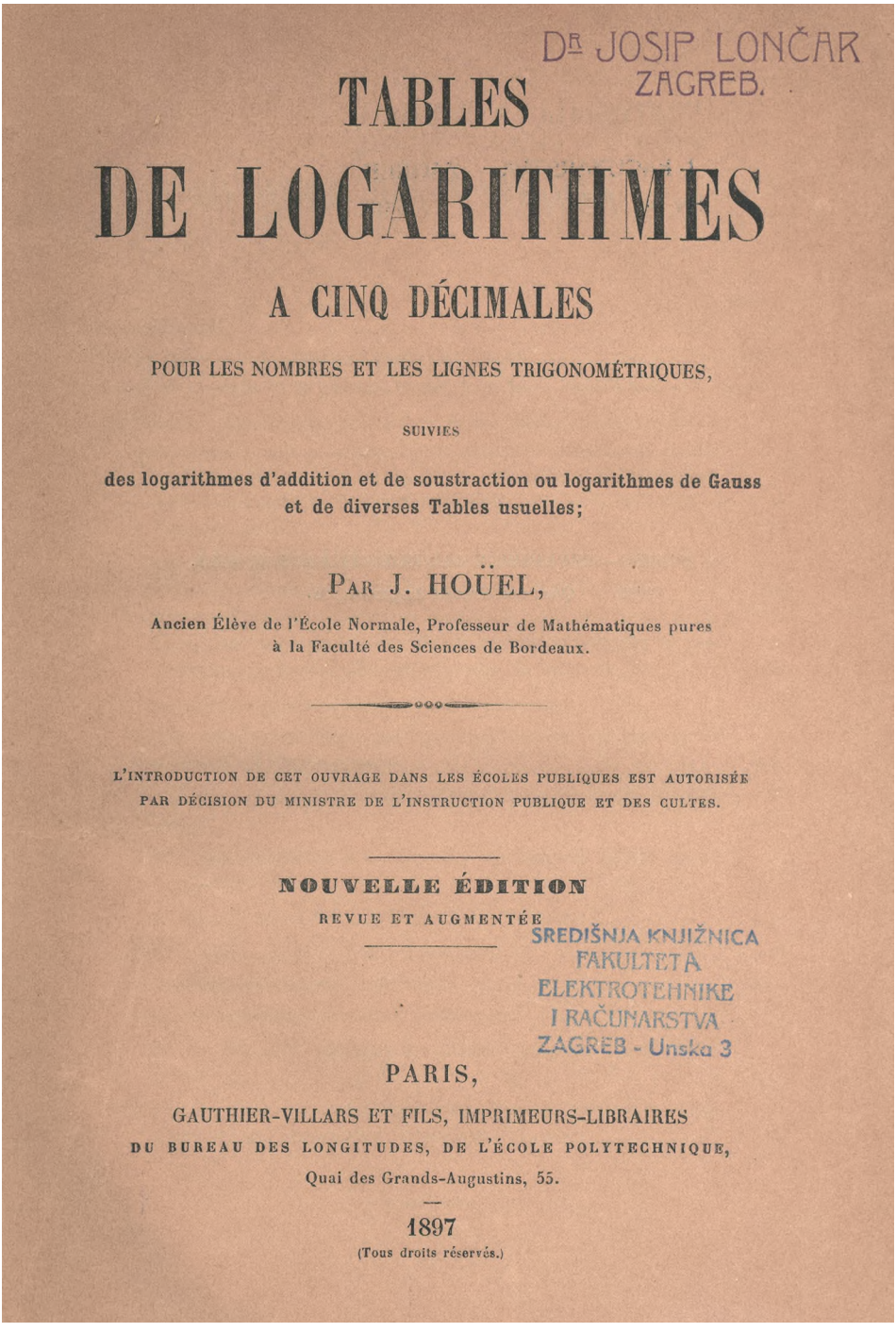
GRAZ.

Druck und Verlag der Actien-Gesellschaft „Leykam-Josefsthal".

1872.

-EX LIBRIS-
Vladimir Muljević

Sl. 7.: Netoliczka, Eugen. *Repetitorium der Mathematischen Physik*, 1872.


Dr JOSIP LONČAR
ZAGREB.

TABLES
DE LOGARITHMES
A CINQ DÉCIMALES

POUR LES NOMBRES ET LES LIGNES TRIGONOMÉTRIQUES,

SUIVIES

des logarithmes d'addition et de soustraction ou logarithmes de Gauss et de diverses Tables usuelles;

PAR J. HOÜEL,

Ancien Élève de l'École Normale, Professeur de Mathématiques pures à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

L'INTRODUCTION DE CET OUVRAGE DANS LES ÉCOLES PUBLIQUES EST AUTORISÉE PAR DÉCISION DU MINISTRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE ET DES CULTES.

NOUVELLE ÉDITION

REVUE ET AUGMENTÉE

SREDIŠNJA KNJIŽNICA
FAKULTETA
ELEKTROTEHNIKE
I RAČUNARSTVA
ZAGREB - Unska 3

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

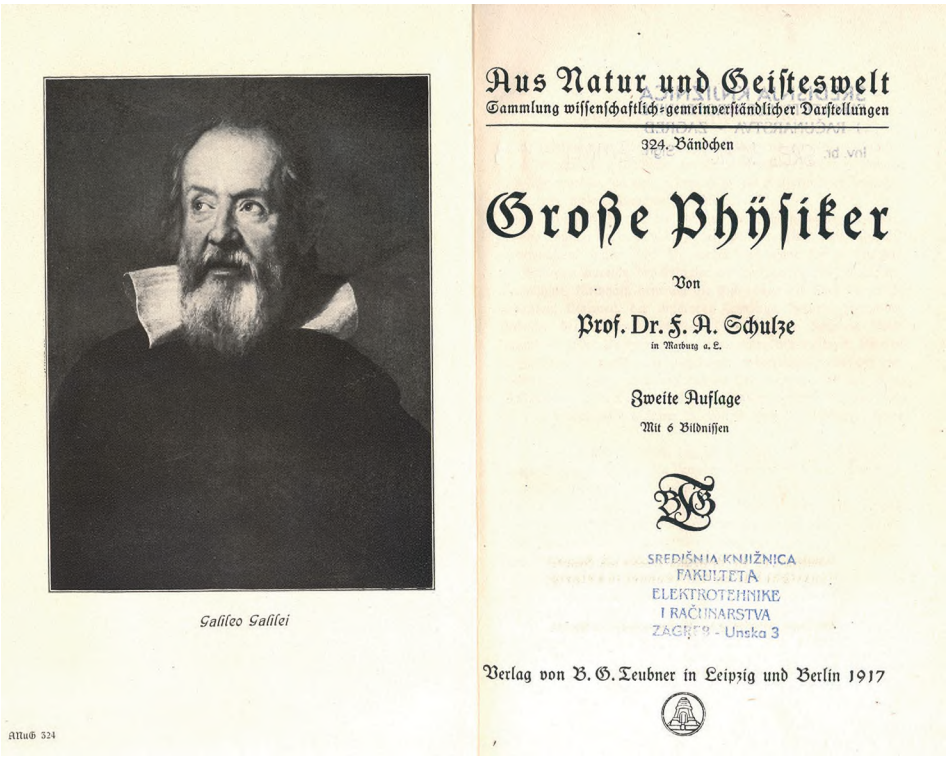
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1897

(Tous droits réservés.)

Sl. 8.: Hoüel, J. *Tables de logarithmes a cinq decimales*, 1897.



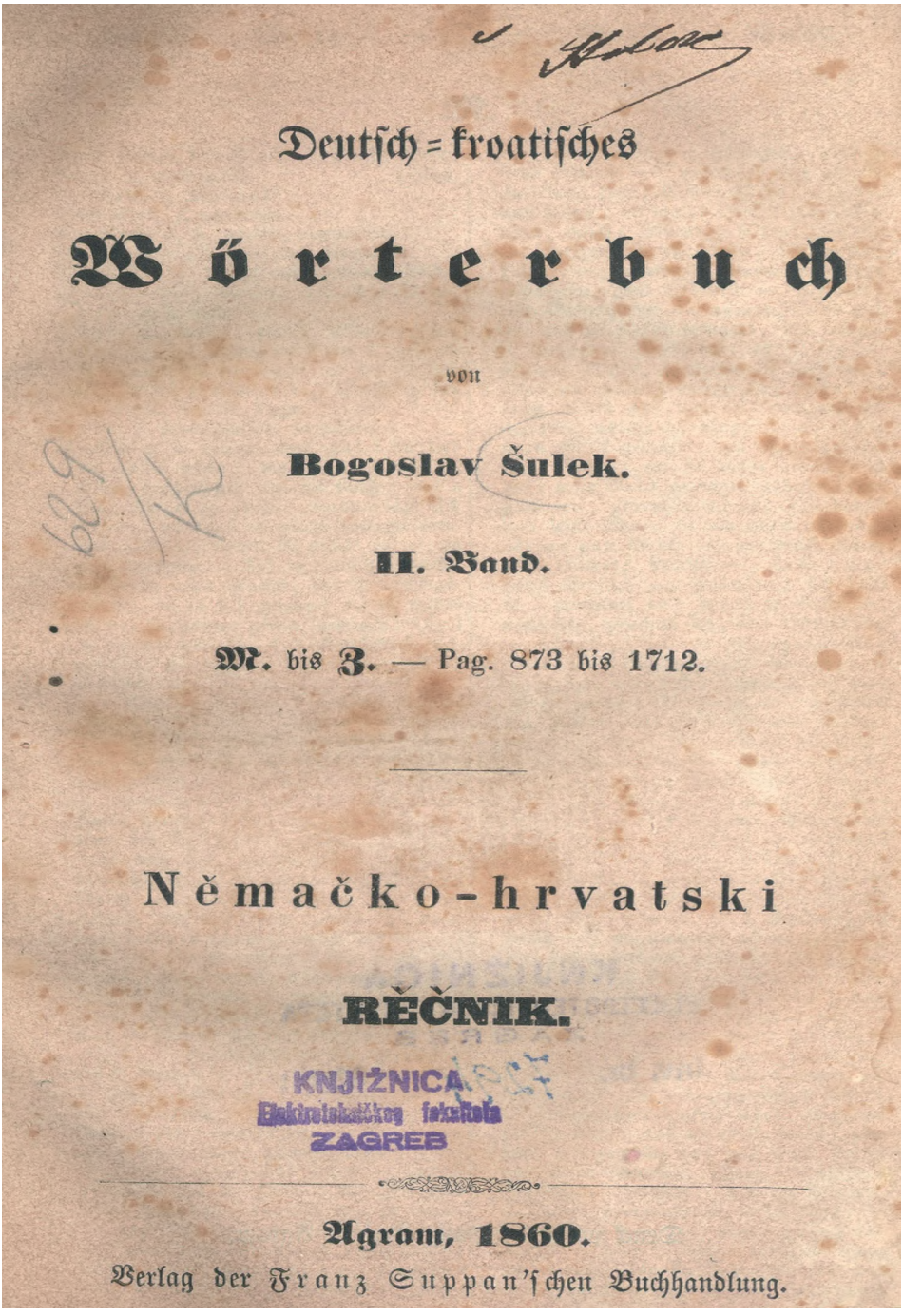
Sl. 9.: F. A. Schulze. *Grosse Physiker*, 1917.

– Borel, Émile. *Die Elemente der Mathematik*, 1908.
– Schulze, F. A. *Grosse Physiker*, 1917.

4.3. Referentna zbirka Središnje knjižnice

Referentna zbirka Središnje knjižnice sadrži 1455 naslova vrlo vrijednih enciklopedija, priručnika i rječnika. Ovdje su izdvojeni samo neki:

– Šulek, Bogoslav. *Deutsch-kroatisches Worterbuch = Němačko-hrvatski rěčnik*, Verlagder Franz Suppan'schen Buchhandlung, 1860.
– Šulek, Bogoslav. *Hrvatsko-njemačko-talijanski rječnik znanstvenog nazivlja*, Narodna tiskara dra. Ljudevita Gaja,1874.
– Fuerst, Artur. *Das Weltreich der Technik*, Verlag Allstein, 1923.
– Ruedenberg, Reinhold. *Elektrische Schaltvorgaenge und verwandte Stoerungserscheinungen in Starkstromanlagen*, Springer Verlag, 1933.
– Freeman, Henry G. *Handbuch fur elektrotechnisches englisch*, Buchverlag W. Girardet − Essen, 1940.


Deutsch = kroatisches

Wörterbuch

von

Bogoslav Šulek.

II. Band.

M. bis Z. — Pag. 873 bis 1712.

Němačko-hrvatski

RĚČNIK.

KNJIŽNICA
Elektrotehničkog fakulteta
ZAGREB

Agram, 1860.

Verlag der Franz Suppan'schen Buchhandlung.

Sl. 10.: Šulek, Bogoslav. *Deutsch-kroatisches Worterbuch = Němačko-hrvatski rěčnik*, Verlag der Franz Suppan'schen Buchhandlung, 1860.

– Croft, Terrell. *American electricians handbook*, McGraw-Hill Book Company, 1942.
– Friedrich, Wilhelm. *Tabellenbuch fuer Elektrotechnik*, Greutzsche Verlagsbuchhandlung, 1942.
– Terman, Frederick Emmons. *Radio engineers' handbook*, McGraw-Hill Publishing Company, 1943.
– Abbot, Arthur L. *National electrical code handbook*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1943.
– *The World Book Encyclopedia*, World Book,Inc., 1944.
– *Handbook of chemistry and physics*, The Chemical Rubber Co., 1946.
– *Electrical engineer reference book*, George Newnes Limited, London, 1948.
– *Handbuch fuer Hochfrequenz −und Elektro-Techniker*, Verlagfur Radio-Foto-Kinotechnik, GmbH, 1949.
– Zeluff, Vin. *Electronics manual for radio engineers*, McGraw-Hill, Inc, 1949.
– Bol'šaja Sovetskaja enciklopedija. *Bol'šaja sovetskaja enciklopedija*, Moskva, 1949. – 1955.

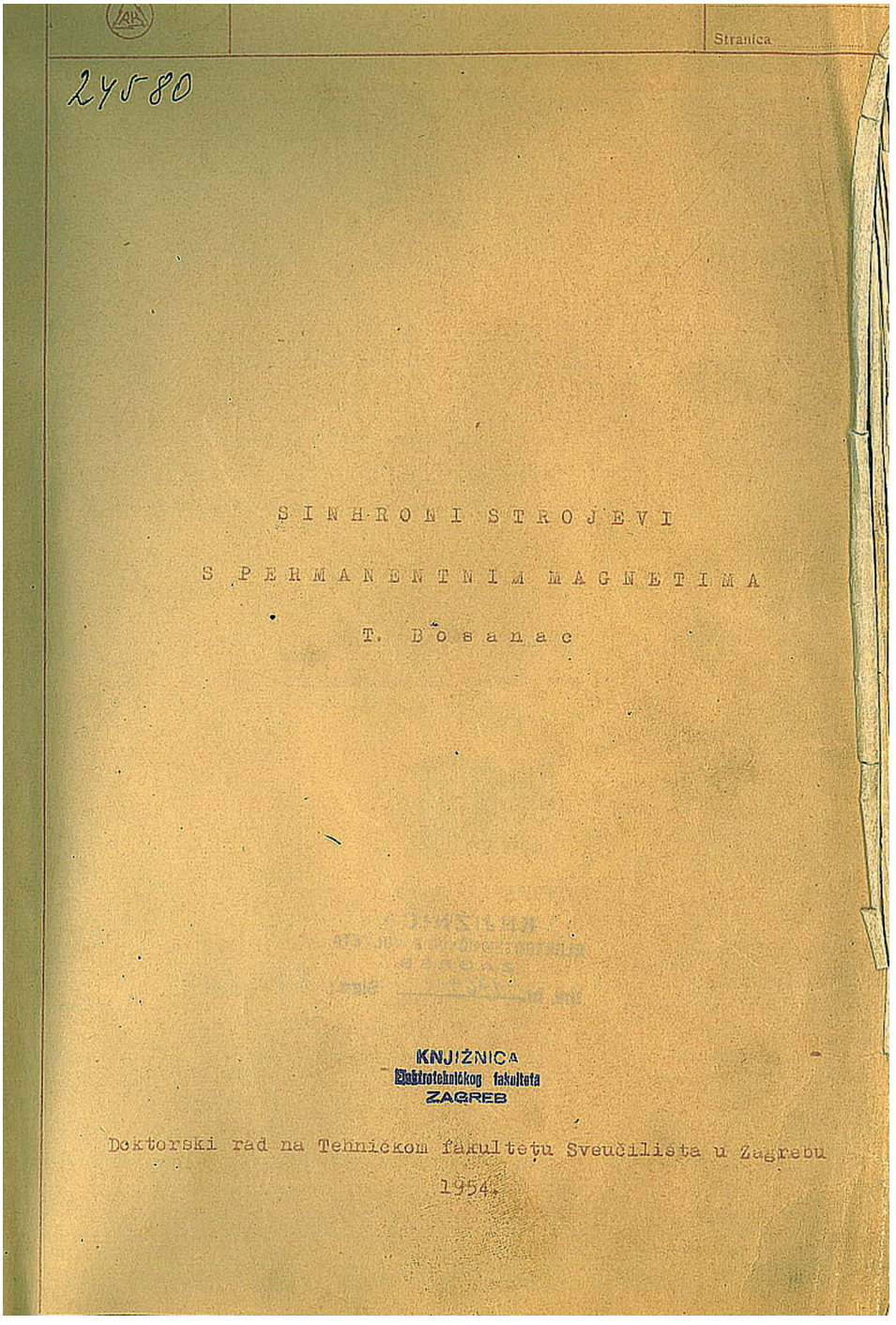
4.4. Zbirka doktorskih disertacija

Središnja knjižnica u skladu s čl. 28. Pravilnika o radu prikuplja ocjenske radove obranjene na Fakultetu te ocjenske radove djelatnika Fakulteta obranjene na drugim visokim učilištima [11]. Ukupno se 3428 doktorskih disertacija nalazi u fondu Središnje knjižnice te one čine vrijednu zbirku u knjižničnom fondu. Doktorske disertacije (kao i tadašnji magistarski radovi), dostavljaju se od 2001. godine Središnjoj knjižnici i u elektroničkom obliku te je dosad 549 doktorskih disertacija i 575 magistarskih radova pohranjeno u elektroničkom obliku na Repozitoriju Fakulteta elektrotehnike i računarstva. Doktorskim disertacijama obranjenim od početka 2020. godine omogućen je i slobodan pristup za sve korisnike. Na taj je način građa osigurana od propadanja, olakšan je pristup građi, povećava se vidljivost doktoranada FER-a, dok su nova znanja i tehnološka rješenja ponuđena u disertacijama trajno pohranjena i osigurana za buduće generacije.

Starije disertacije, one koje datiraju još s Visoke tehničke škole te Elektrotehničkog fakulteta, ugrožena su građa te ih je potrebno u idućim godinama digitalizirati, obraditi i pohraniti na Repozitoriju Fakulteta. U zbirci se nalaze disertacije mnogih znamenitih profesora i znanstvenika Elektrotehničkog fakulteta, bivših dekana i velikana tehničkih znanosti:

– Lončar, Josip. *Historijsko-kritički prikaz postojanja drugoga glavnoga stavka termodinamike*, 1920.

- Blanuša, Danilo. *Jedna vrst integralnih teorema Besselovih funkcija*, 1942.
- Muljević, Vladimir. *Oberwellenerscheinungen bei Käfigankern mit grosser Nutenzahl*, 1944.
- Soukup, Mirko. *Pogon električnih dizala*, 1953.
- Bosanac, Tomo. *Sinhroni strojevi s permanentnim magnetima*, 1954.
- Stefanini, Božidar. *Kružni pogonski dijagrami električnih prijenosnih sistema*, 1954.
- Wolf, Radenko. *Projektiranje jednofaznih asinhronih motora s pomoćnom fazom za zalet*, 1955.
- Požar, Hrvoje. *Izbor veličine izgradnje hidroelektrana*, 1955.
- Ogorelec, Anton. *Ovojni kratki stik pri trifaznem transformatorju*, 1956.
- Matković, Vladimir. *Primjena teorije komunikacija na određivanje entropije hrvatskog jezika*, 1957.
- Jelaković, Tihomil. *Prilozi teoriji negativne reakcije*, 1958.
- Jurković, Berislav. *Prelazne pojave kod direktnog ukopčanja istosmjernih strojeva*, 1959.
- Sedlaček, Miroslav. *Stabilitet staza mikrotrona*, 1960.
- Schwarz, Đuro. *Odnosi fizikalnih veličina dvaju kombinirano vezanih neprigušenih električnih titrajnih sistema bez narinutog napona, kod kontinuirane promjene diferencije faktora vezanja, a uz nepromijenjena razvezana stanja*, 1960.
- Smrkić, Zlatko. *Prilog kvantitativnom vrednovanju kvalitete televizijske slike*, 1961.
- Turk, Stanko. *Vodljiva faza nekih RC-regenerativnih sklopova*, 1962.
- Bego, Vojislav. *Problematika izmjeničnog kompenzatora s elektromagnetskim voltmetrom*, 1965.
- Šantić, Ante. *Primjena parametarskog pojačala u području niskih frekvencija*, 1966.
- Naglić, Vladimir. *Koncentratori s vremenskim multipleksom za digitalni prijenos informacija*, 1968.
- Peruško, Uroš. *Analogno digitalna konverzija s transfluksorima*, 1972.
- Budin, Leo. *Projektiranje sistema s nesigurnim vrijednostima parametara*, 1976.
- Sirotić, Zvonimir. *O izboru izvedbe rotora kod hidrogeneratora graničnih snaga*, 1976.
- Ilić, Ivan. *Rješavanje komutacionih poteškoća istosmjernih strojeva kod naglih promjena tereta*, 1972.
- Tonković, Stanko. *Optimizacija upravljanja protezama i ortezama s pomoću mioelektričkih signala*, 1974.
- Pašalić, Nedžat. *Analiza režima rada i sinteza reguliranih istosmjernih elektromotornih pogona s tranzistorima snage u energetskom krugu*, 1979.



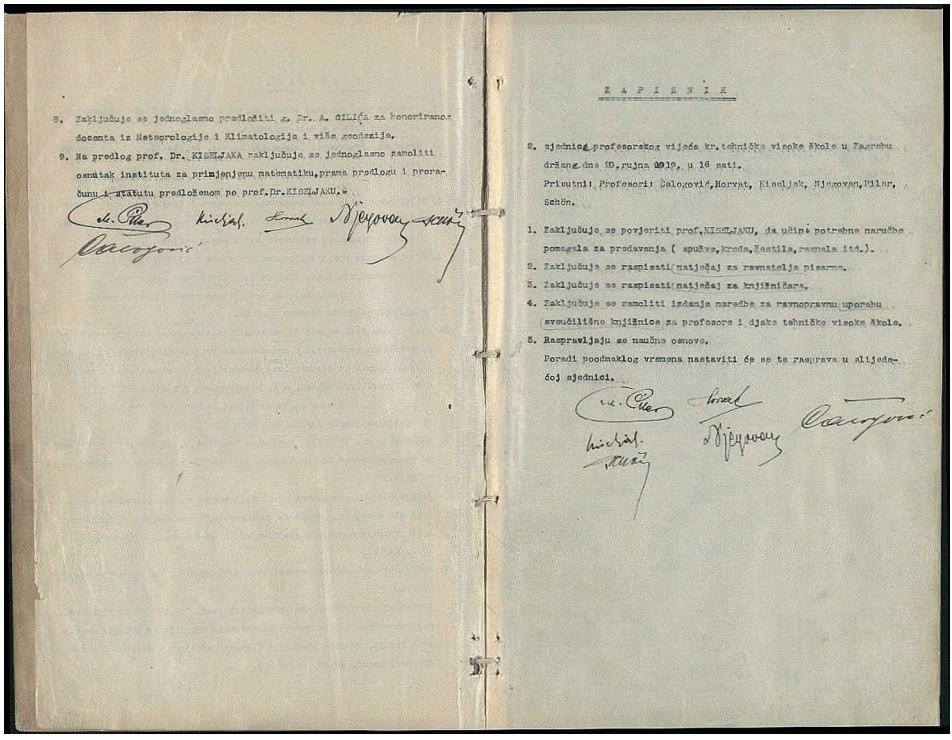
Sl. 11.: Bosanac, Tomo:*Sinhroni strojevi s permanentnim magnetima*, doktorska disertacija, 1954.

– Šodan, Milan. *Utvrđivanje stanja elektroenergetskog sistema na temelju pogonskih mjerenja*, 1980.
– Plohl, Miroslav. *Prilog fundiranju teorije električnih mreža*, 1981.
– Kos, Mladen. *Prilog optimizaciji raspodjele obrade podataka u integriranoj komunikacijskoj mreži*, 1983.
– Krajcar, Slavko. *Algoritmi za interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža*, 1988.
– Perić, Nedjeljko. *Optimalno upravljanje istosmjernim slijednim sistemom primjenom mikroračunala*, 1989.
– Mornar, Vedran. *Algoritmi za neke klase problema rezanja*, 1990.
– Grgić, Mislav. *Pretraživanje slika primjenom prostorno-frekvencijske analize*, 2000.

5. Projekt digitalizacije kulturne baštine tehničkih znanosti

U Središnjoj knjižnici te na Fakultetu davno je osviještena potreba da se sva *Stara i vrijedna građa* zaštiti, a s tim je ciljem počeo i višegodišnji projekt digitalizacije. Građa se sustavno prikuplja, s obzirom na to da je često razmještena po Fakultetu te zavodskim knjižnicama te odabire za digitalizaciju u skladu s financijskim godišnjim planom te mogućnostima. Cilj je digitalizacija kompletne zbirke, a računa se na prikupljanje novootkrivenih vrijednih dijela i dokumenata koji će se s vremenom priključiti zbirci.

Projekt digitalizacije kulturne baštine tehničkih znanosti počeo je 2016. godine. Budući da se arhivska dokumentacija koja svjedoči o djelovanju Visoke tehničke škole čuva na Građevinskom fakultetu u Zagrebu, uz potporu Uprave FER-a, Središnja Knjižnica dogovorila je s Građevinskim fakultetom Sveučilišta u Zagrebu digitalizaciju zapisnika sjednica Tehničkog fakulteta od 1919. do 1956. godine. Dokumenti sadrže približno 4000 stranica teksta, djelomice rukopisa, a dijelom zapisa napisanih pisaćim strojem i odnedavno uvezanih, a sadržana je u Sjedničkim zapisnicima Savjeta i Vijeća Tehničkog fakulteta. Zapisnici su vrijedni izvori podataka koji opisuju i dokumentiraju nastanak Tehničkog fakulteta, kao što su zapisi o formiranju pojedinih laboratorija, odluke o djelovanju Fakulteta, odluke o nastavnim planovima i programima, popisi znanstveno-nastavnog osoblja, zapisi o položaju i značenju tadašnje Knjižnice Tehničkog fakulteta te o korištenoj literaturi itd. Dokumenti također svjedoče o aktivnostima i uključenosti Tehničkog fakulteta u djelovanje znanstveno-nastavnog života Sveučilišta u Zagrebu, ali i u široj društvenoj zajednici. Sve to



8. Zaključuje se jednoglasno predložiti g. Dr. A. GILIĆA za honoriranog docenta iz Meteorologije i Klimatologije i više geodezije.
9. Na predlog prof. Dr. KISELJAKA zaključuje se jednoglasno zamoliti osnutak instituta za primjenjenu matematiku,prama prodlogu i proračunu i statutu predloženom po prof.Dr.KISELJAKU.

Z A P I S N I K

2. sjednice profesorskog vijeća kr.tehničke visoke škole u Zagrebu držane dne 20.rujna 1919, u 16 sati.
Prisutni: Profesori: Čalogović,Horvat, Kiseljak, Njegovan,Pilar, Schön.

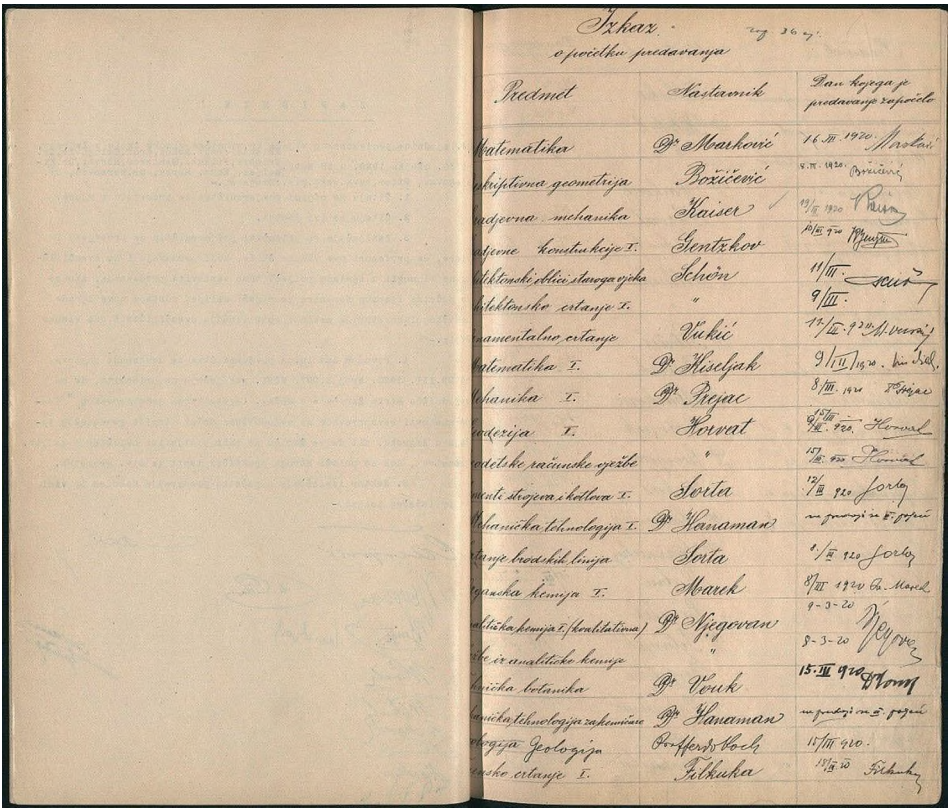
1. Zaključuje se povjeriti prof.KISELJAKU, da učini potrebne naredbe pomagala za predavanja (spužve,krede,kastila,ravnala itd.).
2. Zaključuje se raspisati natječaj za ravnatelja pisarne.
3. Zaključuje se raspisati natječaj za knjižničara.
4. Zaključuje se zamoliti izdanje naredbe za ravnopravnu uporabu sveučilišne knjižnice za profesora i djaka tehničke visoke škole.
5. Raspravljaju se naučne osnove.
Poradi poodmaklog vremena nastaviti će se ta rasprava u slijedećoj sjednici.

Sl. 12.: Primjer zapisnika Profesorskog vijeća Više tehničke škole iz 1919. godine

znači da ta arhivska dokumentacija čini neizostavnu početnu točku za svako istraživanje o razvoju tehničkih znanosti na ovim prostorima [13].

Prvi i najznačajniji cilj projekta digitalizacije te građe bio je da se sadržaj dokumenata učini dostupnijim zainteresiranim korisnicima i istraživačima jer se izvorni dokumenti nalaze na Građevinskom fakultetu i svako njihovo korištenje zahtijeva poseban pisani zahtjev Fakultetu kako bi se dobilo dopuštenje, a i tad se mogu koristiti samo u prostoru Fakulteta i u određeno vrijeme. Osim toga, dokumenti trenutačno nisu sadržajno obrađeni, tako da ne postoji nikakav način jednostavnog pretraživanja. S obzirom na to da je riječ o približno 4000 stranica arhivske građe, to je otežavajuća okolnost za svako istraživanje [13].

Drugi je cilj projekta zaštita same arhivske građe. Budući da je riječ o papirnatim dokumentima, od kojih su neki stari gotovo stotinu godina, jasno je da je posrijedi iznimno krhka i osjetljiva građa. Zbog toga je rukovanje njima otežano, a pri kopiranju se oštećuju i moglo bi doći do njihova trajnog uništenja i gubitka. Digitalizacija je omogućila pregledavanje tih dokumenata bez potrebe za rukovanjem originalima, što znatno pridonosi njihovoj zaštiti, a i pruža određeni oblik sigurnosne kopije u slučaju oštećenja originala [13].



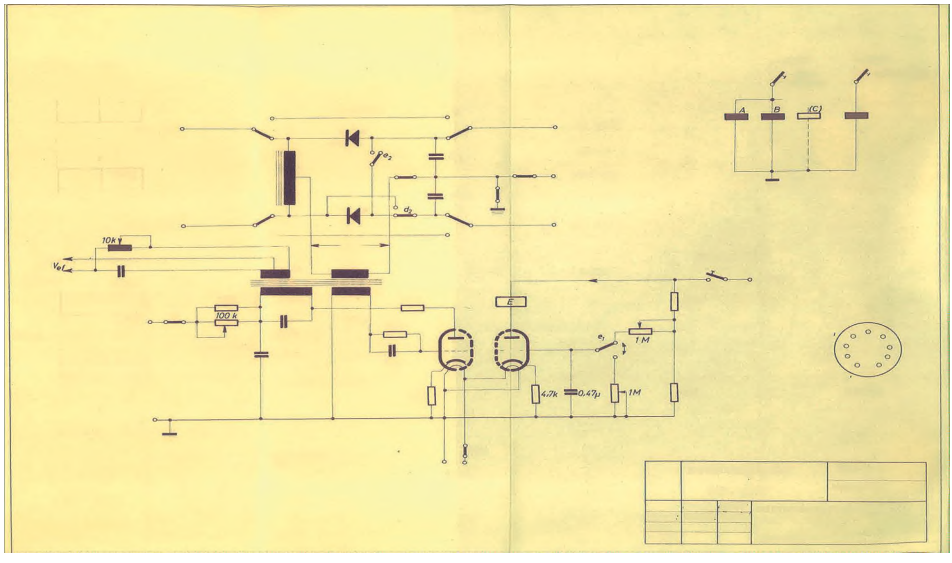
Sl. 13.: Iskaz o početku predavanja iz 1920. godine

Istodobno je FER sklopio ugovor s tvrtkom ArhivPRO d.o.o., kako bi digitalizirani zapisnici bili pohranjeni i obrađeni na platformi Indigo. U tom su razdoblju digitalizirani zapisnici i obrađeni u smislu unošenja metapodataka te pretipkavanja nečitljivih dijelova teksta.

Dio projekta koji je zahtijevao najviše vremena i napora bilo je upravo indeksiranje i dodjeljivanje metapodataka skeniranim dokumentima. Iako je obavljena OCR analiza skeniranih slika i napravljen prijenos slike u tekst u pozadini svake slike, zbog prirode originalnih dokumenata (vidljivost i čistoća teksta pisanog pisaćim strojem, dijelovi teksta pisani rukom, arhaični vokabular), bilo je nemoguće dobiti zadovoljavajuću točnost automatskim putem. Zbog toga je već sad moguće pretraživati skenove dokumenata, ali preciznost pretraživanja trenutačno nije zadovoljavajuća. Da bi pretraživanje dokumenata bilo što preciznije i davalo što relevantnije rezultate, tekstovi su se ručno prepisivali i unosili, a kod zastarjelih izraza dodavani su za potrebe pretraživanja suvremeni sinonimi. Sam postupak zahtijeva veliku pažnju i preciznost te je stoga spor i dugotrajan [13].

Središnja knjižnica ide od 2018. korak dalje s razvojem projekta digitalizacije. Naime, nastavlja se digitalizacija ugrožene i vrijedne građe koja predstavlja baštinu ETF-a, FER-a, tehničkih znanosti Sveučilišta u Zagrebu. Od 2018. pa sve do danas digitalizirana je sljedeća građa:

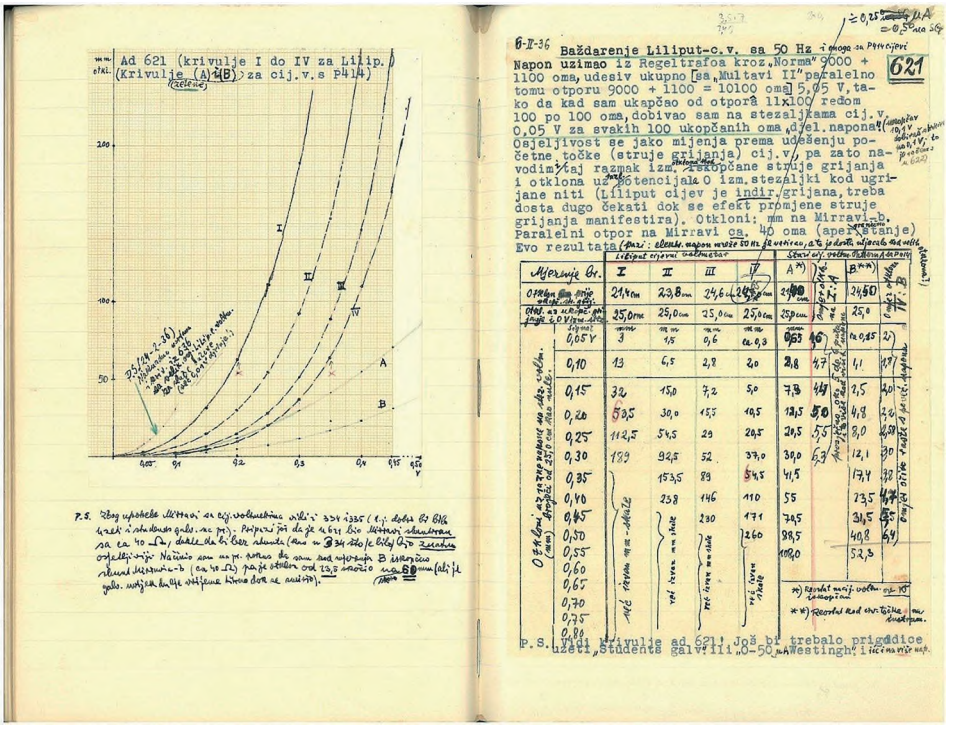
- Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu (1912. − 1914.)
- Sveučilištne oblasti i red predavanja u Hrvatskom Sveučilištu/Tehničkom fakultetu/Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (1943. – 2011.)
- Izvještaj o radu Elektrotehničkog fakulteta (1955. – 1981.)
- Laboratorijski dnevnik Josipa Lončara (1933. – 1954.)
- Dokumenti iz privatnog života Josipa Lončara
- Rukopisi djela Ante Šantića koja svjedoče utemeljenju i razvoju biomedicinske tehnike u Hrvatskoj: Biomedicinska elektronika, Telemetrija, Elektronička instrumentacija, Elektroencefalograf (1964.), Niskofrekventno parametarsko pretpojačalo (1964.), Mjerač vremena (1959.), Reoencefalograf (1969.), Tranzistorski pretvarač za visoki napon od 16 kV (1960.), Petkanalni telemetrijski sistem (Šantić; Stare, 1978.), Aparatura za mjerenje tjemenih vrijednosti visokog napona, Selektivno pojačalo za mjerilo koncentracije CO (Šantić; Mijat)
- Doktorske disertacije velikana tehničkih znanosti: Danilo Blanuša (1942.), Vladimir Muljević (1944.), Tomo Bosanac (1954.), Radenko Wolf (1955.)
- Miroslav Plohl: rukopis djela Jaka struja (1927.), skripta Akumulatori (1931.), rukopis predavanja (1934.)



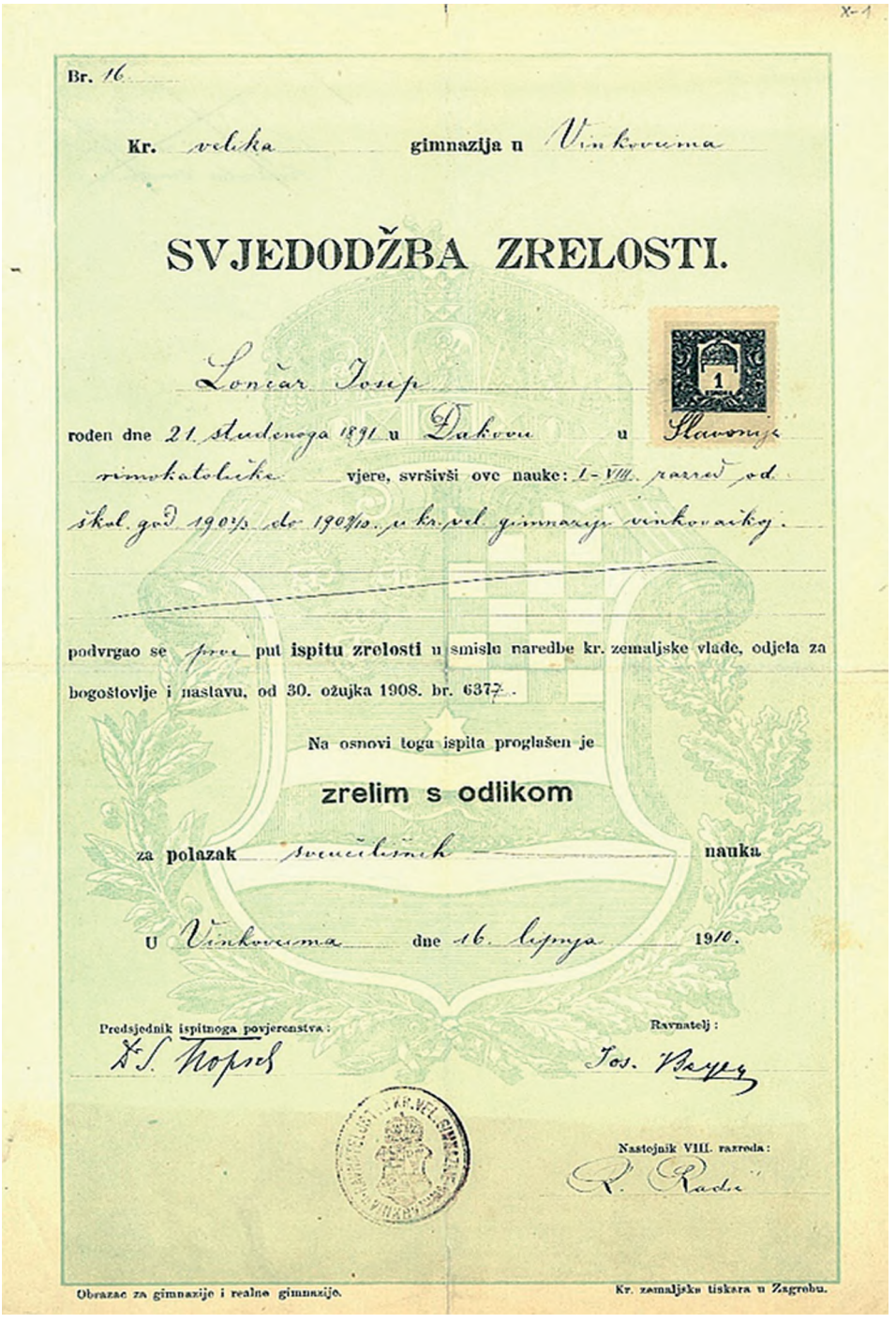
Slika 14. Ante Šantić, Sinhrodemodulator i oscilator



Sl. 15.: Josip Lončar u Beču



Sl. 16.: Laboratorijski dnevnik Josipa Lončara



Br. 16

Kr. velika gimnazija u Vinkovcima

SVJEDODŽBA ZRELOSTI.

Lončar Josip

roden dne 21. studenoga 1891. u Đakovu u Slavoniji

rimokatoličke vjere, svršivši ove nauke: I.–VIII. razred od

škol. god. 1902/3. do 1909/10. u kr. vel. gimnaziji vinkovačkoj.

podvrgao se prvi put **ispitu zrelosti** u smislu naredbe kr. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 30. ožujka 1908. br. 6377.

Na osnovi toga ispita proglašen je

zrelim s odlikom

za **polazak** učiteljski nauka.

U Vinkovcima dne 16. lipnja 1910.

Predsjednik ispitnoga povjerenstva:

Ravnatelj:

Nastojnik VIII. razreda:

Obrazac za gimnazije i realne gimnazije. Kr. zemaljska tiskara u Zagrebu.

Sl. 17.: Josip Lončar, Svjedodžba zrelosti, 1910. godina

Samo kao primjer digitalizirane građe valja izdvojiti Laboratorijski dnevnik Josipa Lončara iz 1933. godine, koji sadrži 18 svezaka s više od 2500 stranica. U Dnevnik je profesor Lončar upisao 1205 bilježaka, gotovo o svim pokusima koje je napravio u svojem laboratoriju. Zapisani su i opisi, numerički podaci, sheme aparatura i uređaja, dijagrami, grafički prikazi rezultata, fotografije, a dakako i komentari o tijeku pokusa te rezultata. Tu se nalaze i mnoge druge zabilješke u vezi s laboratorijskim radom Josipa Lončara, a donekle i s nastavom na Fakultetu [14].

Zaključak

Središnja knjižnica FER-a od svojih početaka prikuplja i čuva mnoga vrijedna djela te dokumentaciju koja svjedoči nastanku i razvoju Fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu, kao i tehničkih znanosti u Hrvatskoj. Njegujući i dalje tradiciju očuvanja temelja tehničkih znanosti, mrežno dostupnom digitalnom zbirkom bit će olakšan pristup građi, što će uvelike pridonijeti njezinoj dostupnosti, kao i popularizaciji tehničkih znanosti u Hrvatskoj.

Projekt digitalizacije kulturne baštine tehničkih znanosti temelj je za stvaranje buduće digitalne knjižnice Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Cilj je stvoriti virtualnu knjižnicu koja bi bila dostupna javnosti te koja bi uz funkcionalnosti poput OCR pretraživanja tekstova olakšala korištenje, istraživački rad u području povijesti znanosti te približila građu javnosti. Uz kontinuirano obogaćivanje zbirke novim vrijednim djelima, virtualne izložbe i slično, u planu je i suradnja sa Sveučilištem u Zagrebu te njegovim ostalim sastavnicama, kao i priključivanje važnim digitalizacijskim projektima poput *Znameniti* i *Topoteka Sveučilišta u Zagrebu*.

Literatura

[1] *Godišnjak Sveučilišta Kraljevine Jugoslavije u Zagrebu za školske godine ... =* [*Rapport annuel de l'Universite royale Yougoslave de Zagreb pour les années scolarires ...*].1924./25. −1928./29. Zagreb: Sveučilište Kraljevine Jugoslavije, 1929.

[2] H. Požar, B. Zovko-Cihlar, and D. Koračin, Eds., *Spomenica 1919. − 1969: 50 godina studija elektrotehnike u Hrvatskoj*. Zagreb: Elektrotehnički fakultet − Zagreb, 1969.

[3] M. Pavunić, *Struktura i djelovanje knjižnice Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, 1966.

[4] Povijest Sveučilišta u Zagrebu, 2016. [Online]. Available: http://www.unizg.hr/o-sveucilistu/sveuciliste-jucer-danas-sutra/povijest-sveucilista/.

[5] B. Franković, Sto pedeset godina visokog tehničkog obrazovanja u Hrvatskoj, vol. 51, no. 6, p. 528, 2009.

[6] V. Naglić, *Spomenica: 40. obljetnica Fakulteta elektrotehnike i računarstva: 1956. − 1996*. Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1996.

[7] Projekti − Fakultet elektrotehnike i računarstva. [Online]. Available: https://www.fer.unizg.hr/istrazivanje/projekti. [Accessed: 09-Jul-2020].

[8] G. Gledec, N. Mišković, M. Vranić i M. Vražić, *Strategija razvoja*: *2019. − 2023*., Zagreb, 2018.

[9] Hrvatsko knjižničarsko društvo : Stručna tijela − Komisija za tehničke knjižnice − Uvod. [Online]. Available: https://www.hkdrustvo.hr/hr/strucna_tijela/15/uvod/. [Accessed: 17-Jul-2020].

[10] Središnja knjižnica − Fakultet elektrotehnike i računarstva. [Online]. Available: https://www.fer.unizg.hr/zivot_na_fer-u/sredisnja_knjiznica. [Accessed: 17-Jul-2020].

[11] Pravilnik o radu središnje knjižnice. Hrvatska, 2016.

[12] M. Pavunić, Popis časopisa Centralne i zavodskih knjižnica, Zagreb, 1965.

[13] M. Tucaković and J. Lisek, ArTeFact – Digitization of Archives of Technical Faculty from the Period 1919 – 1956, in *MIPRO 2017 40th Jubilee International Convention*, 2017.

[14] A. J. Lončar, N. Hrvatske, and V. Muljević, Akademik Josip Lončar, nestor hrvatske elektrotehnike, pp. 203–214, 1993.

Preservation of FER archives and cultural heritage

Branka Marijanović, Marko Tucaković

Abstract: The paper presents the history of the Royal Technical College and the Central Library of the University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing, with a special emphasis on the Faculty's heritage which testifies to the history and development of technical sciences at the University of Zagreb. The authors present the Cultural Heritage of Technical Sciences Digitization Project, which has been initiated by the FER Central Library in 2016. While the primary objective of the Project is to preserve the documents as a cultural asset of the Faculty, by digitizing valuable historic materials and making them available online the Project also brings FER's cultural heritage closer to the scientific and research community.

Keywords: Royal Technical College, FER, FER Central Library, history of technical sciences, Cultural Heritage of Technical Sciences Digitization Project

Dubravko Rogale, Darko Lukša, Željko Knezić, Siniša Fajt

Osciloskopi u fundusu Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme

Sažetak: Opisana je skupina osciloskopa u fundusu Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme. Zbirka je nastajala zadnjih 50 godina i ima više od 1700 izložaka, artefakata primijenjene tehnike u Hrvatskoj. Najznačajnije za zbirku je da su izlošci izravno tematski vezan uz prostor Hrvatske. Mjeriteljski izlošci korišteni su u sveučilišnoj i srednjoškolskoj nastavi, institutima i tvornicama. Dio osciloskopa ili dijelova osciloskopa proizveden je u hrvatskim tvornicama. Osciloskopi su posebno zastupljeni u zbirci s obzirom na njihov značaj u hrvatskoj znanosti, razvoju i proizvodnji elektroničkih sklopova i uređaja, obrazovanju i nastavi, servisima proizvoda ili pak za hobističke potrebe samoobrazovanja. Osciloskopi koji su pronađeni u Hrvatskoj upućuju na izrazitu tehničku kulturu primjene ondašnje tehnike i razvojno stvaralaštvo naših ljudi. Na pojedinim primjerima izložaka osciloskopa prikazan je manje poznat dio naše impresivne tehničke povijesti.

Ključne riječi: hrvatska tehnička baština, osciloskopi, artefakti mjerne i komunikacijske tehnike, povijest i filozofija tehnike

Uvod

Prva, a koliko je poznato i zasad najveća, Prva hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, javnosti je predstavljena tek u zadnjih nekoliko godina. U tom smislu napravljena je još uvijek eksperimentalna mrežna stranica na adresi web.hamradio.hr/9a9dr/ gdje se zbirka može pogledati [1]. Spomenuta stranica u stalnom je nastajanju i širenju. Publicirani su i prvi tiskani materijali koji govore o zbirci [2-4], a u idućem razdoblju zacijelo će se pronaći i drugi načini promocije zbirke zainteresiranoj stručnoj javnosti.

Zbirka je nastajala gotovo pola stoljeća i danas sadrži više od 1700 izložaka. Prikupljeni izlošci imaju zajedničko obilježje da su se koristili i nalazili na

području Republike Hrvatske. Sačuvani od zaborava, istinski su artefakti tehničkog stvaranja i primjene ondašnjih tehnički vrhunskih uređaja u Hrvatskoj. Zbirka je većim dijelom nastajala donacijama brojnih zaljubljenika i poštovatelja tehničkog stvaralaštva i ingenioznosti, ali i privatnim otkupom uređaja s različitih sajmova ili iz novinskih i internetskih oglasnika. Mnogi kupljeni ili donirani uređaji bili su u tehnički neispravnom stanju, električki, elektronički i mehanički nefunkcionalni, nekompletni ili fizički oštećeni, vrlo često bez ikakve tehničke popratne dokumentacije. Stoga se ulaže velik napor, materijalna i novčana sredstva u njihov popravak i obnovu kako bi se doveli u ispravno stanje i osiguralo njihovo kvalitetno čuvanje.

Osciloskopi u fundusu zbirke važan su dio i po broju izložaka i po njihovoj važnosti za znanstvena istraživanja, proizvodne, edukacijske i servisne svrhe. Jedan su od materijalnih dokaza bogate hrvatske tehničke baštine koju valja isticati i kojom se trebamo ponositi. Za zbirku je važno da čuvani osciloskopi budu u dobrom estetskom stanju, kompletni s aspekta vanjskog izgleda i unutarnjeg ustroja te da budu električki, elektronički i funkcionalno ispravni. Da bi se sagledala izvornost vanjskog oblika, cjelovitost unutarnjeg ustroja, radna funkcionalnost i mjerni parametri potrebna je dokumentacija koju je vrlo teško pronaći. Zahvaljujući internetskim stranicama moguće je pronaći besplatnu dokumentaciju za dio osciloskopa strane proizvodnje, no i tu ljudska gramzivost ograničava dostupnost nekim podacima tražeći novčanu naknadu za njih. S obzirom na velik broj osciloskopa i drugih artefakata, to i nije mali iznos novca koji treba namiriti. Za neke strane osciloskope ne postoji baš nikakva dostupna tehnička dokumentacija, a za neke osciloskope hrvatske proizvodnje gotov ju je nemoguće pribaviti. Stoga se valja osloniti na stručna znanja i iskustva koja autori članka posjeduju baveći se godinama restauracijom uređaja ili u razgovorima sa starijim konstruktorima i stručnjacima kojih je, tijekom godina, nažalost sve manje.

Osciloskopi su vrlo složeni elektronički uređaji. Sadrže brojne sklopove koji za ispravan rad zahtijevaju ispravne komponente sklopovlja. S obzirom na starost artefakata, česti su problemi promjene električkih vrijednosti otpornika, kondenzatora i elektronskih cijevi nastale starenjem, a mogu biti tako velike da više ne mogu osigurati ispravan rad sklopova.

Osim promjena vrijednosti komponenti prouzročenih starenjem, nije rijedak slučaj prekid u otpornicima, proboj u kondenzatorima zbog lošeg dielektrika, prekid žarenja u elektronkama, kratki spoj među elektrodama, gubitak vakuuma u njima ili smanjena emisija katode. Gotovo je redovita pojava gubitak kapaciteta elektrolitskih kondenzatora ili proboj nekadašnjih papirnatih kondenzatora.

Stari su uređaji često bili neadekvatno čuvani, godinama u nekom vlažnom podrumu, pomoćnom spremištu, ostavi ili potkrovlju te ih je ozbiljno načela

korozija kućišta, kontakata sklopki, releja i preklopnika, a nerijetko i izolacijskih slojeva mrežnih transformatora.

Sve spomenuto stvara velike probleme pri restauraciji i popravku starih artefakata. Vrlo su česte kombinacije spomenutih problema pa je stoga teško proniknuti u razloge neispravnosti. Ako se neispravnost i detektira, novi problem nastaje pri nabavi zamjenskih komponenti. Mnogih građevnih komponenti starih uređaja više nema ni u proizvodnji ni u prodaji. Suvremena elektronika temeljena je na malim komponentama malih snaga i niskih napona. Gotovo je nemoguće naći otpornike većih snaga za starije uređaje, a kad od mladih prodavača u trgovinama elektroničkih komponenti zatražite otpornike snage dva ili više vata, oni vam u čudu odgovore da ima otpornika od četvrtine ili osmine vata ili još manje SMD komponente, oprezno vas gledajući što to s vama nije u redu. Gotovo je nemoguće nabaviti kondenzatore s aksijalnim izvodima jer se danas proizvode gotovo isključivo oni s radijalnim izvodima, namijenjeni tiskanim pločicama, tako da je i zamjena neispravnih komponenti povezana s estetikom starih gradbenih komponenti sklopovlja. S obzirom na suvremenu poluvodičku tehniku napajanu, gotovo u pravilu, niskim naponima, teško je pronaći i kondenzatore s visokim radnim i probojnim naponima, a kad se i pronađu njihova je cijena visoka. Elektronske cijevi praktički se više ne proizvode, osim nekoliko vrsta namijenjenih audiofilima, no i one su od "egzotičnih" proizvođača i upitne kvalitete. Preostaje kupovina preko interneta, koja je nesigurna i skupa, ili oslonac na nekoliko preostalih živućih ljubitelja tehnike koji ljubomorno čuvaju svoje zalihe starih komponenti.

Iz ovog kratkog opisa razvidno je koliko je teško doći do starog i zanimljivog artefakta hrvatske tehničke povijesti i baštine, a koliko je potom potrebno znanja, volje, napora, vještine, prostora, alata, instrumenata, vremena i novca da se samo jedan izložak iz kolekcije dovede u vizualno prihvatljivo stanje i da se obnovi kako bi ponovno ispravno funkcionirao. Potpuno je jasno da iza skupljanja starih hrvatskih tehničkih artefakata mora stajati iznimna ljubav, svijest, materijalno i vremensko odricanje.

1. Osciloskopi hrvatske proizvodnje

Utvrđena je stručnoj javnosti razmjerno slabo poznata, a vrlo zanimljiva, činjenica da je naša vrhunska tvornica Radioindustrija Zagreb, mnogima poznatija kao RIZ, po brojnim proizvodima i svojim blistavim razvojnim postignućima izrađivala i složene mjerne uređaje potrebne za razvoj i proizvodnju uređaja, pa tako i uređaje poput osciloskopa.

Cijevni osciloskop Radioindustrije Zagreb, oznake OS-155, proizveden 1955. godine prikazan je na slici 1. Ta vrsta osciloskopa bila je prilično



Sl. 1.: Osciloskop zagrebačke tvornice RIZ oznake OS-155, proizveden 1955. godine

zastupljena u nas pa se i u fundusu Zbirke nalazi nekoliko primjeraka. Osciloskopi su rađeni vrlo solidno, postignute su vrlo male dimenzije uređaja vještom ugradnjom sastavnih komponenti tako da je svaki djelić prostora u njemu racionalno iskorišten. Građen je od vrlo kvalitetnih komponenti tako da velik broj primjeraka i danas ispravno radi. Osciloskop nije bio zamišljen za neka složenija mjerenja, nego samo za promatranje valnih oblika pa nije imao složenije i umjerene atenuatore, a ni graduaciju skala na prednjoj ploči. Korištene su elektronske cijevi tvrtke Philips serije E80 i cijevi tvornice RR zavodi Niš, kasnije poznatije kao EI Niš. Zanimljivo je da te cijevi nakon toliko vremena nisu izgubile vakuum niti im je oslabjela katodna emisija.

Na prednjoj ploči osciloskopa nije bilo jasno naznačeno da je to proizvod RIZ-a, nego je o tome svjedočila samo mala okrugla emajlirana značka s logotipom tvornice, koja je bila smještena neposredno iznad zaslona katodne cijevi. Isto tako, nije bilo oznake tipa osciloskopa.

RIZ-ovi su konstruktori tad izveli pomak slike katodne zrake na zaslonu cijevi promjera 65 mm s pomoću trimer potenciometara i odvijača, što nije bilo posebno dobro rješenje s obzirom da su nestabilnosti mrežnog napona prouzročile oscilacije položaja slike valnog oblika. Ubrzo je taj nedostatak uklonjen pa su se na osciloskopu Radioindustrije Zagreb oznake OS-157A iz 1957. godine ispod zaslona katodne cijevi pojavila dva manja gumba pa je pomak slike



Sl. 2.: Osciloskop tvornice RIZ oznake OS-157A, proizveden 1957. godine

izveden konvencionalnim potenciometrima. Pritom ostale funkcije i izgled nisu mijenjani, slika 2. Nije poznato je li sklopovlje također poboljšavano, ali prema vizualnoj procjeni vjerojatno nije.

Razvoj i proizvodnja osciloskopa nastavljeni su pa se veći i znatno bolji uređaj Radioindustrije Zagreb, oznake OS-258, pojavio već iduće, 1958. godine, slika 3. To je bio znatno veći, složeniji i bolji osciloskop od svojih prethodnika. RIZ-ovi su stručnjaci tad s ponosom istaknuli oznaku osciloskopa, logotip tvornice i puni naziv Radioindustrija Zagreb. Osciloskop je bio namijenjen ozbiljnijim mjerenjima, imao je graduirani atenuator i vremensku bazu. Osciloskop je imao vremensku bazu koja je mogla generirati pilasti napon do 2 MHz, za razliku od svojih prethodnika koji su radili do 100 kHz. Nije poznato je li RIZ dalje razvijao svoju liniju osciloskopa. Postoji mogućnost da su se inženjeri posvetili razvoju drugih proizvoda, a kvalitetni osciloskopi nabavljani su iz zapadnih zemalja, kojima se tadašnja država polako otvarala.

O razvoju, karakteristikama i proizvodnji osciloskopa u Tvornici računskih strojeva najbolje svjedoči tekst iz pera njezina tadašnjeg zaposlenika mr. sc. Darka Lukše, koji je sudjelovao u postupku razvoja i proizvodnje:

"Tvornica računskih strojeva – Zagreb (TRS) bila je od 1945. pa sve do 1990. godine istaknuti proizvođač računalne opreme u bivšoj državi, Jugoslaviji. Kraj sedamdesetih i cijelo razdoblje osamdesetih godina prošlog stoljeća karakteriziralo je u TRS-u intenzivan razvoj elektroničke računalne opreme.



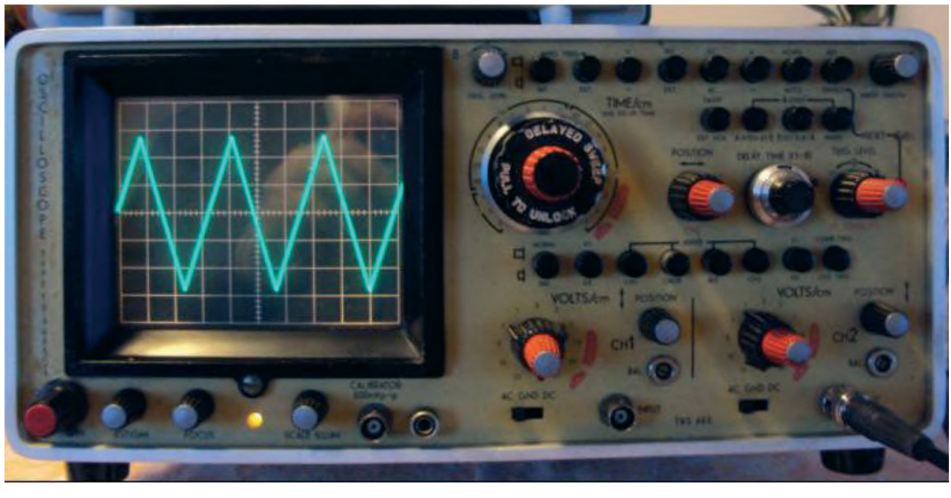
Sl. 3.: RIZ-ov osciloskop oznake OS-258 proizveden 1958. godine

Problemi sa kojima smo se izrazito suočavali bila je teško nabavljiva i 'ustvari' skupa mjerna oprema. Na ondašnjem domaćem tržištu postojala su dva proizvođača RIZ i ISKRA koji su imali u potpunosti vlastitu proizvodnju. Pored njih bilo je i nekoliko dobavljača koji su se predstavljali kao proizvođači, a u stvari su bili uvoznici stranih renomiranih i manje renomiranih svjetskih proizvođača mjerne opreme. S obzirom da je TRS bio gotovo 90-postotni proizvođač na bazi vlastitih snaga razvoja i proizvodnje, mjerna oprema u razvoju i proizvodnji bila je izrazit problem. Kako je to političko vrijeme dvaju ideološki svjetski sukobljenih blokova, nabava tzv. zapadne opreme bila je izrazito otežana, a i skupa. Kako smo mi dijelom bili na ovoj tzv. istočnoj strani, mogućnost suradnje sa zemljama tzv. istočnog bloka bila je lakša a tada i veoma poželjna. Rezultat toga bila je, kako je to u ono vrijeme bilo uobičajeno, prvo politički odobrena i potaknuta, a onda i realizirana stručna suradnja s državom Mađarskom, odnosno s tvornicom Elektronikus Mérökészülélek Gyára (EMG). Prvi korak je bio da je u TRS došlo nekoliko mjernih uređaja i to OSCILOSKOP TR-4655, OSCILOSKOP TR-4655 / 2, PULSE GENERATOR TR-0361 i SIGNAL GENERATOR TR-0507. Najkorisniji uređaji su se pokazali osciloskopi koji su odmah uvedeni u odjel razvoja, u proizvodne pogone i u servis. Dolaskom kupaca i

kooperanata u TRS odmah je uočena i nova oprema, pa se pojavio interes i za te osciloskope. Kako je TRS u to vrijeme imao kadrovske i materijalne resurse za razvoj i proizvodnju elektronike, a i fino-mehaničkih 'pozicija' razmatrala se mogućnost, a i odmah potom se krenulo prema usvajanju proizvodnje. U prvom koraku uvezeni su gotovi uređaji, a zatim je ovladano sa sklapanjem na modularnom nivou. Paralelno s tim radnjama u potpunosti je ovladano sa servisom i baždarenjem, što su kupci izrazito cijenili jer je rok servisa bio kratak i kvalitetan. Usvojena su dva modela osciloskopa koji su imali komercijalne oznake TRS 455, slika 4. i TRS 457."

Osciloskopi su se razlikovali minimalno u rasporedu komandi na prednjoj ploči. Funkcionalna karakteristika razlikovala se jedino u ulaznoj impedanciji vertikalnog pojačala, koja se kod TRS 455 temeljila na ulaznom otporu od 1 MΩ i kapacitetu od 35 pF, a kod TRS 457 na ulaznom otporu od 1 MΩ i kapacitetu od 28 pF. Razlikovali su se i u masi, koja je kod TRS 455 iznosila 11 kg, a kod TRS 457 bila je 13 kg. Bile su i neke minimalne razlike u elektronici, koje su se mogle uočiti tek na servisnom nivou. Neki osnovni tehničko-korisnički podaci su:

- iskoristiva površina ekrana: 80 × 100 mm
- vertikalno pojačalo: dvokanalno
- ulazni otpor: 1 MΩ (dual FET tranzistor na ulazu pojačala radi simetričnosti)
- širina propusnog pojasa: 0 – 30 MHz (mjerenjima pri podešavanju konstatirano je da je to redovito bilo do 50-60 MHz, a bilo je modela i do 100 MHz)



Sl. 4.: Osciloskop zagrebačkog TRS-a oznake TRS 455

– osjetljivost: 10mV/cm ... 20V/cm (11 položaja u 1-2-5 koracima)
– točnost ulaznog atenuatora: 5 %
– vremenska baza, osnovna: 0,5 s/cm pa do 0,1 μs/cm (21 položaj u 1-2-5 koracima)
– točnost vremenske baze: 5 %.

Dodatna vremenska baza mogla se uključiti preklopnikom i omogućavala je da se signal, sinkroniziran s osnovnom vremenskom bazom, dodatno ubrza deset puta. Bitno je poboljšanje u tom slučaju da se osnovni promatrani signal može promatrati kao da se preko njega prelazi lećom i to je povećanje iznosilo najviše do deset puta. Za tu opciju postoji na prednjoj ploči 10-okretajni helikoidalni potenciometar. Ostale tehničke karakteristike nisu toliko bitne za ovakvu osnovnu informaciju i spadaju u specifičnosti mjerenja. Važno je napomenuti da je taj osciloskop u tehničkom pogledu bio usporediv sa sličnima na zapadnom tržištu, pa čak i bolji od njih.

Na tržište je plasirano nekoliko stotina komada modela TRS 455 i nekoliko desetaka TRS 457. Prava proizvodnja nikad nije ni usvojena ni pokrenuta jer je kraj osamdesetih godina obilježila politička nestabilnost ondašnje države. To je bilo vrijeme kad su se granice otvarale, okruženje se promijenilo, TRS je zapao u probleme, kao i većina proizvodnih struktura u okruženju.

2. Osciloskopi republika bivše države

Najveći proizvođač osciloskopa od svih republika bivše države slovenska je tvornica ISKRA. Ona je nastala iz Instituta za elektroniku i vakuumsku tehniku IEV − Ljubljana. Proizvodnja osciloskopa počela je u pogonima IEV-a, a kasnije je nastavljena u tvornici ISKRA. IEV vuče korijene iz 1943., kad su pokrenute prve radionice za radiouređaje na oslobođenom području Slovenije, no formalno je Institut IEV osnovan 1948., a već 1961. pripojen je poduzeću ISKRA − Kranj.

Proizvodnja osciloskopa je kontinuirana. Počela je cijevnim osciloskopima ranih šezdesetih i nastavljena razvojem poluvodičkih osciloskopa sve do ranih devedesetih. Tad je zbog raspada bivše države i gubitka tržišta prestala raditi tvornica ISKRA i proizvodnja osciloskopa u Sloveniji. Spomenuti osciloskopi bili su relativno kvalitetni pa su svoje mjesto uglavnom našli na polju edukacije (fakulteti i srednje škole), u tvornicama i servisima za popravak elektroničkih uređaja širom bivše države, a i u Hrvatskoj su bili jako zastupljeni.

Prvi osciloskop u proizvodnom programu bio je IEV MA 4001/A. S obzirom na to da se pojavio krajem pedesetih godina, bio je to odličan osciloskop za ondašnje vrijeme. Vremenska baza dosezala mu je do 100 kHz. Imao je kalibrirane atenuatore za X i Y pojačala, mjernu mrežicu na zaslonu katodne cijevi

i niz gumba koji su omogućili dobru sinkronizaciju i rukovanje prikazom na zaslonu katodne cijevi. Imao je zastarjele ulazne konektore u to vrijeme karakteristične za instrumente tt. Philips i Rohde & Shwarz i slovensko nazivlje na natpisima prednje ploče, slika 5.a).

Kasnije izlazi nova serija osciloskopa s oznakom IEV MA 4001/B, gdje su promijenjeni ulazni konektori te uvedeni i danas korišteni BNC konektori, a nazivlje na slovenskom jeziku djelomično je izmijenjeno (npr. natpis Prevesnik izmijenjen je u Časovna baza, Y Ojačevalnik u Ojačevalnik Y i sl.), a dimenzije osciloskopa i raspored upravljačkih gumba ostali su jednaki, slika 5.b).

Zadnji osciloskop koji je izrađen u poduzeću IEV dobio je oznaku IEV MA 4040. Bio je po svemu identičan modelu MA 4001/B, ali nazivlje je bilo na srpskom jeziku, slika 5.c), te je "novi model" očito bio namijenjen korisnicima iz drugih republika kojima je slovenski jezik bio stran.

Kad je ISKRA preuzela IEV, nastavila je proizvodnju istog modela IEV MA 4040, samo je naziv glasio ISKRA MA 4040 i to je bio njezin prvi osciloskop. Zanimljivo je da je ISKRA natpise na tom modelu ponovno ispisala na slovenskom jeziku pa se samo po toj kozmetičkoj promjeni razlikuje od prethodnika, slika 5.d).

Ubrzo je ISKRA počela izradu manjih i jeftinijih osciloskopa namijenjenih samo za promatranje valnih oblika, bez graduiranih atenuatora te bez mjerne mrežice na zaslonu katodne cijevi, očito namijenjenih školama i servisima. Pojavilo se više verzija tih osciloskopa.

Prvi je bez oznake proizvođača na prednjoj ploči i nosi oznaku Tip NE 0070 uz natpise na slovenskom jeziku, sl. 5.e). Pri dnu prednje ploče ima četiri utisna gumba koji imaju funkciju jednostavnog atenuatora. To su jedini utisni gumbi na cijevnoj seriji Iskrinih osciloskopa tvrtke ISKRA. Kasnije su utisni gumbi zamijenjeni okretnim preklopnicima ili jednostavnim grubim biranjem područja primjenom buksni.

Fizički jednak model nosi oznaku MOC-2, ali na njemu se pojavio karakterističan logotip tvornice u obliku zvijezde u krugu i s natpisom Iskra, slika 5.f). S trećim modelom, oznake MA 4005, slika 5.g), Iskra se vratila, i kasnije zadržala, svoj način označavanja mjernih instrumenata po kojima je serija osciloskopa nosila oznaku MA 40xx i po kojima je ostala prepoznatljiva.

Nakon eksperimenta s prethodnom linijom razmjerno malih osciloskopa, Iskra prelazi na proizvodnju srednje malih osciloskopa prepoznatljivog i vrlo uspjelog dizajna, sa svjetlosivim prednjim pločama i plavim kućištima. Bili su dobri i razmjerno jeftini tako da se ta linija vrlo često koristila u edukacijske svrhe u gimnazijama i srednjim strukovnim školama te servisima za popravak elektroničke opreme.

Jedan od najstarijih i vrlo rijetkih osciloskopa iz spomenute serije nosio je oznaku MA 4002, slika 5.h). Nije imao gumbe za vertikalni i horizontalni pomak slike, ali imao je graduiranu mrežicu na zaslonu katodne cijevi i kalibratore



a)



b)


OSCILOSKOP MA 4040

c)



d)



e)



f)



g)


AMPLITUDA Y
FREKVENCA M
AMPLITUDA X
VHOD Y
VHOD X
OSCILOSKOP
MA 4002

h)


INTENSITY
FOCUS
OSCILLOSCOPE

i)



j)



k)



l)



m)



n)

Sl. 5.: Cijevni osciloskopi IEV i Iskra

a) IEV MA 4001/A, b) IEV MA 4001/B, c) IEV MA 4040, d) Iskra MA 4040, e) Iskra NE 0070, f) Iskra MOC-2, g) Iskra MA 4005, h) Iskra MA 4002, i) Iskra MA 4003, j) Iskra MA 4003/M, k) Iskra MA 4006/S, l) Iskra MA 4006/E, m) Iskra MA 4060, n) Iskra MA 4061

te okretne atenuatore za vertikalno i horizontalno pojačalo tako da su bila moguća jednostavna očitanja vršnih vrijednosti signala i vremena promatranih pojava. Iz tog su modela kasnije izvedene različite inačice drugih, s mjernom mrežicom i bez nje, s okretnim ili jednostavnim atenuatorima s buksnama, s kalibratorom za vertikalno pojačalo i bez njega, a kalibracija horizontalnog pojačala pojavila se tek na zadnjim modelima cijevnih osciloskopa.

Znatno zastupljeniji osciloskop koji se godinama proizvodio imao je oznaku MA 4003, slika 5i). Imao je ulaze s BNC konektorima za vertikalno pojačalo i vanjsku sinkronizaciju slike. Vremenska baza dostizala je frekvenciju od 50 kHz. Imao je mjernu mrežicu na zaslonu katodne cijevi i jednostavan kalibrator tako da se ga moglo umjeriti za određivanje vršnih vrijednosti promatranih signala. Nazivlje na prednjoj ploči bilo je na engleskom jeziku. Zanimljivo je da mu je bio omogućen samo vertikalni pomak slike, a horizontalni je bio tvornički namješten. S obzirom na to da je osciloskop bio dobro prihvaćen na tržištu ondašnje države i da se dugo proizvodio, pretrpio je i uspjele kozmetičke promjene. Na modelu MA 4003M, slika 5.j), estetski je promijenjena prednja ploča tako da je siva nijansa postala dominantna, plavu boju kućišta zamijenila je također elegantno siva, a gumbi na prednjoj ploči dobili su novi, moderniji oblik. To je očito bio jedan od najdugovječnijih cijevnih osciloskopa pa je uspio doživjeti estetska dizajnerska poboljšanja. Taj novi estetski iskorak nije zaživio u Iskrinoj produkciji jer se naslućivao kraj ere cijevnih uređaja i dolazak poluvodičkih modela temeljenih na drukčijem dizajnu.

Serija osciloskopa s oznakom MA 4006/S, slika 5.k), očito je bila namijenjena za školske edukativne svrhe. Kod tih osciloskopa nije bilo mjerne mrežice na zaslonu katodne cijevi, a izbačen je i kalibrator pa se nije mogla mjeriti vršna vrijednost signala. I vremenska baza bila je najskromnija od svih proizvedenih osciloskopa iz skupine. Išla je samo do 20 kHz, ali to je za školske potrebe očito bilo dovoljno. Nije bilo ni gumba za vertikalni i horizontalni pomak slike, a tu razmjerno asketsku varijantu malo je popravila mogućnost priključka horizontalnih signala, što je bilo zahvalno za prikaz Lissajousovih krivulja u nastavi fizike i elektronike. Ulazne BNC priključnice zamijenjene su buksnama preko kojih je izvedena jednostavna atenuacija signala uz izbjegnuti, vjerojatno skuplji, preklopnik. Nazivlje na osciloskopu bilo je na slovenskom jeziku. Kasnije se pojavila mehanički i elektronički jednaka inačica tog osciloskopa, MA 4006/E, samo je na prednjoj ploči nazivlje bilo ispisano na engleskom jeziku, slika 5.l).

Zajedničko obilježje opisane serije osciloskopa dugovječnost je i pouzdanost, a svi osciloskopi iz Zbirke ispravni su i u radnom stanju.

Ponukana uspjehom opisane serije osciloskopa, tvornica Iskra napravila je izvrsne osciloskope oznake MA 4060 s golemim katodnim cijevima promjera zaslona od čak 160 mm, slika 5.m). Osciloskop je očito bio namijenjen

demonstracijama na vježbama iz elektroničkih sklopova gdje je grupa učenika mogla promatrati prikazane oblike signala. Osciloskop je i inače bio velik, a imao je niz potenciometara i preklopnika koji su omogućavali brojne funkcije. Zanimljivo je da su kao ulazni konektori korišteni tzv. Amphenol konektori, koji se nisu ni prije ni poslije pojavili u Iskrinu proizvodnom programu osciloskopa. Osciloskop je bio efektne sive boje koju je uveo još IEV i imao je crne kljunaste gumbe kao i prvi IEV-ovi i Iskrini osciloskopi. Nazivlje je bilo na slovenskom jeziku.

Opisani osciloskop kasnije je doživio dizajnerske promjene pa mu je prednja ploča poprimila svjetlosivu boju, kućište je dobilo prepoznatljivu Iskrinu plavu boju i englesko nazivlje na prednjoj ploči. Pritom nije mijenjan raspored funkcija komandi na prednjoj ploči, ali osciloskop je ipak dobio novu oznaku, MA 4061, slika 5.n). I danas taj uređaj plijeni dizajnom i pouzdanim radom. Kao kuriozitet može se istaknuti da je prikazani primjerak osciloskopa 1973. godine instaliran u Laboratoriju za elektroniku tadašnjeg Školskog centra za strojarstvo i elektrotehniku u Klaićevoj ulici u Zagrebu. Prvi suautor članka, Dubravko Rogale, imao je priliku raditi na njemu i sjeća se ushićenja tijekom rada i izvrsne organizacije vježbi iz elektroničkih sklopova. Voditelj Laboratorija i nastavnik predmeta tad je bio Slobodan Praljak, dipl. inž., erudit i izvrstan predavač, pedagog, zaštitnik učenika. Osciloskop je prije nekoliko godina pronađen u podrumu škole, pod hrpom ugljena. Nakon čišćenja i nekoliko dana sušenja ispravno je proradio. I Željko Knezić, također suautor članka, završio je tu školu, s lijepim uspomenama na izvrsne i plemenite profesore. Taj osciloskop zauzima stoga počasno mjesto u Zbirci i budi u nama sjetne uspomene. Na slici 6. prikazani su učenici Školskog centra za strojarstvo i elektrotehniku u Klaićevoj ulici u Zagrebu u Laboratoriju za elektroniku pri radu s osciloskopom Iskra MA 4061. Autor slike treći je suautor članka, koji je fotografirao skupinu svojih kolega iz razreda na laboratorijskim vježbama.

Tim su cijevnim osciloskopima IEV i Iskra obilježili jednu epohu s najvećim odrazom na obrazovanje srednjoškolaca i servisne aktivnosti u Hrvatskoj. U Prvoj hrvatskoj zbirci čuva se svih 14 modela opisanih osciloskopa u ispravnom stanju. Nažalost, dokumentacija je manjkava i postoji za samo nekoliko modela te se za njom i dalje intenzivno traga.

Iskra je razvoj osciloskopa nastavila u poluvodičkoj tehnici. Za hrvatsku tehničku povijest važno je istaknuti da su praktički svi tranzistori u idućoj seriji osciloskopa, neka operacijska pojačala i integrirani stabilizatori napona proizvod renomirane zagrebačke tvornice RIZ.

Prvi osciloskop izrađen u poluvodičkoj tehnici bio je s oznakom MA 4041, slika 7.a). Iz slike je vidljivo da je Iskra za poluvodičke osciloskope odabrala potpuno novi, izduljeni dizajn. Kod većine je katodna cijev s pravokutnim zaslonom na lijevoj strani, slijedi skupina gumba za intenzitet i fokus slike,

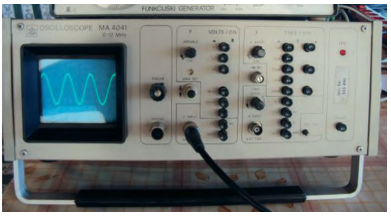


Sl. 6.: Učenici Školskog centra za strojarstvo i elektrotehniku u Klaićevoj ulici u Zagrebu u Laboratoriju za elektroniku pri radu s osciloskopom MA 4061

jednokanalno vertikalno pojačalo, vremenska baza i gumbi te indikacija rada. Prednja ploča obojena je svjetlosivo, kućište tamnosivo, a nazivlje na svim osciloskopima je englesko. Osciloskop MA 4041 konstruiran je do granične frekvencije od 10 MHz. Sljedeći model, MA 4042, sl. 7.b), ima jednaku graničnu frekvenciju i vanjski oblik, a zbog nedostatka dokumentacije ne može se potvrditi poboljšanje konstrukcije. Oba osciloskopa imaju vrlo oštru sliku i izvrsnu sinkronizaciju. Zanimljivo je da kod njih dominiraju utisni gumbi koji su dotad izbjegavani.

Na slici 7.c) prikazan je model oznake MA 4048, prvi dvokanalni poluvodički osciloskop tvornice Iskra. Dizajn je ostao sličan prethodnim modelima, ali broj utisnih gumba znatno je smanjen i uvedeni su uobičajeni okretni atenuatori s konvencionalnim preklopnicima. Novost je i indikacija rada okidnog sklopa (trigera) vremenske baze. Spomenuti model radio je do granične frekvencije od 15 MHZ. Novi model, MA 4049, slika 7.d), zadržao je oblik, ali mu je granična frekvencija povećana na 20 MHz. I on se odlikuje izvrsno fokusiranom i stabilnom slikom.

Nakon tih uspješnih modela jednokanalnih i dvokanalnih poluvodičkih osciloskopa, Iskra se odlučila za novi dizajn i povećanu katodnu cijev s većim zaslonom na osciloskopu oznake MA 4070, slika 7.e). Katodna cijev malo je pomaknuta prema sredini tako da se gumbi za uključenje i podešavanje



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)

Sl. 7.: Poluvodički osciloskopi tvornice Iskra

a) Iskra MA 4041, b) Iskra MA 4042, c) Iskra MA 4048, d) Iskra MA 4049, e) Iskra MA 4070, f) Iskra BM 566, g) Iskra Iskrascope LCD

intenziteta i fokusa nalaze s lijeve strane. Redoslijed pojačala promijenjen je pa se desno od katodne cijevi nalazi vremenska baza i horizontalno pojačalo, a dvokanalno vertikalno pojačalo smješteno je na krajnjoj desnoj strani osciloskopa. Granična frekvencija ostala je 20 MHz, ali za prednju ploču odabrana je dominantna zlatnožuta boja. Osciloskop je građen potpuno modularno što je vjerojatno olakšavalo servis, popravak i umjeravanje, a ima izvrsnu oštrinu i stabilnost slike.

Iskra je kasnije napravila još jedan vrhunski osciloskop, s katodnom cijevi u sredini i odličnih karakteristika, oznake BM 566, slika 7.f). Za njega nema dokumentacije, no moguće je da radi do frekvencija od 100 MHz, a zasigurno ima vrlo ozbiljnu dvostruku vremensku bazu i izvrstan okidački sklop. Dobri poznavatelji mjerne povijesti ističu da je to rađeno u suradnji s jednom europskom zemljom, a respektabilan dizajn i radne karakteristike samo potvrđuju uspješan Iskrin razvojni put.

Spomenuti Iskrin razvojni put završava konstrukcijom hibrida osciloskopa s LCD ekranom i multimetrom oznake Iskra Iskrascope LCD, slika 7.g). U Zbirci se nalazi jedan neispravan primjerak tog uređaja, bez dokumentacije. Vidljiv je profesionalni izgled tiskanih pločica i složenost uređaja, primjena uvoznih integriranih krugova visoke složenosti, ali bez dokumentacije ne može se obaviti popravak uređaja niti dobiti neki od tehničkih podataka.

Najveća je boljka Iskrinih poluvodičkih osciloskopa ugradnja loših tantalnih kondenzatora koji često probijaju čineći kratke spojeve zbog kojih su osciloskopi neupotrebljivi. Zamjenom takvih kondenzatora osciloskopi u pravilu odmah prorade sa svim svojim dobrim obilježjima.

U Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme nalazi se 21 prikazani model cijevnih i poluvodičkih osciloskopa slovenskih tvornica IEV i Iskra i svi su ispravni osim zadnjeg. Iako su slovenske proizvodnje, u njih su ugrađene brojne komponente proizvedene u hrvatskim tvornicama. Isto tako, u velikoj su mjeri svi osciloskopi korišteni u Hrvatskoj, a u njoj su i pronađeni te se čuvaju u Zbirci. I ti podaci govore o impresivnoj hrvatskoj tehničkoj povijesti i baštini.

Stručnoj je javnosti poznato da je i tvornica EI Niš u bivšoj državi proizvodila cijevne i poluvodičke osciloskope. Na slici 8. prikazan je jednokanalni poluvodički osciloskop tvornice EI Niš oznake PO6. Osciloskop je razmjerno malih dimenzija i mase, vrlo uspjelog dizajna, s engleskim nazivljem na prednjoj ploči. Za njega također nema nikakve tehničke dokumentacije tako da nije moguće napraviti barem skroman osvrt na tehničke karakteristike. U fundusu Zbirke nalaze se dva primjerka spomenutog modela osciloskopa, ali oba su pokvarena i imaju jednak kvar: pregorjelu nit žarenja katode katodne cijevi. Razlog bi mogao biti loše projektiran i dimenzioniran oscilatorski sklop za generiranje visokog napona i žarenje katodne cijevi.



Sl. 8.: Osciloskop tvornice EI Niš oznake PO6

Nažalost, to je jedini model osciloskopa tvornice EI Niš u fundusu Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme. Autorima je iz stručne literature poznato da je tvornica izradila nekoliko vrsta cijevnih osciloskopa, a nije im poznato je li prikazani poluvodički osciloskop jedini u asortimanu ili ih je bilo više. S obzirom na dugo razdoblje nastajanja Zbirke, neobično je da u Hrvatskoj nije pronađen još poneki primjerak osciloskopa proizvodnje EI Niš, iz čega se može zaključiti da nisu bili posebno zastupljeni u našoj zemlji. Poznato nam je da su se u hrvatskoj industriji, školama, na fakultetima i u istraživačkim institutima koristili brojni osciloskopi mnogih eminentnih proizvođača poput tvornica Tektronix, Hewlett Packard, Philips, Siemens, Hameg, Rohde & Schwarz, Telequipment, Hameg i dr. U Zbirci se čuva oko 150 različitih tipova osciloskopa spomenutih proizvođača. U Zbirci su osciloskopi koji su korišteni u tvornicama RIZ, TRS, *Nikola Tesla* [5], ICL Computers, na Institutu *Ruđer Bošković* te brojnim fakultetima i srednjim školama, kao i društvenim i privatnim servisima elektroničke opreme. Osim osciloskopa, čuva se i veći broj mjernih sondi, utičnih modula, kolica za prijevoz osciloskopa i dokumentacije. Oni će biti opisani nekom drugom prilikom.

3. Crtica o jednom načinu dolaska do osciloskopa

Većina osciloskopa iz Zbirke donirana je ili pak kupljena po vrlo prihvatljivim i razumnim cijenama od prijatelja radioamatera ili onih koji znaju za naš hobi skupljanja starih vojnih i civilnih radiouređaja i stare mjerne tehnike, ili bolje, artefakata hrvatske tehničke kulture i baštine.

No, ima još jedan važan izvor, a to su tzv. buvljaci. Njih ima više vrsta: na različitim okupljanjima radioamatera na Jarunu u Zagrebu, Hamfestu, klupskim buvljacima, poznati buvljak starina na Britancu, internetske aukcije i oglasnici. Najpopularniji je, najpoznatiji i najbolji buvljak Jakuševac ili bivši Hrelić. Na njemu se uz malo sreće, ako se redovito obilazi nedjeljom i srijedom, može na štošta naletjeti.

Evo primjera: prvi je autor samo rijetko izostajao s Jakuševca tako da prosječno jednom u nekoliko mjeseci izostaje uz valjan razlog, kao što je to bilo 19. prosinca 2010. kad je izostao zbog zdravlja užeg člana obitelji. Međutim, prijatelji i stalni posjetitelji: Krešo 9A3DBC, Ron 9A3JR, Ivica 9A3AWD i Toni 9A6RPQ (9Ax... pozivna je oznaka hrvatskih radioamatera) tog su dana u tri različite grupe pronašli ponudu od čak dva tzv. lampaška osciloskopa, što je iznimna rijetkost. Sve su tri grupe mobitelom javile o tom važnom događaju, ali prodavač je tražio čak 250 i 200 eura (!) po komadu, uz ozbiljno obrazloženje da "on dobro zna što se na internetu traži". Snimljena je i fotografija ponude, slika 9., i poslana mailom istog dana. U prvom je redu desno Iskrin osciloskop MA 4001, a u drugom redu lijevo engleski osciloskop Cossor 1035. Zbog neopravdane i stravično visoke cijene i iznimno lošeg stanja osciloskopi, naravno, nisu prodani.

Otad je prvi autor, Dubravko Rogale, svaki put bio na Jakuševcu srijedom i nedjeljom po onim žestokim smrzavicama, ali žuti hrđavi kombi i prodavač s osciloskopima kao da je u zemlju propao. Nikog nigdje. Sve do nedjelje 9. siječnja 2011., kad je iznenada zatoplilo, Ivica javlja da ima u bunkeru jedan osciloskop za mene. Veselo hitam glavnim prolazom na Jakuševcu prema njemu i usput, na desnoj strani na jednom štandu ugledam Cossora. – Pošto je? – 150 kn! – Bez cjenkanja (što je uvijek mali ritual) plaćam, odnosim ga uz pomoć sina Martina u svoj auto i hitam ponovno Ivici. U bunkeru ona tražena Iskra, cijena 200 kn! To je znači to. Ulovili smo dva zapuštena prljava dragulja iz 1948. i 1956. godine. Veselo kući pa prvo temeljito čišćenje bar do faze da se može primiti u ruke i početi ispitivanja. Nakon čišćenja osciloskopi pomalo dobivaju stari šarm. Vidljivo je da je Cossor otvaran, ali Iskra ima još tvorničku plombu. Idemo ih priključiti na napon.

Uključuje se autotransformator, prva je na redu Iskra. Polagano se diže napon da ne eksplodiraju elektroliti, lampica na prednjoj ploči svijetli sve jače! Čeka se nekoliko minuta da se zagriju lampe, ali nema slike. Okreću se svi gumbi i prvo razočaranje, osciloskop ne radi. Vjerojatno onda ne radi ni Cossor



Sl. 9.: Ponuda starih osciloskopa na Jakuševcu

jer je znatno stariji, otvaran i u lošijem stanju. Kad ono drugo iznenađenje – Cossor radi !

Popravak Iskre potrajao je od nedjelje do petka. Cijeli su se tjedan kod poznatih i po internetu tražile sheme, svakodnevno su se ispitivali i mijenjali istrunuli papirnati kondenzatori, izgorjeli otpornici i stari ugljeni otpornici koji su promijenili svoje vrijednosti. Sve su to bile komponente koje je Iskra tek bila počela proizvoditi nakon Drugog svjetskog rata, prije više od 70 godina, bez ikakvog prethodnog iskustva. Promijenjena su tri probijena kondenzatora, jedan izgorjeli otpornik i dva otpornika koja su promijenila vrijednosti. I u petak, šesti dan rada, na ekranu se napokon pojavila slika kalibracijskog signala, zahvaljujući Krešinim visokonaponskim blok kondenzatorima. No, ni danas još u Zbirci nemamo objavljene sheme ni tiskanih servisnih podataka za taj osciloskop. Kvarovi su otklanjani na temelju postojećeg znanja, iskustva i intuicije. Osciloskop je na kraju testiran, sastavljen, fotografiran i stavljen među ostale primjerke, a oba možete vidjeti u galeriji slika [1]. Ova crtica govori o našim doživljajima i težnjama, ali i o tužnom načinu gdje i kako su završili vrijedni hrvatski tehnički artefakti.

Na sličan su način skupljeni, očišćeni, testirani i popravljeni ostali osciloskopi iz Zbirke. Po neke se putovalo i u druge krajeve Hrvatske, od Osijeka do Splita, no o tome na drugom mjestu. Smatramo da ova crtica dovoljno govori

o stanju društvene svijesti da se očuva hrvatska tehnička baština. Vrijedni artefakti završavaju na otpadu, a samo poneki od njih završi na nekom mjestu na kojem ga je moguće kupiti i pribaviti. Na žalost, više nema ni skupljanja glomaznog otpada pa sad vrijedni primjerci završavaju izravno u drobilicama reciklažnih dvorišta, čime su nepovratno izgubljeni. Ni u hrvatskim ustanovama i poduzećima ne postoje zbirke starih uređaja koji bi svjedočili o našoj bogatoj tehničkoj povijesti. Mnoge su tvornice u pretvorbi propale, a inventar bačen, tako da su i na taj način uništeni vrijedni materijalni dokazi. Skupljanje dijela tehničkih artefakata na području Hrvatske sad uvelike ovisi o naporima i mogućnostima nekoliko entuzijasta.

Zaključak

Osciloskopi su dio iznimne hrvatske tehničke kulture i baštine. Nažalost, u Hrvatskoj ne postoje muzeji ni zbirke komunikacijske i mjerne opreme koji bi svjedočili o našoj bogatoj povijesti tehničkog obrazovanja od osnovnih, srednjoškolskih i akademskih ustanova, tvornicama s iznimnim postignućima tehničkog stvaralaštva, razgranatim servisnim službama i pojedincima koji su kao hobisti skupljali ili čak gradili brojne elektroničke uređaje. Tako su zastarjeli osciloskopi, kao i druga oprema, najčešće bacani kao otpad. Još donedavno bilo ih je moguće pronaći i otkupiti nakon nekadašnjih akcija prikupljanja i odvoza glomaznog otpada. Promjenom zakonskih odredbi o recikliranju taj izvor je presahnuo pa sad skupljanje tehničkih artefakata ovisi o svijesti i dobroj volji pojedinaca koji daruju preostale artefakte Prvoj hrvatskoj zbirci mjerne i komunikacijske opreme. Iako su neki primjerci donirani ili kupljeni za razmjerno prihvatljive novčane iznose, naknadno zahtijevaju mnogo vremena, volje, znanja, napora, vještine, prostora, alata, instrumenata i novca za obnovu i čuvanje, što je malo tko, u današnje vrijeme konzumerizma i iskrivljenih mjerila vrijednosti, spreman učiniti. Stoga se nadamo da će napor, znanje i sredstva uloženi u artefakte hrvatske tehničke povijesti u budućnosti ipak uroditi nekim plodom i da će mladi naraštaji moći vidjeti materijalne dokaze korištenja i stvaranja tehničkih uređaja svojih prethodnika, a time primjereno poštovati svoju nacionalnu tehničku povijest.

Literatura

[1] web.hamradio.hr/9a9dr/, pristupljeno 2020-09-10

[2] Rogale, D.; Fajt, S.; Knezić, Ž.; Lukša, D.: Prva hrvatska zbirka mjerne i komunikacijske opreme, *Zbornik Povijest i filozofija tehnike 7. simpozij PIFT 2018.*, Benčić, Z. (ur.), Kiklos – Krug knjige, Zagreb, str. 355-364.

[3] Rogale, D.; Lukša, D., Fajt, S., Knezić, Ž.: Zbirka niskofrekvencijskih izvora signala, *Zbornik Povijest i filozofija tehnike 8. simpozij PIFT 2019.*, Benčić, Z. (ur.), Kiklos – Krug knjige, Zagreb, str. 1115-1133.

[4] Rogale D.: Struktura i artefakti Prve hrvatske zbirke mjerne i komunikacijske opreme, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske: Hrvatska tehnička i industrijska baština*, Zagreb, 2019., str. 323-338.

[5] Nikolić, G.; Rogale D.: Sjećanja na proizvodnju u Tvornici telekomunikacijskih uređaja *Nikola Tesla* u Zagrebu, *Godišnjak Akademije tehničkih znanosti Hrvatske: Hrvatska tehnička i industrijska baština*, Zagreb, 2019., str. 292-310.

Oscilloscopes in the holdings of the First Croatian Collection of Measuring and Communication Equipment

Dubravko Rogale, Darko Lukša, Željko Knezić, Siniša Fajt

Abstract: A group of oscilloscopes in the holdings of the First Croatian Collection of Measuring and Communication Equipment, which was created during the last 50 years is described. The collection was created during the last 50 years and include more than 1700 exhibits, artefacts application techniques in Croatia. The most important thing for the collection is that the exhibits are directly thematically related to the area of Croatia. Metrological exhibits used as secondary and university education, institutes and factories. Some oscilloscopes or oscilloscope parts are manufactured in Croatian factories. Oscilloscopes are particularly represented in the collection because of their importance in the Croatian science, development and manufacture of electronic circuits and devices, education and teaching, services or products for hobby purposes of self-education. Oscilloscopes found in Croatia indicate a distinct technical culture of application of the then modern technology and the developmental creativity of our people. At some oscilloscope exhibits shows the less known part of our impressive technical history.

Keywords: Croatian technical heritage, oscilloscopes, artefacts of measurement and communication techniques, history and philosophy techniques

Hrvatski znanstvenici

Gojko Nikolić

Sličnost genija i vizionara Leonarda da Vincija i Nikole Tesle

Sažetak: Dva velika genija − Leonardo da Vinci i Nikola Tesla − znatno su obilježila povijest čovječanstva. Čitajući zapise o njima i njihovu načinu rada, uočava se nevjerojatna sličnost sposobnosti kojima su bili nadareni te se postavlja pitanje je li to slučajno ili je to općenita karakteristika genija. Ovim se radom pokušalo upozoriti na te nevjerojatne sličnosti dvaju genija. Jedan i drugi bili su privlačni stasiti muškarci, privlačili suprotan spol, ali njihov odnos bio je jednak prema ženama i braku. Jednako su se odnosili prema ratovima i stradanjima ljudi. Iskazivali su privrženost i ljubav prema životinjama, posebno pticama. Oba su smatrala da je priroda izvor svih ideja i njihovih rješenja, samo treba "zagrabiti" u njezine tajne, razumjeti ih i otkriti. Nevjerojatno je njihovo viđenje budućnosti, stotinu ili više godina unaprijed, koje u sadašnjem vremenu potvrđujemo.

Ključne riječi: Leonardo da Vinci, Nikola Tesla, geniji, vizonari, izumi

Uvod

Genijima su nazivani ljudi poput Leonarda da Vincija, Nikole Tesle, Issaca Newtona, Alberta Einsteina i velik broj drugih, iznimno važnih osoba u povijesti čovječanstva. Što znači riječ genij i tko su zapravo genijalci? Na to pitanje najčešći je odgovor da su to natprosječno inteligentni ljudi (QI > 140), s iznimnim intelektualnim sposobnostima. Može li se inteligencija izjednačiti s genijalnošću? Više je definicija inteligencije, ali najčešća je ona da je riječ o mentalnoj karakteristici koja uključuje snalaženje u novim situacijama,

sposobnost učenja na osnovi iskustva te razumijevanje i korištenje apstraktnih pojmova. [1]

Inteligencija se mjeri kvocijentom inteligencije (QI), testovima koje je 1905. godine uveo francuski psiholog Alfred Binet (1857. − 1911.). Osmislio je prvu skalu (Binet-Simonova skala) kako bi mogao predvidjeti uspjeh djece u školi i identificirati one kojima će za učenje trebati posebna pomoć. [1, 2] Danas se najčešće koristi za određivanje razine ljudske inteligencije.

Značenje riječi genij (lat. *genius*) potječe iz rimskog doba i tad je označavala duha obitelji, zaštitnika anđela čuvara pojedinih osoba kao i naroda, odnosno područja. Velikan renesanse Leonardo i njegovi mlađi suvremenici Raffaello Santi (Rafael) i Michelangelo nosili su pridjev *divino*[1]. Tek u XVIII. stoljeću riječ 'genij' dobiva smisao koji ima danas. Označava bilo koju osobu koja je ostvarila inovativni iskorak i u tom procesu promijenila naš pogled na svijet, odnosno genij je osoba koja uzdigne kreativnost do točke originalnosti. Arthur Schopenhauer slikovito je dao karakteristiku genija riječima:

> *"Talentirani pogodi točku koju nitko drugi ne može pogoditi, genij pogodi točku koju nitko drugi ne može vidjeti."* [3]

Povijesne osobe za koje znamo da su bili geniji tvrdile su da su za svoja postignuća zahvalne ne razumu, nego intuiciji, vjeri, upornosti, vizualiziranju i ostalim vrijednostima koje nisu izravno povezane s inteligencijom. Geniji razmišljaju izvan okvira onog što su naučili od drugih. Rješenja ili ideje često im se pojavljuju u snovima, u kupaonici, tijekom šetnje prirodom, na temelju inspiracije nekim umjetničkim ostvarenjem, a najčešće je najzaslužnija intuicija. Albert Einstein je rekao: "Jedina vrijedna stvar je intuicija." [4] Tesla je također smatrao da intuicija nadilazi znanje jer imamo određena "fina vlakna" koja nam omogućuju percepciju istine kad je logička dedukcija ili bilo koji drugi voljni napor mozga uzaludan. [5]

Ljudski napredak i razvitak, što je često isticaoTesla, najviše ovisi o inventivnosti. Ona je najvažniji proizvod čovjekova stvaralačkog duha. [5] To je kroz povijest i potvrđeno.

Neosporno je da su i Leonardo da Vinci i Nikola Tesla geniji, ali interesantna je njihova sličnost u mnogim osobnim karakteristikama. Postavlja se pitanje prate li neke od njih i druge genije ili je ta sličnost ipak specifična. Toskanski slikar i arhitekt Giorgio Vasari (XVI. stoljeće) napisao je za Leonarda, ali to se može odnositi i na Teslu:

[1] **božanski** (tal. *divino*)

> "Katkad, na način koji nadilazi prirodu, rađa se pojedinac kojeg je nebo čudesno obdarilo ljepotom, gracioznošću i talentom u takvom obilju da za njim svi ostali ljudi zaostaju, a svaki njegov postupak čini se nadahnutim, štoviše, jasno je da je sve što on čini prije Božje djelo nego djelo ljudskog umijeća." [6]

1. Osobna obilježja Leonarda da Vincija i Nikole Tesle

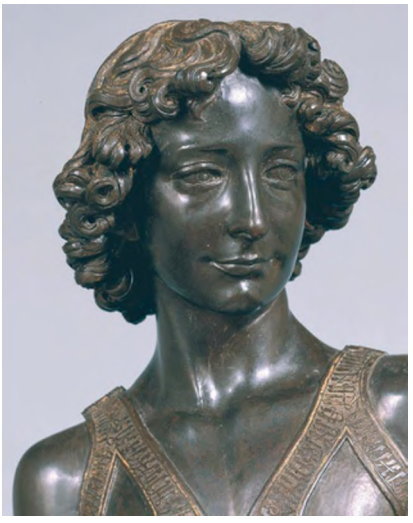
Iako su i Leonardo i Tesla bili izrazito zgodni, stasiti muškarci, slika 1., nisu se ženili niti zasnivali obitelj. Ne postoje portreti Leonarda iz mladenačkih dana, nego samo oni kasniji, kad je bio slavan umjetnik. Za kip Davida, koji je izradio kipar Andrea del Verrocchio iz Firenze, navodno je pozirao mladi Leonardo da Vinci dok je bio njegov učenik, slika 1.a). Vitka figura, kovrčava kosa i vrlo zgodno lice odgovaraju opisima Leonarda. Povjesničari umjetnosti navode da neke crte lica imaju sličnosti s portretima starog majstora. [6]

Tesla je bio zanimljiv i kao sugovornik, privlačna osmijeha i otmjenih manira, te je stekao naklonost mnogih uglednih ljudi svojeg doba. Posjedovao je onu dozu samodopadnosti i samopouzdanja koja obično ide pod ruku s uspjehom. Nižući uspjehe, tajanstven i ekscentričan, mladi Tesla privlačio je veliku pažnju žena. Među njima bila je Sarah Bernhardt, glumica čarobna glasa i ljepote; pijanistica i književnica Marguerite Merington te Anne Morgan, filantropkinja i nasljednica bankara J. P. Morgana. Iako je volio društvo zanimljivih, obrazovanih i lijepih žena, usprkos nagovaranju prijatelja Tesla nikad nije zasnovao obitelj niti bio u nekoj ozbiljnoj vezi. [5]

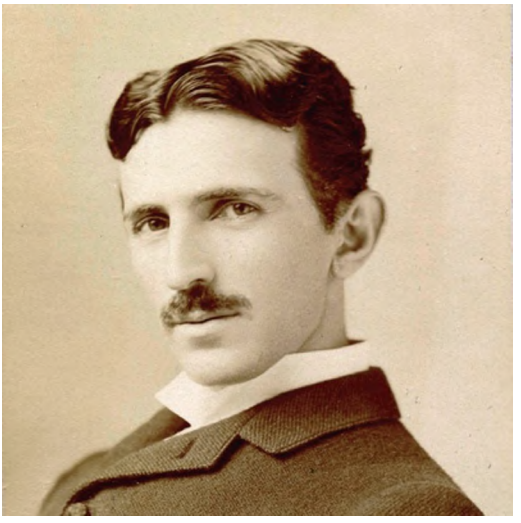
Da bi se posvetili samo stvaranju, istraživanjima i izumima, Tesla i Leonardo sklopili su "brak" sa svojim radom i svijetom. U tome nisu bili iznimke jer takav odnos prema obitelji i radu imali su i Michelangelo i Newton. O tome govore Tesline riječi:

> "Naumio sam sav svoj život posvetiti radu i zbog toga sam se odrekao ljubavi i društva dobre žene, a i više od toga... Cijeli svoj dugi vijek proveo sam u zanosu. To je bio izvor moje sreće." [5]

Tesla spavanje nije doživljavao kao stjecanje mentalne i fizičke snage, nego kao nužno zlo koje mu je oduzimalo dragocjeno vrijeme za rad. Većina ljudi koristi tzv. monofazni san (jednom dnevno) ili bifazni san (dva puta dnevno), a ljudi poput Leonarda koristili su polifazni san koji označava češća kraća



a)



b)

Sl. 1.: a) Glava Davidova kipa autora Andree del Verrocchij za koji je navodno pozirao mladi Leonardo dok je bio njegov učenik [7], b) Fotografija Nikole Tesle kad je imao 28 godina [8]

spavanja[2]. Najekstremnija verzija polifaznog spavanja je Ubermanov ciklus. Čovjek spava 4 do 10 minuta svaka četiri sata. Duljina takvog spavanja individualna je, a navodno ga je koristio Leonardo da Vinci. Nikola Tesla često je navodio da spava oko dva sata dnevno, a prema nekim autorima i on je praktičirao Ubermanov ciklus[3]. Dok je studirao, profesori su upozoravali Teslina oca da će ga nedostatak sna jednog dana ubiti. [5]

Tesli je, poput Leonarda da Vincija, kratko spavanje vraćalo snagu te je znao novinarima reći da bi se nakon umora u roku od

> "(...) jednog sata spavanja potpuno povratio. Stekao sam sposobnost da upravljam snom, zaspim i budim se u čas koji sam sebi odredio. Ako mi nešto u onome što radim nije jasno, primoravam sebe da mislim o tome u snu i na taj način nalazim rješenje."

Ta njegova sposobnost, osim da upravlja mislima u snovima, odnosila se i na njegove osjećaje i vizije. [5]

Leonardo je bio nezakoniti sin bogatog plemića i bilježnika Piera Fruosina i lokalne seljanke Caterine. Leonardo nije koristio očevo prezimena, nego *da Vinci*, što je oznaka odakle je potekao, tj. iz mjesta Vincija. [9] Tesla potječe iz svećeničke obitelji, ali njihovo prezime je nadimak koji je pradjed dobio zbog

[2] definirao psiholog J. S. Szymaski početkom XX. stoljeća; Knotková, Simona, 2019.

[3] Knotková S.: Leonardo da Vinci a Nikola Tesla odpočinku moc nedali, 2019.

izbočenih zubi poput drvodjeljskog alata ‘tesle’. Nije detaljno istraženo podrijetlo obitelji Tesla, za koju se smatra da je imala prezime Draganić i da su joj korijeni iz područja između Zadra i Šibenika. Podrijetlo obično nosi specifična obilježja kroz život, kao i mogućnost u razvojnom dobu, stjecanje znanja i obrazovanje, ali njihov uzlet u povijest proizlazi iz osobnih sposobnosti i nadarenosti.

Prije negoli se detaljnije prezentiraju te njihove specifične karakterne i psihičke sposobnosti, interesantne su još neke druge neobične sličnosti dvaju genija. Tesla je bio pacifist, grozio se ratnih strahota i razaranja, cijenio ljudski život. Bio je zgrožen Edisonovom kampanjom u ‘ratu struja’, kad su njegovi pomoćnici želeći pokazati opasnosti izmjenične struje njom usmrćivali pse i mačke, pa čak i konje i jednog slona. Izrazio je posebno gnušanje na namjeru Edisonova pomoćnika Browna da izradi ‘električnu stolicu’, a pogotovo kad je uspio nagovoriti upravu zatvora Sing Sing da je koriste umjesto vješanja. Projekti koje je nudio vojsci imali su za cilj prije svega zaštititi ljude, a za neke je govorio da osiguravaju trajan mir na zemlji. Leonardo je suosjećao s patnjama ljudi i bio je veliki protivnik ratova nazivajući ih zvjerskim ludilom (tal. *pazzia bestialissima*). Nikad nije sudjelovao u ratovima, a želio je da njegove konstrukcije vojnih naprava budu prije svega zaštita gradovima. [6]

Sličan su odnos oba imala prema životinjama, do te mjere da je Leonardo postao vegetarijanac. Kupovao bi ptice na tržnici i onda ih odmah puštao da odlete. Smatrao je da sva bića koja se kreću moraju imati osjećaj boli u dodiru s predmetima, čuvajući na taj način svoje tijelo. Zato je smatrao da životinje kao i ljudi osjećaju bol, dok biljke ne osjećaju. Za Teslu se zna da je u djetinjstvu volio životinje koje su imali kod kuće, a u New Yorku iskazivao je ljubav prema golubovima koje je redovito hranio u Bryant Parku. Posebna je ljubav prema bijeloj golubici koja je redovito dolazila na prozor njegove sobe u hotelu *New Yorker* te je ušla u legendu i priče o Teslinim posljednjim godinama života.

Giorgio Vasari piše za Leonarda da je bio tako velikodušan da je pružao smještaj i hranu svim svojim prijateljima, bili oni bogati ili siromašni. [6] O Tesli i njegovoj velikodušnosti najbolje govori epizoda kad mu se George Westinhouse požalio da je došao u velike financijske probleme. Tesla je milijunski ugovor s njim poderao i odrekao se stalnog priljeva financijskih sredstava od svojih 40 prodanih patenata i tantijema za svaki proizvedeni kilovatsat električne energije.

Krađa izuma konstanta je kroz povijest. Bila je prisutna u renesansi, iako su se izumi mogli zaštititi kod vladara dobivanjem privilegija. U Mletačkoj Republici postojala su pisana pravila, tj. zakon o patentima (privilegijima) još

od 1474.[4], kojima je definiran način prijave, odobravanja te obveze za izumitelje i ostale žitelje Mletačke Republike u smislu zaštite patenta, tj. povlastica. [10] U vrijeme Nikole Tesle kao i danas uobičajena je praksa zaštita izuma kod patentnog ureda. Oduvijek, pa i danas, bez obzira na moguće zaštite, kradu se ideje, istraživanja i izumi i onda ih neinventivne osobe malo dorađuju, "ponovno otkrivaju" te pripisuju sebi.

Zbog tih je krađa Leonardo bio tajanstven u vezi sa svojim istraživačkim i izumiteljskim radom. Iako je namjeravao objaviti radove, veći je dio gotovo cijelog njegova života ostao skriven, zapisan u njegovim brojnim bilješkama koje se nalaze u kodeksima. Ima 11 codeksa s ukupno 13 000 stranica, a otkriveni su nakon njegove smrti, neki i nakon više stotina godina. Bio je lijevak i bilješke je zapisivao zrcalno, zdesna nalijevo. Mogao je pisati objema rukama u oba smjera, ali ovako su bilješke ostale donekle skrivene od nepoželjnih pogleda. [6]

Poznati su problemi koje je Nikola Tesla imao s nizom svojih ukradenih ideja, izuma i rezultata istraživanja, počevši od radija (Marconi), X-zraka (Röntgen), elektrona (Thomson), kozmičkih zraka (Hess), elektroterapije u medicini (D'Arsonval) i drugih. Neki od tih novih "izumitelja" dobili su i Nobelovu nagradu. Tesline izume poput aviona s vertikalnim polijetanjem, radara i drugih kasniji su novi izumitelji ponovno "otkrivali" ne navodeći Teslu kao pokretača tih ideja. U kasnijim godina života, kad više nije imao laboratorij, Tesla je i dalje imao mnogo genijalnih ideja, ali bio je vrlo oprezan u davanju izjava kako mu te ideje, koje nije uspio razraditi i patentirati, ne bi bile ukradene. Nažalost, zbog toga su te izvanredne zamisli ostale samo kao ideje, bez više detalja za razumijevanje njihova načina rada. Moguće je da postoje detaljni prikazi i opisi u bogatoj dokumentaciji koja je ostala nakon njegove smrti koju je odmah uzeo FBI[5]. Te njegove ideje za to su doba bile nepojmljive, "fantazije" pomalo "ludog starca" kakvim su ga počeli smatrati i kojeg više nitko nije shvaćao ozbiljno. Mnoge su se ideje iz njegovih kasnijih godina krajem prošlog stoljeća i početkom ovog počele ostvarivati (pametni telefoni (*smartphone*), televizija, roboti, bežični prijenos energije, antigravitacija i dr.).

Kod svakog je izumitelja jedno od pitanja koje se obično postavlja to je li on izvorni izumitelj ili koristi početnu ideju drugih prije sebe ili svojih

[4] Kao prvi zakon o patentima netočno se smatra Statut engleske kraljice Ane (1665. − 1714.), koji je stupio na snagu 1710. godine. Smatraju ga izvornikom patentnog i autorskog prava, odnosno intelektualnog vlasništva. Budući da su se u renesansi dodjeljivale privilegije ili povlastice za izume prema određenim pravilima definiranim zakonom, to znači da su tad, gotovo tristo godina prije Anina Statuta, postojala zakonom definirana pravila za dodjelu patentnih prava. Poznate su dodjele vladarskih privilegija u Veneciji, Milanu i Firenci s preciznim uvjetima trajanja, područja zaštite i kazne prekršiteljima.

[5] **FBI** (engl. *Federal Bureau of Investigation*), kriminalističko-istražna i obavještajna agencija Ministarstva pravosuđa Sjedinjenih Američkih Država

suvremenika. Istraživanja Claudija Sgarbija, francuskog povjesničara umjetnosti; Bertranda Gillesa, talijanskog povjesničara arhitekture; te Ladislaa Retija, stručnjaka za Leonarda, autora knjige *Nepoznati Leonardo* (*The Unknown Leonardo*), navode da on nije izvorni izumitelj više izuma koji mu se pripisuju. Navodi se da je Leonardo neka od postojećih rješenja poboljšao, detaljno razrađujući detalje i doveo izum do moguće realizacije. Kao primjer mogu se navesti ronilačko odijelo, helikopter, redni topovi, kuglični ležajevi i neki drugi. To ne umanjuje njegov doprinos razvoju tih uređaja koji su njegovom konstrukcijom postali izvedivi. [11]

Za neka Teslina otkrića navode se drugi izumitelji, poput Galilea Ferrarisa, koji je izradio mali motor korištenjem okretnog magnetskog polja i u Torinskoj akademiji znanosti održao 18. ožujka 1888. predavanje Elektrodinamičke rotacije proizvedene s pomoću izmjenične struje. Američka kompanija Westinghouse zatražila je od njega dozvolu da prijavi to njegovo otkriće u Patentnom uredu SAD-a, ali zakasnila je jer je taj izum već prijavio Nikola Tesla[6]. U vremenu kad je živio Tesla, za razliku od Leonardova vremena, postojala je bogata dokumentacija, tako da se lako može ustanoviti postoji li kompletno ili djelomično korištenje tuđih ideja. Za Teslu se iz dostupne literature slobodno može reći da nije koristio ničije ideje i prikazivao ih kao svoje. Korektno se u svojim opisima i objašnjenjima često pozivao na radove fizičara poput Michaela Faradaya, Jamesa Clerka Maxwella i drugih.

2. Genije krase specifične karakteristike i mogućnosti

Izrazita znatiželja i upornost

Leonarda je Kenneth Clark nazvao najnepopustljivije znatiželjnim čovjekom u povijesti. Znatiželja je sigurno upečatljiv znak genijalnosti, kao i sposobnost duboke usredotočenosti koja traje dulje vrijeme. Nije mu bilo dovoljno znati kako nešto radi, nego je imao potrebu znati i zašto. Matteo Bandello, Leonardov suvremenik, isticao je Leonardovu izvanredno moćnu koncentraciju. Kad bi počeo raditi toliko je bio koncentriran na ono što radi da je zaboravljao na vrijeme, jelo i piće. [6] Njegova znatiželja i istraživanja bili su usmjereni na različita područja: od slikarstva, arhitekture, medicine, strojarstva, brodogradnje, vojne tehnike, botanike, geologije, astronomije, mostogradnje i dr. [12]

Tesla je bio iznimno znatiželjan. Interesirale su ga sve pojave koje su se događale tijekom njegovih brojnih eksperimenata. Imao je iznimne sposobnosti

[6]Rudeš T. i dr.: *Nikola Tesla, istraživač, izumitelj, genij*, Školska knjiga, Zagreb 2006., str. 26.

zapažanja, prirodnu nadarenost za logičko zaključivanje, snagu volje i golemu energiju i koncentraciju usmjerenu na istraživanje i rad. [5]

Nevjerojatno pamćenje

Leonardo je posjedovao veliku snagu, spretnost i golemu širinu uma. Pamćenje mu je bilo izvanredno i mogao je zapamtiti velik broj podataka u obliku suvisle cjeline. Satima je znao promatrati ljude s dojmljivim izrazima lica na ulicama, tržnicama i onda ih u ateljeu vjerno, po sjećanju, nacrtati. [6] Izvanredno pamćenje povezano s vizualizacijom, stvaranje slike u svijesti do najsitnijih detalja, koja s vremenom ne blijedi, sposobnost je genija.

Tesla je imao također izvanredno pamćenje. Cijele knjige znao je napamet te je u društvu recitirao Goetheova Fausta, narodne pjesme iz domovine, pjesme i tekstove mnogih pisaca. Pamćenje mu je u istraživanjima uz vizualizaciju uređaja uvelike pomagalo, zapravo bilo ključno u realizaciji njegovih izuma. Iako je imao izvanredno pamćenje, smatrao je da se njegov mozak "(...) bavi važnijim stvarima od pamćenja; kod mene on lovi ono što mu je u određenom trenutku neophodno." [5]

Vizije slika i uređaja

Tesla je još od djetinjstva imao '*žive slike*' koje su mu se javljale u obliku raznih prizora koje je doživio. Tu živopisnu sinestezu[7] povezanu s njegovim fotografskim pamćenjem i vizijama pokretale su određene riječi ili događaji. Slike su bile živopisne, trodimenzionalne, ali nije uvijek mogao znati jesu li stvarne ili imaginarne. U svojoj biografiji (*Moji pronalasci*) tvrdio je da nam naša osjetila omogućuju percepciju samo sićušnog dijela vanjskog svijeta. Kasnije je uspijevao obuzdati nekontrolirane slike u svijesti i usmjeriti ih na svoje ideje, pri čemu bi vizualizirao novi uređaj do najsitnijih detalja, pokrenuo ga i pratio njegov rad. Tek tad je pristupao konstrukciji uređaja. Imao je fotografsko pamćenje te je bio u stanju zapamtiti slike i sve detalje tih uređaja. Iznimno pamćenje bilo mu je od najveće pomoći. Nisu bili potrebni crteži ili gotovi dijelovi: on je sve vizualizirao i potom izrađivao. O tim svojim mogućnostima je rekao: "Svoje izume sam godinama nosio u glavi, a tek potom ih ostvarivao." Tom svojom sposobnošću i prirodnim darom uspio je od sebe, kako on kaže, stvoriti misaoni i duhovni stroj. [5]

[7] **sinestezija** ili **ujedinjenje osjetila**, fenomen koji doživljavaju određene osobe, sinesteti, kod kojih dolazi naizgled do povezivanja osjetila različitih modaliteta (Wikipedia)

Izgleda da je Leonardo radio na sličan način i često ne na jednom, nego na više problema istodobno. [6] Ta vizualizacija nužna je umjetniku koji slikarsko ili kiparsko djelo može stvarati na temelju svoje vizualne predodžbe konačno zamišljenih likova i prostora. Ona je nužna kod projektiranja uređaja, pogotovo onih koji imaju funkciju kretanja i obavljanja više funkcija.

Spoznaje, ideje i rješenja nalaze u prirodi

Tesla je bio uvjeren da se sve što nam treba može naći u prirodi oko nas, samo prirodu treba razumjeti, treba aktivirati mozak, svoje znanje, svoju domišljatost, pa i intuiciju. Smatrao je da ideje dolaze izvana, da su pravila prirode i svijeta svugdje oko nas te da je čovjek:

> "(…) samohodni automatik u potpunosti pod kontrolom vanjskih utjecaja. Iako se namjerno i unaprijed definiraju, iako se pojavljuju, njegovim postupcima upravlja se ne iznutra, nego izvana. On je poput plovaka koji ga vuku nemirna mora."

Nije zanemarivao ni najapsurdnije ideje jer svaka od njih "primljena iz vanjskog svijeta" ima neku poruku koju valja odgonetnuti te mozak treba uključiti da drukčije razmišlja. Neke od njih dovele su ga do novih izuma. [5] Smatrao je, kako je već rečeno, da naša osjetila omogućuju percepciju samo sićušnog dijela vanjskog svijeta. Kao vrsni, rođeni istraživač uživao je u novim otkrićima i spoznaji da jedno otkriće povlači za sobom drugo. To je izvrsno izrazio riječima:

> "Najljepše od svega je to što otkrićem jedne tajne u prirodi, otkrivate i ostale. One se ne kriju, tu su oko nas, ali mi smo slijepi i gluhi za njih. Ako se emotivno vežemo za njih, one nam same dolaze." [5]

Leonardo je osjećao veliko strahopoštovanje prema kreativnosti prirode koju je obožavao. [6] Želio je upoznati tu prirodu te je istraživao procese, zakonitosti i njezino funkcioniranje. Donosio je zaključke koje je neumorno crtao i zapisivao u svojim bilješkama.

Velika raznolikost područja interesa i izuma

Leonardo, znatiželjno ali sustavno, istražujući sva područja koja mu nudi priroda, dao je doprinos u anatomiji, botanici, geologiji, matematici, optici, mehanici, astronomiji, hidraulici, niskogradnji, vojnoj tehnici, urbanizmu i

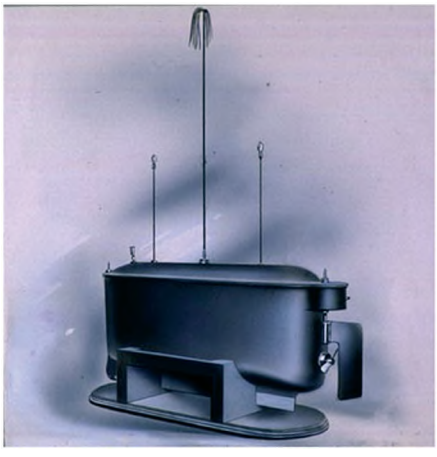
mostogradnji. Poznavao je utjecaj Mjeseca na plimu i oseku, pomračenje Mjeseca, razmišljao je o formiranju kontinenata na suvremen način. Bio je među prvim utemeljiteljima znanosti o hidraulici. Njemu se pripisuju detaljno razrađeni inovativni uređaji među kojima su posebno zanimljivi oni nevjerojatni za to doba: helikopter, ronilačko odijelo i peraje za noge i ruke, kuglični ležaj, kamera, tenk, podmornica i brojni drugi.

Za Teslu se vezuju izumi prije svega iz područja električnih uređaja koji koriste izmjeničnu struju: od generatora, elektromotora, transformatora, instrumenata i dr. koji su danas raširenи svugdje, od industrije do kućanstva. Današnji život stao bi da nema tih njegovih otkrića. Značajni su njegovi izumi u području telekomunikacija, prijenosa energije na veće udaljenosti te niz drugih uređaja iz područja elektrotehnike. Razvio je prvi uređaj za daljinsko upravljanje, preteču teledirigiranih uređaja i automatizacije, slika 2. Manje je poznato da je razvijao pojedine uređaje iz područja strojarstva kao što je Teslina turbina (bez lopatica), slika 3., fluidička (hidraulička) Teslina dioda i mehanički vibratori.

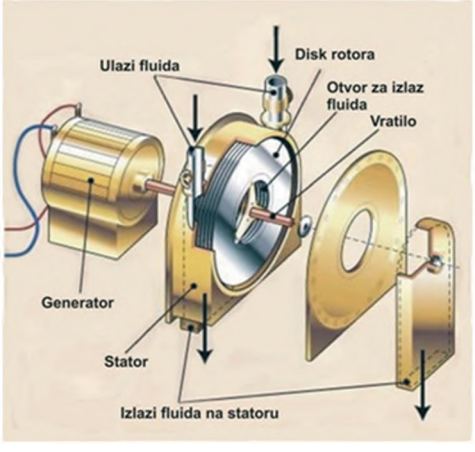
Mnogi njegovi izumi nisu mu priznati, nego su drugi imenovani izumiteljima, poput: radara, rubinskog lasera, X-zraka (rendgenske zrake), kozmičkih zraka, elektrona i ciklotrona. Poručio im je: "Ne žalim što su drugi ukrali moje ideje. Žalim što nemaju svoje." [5]

Tesla je smatrao da je:

> "Izum najvažniji proizvod čovjekovog kreativnog mozga. Krajnja svrha je potpuno ovladavanje uma nad materijalnim svijetom, usklađivanje ljudske prirode s ljudskim potrebama."



Sl. 2.: Daljinski upravljan brod, začetak automatizacije [14]



Sl. 3.: Teslina turbina [13]

Svaka ideja koja dođe zavređuje razmatranje. Nove se ideje ne smiju suditi po neposrednim rezultatima. [5] Iz cijelog njegova pristupa novim rješenjima proizlazi da je bitna ideja, a da je njezina realizacija pitanje vještine i mnogih pokušaja.

Vizije budućnosti

Tesla je bio zaokupljen letenjem pa je patentirao avion koji je mogao vertikalno polijetati, bez piste, kao helikopter i potom horizontalno letjeti kao avion, slika 4. Konstrukcija je bila revolucionarna, a taj način primijenjen je znatno kasnije kod aviona *orintopter* ili VTOL. Govorio je o raketama koje se pogone na "kozmički pogon" i kod kojih: "(...) projektil reže zrak brzinom većom od 500 km/s, u njemu nema čovjeka ni motora, ni krila."

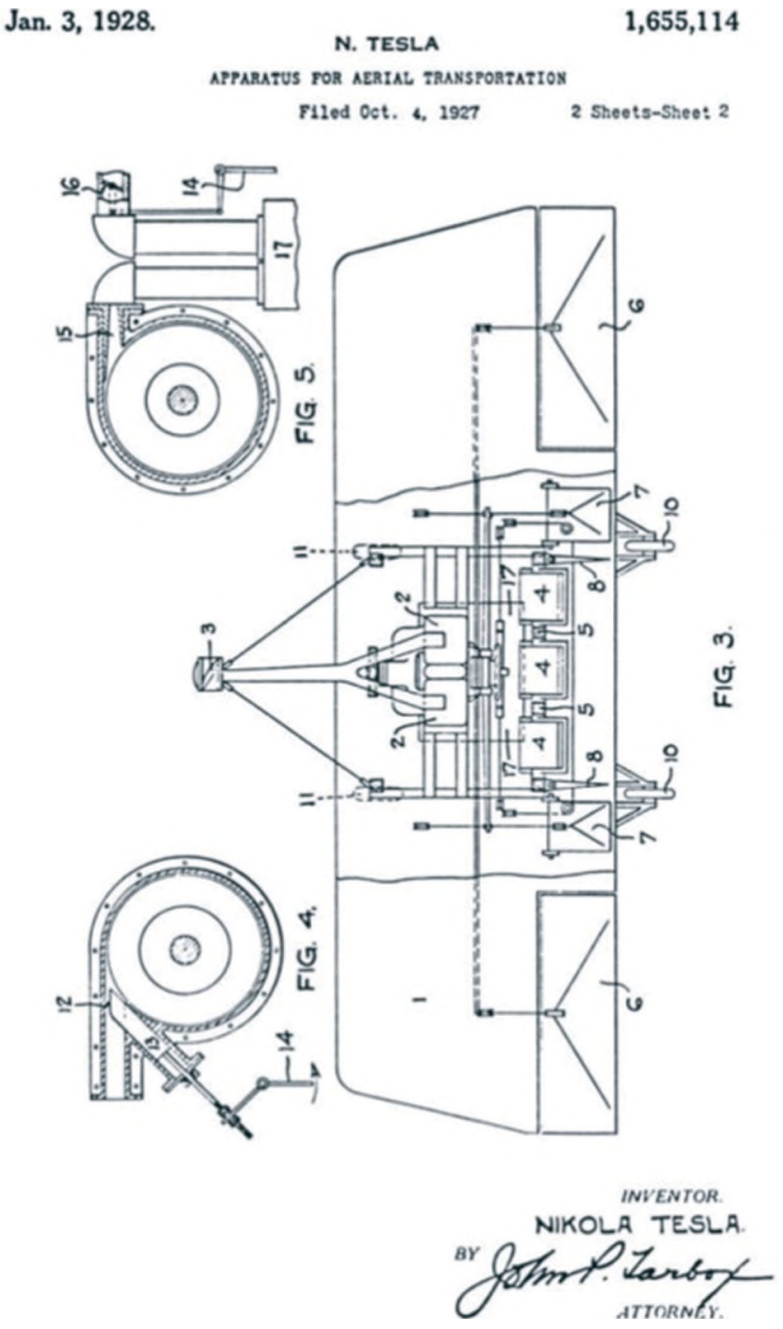
Otkrio je postupak medicinske dijatermije[8], koristeći visokofrekventnu elektro-terapiju. Postavio je temelje suvremene računalne tehnologije. [5] Istraživao je razna rješenja antigravitacije. U intervju listu *The New York Herald Tribune*(15.10.1911. Tesla je naveo da razmišlja onovoj vrsti letećeg stroja i opisao ga riječima:

> "Moj leteći stroj neće imati ni krila ni propelere... On će se moći kretati zrakom po volji u svakom smjeru, uz savršenu sigurnost. Također, moći će da levitira dugo u mjestu usprkos jakom vjetru."

Rekao je da je posrijedi letjelica koja će prkositi gravitaciji. Pogon te letjelice nazvao je 'antielektromagnetskim svemirskim pogonom' ili *Space Drive*. Nažalost, Tesla nikad nije objavio svoju dinamičku teoriju gravitacije koju je najavio.[9] [5]

[8]Dijatermija (grčki: dia, kroz; *therme* toplina) u medicinskoj terapiji predstavlja dielektrično podgrijavanje tkiva. Danas se rabe 'kratkovalna dijatermija', frekvencija od 10 MHz do 100 MHz, valne duljine od 3μm do 30 μm, te mikrovalna dijatermija s nekoliko tisuća megaherca i valne duljine nekoliko centimetara. Uobičajeno se koristi 'kratkovalna dijatermija' frekvencije od 27,12 MHz i valne duljine od oko 11 μm. Dijatermija izaziva pritjecanje krvi (hiperemiju), pojačanu izmjenu tvari, smanjivanje oteklina i boli i opuštanje mišića. [*Hrvatska enciklopedija*]

[9]Fizičari s Kalifornijskog instituta za napredne studije Thomas Townsend Brown i Paul Alfred Biefeld otkrili su da je moguće stvoriti umjetno gravitacijsko polje punjenjem kondenzatora na visoki napon. Kad je dostignut napon od oko milijun volti, uređaj je počeo levitirati u skladu s načelima koja su opisali u patentu s kraja 1950-ih. Taj efekt postao je poznat kao Biefield-Brownov efekt. Levitacija ili kretanje pojavit će se u smjeru pozitivno nabijene ploče. Brown je do 1958. uspio razviti eksperimentalni model tanjura promjera 38 cm (15 inča), koji je mogao podignuti više od 110 % njegove težine. Ti eksperimenti pokrenuli su novo polje istraživanja koje je postalo poznato pod nazivom 'elektrogravitacija', odnosno način kontrole gravitacije primjenom visokonaponskog električnog naboja (The Lost Journals of Nikola Tesla, UFOs and Electrogravity Propulsion). Ruski fizičar Jevgenij Podkletnov objavio je da je 1992. godine uspješno testirao uređaj koji ostvaruje levitaciju supravodljivog diska iznad magneta.



Sl. 4.: Patent Teslina aviona Uređaj za zračni prijevoz, br. 1,655,114 iz 1928.[10] [5]

[10]U.S. Patent Office, Nikola Tesla Patent 1.655.114 – "Apparatus for Aerial Transportation", 3. 1. 1928.

Jan. 3, 1928. 1,655,114

N. TESLA

APPARATUS FOR AERIAL TRANSPORTATION

Filed Oct. 4, 1927 2 Sheets-Sheet 1

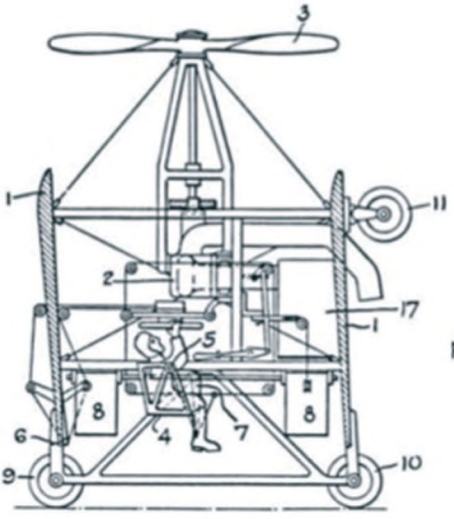


FIG. 1.

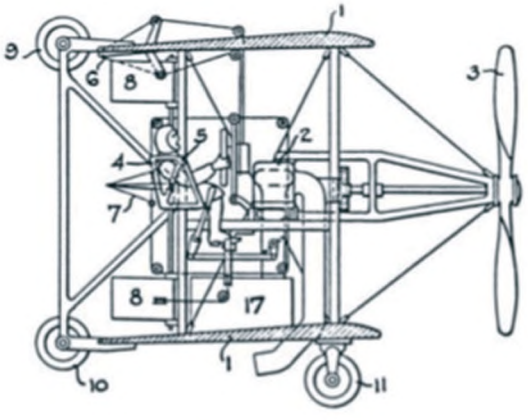


FIG. 2.

INVENTOR.
NIKOLA TESLA.
BY
ATTORNEY.

Sl. 4.: (nastavak)

Nagovijestio doba televizije, *smartphonea*, umjetne inteligencije, robota, teleportacije i mogućnosti stvaranja nevidljivosti. Interesantna je njegova izjava iz 1937. godine:

> "U dvadeset prvom stoljeću robot[11] će obavljati poslove robova kao nekada u drevnim civilizacijama." [5]

Objavio je da je pronašao "zrake smrti" koje je nazvao *teleforce,* odnosno uređaj koji projektira "snop elektroničkih čestica". Razmišljao je tzv. misaonoj kameri, jer je mislio da se misli projektiraju na mrežnicu i da bi se mogle čitati odgovarajućim fotografskim uređajem. [5] Time nisu iscrpljena sva Teslina predviđanja i vizije budućnosti.

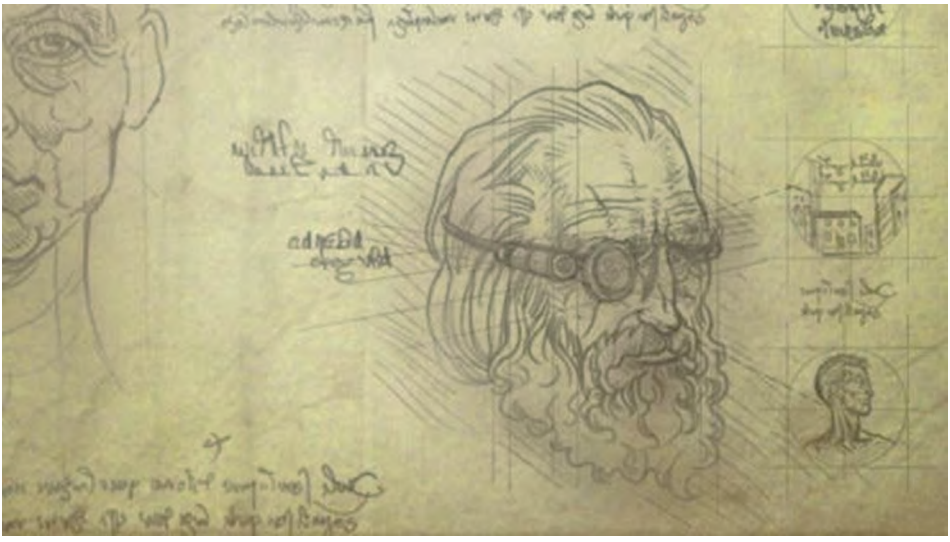
Možda još nevjerojatnije zvuče neka Leonardova zapisana razmišljanja s crtežima. U najzanimljivijem, *Codex Atlanticus*, koji je nastao oko 1500. godine, proročanski je zapisao:

> "Ljudi iz vrlo udaljenih zemalja razgovarat će jedni s drugima… . Oni će govoriti, dodirivati i grliti ljude koji žive u različitim hemisferama, i razumjeti ih na vlastitom jeziku."

Je li to naznaka telekomunikacija, videa, računala, univerzalnog provoditelja…? Isto tako, predvidio je izradu dalekozora, koji se naslućuje u sljedećim riječima: "Izradi naočale, kojima ćeš vidjet povećani Mjesec." [15] Nacrtao je čovjeka s jednim okularom na licu, koji podsjeća na **Google Glass**, a opis koji stoji uz sliku ne ostavlja dvojbu da je mislio na nešto slično, slika 5. [12, 16] Tad neobični strojevi ili naprave danas su realnost.

Leonardo je više od 25 godina proučavao let ptica kako bi izradio mehanizme koji bi oponašali mahanje krilima. Na kraju je ustanovio da su čovjekovi mišići preslabi da bi se to ostvarilo. Napravio je tad fiksna krila i postavio ih na napravu u kojoj je čovjek trebao ležati. Prema Leonardovim crtežima britanski su inženjeri izgradili jednu takvu letjelicu zmaja i uspješno je testirali u Sussex Downsu u jugoistočnoj Engleskoj. [6] To je isto uspješno napravljeno i

[11] Naziv robot osmislio je češki spisatelj Karel Čapek u "kolektivnoj drami" *R. U. R.* (Rossumovi Univerzalni Roboti), koja je kao kazališni komad praizvedena u siječnju 1921. u Pragu. Radnja drame je futuristička. Čovjekolike tvorevine − roboti, izrađeni prema tajnoj formuli doktora Rossuma, preuzimaju vlast na Zemlji i počinju vladavinu nad ljudima.
Prvog je metalnog robota, "čovjeka od limenke" koji je pomicao ruke, mogao ustati sa stolca, okretati glavu i otvarati usta te "govoriti" napravio 1928. kapetan William Richards i zrakoplovni inženjer Alan Reffell iz Velike Britanije. Nazvali su ga *Robot Eric*. Namjena mu je bila "otvaranje" izložbe Društva inženjera u Londonskoj kraljevskoj dvorani, nakon što je kralj Đuro VI. (tad vojvoda od Yorka) otkazao. Imao je na sebi natpis RUR. Tad se počela koristiti riječ robot za te čovjekolike strojeve. Sljedeće je godine William Richards u New Yorku izložio *Robota Erica* i izazvao senzaciju. Naveliko se govorilo o robotu. [20] Kad je Tesla 1937. godine dao izjavu, naziv 'robot' već se koristio za čovjekolike strojeve koji mogu obavljati određene poslove.



Slika 5.: Leonardov crtež zamisli kasnije realizirane kao *Google Glass* [12, 16]

s njegovom zamisli padobrana, skokom obavljenim 2000. u Južnoj Africi i 2008. u Švicarskoj. [12]

Leonardo da Vinci osmislio je "robota viteza" koji je mogao pomicati ruke, vrat, otvarati i zatvarati usta. Preko užadi unutar robota ostvarivala su se kretanja. Njegovi nacrti robota pronađeni su tek 450 godina kasnije. Radni model prema crtežima da Vincija napravljen je tek 2002., slika 6.a).





a) b)

Sl. 6.: Suvremene realizacije Leonardovih konstrukcija: a) Robot vitez [17], b) *Viola organista* [18]

Malo je poznato da je Leonardo da Vinci izumio neobičan instrument pod imenom *Viola Organista* (crtež u *Codex Atlanticus*). Bio je poput klavira, a svirao je kao violina. Kotač po žici simulirao je kretanje gudala i ostvarivao zvuk, a tipka je umjesto prstiju pritiskala žicu na određenoj udaljenosti da se dobije visina tona. Tek je 2013. poljski pijanist Sławomir Zubrzycki izradio taj instrument prema originalnim da Vincijevim nacrtima, slika 6.b). [18] Nakon što ga je isprobao, Zubrzycki je izjavio: "Ovaj instrument ima obilježja tri koja znamo: čembalo, orgulje i *viola da gamba*." [19]

Zaključak

O genijima Leonardu da Vinciju i Nikoli Tesli napisano je najviše knjiga. Oni su bili predmet interesa mnogih pisaca i znanstvenika. Bili su i inspiracija istraživačima, umjetnicima, graditeljima, psiholozima i filozofima. To su i danas.

U opisu rada nije se pažnja usmjerila na Leonardove i Tesline osnovne preokupacije, kao što je slikarstvo za Leonarda, te brojni izumi iz područja elektrotehnike za Teslu, što je često analizirano i poznato. U radu su se pokušale prikazati njihove aktivnosti na drugim područjima, posebno onim manje poznatim. Bile su interesantne i njihove pojedine ljudske osobine.

Njihova je međusobna sličnost iznenađujuća, ali postavlja se pitanje bi li se takva sličnost ustanovila i u usporedbi drugih genija. Geniji očito imaju neke zajedničke sposobnosti i nadarenosti. Tako je i Newton posjedovao iznimnu memoriju zajedno s mogućnošću stvaranja vizije. Često se ističe da je Isaac Newton bio u stanju držati neki matematički problem tjednima u glavi prije nego bi ga prepustio svojim umnim sposobnostima, konačno zapisao i objavio. Kad su ga upitali kako je došao do izvanrednih otkrića, Newton je navodno odgovorio: "Stalno držim predmet pred sobom i čekam da se prva svitanja malo-pomalo pretvore u dan." Isto tako, Goethe je mogao recitirati svoje romane od riječi do riječi prije nego bi ih zapisao. [6]

Vjerojatno bi se našlo još mnogo zajedničkih točaka među drugim genijima, ali teško je vjerovati da bi bilo toliko podudarnosti kao kod Leonarda i Tesle. Zbog svojih iznimnih i sličnih sposobnosti i genijalnosti mogli su dati toliko čovječanstvu i ponuditi mu neka interesantna predviđanja u budućnosti. Neka još čekaju da budu realizirana.

Referencije

[1] Žene po inteligenciji prestižu muškarce, dostupno na http://www.rts.rs/page/magazine/sr/story/511/zanimljivosti/1141480/zene-po-inteligenciji-prestizu-muskarce.html, pristup 24. 8. 2019.

[2] Ivanov, L.: *Inteligencija*, Odjel za psihologiju, Sveučilište u Zadru, prezentacija u PP, dostupno na *www.unizd.hr › portals › ppt › 03-inteligencija,* pristup 31. 8. 2019.

[3] *Što je genije?*, Edukacija.hr, dostupno na http://www.edukacija.hr/vijest/sto-je-genije/1555/, objavljeno 8. 4. 2016.

[4] *Kako postati genij*, dostupno na https://www.zivotna-skola.eu/clanci/genije.html, pristup 9. 1. 2020.

[5] Borić, M. & Nikolić, G.: *Nikola Tesla*, Hrvatski velikani, Privlačica d. o. o., Vinkovci, ISBN 978-953-156-376-5 u tisku.

[6] Capra, F.: *Leonardova znanost*, Biblioteka OSOBA, Zagreb 2009., ISBN 978-953-257-144-8

[7] *Discover ideas about Renaissance Artists*, dostupno na https://www.pinterest.com/pin/674695587897447720/, pristup 10. 1. 2020.

[8] *Nikola Tesla*, dostupno na https://www.onthisday.com/people/nikola-tesla, pristup 10. 1. 2020.

[9] *Leonardo da Vinci – najveći genij renesanse – 1452.*, dostupno na https://povijest.hr/nadanasnjidan/leonardo-da-vinci-bio-je-po-majci-mozda-izvaneuropskog-podrijetla-1452/, pristup 15. 1. 2020.

[10] Zelić, D.: Izumitelj i poduzetnik – tri nepoznata dokumenta o Faustu Vrančiću iz 1588. − 1590.godine, izvorni znanstveni rad, UDK:001.894VRANČIĆ, F.(093), Faust Vrančić i njegovo doba, *Zbornik radova s Međunarodnog znanstvenog skupa održanog u povodu 400. obljetnice objavljivanja 'Novih strojeva' Fausta Vrančića*, Vodice-Šibenik 22. − 23. rujna 2015. Memorijalni centar *Faust Vrančić*, Prvić Luka 2018., str. 41-64.

[11] *Leonardo da Vinci's contemporaries*, dostupno na http://www.leonardo-da-vinci-models.com/hints.html, pristup 15. 5. 2017.

[11] Nikolić, G.: Korištenje i plagiranje tuđih ideja u renesansi, *Zbornik radova sa znanstveno-stručnog skupa Povijest i filozofija tehnike*, Zagreb, lipanj 2018., str. 263-302.

[12] Nikolić, G.: Život i izumi Fausta Vrančića, treće prošireno i dorađeno izdanje, HATZ i POUZ, Zagreb, 2018., ISBN 978-953-7076-28-3.

[13] Barta, P.: *Revolucionarna turbina Nikole Tesle i dalje čeka svoj moment*, dostupno na https://autorepublika.com/2018/11/20/revolucionarna-turbina-nikole-tesle-i-dalje-ceka-svoj-momenat-video/, objavljeno 20. 11. 2018.

[14] Jelić, I.: *Primjena robotike u medicini*, Strojarski odjel Karlovac, Završni rad, dostupno na https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:552/preview, objavljeno 2016.

[15] *Neskončni Leonardo*, dostupno na http://www.mladinska.com/neskoncni_leonardo/konstrukcije_in_prerokbe, objavljeno 2011.

[16] *Gugl naočare: Originalan izum Da Vinčija?!*, (autor: EPK/Mondo) dostupno na http://www.kurir-info.rs/gugl-naocare-originalan-izum-da-vincija-clanak-726255, objavljeno 4. 4. 2013.

[17] Nella, A.: *Ispred svog vremena, Leonardo da Vinci*, dostupno na https://nellacro.wordpress.com/2014/12/22/ispred-svog-vremena-leonardo-da-vinci/, objavljeno 22. 12. 2014.

[18] *Viola organista*, Wikipedija, dostupno na https://en.wikipedia.org/wiki/Viola_organista, objavljeno 12. 12. 2019.

[19] *Da Vinci's Viola Organista Built in Poland*, dostupno na https://mykeyboardlessons.co.uk/2013/11/viola-organista/, objavljeno 21. 11. 2013.

[20] *Podrijetlo riječi robot* (Igor Ratković; *ABC tehnike* 2000.), http://www.hrobos.hr/files/predstava-rur.pdf, pristup 30. 10. 2019.

Nikola Bogunović

Elektroničar Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.) – znanstvenik i mentor

Sažetak: Maksimilijan Konrad djelovao je u vrijeme pojačanog interesa za nuklearne procese te je najvećim dijelom ostvario rezultate istraživanja u području elektroničke instrumentacije s primjenom u nuklearnim mjerenjima. Bio je jedan od prvih zaposlenika Instituta *Ruđer Bošković* u Zagrebu i zaslužan je za puštanje u rad zagrebačkog ubrzivača − ciklotrona. Na Institutu je vodio Odjel elektronike, čija djelatnost obuhvaća široko područje tema iz nuklearne znanosti i elektroničke instrumentacije. Zajedno sa suradnicima ostvario je brojne znanstveno-istraživačke rezultate i realizirao mnoge elektroničke instrumentacijske sustave koji su u ono vrijeme značili sam vrh istraživanja u svijetu. Uz obilje faktografskih podataka i povezanih tekstova izravno preuzetih (preslikanih) iz navedenih izvora, u članku su posebice izdvojeni neki rezultati rada M. Konrada koji prema mišljenju autora članka daju najbolji uvid u njegov način rada i istraživanja, a koji su mu nedvojbeno donijeli svjetsku prepoznatljivost. To su dubinska analiza i preporuke za optimalno oblikovanje signala iz detektora zračenja, istraživanje i realizacija nekih tipova analogno-digitalnih pretvarača te oblikovanje višekanalnih spektrometrijskih sustava visokog razlučivanja za prihvat i analizu signala iz nuklearnih detektora.

Ključne riječi: ciklotron, elektronika, instrumentacija, mjerenje zračenja, nuklearna znanost

Uvod

Završetkom Drugog svjetskog rata u svijetu je naglo narasla znanstvena znatiželja i potreba za istraživanjem nuklearnih procesa te za razumijevanjem interakcije nuklearnog i drugih zračenja s materijom. Nuklearna znanost usmjerena na istraživanje konstitucije i odnosa atoma, fundamentalnih sastavnica svijeta oko nas, dobila je novi zamah i poticaj.

Krajem 1940-ih u Jugoslaviji su utemeljena tri nuklearna interdisciplinarna instituta. Odlučeno je da Beograd i Ljubljana budu središta reaktorskih istraživanja, a da se u Zagrebu izgradi akcelerator. Posljedično, 1950. godine osnovan je u Zagrebu Institut *RuđerBošković* (u daljnjem tekstu IRB), a godinu kasnije odlučeno je da se izgradi akcelerator − ciklotron po uzoru na slične ciklotrone u UK-u i SAD-u, energije 16 MeV za deuterone, 8 MeV za protone i 32 MeV za alfa-čestice. Ciklotron ubrzava čestice izmjeničnom strujom u koracima po spiralnom putu.

Ciklotron IRB svečano je otvoren 25. listopada 1962. godine. Napori da se dobije vanjski snop ubrzanih čestica bili su neuspješni jer konstrukcija ciklotrona nije omogućavala prikladan deflektor za ekstrakciju snopa. Tek je 1973. izvučen vanjski snop. Kako su u to vrijeme istraživanja u nuklearnoj fizici tražila znatno naprednije snopove, odlučeno je da se zagrebački ciklotron koristi većim dijelom u proizvodnji radioizotopa [1], [2].

U okviru IRB-a, Odjel elektronike bio je od prvih dana uključen u istraživanja i izradu elektroničke instrumentacije oko novoizgrađenog ciklotrona, kao i instrumentacije za potrebe ostalih istraživanja u drugim odjelima na IRB-u, posebice nuklearne eksperimentalne fizike (npr. instrumentacija za mjerenje energetskog spektra zračenja). Odjel elektronike na vrhuncu svojeg djelovanja imao je oko 35 suradnika. To je bila izvanredno uspješna grupa mladih i sposobnih elektroničara. U to doba svi su svjetski istraživački centri sami gradili instrumentaciju za znanstveni rad. Još nije postojala industrija nuklearne i druge instrumentacije te su svi sklopovi i sustavi izrađeni u Odjelu elektronike bili sam vrh svjetskih postignuća na tom području. U današnje su se vrijeme potrebe za njihovom gradnjom unutar znanstvenih institucija uvelike smanjile. Rad Elektroničkog odjela IRB-a na gradnji elektroničke (i druge) instrumentacije u početnom razdoblju IRB-a neprocjenjiv je. Taj se rad ne može ocijeniti samo na osnovi objavljenih radova djelatnika Odjela jer je ugrađen u nebrojene radove drugih istraživača [4].

Bio je to vremenski kontekst i okruženje u kojem je istraživao i djelovao Maksimilijan Konrad, jedan od prvih stalnih zaposlenika IRB-a i dugogodišnji pročelnik Odjela elektronike.

1. Životopis Maksimilijana Konrada [3], [4]

Maksimilijan Konrad rodio se u Zagrebu 21. kolovoza 1924. godine. Otac mu je bio građevinski inženjer. Od 1930. godine Maksimilijan je u Zagrebu pohađao osnovnu, a od 1934. srednju školu (Drugu mušku realnu gimnaziju). Maturirao je u toj gimnaziji 1942. Bio je mobiliziram u Domobranstvo. Vojsku je služio u protuavionskoj artiljerijskoj vojnoj jedinici blizu Zagreba. Kako je



Sl. 1.: Maksimilijan Konrad (1924. –1980.)

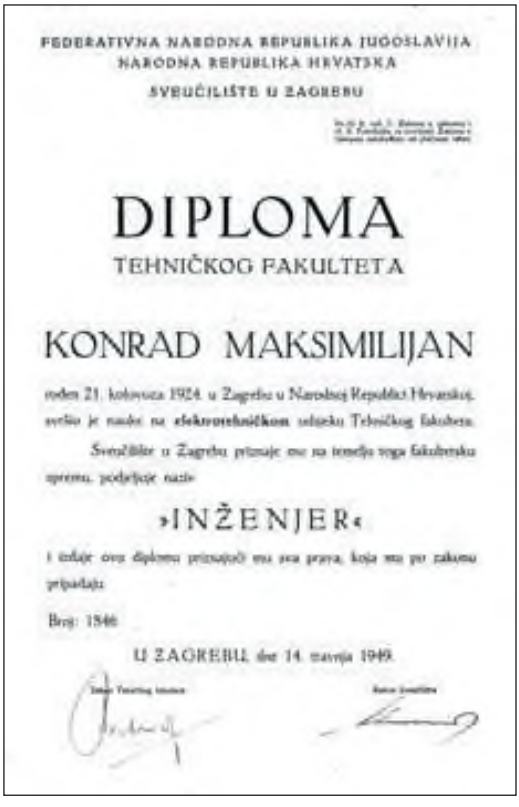
mogao povremeno odlaziti u grad, upisao je ujesen 1943. godine studij elektrotehnike na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Kako nije mogao izvršavati sve obveze, u to vrijeme nije mogao napredovati u studiju. Neposredno nakon Drugog svjetskog rata odobren mu je ujesen 1945. upis u treći semestar. Proveo je oko jednu godinu u zarobljeništvu i zatim se vratio u Zagreb i nastavio studirati. Na studiju je bio vrlo uspješan i već je 1946. postao demonstrator u Zavodu za fiziku Tehničkog fakulteta, a nakon što je postao apsolvent izabran je za laboranta na istom Zavodu. Maksimilijan Konrad diplomirao je 14. travnja 1949. na smjeru 'slaba struja', slika 2.

Nedugo nakon diplome, iste se godine zaposlio u Radio-centru Hrvatske i bio rukovoditelj njegove tehničke službe. Pokazao se kao izvrstan poznavatelj elektroničkih uređaja, s velikom sposobnošću da ih stavi u ispravan rad ili nadogradi. Te njegove sposobnosti ubrzo su se pročule u širem krugu elektrotehničara te drugih inženjera i znanstvenika.

Kao što je spomenuto, 1950. godine u Zagrebu je odobrena gradnja instituta za područja nuklearnih znanosti, prvotno nazvanog Institut za fiziku JAZU, a kasnije preimenovanog u Institut *Ruđer Bošković* (IRB). Najveća zasluga za gradnju pripada Ivanu Supeku, profesoru i predstojniku Zavoda za teoretsku fiziku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu Temeljni problem u uspostavi IRB-a bilo je okupljanje znanstvenika za rad na Institutu jer je visoko školstvo bilo znatno poremećeno od početka Drugog svjetskog rata, a poslije rata još se nije oporavilo. Stoga je i kod nas i u svijetu bio velik nedostatak visokokvalificiranih ljudi. Profesor Supek tražio je i nalazio mlade sposobne ljude koji su bili izgledni da će se razviti u kvalitetne istraživače u tad kod nas novim znanstvenim disciplinama: nuklearnoj fizici, elektronici, istraživanju radioaktivnosti, radiokemiji, radiomedicini i sl. Tad je Maksimilijan

Konrad bio uočen kao iznimno sposoban elektroničar i postao je 1950. jedan od prva tri stalna službenika IRB-a, kad su prve zgrade IRB-a još bile u gradnji.

U skladu s odlukom da se na IRB-u izgradi akcelerator − ciklotron po uzoru na slične ciklotrone u UK-u i SAD-u, profesor Supek dogovorio je s voditeljem Odjela za fiziku u Birminghamu u Engleskoj prihvaćanje dvaju poslijediplomanata za rad na ciklotronu u njihovu Odjelu za fiziku. To su bili fizičar Ksenofont Ilakovac i elektroničar Maksimilijan Konrad. Redovito su slušali predavanja i kolokvije, učili u laboratoriju rad s instrumentima, gradili aparate za mjerenja, obavljali mjerenja i analizirali podatke. Zadatak i ujedno tema doktorske disertacije M. Konrada bilo je proučavanje prostorno-vremenskog oblika ciklotronskog ionskog snopa tijekom ubrzavanja. U otprilike tri godine završio je mjerenja, analize, pisanje i ispravke doktorske disertacije te je predao na ocjenu i obranu. Naslov disertacije bio je *The Cyclotron Beam Waveform*. Tako je Maksimilijan Konrad nakon tri godine studija i rada na Sveučilištu u Birminghamu postigao akademski stupanj *Doctor of Philosophy*, vratio se u Zagreb te nastavio raditi u IRB-u. Preuzeo je vođenje Elektroničkog odjela usmjerenog prema razvoju elektroničke instrumentacije.



FEDERATIVNA NARODNA REPUBLIKA JUGOSLAVIJA
NARODNA REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

DIPLOMA
TEHNIČKOG FAKULTETA

KONRAD MAKSIMILIJAN

rođen 21. kolovoza 1924. u Zagrebu u Narodnoj Republici Hrvatskoj, svršio je nauke na **elektrotehničkom** odsjeku Tehničkog fakulteta.

Sveučilište u Zagrebu priznaje mu za temelju toga fakultetske spreme, podjeljuje naziv

»INŽENJER«

i izdaje ovu diplomu priznajući mu sva prava, koja mu po zakonu pripadaju.

Broj: 1546

U ZAGREBU, dne 14. travnja 1949.

Sl. 2.: Diploma Maksimilijana Konrada

Jedan od prvih poslova za koji je doktor Konrad bio zadužen nakon povratka iz Engleske (1955.) bilo je sudjelovanje u gradnji ciklotrona u IRB-u. On je riješio dva ključna zadatka na tom ubrzivaču, koji je prema projektu trebao ubrzavati deuterone do energije 16 megaelektronvolta (MeV) i helijeve jezgre (alfa-čestice) do energije 32 MeV. Jedan od njegovih zadataka bila je vrlo precizna stabilizacija magnetskog polja ciklotrona, a drugi konstrukcija, ispitivanje, puštanje u rad i stabilizacija radiofrekventnog oscilatora za visokonaponsku uzbudu ubrzavajućeg polja među elektrodama u ciklotronu (tzv. D-ovima). To je odlično riješio i ti su sustavi služili cijelo vrijeme rada ciklotrona.

Treba istaknuti da je Konrad kao pročelnik Elektroničkog odjela IRB-a vodio razvoj pogona za gradnju nuklearne elektroničke i druge znanstvene instrumentacije svjetske kvalitete za potrebe drugih odjela IRB-a i za niz drugih znanstvenih institucija. Svojim radom postavio je temelje impulsne elektronike u Hrvatskoj. Početno je to bila elektronika s vakuumskim cijevima. Kad su se pojavili tranzistori, odmah je počeo razvoj tranzistorskih sklopova i gradnja tranzistorske instrumentacije. To se ponovilo kad su postali dostupni integrirani tranzistorski sklopovi pa kako su sve sofisticiraniji čipovi dolazili na svjetsko tržište, oni su se nabavljali i ugrađivali u nove uređaje. Nadalje, s pojavom miniračunala i kasnije mikroračunala razvijene su međujedinice za povezivanje različitih mjernih uređaja na računala i napravljeni su programi za automatsko vođenje mjerenja.

Osim velikog i napornog znanstvenog rada i vođenja velikog odjela, Maksimilijan Konrad aktivno je sudjelovao u preddiplomskoj i poslijediplomskoj visokoškolskoj nastavi. Od samog osnutka poslijediplomskih studija, prvotno na IRB-u 1956./1957. u vidu poslijediplomskog tečaja Uvod u nuklearne nauke i njihove primjene, te 1957./1958., kad se taj studij povezuje s nizom fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, 1961./1962. postaje zajednički studij Sveučilišta, IRB-a i drugih znanstvenih instituta, te 1971., kad postaje Sveučilišni poslijediplomski studij. Prema dostupnim podacima, pod njegovim je vodstvom magistriralo 15 i doktoriralo osam elektroničara na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu i jedan na Sveučilištu Columbia u SAD-u, od kojih je desetak postiglo svjetski uspješne karijere.

Za svoj znanstveni rad dobio je mnoga priznanja: znanstveni suradnik 1957., viši znanstveni suradnik 1963., znanstveni savjetnik 1966., Nagradu za znanstveni rad *Nikola Tesla* 1964, suradnik na Sveučilištu Columbia u SAD-u (1965. − 1968.), Orden rada sa zlatnim vijencem 1962., a 1975. izabran je za izvanrednog člana JAZU (današnje HAZU).

Nažalost, Maksimilijan Konrad iznenada je preminuo 1980. godine u punom naponu radne sposobnosti. Svjetska stručna i znanstvena zajednica tako je ostala uskraćena za njegove još mnoge potencijalno vrlo uspješne doprinose.

2. Ključna područja znanstvenog i stručnog rada Maksimilijana Konrada

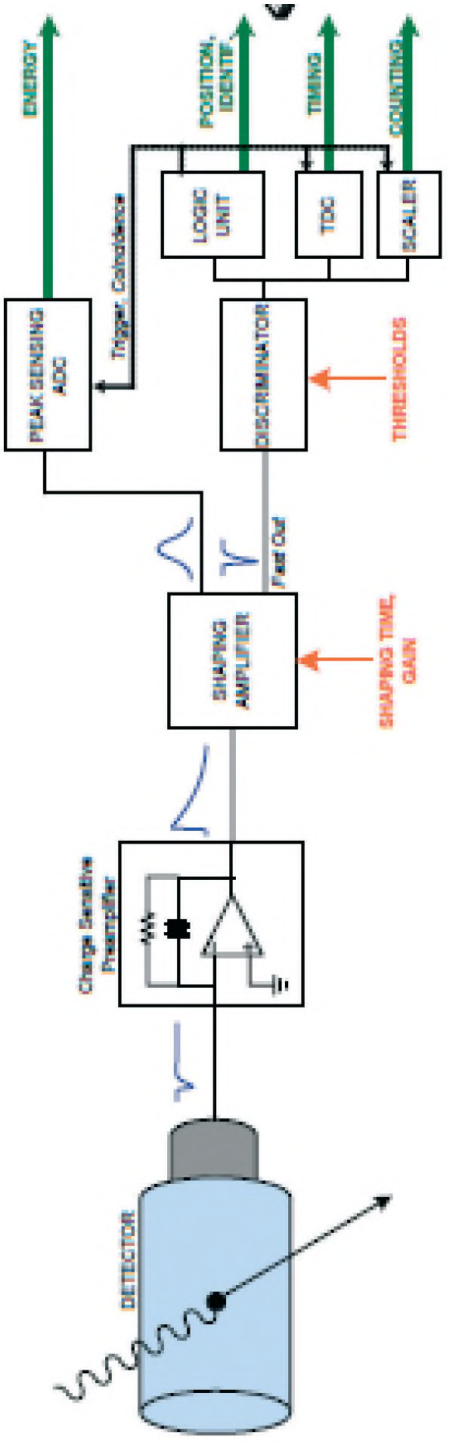
Znanstveni i stručni rad Maksimilijana Konrada obuhvaća široko područje tema iz nuklearne znanosti i elektroničke instrumentacije. Tijekom rada na doktorskoj disertaciji u Birminghamu ostvario je mjerenja impulsnih valnih oblika u frekvencijskom pojasu preko 1 GHz [4]. Samostalno je razvio mjerni uređaj temeljen na izvornoj metodi mjerenja uzoraka (engl. *sampling*), što je bio pionirski rad u ono vrijeme. Metoda se temelji na dodavanju i oduzimanju kratkog (1 ns) impulsa stalne amplitude s vremenskim pomakom. Mjerenja su se obavljala u snažnom električnom polju ciklotrona (preko 1 MV/m), dok je struja snopa iznosila tek oko 10 mA. Ta je istraživanja (metoda mjerenja, valni oblici ciklotronskog snopa, teorija ionskog ubrzavanja), opisao u nizu radova koji su bili vrlo zapaženi u svijetu.

Konrad nakon povratka na IRB tijekom 1955. počinje raditi na projektiranju, izvedbi i stavljanju u pogon ciklotrona u Zagrebu. Pod njegovim je vodstvom ostvaren uređaj za stabilizaciju struje magneta ciklotrona te je stavljen u pogon visokofrekventni sustav. Ipak, temeljna aktivnost Maksimilijana Konrada vezana je uz elektroničku instrumentaciju.

Široko područje elektroničke instrumentacije koje je bilo u središtu istraživanja Maksimilijana Konrada obuhvaćalo je u najvećoj mjeri mjerne sustave i detekcijske metode. Neka su od tih istraživanja: ciklički integratori (osnova današnjih preciznih elektroničkih digitalnih mjernih instrumenata), analogno-digitalni (AD) i vremensko-digitalni pretvarači, višekanalni amplitudni analizatori koincidentnih signala iz više nuklearnih detektora (posebno važno nakon uvođenja poluvodičkih detektora u istraživanjima nuklearnih raspada), oblikovanje ulaznih impulsa za AD pretvarače radi optimizacije u spektrometriji visokog razlučivanja s minimalnim slučajnim varijacijama amplituda, u kojem se pažljivo analizira utjecaj šuma, pribrajanje vremenski bliskih impulsa, utjecaj promjena osnovne naponske linije i drugo te metode za stabilizaciju višekanalnih sustava (radi postizanja suglasnih ishoda dugotrajnih mjerenja).

Nuklearna pulsno-amplitudna spektrometrija visokog razlučivanja bila je u fokusu rada Maksimilijana Konrada, a tako i cijelog Odjela elektronike na IRB-u od samog početka. Blok shema tzv. analognog (tradicijskog) sustava nuklearne spektrometrije prikazuje slika 3. Iako je slika preuzeta iz dokumenta novijeg datuma, svi elementi i njihovo povezivanje u spektrometrijskom lancu odgovaraju sustavima kakvi su se gradili od 1950. do 1970. godine, tj., u vrijeme Konradova rada.

Kratki strujni signal / impuls čiji je vremenski integral proporcionalan energiji čestice iz detektora zračenja dolazi na nabojski osjetljivo pretpojačalo/integrator (engl. *charge sensitive preamplifier*), zatim na pojačalo za optimalno



Sl. 3.: Blokovska shema analognog sustava nuklearne spektrometrije (preuzeto iz: CAEN – Digital Pulse Processing in Nuclear Physics, WP 2081, August 2011.)

oblikovanje impulsa (engl. *sampling amplifier*) te na analogno-digitalni pretvarač (engl. *peak sensing ADC*[1]), slika 3. Prihvat zanimljivih impulsa određuju logički sklopovi preko signala okidanja ADC-a (engl. *trigger coincidence*). Brojčana veličina iz ADC-a proporcionalna amplitudi impulsa (energiji čestica) upisuje se u višekanalni analizator (engl. *multi chanel analyzer* – MCA, nije prikazan na slici 3.), u kojem se inkrementira adresa/kanal koji odgovara toj brojčanoj veličini. Prihvat većeg broja impulsa iz detektora povećava sadržaj samo određenih adresa/kanala, gradeći tako spektar promatranog zračenja. Kako je Konrad istraživao i sudjelovao u ostvarenju gotovo svih dijelova sustava prikazanog na slici 3., u nastavku će biti opisani neki njegovi najznačajniji doprinosi.

2.1. Oblikovanje signala iz detektora zračenja [5]

Svako mjerenje impulsa iz detektora zračenja nužno uključuje slučajne pogreške. Napon $E(t)$ čija se amplituda mjeri sastoji se od dvije komponente: $E_j(t)$ napon je koji odgovara naboju q_j iz detektora zračenja, a $E_u(t)$ doprinos je iz svih drugih izvora. Ako se mjerenje izvodi u času T_j, tad je zbog $E_u(T_j)$ pogreška mjerenja naboja $Q_{uj} = E_u(T_j) / K$.

Kako se impulsi iz detektora zračenja pojavljuju slučajno u vremenu, to je Q_{uj} slučajna veličina određena svojom razdiobom vjerojatnosti. Naboj q_j iz detektora također je slučajna veličina, a obje su slučajne veličine statistički neovisne te je mjereni spektar konvolucija ovih dviju funkcija gustoće razdiobe. Konrad je pokazao da se analiza pogreške mjerenja može provesti uz pretpostavku dolaska jednakih impulsa q_1 (funkcija gustoće razdiobe jedinični je impuls). Tako se oblikovanje signala svodi na analizu odziva mreže na jedinični impuls i određivanje optimalne težinske (prijenosne) funkcije sustava s ciljem minimizacije pogreške $Q_{uj.}$ Potrebno je uzeti u obzir tri izvora nestabilnosti: šum, pomak osnovne linije i slučajno pridodavanje drugih impulsa (engl. *pile-up*). Svaka od tih komponenti pogreške utječe na odabir težinske funkcije sustava (oblik i vremenski opseg) na poseban način te se na pitanje "Koja je optimalna težinska funkcija?" ne može odgovoriti načelno. Na pogrešku još utječe učestalost generiranja signala iz detektora zračenja, razdioba naboja impulsa te, konačno, što se želi odrediti mjerenjem. Nakon izračuna srednje vrijednosti i varijance svih triju tipova pogreške ovisno o težinskoj funkciji i statističkim svojstvima slučajno dolazećih impulsa, Konrad je u svojem izvornom istraživanju utvrdio kako je navedeno u nastavku.

Za vrlo niske učestalosti impulsa iz detektora zračenja težinska se funkcija može odabrati tako da minimizira pogrešku generiranu šumom. U tom slučaju

[1] **ADC** (engl. *analog to digital converter*), analogno-digitalni pretvarač

integracijska konstanta pretpojačala, slika 2., može biti vrlo velika tako da je pogreška zbog pomaka bazne linije zanemariva. Vjerojatnost pridodavanja drugih impulsa (engl. *pile-up*) također je mala. U cilju eliminacije pogreške pomaka bazne linije zbog spore promjene izlaznog napona pojačala (drift, nesavršeno napajanje, filtriranje i sl.) poželjno je oblikovati sklop za obnavljanje bazne linije (engl. *restorer*) s dovoljno velikom vremenskom konstantom kako ne bi došlo do povećanja pogreške generirane šumom. Sklop za obnavljanje bazne linije vremenski je promjenjiva mreža čiji se parametri mijenjaju s ulaznim naponom generiranim impulsima iz detektora zračenja te mijenjaju težinsku funkciju sustava.

Za visoke učestalosti impulsa iz detektora zračenja najveću pažnju potrebno je usmjeriti na pogreške zbog pomaka bazne linije i pridodavanja drugih impulsa te su sklopovi za odbacivanje pridodavanja drugih impulsa i obnavljanje bazne linije bitni. Dodatno, bit će potrebna kompenzacija vremenske konstante pretpojačala. U većini slučajeva širina težinske funkcije mora se smanjiti kako bi se izbjegao prekomjerni gubitak impulsa iz detektora zračenja. Potrebno je postići kompromis između pogreške šuma i drugih slučajnih pogrešaka uključujući statističke pogreške zbog gubitka impulsa iz detektora. Ako se koristi stabilizacija bazne linije ubacivanjem referentnih impulsa, pogreška se značajno smanjuje pod uvjetom konstantne ili slabo promjenjive učestalosti impulsa. Kod pulsnih ubrzivača (akceleratora) učestalost dolazaka čestica brzo se mijenja pa se mijenja i srednja vrijednost pogreške bazne linije. Varijanca te pogreške povećava se i ne može se smanjiti stabilizacijom bazne linije.

Zaključno, način realizacije težinske funkcije sklopova istodobno određuje i svojstva stupnjeva pojačala. U cilju realizacije najboljih performansi cjelovitog sustava, potrebno je simultano razmotriti oblikovanje signala i izvedbu pojačanja.

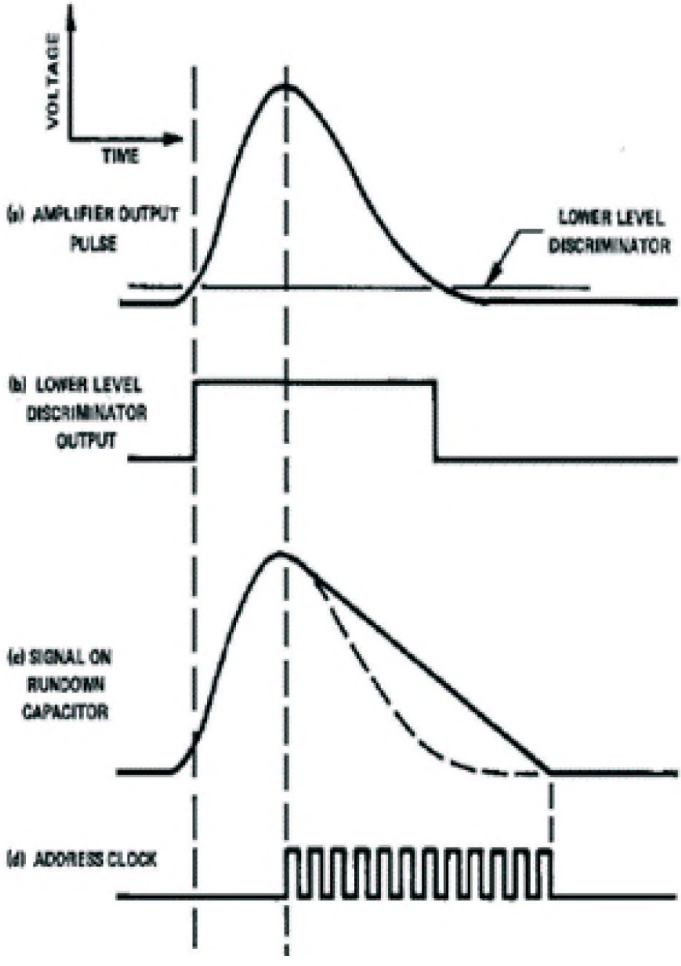
2.2. Prihvat i analiza signala iz detektora zračenja [6]

Doprinos Maksimilijana Konrada u istraživanju i realizaciji prihvata i analize signala iz detektora zračenja kao daljnjih komponenti u lancu sustava za nuklearnu spektrometriju, slika 3., također je značajan. U radu o analogno-digitalnoj (AD) pretvorbi sistematski je opisao osnovne metode rada tih pretvarača (ADC-a), a svrstao ih je u četiri osnovne skupine: izbijanje kondenzatora izvorom stalne struje (Wilkinsonova metoda), impulsno odbijanje naboja iz kondenzatora (najčešće se upotrebljava za amplitudno-frekvencijske pretvorbe), uspoređivanje produljenog impulsa s linearno rastućim naponom (najčešće se upotrebljava uz cirkulirajuće memorije) te metoda sukcesivnih aproksimacija u kojoj se čini niz usporedbi zadržane amplitude ispitivanog impulsa i binarno skalirajućeg standardnog referentnog naponskog izvora V_{REF}. Metoda ADC-a sa

sukcesivnom aproksimacijom vrlo je brz način digitalizacije ispitivane amplitude u kojem se ona izravno pretvara u binarni broj.

ADC Wilkinsonova tipa ima vrlo dobru diferencijsku linearnost te je pogodan za rad u nuklearnoj spektrometriji. Konrad je posebno istraživao ovaj tip ADC-a te o tome objavio više radova. Sam je stalno realizirao nekoliko takvih uređaja s diskretnim komponentama. Ostvareni ADC-i pokazali su izvanredne značajke. Desetak godina nakon smrti Maksimilijana Konrada pokušalo se kopirati njegovu izvedbu ADC-a s modernim, novodostupnim komponentama, no ranije ostvarene karakteristike nisu se mogle nadmašiti.

Načelo rada ADC-a Wilkinsonova tipa prikazuje slika 4. Na apscisi je prikazan protok vremena, a na ordinati napon na pojedinim dijelovima ADC-a.

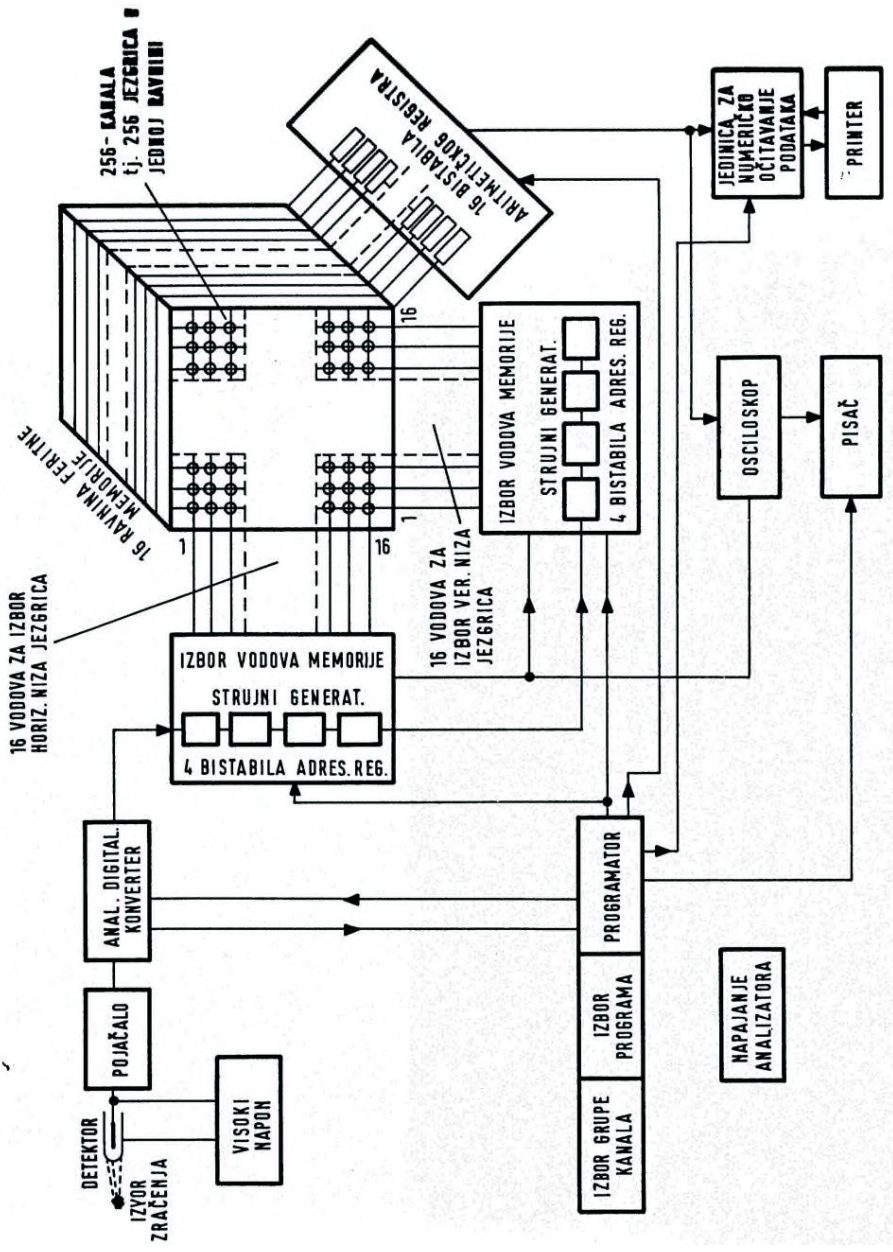


Sl. 4.: Načelo rada ADC-a Wilkinsonova tipa (preuzeto iz ExpMeth_II_03.pdf, National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 2007.)

Optimalno oblikovan signal iz pojačala (engl. *amplifier output pulse*) najčešće je oblika koji je nalik na Gaussovu razdiobu, slika 4.(a). Prolazom tog signala preko malog diskriminacijskog praga (engl. *lower level discriminator*), slika 4.(a) i (b), počinje ciklus analogno-digitalne pretvorbe tijekom koje je ADC zatvoren za prihvat novih signala. Porast prihvaćenog signala puni interni kondenzator do trenutka detekcije vrha. Tom detekcijom počinju dva procesa. Otvara se ulaz u binarno brojilo pravokutnim impulsima iz oscilatora (engl. *address clock*), slika 4(d), i istodobno počinje pražnjenje internog kondenzatora konstantnom strujom (engl. *signal on rundown capacitor*), slika 4.(c). S padom napona kondenzatora i u trenutku prolaza kroz diskriminacijski prag zatvara se daljnji ulaz u brojilo. Broj impulsa zapisan u binarnom brojilu predstavlja vrlo dobru aproksimaciju amplitude ulaznog analognog signala. Sadržaj brojila prenosi se u sljedeći element spektrometrijskog lanca, a to je amplitudni analizator. U nizu stvarnih izvedbi ADC ne posjeduje vlastito brojilo, nego se niz impulsa prenosi izravno u registar amplitudnog analizatora. Time se ubrzava cijeli proces analize jer je ADC ranije spreman za prihvat novog signala iz pojačala.

Posebna pažnja Maksimilijana Konrada i njegovih suradnika posvećena je amplitudnoj analizi, što je rezultiralo izgradnjom među prvima u svijetu 256-kanalnih analizatora s feritnim jezgricama. Na temelju izgrađenog prototipa realizirano je nekoliko sustava za uporabu na IRB-u te na drugim institutima u zemlji. Amplitudni analizatori odvajaju električne impulse prema veličini njihove amplitude u određeni broj diskretnih veličina − kanala. Broj kanala određen je maksimalnim nizom impulsa iz oscilatora (ili kapacitetom brojila) u analogno-digitalnom pretvaraču te izvedbom memorije analizatora. Opisani analizator prihvaća 8-bitni sadržaj ADC-a te tako ima 256 kanala, slika 5. Svakom kanalu pridružena je riječ od 16 binarnih brojnih mjesta što znači da se u svaku riječ (kanal) može zapisati brojčani sadržaj do 65 535, tj. toliko je moguće kumulirati signala iz ADC-a jednake amplitudne vrijednosti. Približno vrijeme analize jednog signala iz detektora zračenja iznosi $t = (10 + 0{,}05n)$ ms, gdje je n broj kanala (od 1 do 256) u koji se impuls zapisuje, a 10 ms traje upis u memoriju i pridružene aritmetičke operacije.

Memorija analizatora izvedena s feritnim jezgricama njegov je najznačajniji i najsloženiji dio. Na slici 5. jasno je vidljivo 8-bitno brojilo (2 ´ 4 bistabila), tzv. ‘adresni registar’ koji prihvaća impulse iz ADC-a i određuje kanal koji odgovara amplitudi signala iz detektora. Memorija sadrži 16 ravnina, a u svakoj je ravnini 256 feritnih jezgrica. Svakom kanalu pripada u svakoj ravnini po jedna jezgrica te se u svaki kanal može zapisati sadržaj do $2^{16} - 1 = 65535$. Za daljnju obradu sadržaja kanala postoji ‘aritmetički registar’ kapaciteta 16 binarnih mjesta preko kojeg se mogu očitati upisani podaci u numeričkom obliku ili nakon digitalno-analogne pretvorbe prikazati na zaslonu osciloskopa. Fizički izgled memorije s feritnim jezgricama prikazuje slika 6., a realizirani analizator slika 7.



Sl. 5.: Blokovska shema 256-kanalnog analizatora



Sl. 6.: Fizički izgled memorije s feritnim jezgricama



Sl. 7.: Izvedeni 256-kanalni analizator.

Na fotografiji analizatora, slika 7., uočava se ADC (lijevo dolje) kao njegov integralni dio. Analogni instrument na ADC-u prikazuje učestalost dolaska signala iz detektora zračenja. Iznad ADC-a nalazi se zaslon osciloskopa za prikaz sadržaja kanala, tj. za prikaz spektra prihvaćenih signala, a desno dio za numerički prikaz. Svim operacijama analizatora upravlja 'programator', slika 7. desno dolje. Program se bira pritiskom na odgovarajuću tipku. Osnovni su programi: ispitivanje, amplitudna analiza, pribrajanje, pisač, vremenska analiza i osciloskop.

Maksimilijan Konrad istraživao je metode stabilizacije cjelokupnog sustava za mjerenje nuklearnog zračenja, a ne samo njegove pojedinačne dijelove. Te se metode primjenjuju za dugotrajna mjerenja u kojima se želi sačuvati visoko energijsko razlučivanje. Konrad je uveo veličinu koja je mjerilo kakvoće stabilizatorskog sustava i na toj osnovi analizirao je tri osnovne vrste amplitudnih stabilizatora: brzinskog, bistabilnog i integracijskog. Njegova je analiza pokazala da je u većini slučajeva integracijski tip najpovoljniji [4].

Zaključak

Maksimilijan Konrad u radu je bio samoprijegoran, strpljiv i ustrajan. Postavljao je visoke zahtjeve za rezultate svojeg rada i rada svojih suradnika. Nije pokušavao naći nedokučivo, idealno a neostvarivo, nego je tražio i vrlo uspješno nalazio stvarna rješenja koja je sam ili sa suradnicima realizirao za primjenu u radnim uvjetima. Taj je način rada prenio i na svoje mnogobrojne suradnike. Svi radovi Maksililijana Konrada iz područja elektroničke instrumentacije. Nije

zahtijevao da bude suautor i u mnogim radovima svojih suradnika ako sam nije imao bitan udio u radu [4]. Početkom 1970. godine eksponencijalni tehnološki razvitak mikroelektronike, a posljedično pojava računala i sustava temeljenih na računalima, postavili su nove izazove u istraživanju i ostvarivanju mjernih sustava. Taj je izazov Konrad prihvatio s jednakim žarom kao i u ranijem razdoblju elektroničke instrumentacije koja je bila dominantno izvedena s diskretnim komponentama. U početku novog tehnološkog razdoblja sveprisutnih računala Konrad sa suradnicima posvetio je pažnju čvrstom povezivanju mjernih procesa s računalima s ciljem automatizacije i prihvata velike količine podataka te njihove istodobne ili naknadne obrade. Iznenadna smrt zatekla ga je upravo na pragu te digitalne revolucije tijekom koje smo uskraćeni za njegove vizionarske poglede i znanstveno-istraživačke prodore.

Dodatak: Popis znanstvenih i stručnih radova Maksimilijana Konrada

1. M. Konrad: *The Cyclotron Beam Waveform*, Ph. D. Thesis, University of Birmingham, 1955., 103 str.
2. M. Konrad: Equations for the Ion Motion in a Fixed Frequency Cyclotron, *Glasnik mat. fiz. i astr*. 11 (1956) 253.
3. M. Konrad, N. Živković: Instrumentacija za mjerenje jačine i doze radio-aktivnog zračenja, *Atomsko oružje i zaštita* 208, Beograd 1957.
4. M. Konrad: Ion Phase Measurements on the Birmingham Cyclotron, *Rev. Sci. Instr.* 29 (1958) 840.
5. M. Konrad: Ion Phase Measurement Techniques on the Birmingham Cyclotron, *IRE Trans. on Nuclear Science* NS-6 (1959) 35.
6. B. Turko, M. Konrad: Sorting of Two Coincident Pulses According to Their Amplitude, *Nuclear Instr. and Methods* 13 (1961) 29.
7. M. Konrad: Integratori istosmjernih struja s kondenzatorom, *Zbornik radova VI. seminara JUREMA* (1961) 145.
8. M. Konrad: Pulse-Amplitude Multipliers Using Logarithmic Amplitude-to-Time Conversion, *Proc. of the Conf. on Nuclear Electronics*, Beograd, 15-20 May 1961 (1962) 405.
9. M. Konrad: Poboljšanje svojstava integratora kompenzacijom grešaka, *Zbornik materijala VI. konferencije ETAN* (1961) 21.
10. M. Konrad: Response in Electronic Integrator, *J. Electronics and Control* 12 (1962) 517.
11. M. Konrad: Obrada i digitalna registracija impulsnih podataka iz detektora zračenja, *Zbornik radova VII. seminara JUREMA* (1962) 179.
12. M. Konrad: Određivanje kutnih grešaka polarno-koordinatnih osciloskopa iz radijalnih odstupanja, *Elektrotehnika* 1 (1963) 3.

13. M. Konrad, B. Souček: Sistem za ispisivanje magnetostrikcijske memorije pisačem, *Zbornik materijala VII. konferencije ETAN* (1963) 65.
14. M. Konrad, V. Bonačić: Sistem za dekadsko očitavanje i automatsko numeričko ispisivanje sadržaja magnetostrikcijske memorije amplitudnog analizatora, *Zbornik materijala VIII. konferencije ETAN* (1964) 61.
15. M. Konrad, B. Turko: Sistem za selekciju i pretvorbu koincidentnih impulsa, *Zbornik materijala IX. konferencije ETAN* (1965) 84.
16. M. Konrad. B. Turko: Punched Tape Data Sorting Using a 256-Channel Memory, *Elektronika* 4 (1965) 254.
17. M. Konrad: A Simple Decimal Read and Print-out System for Amplitude Analysers with Magnetostrictive Wire Memory, Coloque International sur les Techniques des Memoires, Editions Chiron, Paris (1966) 682. 238.
18. M. Konrad: Monostable Circuit Triggered with Pulse Trains, *Int. J. Control* 3 (1966) 275.
19. M. Konrad: Triggering of Cathode or Emitter Coupled Univibrators Connected into a Chain, *Int. J. Control* 3 (1966) 287.
20. I. Brčić, L. Cucančić, K. Čuljat, A. Družeta, A. Dulčić, F. Jović, M. Konrad, G. Smiljanić: Tranzistorizirani analizator amplituda s feritnom memorijom, *Automatika* 5-6 (1967) 261.
21. M. Konrad: Detector Pulse Shaping for High Resolution Spectroscopy, *IEEE Trans. on Nuclear Science* NS-15 (1968) 268.
22. M. Konrad: Statistical Errors of Direct Pulse Rate Ratio Measurement, *Proc. Ispra Nuclear Electronics Symposium*, Brussels (1969) 349.
23. M. Konrad: A Comparison of Pulse Height Spectrometer Stabilyser Systems, *Semi-conductor Nuclear Particle Detectors and Circuits*, National Academy of Sciences, Washington DC, Publ. 1594 (1969) 731.
24. F. Jović, M. Konrad: Functional Units of an Interface System, *Proceedings of the Fourth International Meeting on Electronics and Automation*, Herceg Novi (1969) 109.
25. M. Konrad: A Comparison of A-D Converison Methods, *Proc. Fifth Int. Summer School on Electronics and Automation*, Herceg Novi (1970) 75.
26. N. Bogunović, M. Konrad: The Realisation of Univibrators, Delays and Differentiation Using Integrated Circuits, *Proc. Fifth. Int. Summer School on Electronic and Automation*, Herceg Novi (1970) 127.
27. N. Bogunović, F. Jović, M. Konrad: Zapisivanje koincidentnih podataka s analogno-digitalnih pretvarača, *Elektrotehnika* 2 (1971) 81.
28. F. Jović, M. Konrad: Generiranje vremenski programiranih pulseva u *on-line* sistemima, *Elektrotehnika* 4 (1972) 305.
29. M. Deletis, M. Konrad: Direktni upis programa s papirnate trake u memoriju procesnog računala, *Elektrotehnika* 1 (1972) 9.
30. N. Bogunović, F. Jović, M. Konrad, Ž. Posavec: Sistem za 3D registraciju podataka nuklearnih eksperimenata, *Zbornik radova V. kongresa matematičara, fizičara i astronoma Jugoslavije* II (1972) 129.
31. M. Konrad: Utjecaj spojnog kabela na točnost indukcionih konduktometara, *Zbornik radova XVI. simpozija ETAN u pomorstvu* (1974) 151.

32. M. Konrad: Registracija parametara mora na magnetsku traku, *Zbornik radova XVII. Simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar (1975) 108.
33. M. Konrad: Težinske funkcije za mjerenje neutronskog toka i njegove brzine promjene, *Elektrotehnika* 2-3 (1976) 107-239.
34. D. Gamberger, M. Konrad: Sistem za registraciju parametara mora na magnetske kazete, *Zbornik radova XIX. Simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar (1977) 454.
35. M. Konrad: Automatizacija mjerenja, *Zbornik radova JUREMA* 23 (1978) 3.
36. N. Bogunović, M. Konrad: Uloga mikroprocesora u mjernoj instrumentaciji, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 412.
37. D. Gamberger, M. Konrad: Realizacija upravljačkih sklopova poluvodičkim memorijama, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 328; *Elektrotehnika* XXII, 3-6 (1978) 174.
38. L. Cucančić, D. Divić, M. Konrad: Sistem za zapis parametara okoliša mikroprocesorom, *Zbornik radova XX. Simpozija ETAN u pomorstvu* (1978) 2, 353; *Elektrotehnika* XXII, 3-6 (1978) 167.
39. M. Konrad: Vremenski promjenljiv RC filter za uzimanje uzoraka s bijelim šumom, *Zbornik referatov na VIII. Jugoslavenskom simpoziju za meritve in merilno opremo* (1978) 1, 263.
40. M. Konrad: Samobaždarenje mjernih uređaja, *Zbornik radova JUREMA* 24, 3 (1979).
41. L. Cucančić, N. Bogunović, M. Konrad: On some Dynamic Properties of EPROM Programming, MINI 79, Zürich, *Eigth International Symposium Mini and Microcomputer*, Acta Press, Zürich (1979) 162.
42. M. Konrad: Pouzdanost mjernih rezultata kod redundantnih struktura, *Zbornik radova JUREMA*, Zagreb, 25, 2 (1980).
43. D. Gamberger, M. Jelavić, M. Konrad: Sklopovska i mikroprocesorska realizacija sistema za zapis parametara mora, *Zbornik radova XXIV. simpozija ETAN u pomorstvu*, Zadar, (1980) 344.

Važnije interne publikacije Maksimilijana Konrada

1. T. Bosanac, M. Konrad, M. Lažanski, V. Lopašić: *Projekt zagrebačkog ciklotrona*, IRB, 1953.
2. Z. Herceg, M. Konrad, B. Leskovar: *Oscilatorski sistem ciklotrona*, IRB, 1958.
3. B. Leskovar, M. Konrad: *Stabilizacija magneta zagrebačkog ciklotrona*, IRB, 1958.
4. T. Rabuzin, M. Konrad: *Uređaji za mjerenje zračenja I, II i III*, IRB, 1959.
5. M. Konrad, A. Hrisoho, G. Smiljanić, B. Souček, G. Szavits: *Uređaj za mjerenja zračenja IV*, IRB 1963.
6. M. Konrad, A. Hrisoho, P. Slapničar, G. Smiljanić, B. Souček, B. Turko: *256-kanalni amplitudni analizator s feritnom memorijom*, IRB 1963.
7. M. Konrad: Analogue-to-Digital Stabilizers, NPL, Columbia Universtity, N. Y., Progress Report, AEC Contract AT (30-1), 1967, 153.

8. M. Konrad, Ž. Posavec: *Tranzistorizirani analogno-digitalni pretvarač*, IRB 1970.
9. M. Konrad, L. Cucančić, M. Deletis, Ž. Posavec: *2048-kanalni amplitudni analizator s PDP-8/I računalom*, IRB 1971.
10. N. Bogunović, D. Gamberger, M. Konrad: *Sistem za zapis parametara vjetra*, IRB, 1977.
11. M. Konrad: *Programator za automatizaciju mjerenja i upravljanje procesima*, IRB, 1973.
12. N. Bogunović, M. Konrad, I. Marić: *Automatski izvor napajanja*, IRB, 1980.
13. M. Jelavić, M. Konrad: *Sklopovski "stack"*, IRB, 1980.
14. M. Jelavić, M. Konrad: *Mikroprocesorska realizacija sistema za zapis parametara mora*, IRB, 1980.

Izvori

[1] D. Rendić: Gradnja instrumentacije i razvoj eksperimentalne fizike u nas, *Ruđer*, Vol. 7, Broj 5/6, 2006. str 3-7.
[2] I. Šlaus: Neutronski generator u Institutu *Ruđer Bošković* − istraživanja u nuklearnoj fizici, *Ruđer*, Vol. 7, Broj 5/6, 2006. str 8-13.
[3] Ksenofont Ilakovac, Branko Hanžek: Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.), svjetski poznati elektroničar, *Godišnjak njemačke zajednice*, DG Jahrbuch, Vol. 24, 2017. str. 231-242.
[4] Ksenofont Ilakovac, Branko Souček: Maksimilijan Konrad (1924. – 1980.), *Spomenica preminulim akademicima*, JAZU, 1985, ur. Vilko Niče.
[5] M. Konrad: Detector Pulse Shaping for High Resolution Spectroscopy, *IEEE Trans. on Nuclear Science* NS-15 (1968) 268.
[6] I. Brčić, L. Cucančić, K. Čuljat, A. Družeta, A. Dulčić, F. Jović, M. Konrad, G. Smiljanić: Tranzistorizirani analizator amplituda s feritnom memorijom, *Automatika* 5-6 (1967) 261.

Electronics specialist Maksimilijan Konrad (1924 – 1980) – scientist and mentor

Nikola Bogunović

Abstract: Professional activity of Maksimilijan Konrad encompassed the period of heightened interest in nuclear processes. He has accomplished notable results in the field of electronic instrumentation with focused application to nuclear measurement processes. He was one of the first employ-

ees at *Ruđer Bošković* Institute in Zagreb and was meritorious for putting into operation cyclotron accelerator in Zagreb. At the Institute he was the Head of Electronics division with activities that covered wide spectrum of topics from nuclear science and electronic instrumentation. Together with his associates he has accomplished numerous basic scientific and applied research results that, at that time, represented the very top world-wide achievements. The paper presents abundance of facts co-opted directly from named reference sources. In addition, the paper depicts some sorted accomplishments of M. Konrad that, by subjective judgement of paper author offer the best insight into his style of research and which have undeniably brought him world-wide recognition. These are: thorough analysis and recommendations for optimal detector pulse shaping for high resolution nuclear spectroscopy, research and realization of several types Analog to Digital Converters and the study and design of multichannel high-resolution spectrometric systems for acquisition and analysis of signals from nuclear radiation detectors.

Keywords: nuclear science, radiation measurement, electronics, instrumentation, cyclotron

Miroslav Matasović

Hod ispred vremena… O radu prof. dr. sc. Nenada Josipa Jurja Marinovića

Sažetak: Članak opisuje djelovanje i rad prof. dr. sc. Nenada J. J. Marinovića na području protueksplozijske zaštite (PEX). Nakon eksplozije u rudniku Raša 1948. godine, prikazano je njegovo sustavno djelovanje na uređenju sigurnosti na područjima ugroženim eksplozivnom atmosferom (PUEA) (rudnici, industrija). Prikazana je njegova sustavna inovativnost, koja je rezultirala rješenjima koja će tek kasnije (hod ispred vremena) postati rješenja u dokumentima EU-a (Opći i Globalni pristup), što je obrađeno u članku kroz prikaz uređenja Laboratorija za protueksplozijsku zaštitu u Elektrotehničkom institutu *Rade Končar*), uređenja zakonskog i normativnog područja PEX-a, uređenja ispitnih postupaka (tipno i pojedinačno ispitivanje), uređenja jednoznačnosti dokumenata, definiranje i razredbu ugroženog prostora (pokreće 1982. u okviru IEC-a Tehnički pododbor, kojem je sekretar (tajnik)), uvođenja institucije stručnih mišljenja kao pomoć korisnicima (velika raznolikost tehnika izvedbe uređaja i postrojenja u industriji i rudnicima), pokreće i realizira međunarodno priznavanje ispitnih protokola (BVS, PTB, BASEEFA), postizanje statusa S-Komisije kao neovisne i nepristrane institucije (nepristrani članovi, jednoglasno odlučivanje, nepristrana i javna objava rezultata – *Bilten*, Godišnja skupština korisnika). Prikazana je ostavština uređenog sustava – "škole protueksplozijske zaštite" (sustav metoda i dokumenata) te djelovanje na području edukacije i osposobljavanja. Dan je pregled članstva Nenada Marinovića u stručnim organizacijama i uredništvima, popis objavljenih radova (knjiga i znanstveno-stručnih članaka).

Ključne riječi: Nenad Marinović, Elektrotehnički institut *Rade Končar*, Zavod za protueksplozijsku zaštitu, Rudarsko-naftno-geološki fakultet, IEC/SC 31J, certifikacija, protueksplozijska zaštita, *Bilten S-Komisije*

Uvod

Profesora Nenada Marinovića upoznao sam i postao njegov suradnik negdje početkom 1960-ih, nekoliko godina nakon što je počeo raditi u poduzeću *Rade Končar*.



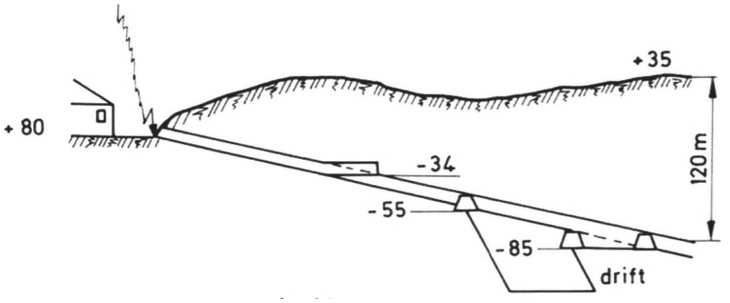
Sl. 1.: Prof. dr. sc. Nenad Marinović

Sve je počelo vrlo jednostavno – pozvao me na razgovor i nakon uvodnih formalnosti jednostavno mi je rekao:

> "(…) ne morate mi se predstavljati, o vama imam dovoljno podataka i informacija – ono zašto sam vas pozvao je ponuda, da pređete k meni kao suradnik; naime, otvorilo se jedno novo područje u protueksplozijskoj zaštiti, kojim se kod nas nitko sustavno ne bavi, a i u svijetu vrlo mali broj stručnjaka djeluje na tom području, a koje će, prema mojoj procjeni, biti vrlo značajno u danima koji dolaze, i to uskoro … Dakle, ukoliko se želite baviti jednom novom tehnikom, novim područjem – povjerio bih vam taj zadatak,… da uspostavite i razvijate tu tehniku – …što napravite bit će vaše, a ja ću vas podržavati i omogućiti vam potrebne resurse."

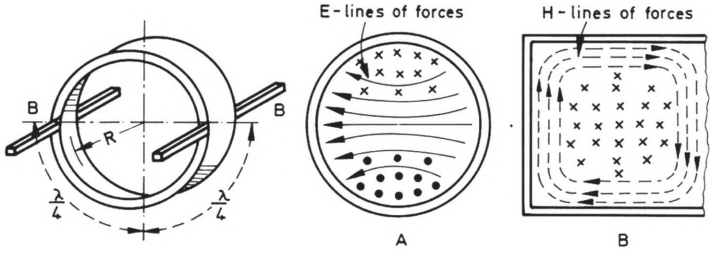
Iako sam bio u velikoj dilemi s obzirom na to da nisam imao pojma što je to protueksplozijska zaštita, a još manje bilo što o tom novom području

– samosigurnosti itd., no ponuda je bila, za mladog čovjeka na početku karijere, takva da ne može biti bolja i da se ne može odbiti. Kako bih riješio dileme, potražio sam referencije. Nenad Marinović – naime, osim izazova koji mi je ponudio, Nenada Marinovića nisam poznavao ni osobno ni stručno. Da ne duljim: – ono što me uvjerilo da se treba pridružiti Nenadu Marinoviću bila je referencija koju sam našao o paljenju metana u rudniku Raša, čiji je uzrok on protumačio prijenosom električne energije kroz rudničko okno, smatrajući ga valovodom, slika 1. i slika 2. Meni nije trebalo više – to me uputilo na čovjeka koji misli na drugačiji način nego mi ostali. I tako je počelo: prihvatio sam povjerenu mi zadaću, nisam nikad požalio. Nenad Marinović tijekom naše suradnje opravdao je svoj pristup i održao obećanje i riječ.



Sl. 2.: Rudnički rov kao valovod. Udar munje na ulazu u rov može izazvati eksploziju u dubini na kraju rova

Kao suradnik Nenada Marinovića proveo sam radni vijek sve do njegova umirovljenja. Smatram svojom dužnošću i obvezom zapisati, da se ne zaboravi, njegovo djelovanje, njegov 'hod ispred vremena' na području protueksplozijske zaštite i sustavnog djelovanja na području certifikacije, i to ne samo na području protueksplozijske zaštite nego i, generalno uzevši, sustava certifikacije, implementirajući sustavna rješenja koja su tek kasnije postala dio Novog i Općeg pristupa implementiranog u EU-u.



Sl. 3.: Načelo valovoda elektromagnetskog vala

Za djelovanje Nenada Marinovića karakteristična je sustavnost − na početku institucionalnog djelovanja zatekao je nesređeno i neuređeno područje. Dugogodišnjim upornim i sustavnim radom, svladavajući mnoga nerazumijevanja i teškoće, doveo je područje protueksplozijske zaštite na razinu tehničke uređenosti priznate u Europi i svijetu. Kakav je bio put i koji su postignuti dosezi najbolje se može pratiti ako se vremenski slijedi, korak po korak, uvođenje zakonskih i normativnih dokumenta i institucionalno uređenje S-Komisije (danas Ex-Agencije) kao nacionalnog certifikacijskog tijela, što je ujedno prikaz djelovanja Nenada Marinovića kao nositelja inicijativa i realizacije.[1]

Da to nije bilo marginalno djelovanje u "jednoj maloj zemlji na brdovitom Balkanu", može poslužiti moje osobno svjedočenje: početkom osamdesetih godina na proputovanju, na aerodromu u Frankfurtu, sreo sam gospodina Riddelstonea, vodećeg stručnjaka za protueksplozijsku zaštitu u UK-u. Iz razgovora koji smo vodili ostalo mi je u sjećanju, među ostalim, i ovo: "(…) pratimo mi što vi radite na certifikaciji, to će se ugraditi u EU dokumente." Iako nisam do kraja znao na što sve misli, no kasnije se pokazalo da su to i učinili. Bio sam jako *stolz*[2] nakon te izjave takvog autoriteta, ali bio sam i svjestan da se "to što vi radite" odnosi na rad Nenada Marinović i njegov "hod ispred vremena". Ono što mi je taj susret pokazao je, a to treba posebno istaknuti, da se rad i autoritet Nenada Marinovića prati i analizira u EU-u, ali ne s pozicije djelovanja u jednoj maloj zemlji "nikomu interesantnoj", nego s pozicije autoriteta i kretanja u dobrom smjeru. Pravu ocjenu i veličinu tog 'minulog' rada spoznao sam u vrijeme kad sam radio na usklađivanju Republike Hrvatske sa zahtjevima u pregovorima s EU-om.

Vratio bih se na izjavu gospodina Riddelstonea: zaintrigiralo me − otkud mu informacije, em smo mala zemlja, em smo zemlja specifične jezične skupine, što otežava praćenje putem objava? Brzo sam našao odgovor – Nenad Marinović već praktički dvadeset godina vrlo aktivno radi u okviru IEC-a (International Electrotechnical Commission) i CENELEC-a (European Committee for Electrotechnical Standardization), u što je uključio i nas, svoje suradnike, intenzivno uspostavljajući i unapređujući veze i suradnju s vodećim ispitnim laboratorijima i institucijama − BVS[3] i PTB[4] (SR Njemačka), CERCHAR[5]

[1] Cijeli ovaj rad namijenjen je prikazu sustavnog djelovanja jednog iznimnog stručnjaka i čovjeka, s tim da je stavljen naglasak na sustavno djelovanje Nenada Marinovića, a faktografski i biografski detalji prikazani su u prilozima. Prikaz se odnosi na djelovanje u S-komisiji i njezinoj sljednici Ex-Agenciji.

[2] **ponosan** (njem. *stolz*)

[3] **BVS**, Bergbau-Versuchsstrecke

[4] **PTB**, *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*

[5] **CERCHAR**, Centre d'Etudes et Recherches de Charbonnages de France

(Francuska), BASEEFA[6] (UK), VUSE[7] (Čehoslovačka), UL[8] (SAD), Makajevka i Giproniselektrošaht (SSSR).

To je, među ostalim, rezultiralo dobrom informiranosti o događanjima i radu na tom području kod nas. *Fama est*, pričalo se po "europama" o nama: da smo uspjeli, uspostavljajući i implementirajući sustav certificiranja i nadzora, osigurati sigurnost u primjeni i održavanju različitih sustava zaštite i instalacija, i to u doba kad nije bilo međunarodne harmonizacije i kad je industrijska raznolikost bila dominantno vezana uz pojedinu zemlju i praksu njezinih velikih industrija. Mi smo već tad, zahvaljujući Nenadu Marinoviću, na području protueksplozijske zaštite imali implementiran sustav certifikacije koji je jednoznačno određivao kriterije i mjerila sigurnosti, a hvala ti Bože, kod nas je bilo svih mogućih sustava, od Japana do zapadne obale SAD-a. Zahvaljujući uvedenom sustavu, nalazila su se rješenja problema primjene različitih praksi i sustava (od npr. kabelskih do cijevnih instalacija), a ta jednoznačna institucionalna rješenja bila su dostupna i investitorima i korisnicima. I nije to bila tek puka priča za "djecu i vojnike", nego sustav pokrenut i implementiran inventivnošću i autoritetom Nenada Marinovića, što je rezultiralo, po mojoj ocjeni, prihvaćanjem njegove inicijative iz 1982. godine, da se u IEC-u pokrene Tehnički pododbor: IEC/SC 31J *Classification of hazardous areas and installation requirements* (Razredba zona opasnosti i instalacijski zahtjevi).

Važno je napomenuti da u to vrijeme ni jednom stručnjaku, ne samo na području protueksplozijske zaštite nego na tehničkom području u Jugoslaviji, nije povjeren takav rang u tehničkim odborima. Stoga je ovaj zapis potreban – da se ne zaboravi!

1. Djelatnost na području protueksplozijske zaštite

1.1. Laboratoriji

Početkom šezdesetih godina Nenad Marinović, inženjer elektrotehnike, prelazi iz rudnika Raša u poduzeće *Rade Končar* kao stručnjak s iskustvom na poslovima provedbe protueksplozijske zaštite. U to doba područje protueksplozijske zaštite nije bilo dovoljno uređeno zakonski, normativno, a ni institucijski ni provedbeno. Stoga je trebalo početi sustavno djelovati, praktički od početka.

Naime, problemu rješavanja zaštite ljudi i imovine u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom pristupilo se ozbiljnije tek nakon teške nesreće u

[6] **BASEEFA,** British Approval Service for Electrical Equipment in Flammable Atmospheres

[7] **VUSE**, **Čehoslovačka ispitna stanica**

[8] **UL**, Underwriters Laboratories

rudniku Raša – jama Labin 1948. godine, kad je poginulo 80 rudara. Ministarstvo teške industrije FNRJ[9], kao odgovor na tu tešku tragediju, osniva 1949. godine Saveznu instituciju za provedbu sigurnosti u rudnicima (akt br. 11401 od 16-07-1949) pod nazivom S-Komisija. Poduzeće *Rade Končar* dobiva "zaduženje" da izgradi ispitnu stanicu, s tim da rad nadzire državna komisija. To je, iz današnje perspektive, bio razuman, human i dalekosežan potez.

S. Hankony, dipl. ing., koji rukovodi S-Komisijom, u suradnji s njemačkom ispitnom stanicom, projektira i izgrađuje laboratorij za ispitivanje. Za članove S-Komisije imenovani su znanstveno iskusni stručnjaci, a tajništvo se povjerava S. Hankonyju. S-Komisija sastaje se po potrebi. Normativno područje protueksplozijske zaštite još nije uređeno. Primjenjuju se uglavnom njemački industrijski propisi i norme, slika 4., kao i neke druge dostupne norme, slika 5. Iako je rad S-Komisije bio korektan i velik korak naprijed u zaštiti života i zdravlja zaposlenika, ona nije bila dovoljno prisutna u svim segmentima industrije i rudarstva.

Kako je uvodno navedeno, na poslove provedbe protueksplozijske zaštite početkom šezdesetih godina dolazi Nenad Marinović, kao inženjer s "rudarskim" stažem, iskustvom i osjećajem za probleme. Svjestan činjenice da rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom ugrožava život, zdravlje i okoliš, ispočetka se usmjerava na jednoznačno uređenje područja protueksplozijske zaštite u zakonskim okvirima. Upravo je to glavna značajka djelovanja Nenada Marinovića: sustavno rješavanje problema putem institucionalnog i zakonskog uređenja područja.

Početkom rada u okviru Elektrotehničkog instituta *Rade Končar* (ETI RK) postavlja za cilj uređenje:

– ispitnog laboratorija
– zakonskih okvira područja
– normativnog opsega
– certifikacijske institucije.[10]

Uređivanje laboratorija odvijalo se paralelno s uređivanjem zakonskog i normativnog okvira i trajalo je godinama. Uvjet je bio jednoznačno provođenje ispitivanja u okviru sustavnog uređenja zakonskog, normativnog i institucijskog opsega djelovanja.

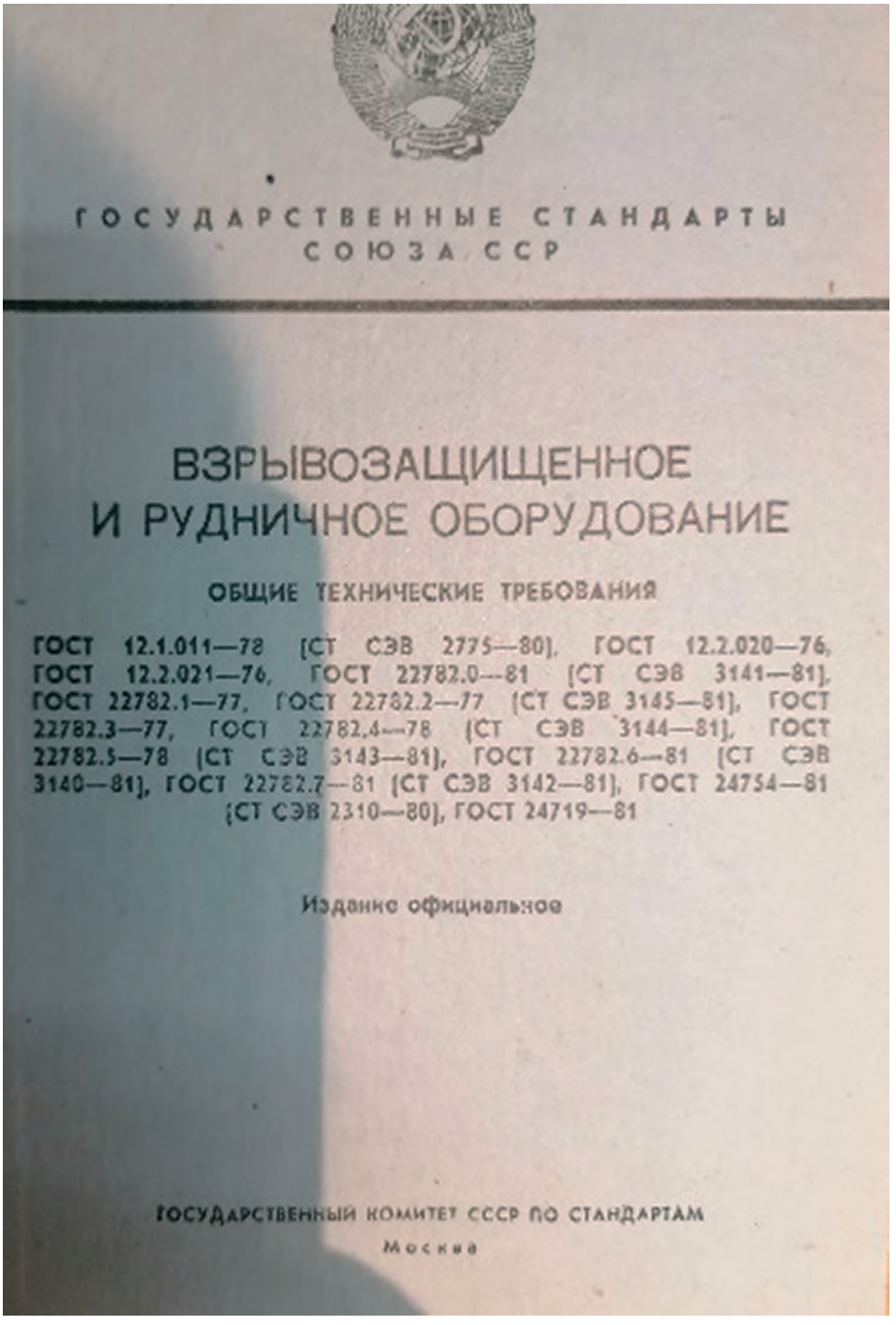
Stoga Nenad Marinović paralelno s početkom opremanja i sređivanja laboratorija intenzivira rad sa Saveznim zavodom za standardizaciju i rad u IEC-u. Osnivaju se tehnički odbori za protueksplozijsku zaštitu i odgovarajući

[9] **FNRJ,** Federativna Narodna Republika Jugoslavija

[10] Događaji u ovom prikazu nisu navedeni točnim vremenskim slijedom jer su se mnoge radnje i rješenja događali paralelno i u različito vrijeme. Nastojimo stoga prikazati problem te kako je sustavno rješavan i kako se kroz vrijeme gradio sustav koji je, zahvaljujući Nenadu Marinoviću, doveo to područje na svjetsku razinu.



Sl. 4.: Propis Zaštita na radu



Sl. 5.: Propis Protueksplozijska zaštita i rudnička oprema

pododbori za pojedine vrste zaštite sukladno IEC pododborima. Pokreće se objava JUS standarda (normi) u koje se prenose izravno i cjelovito IEC dokumenti. Ta inovacija automatski podiže razinu protueksplozijske zaštite. Na osnovi odrednica IEC norma, sad i JUS standarda, usklađuju se ispitne metode, počinje se nabavljati suvremena oprema (što je išlo dugo i dosta teško, ali je išlo).

U okviru postojećeg laboratorija osnivaju se dodatni laboratoriji da bi se moglo zadovoljiti potrebama suvremenih tehnologija, koje su zahtijevale sve više opreme (posebno instrumentalne na bazi poluvodičke tehnike za procesna mjerenja) i sve veću povezanost s računalnim sustavima za obradu procesnih parametara i optimiranje procesa. To je, prije svega, ona oprema o kojoj je Nenad Marinović govorio na našem prvom susretu, koja zahtijeva novi pristup u rješenjima na niskim razinama energija, dakle tehnika čije je značenje predvidio godinama unaprijed.

U okviru osuvremenjivanja laboratorija nabavlja se suvremena oprema – među ostalim nabavljen je plinski kromatograf, osuvremenjena je oprema za miješanje plinova za ispitivanje ugradnjom elektroničkih mjerača protoka. Počela su istraživanja fundamentalnih značajki protueksplozijske zaštite. Nenad Marinović, kao rukovoditelj, pokazao je veliku fleksibilnost iznajmljujući suvremenu opremu, kao što su ultrabrze kamere ili šaljući ispitivače i istraživačke postave u druge institute (npr. u Institut *Jožef Stefan* u Ljubljani za provedbu termografskih ispitivanja), ali forsirao je da se maksimalno koriste laboratoriji ETI RK-a (za ispitivanje rotacijskih strojeva ili za rendgensko snimanje nedostupnih dijelova uređaja) ili poduzeća *Rade Končar* za ispitivanje IP zaštite[11] uređaja (što će kasnije biti zamijenjeno vlastitim laboratorijem), itd.

U laboratorijima se, osim na poboljšavanju ispitnih uvjeta i opreme, stalno radilo i na poboljšavanju uvjeta poslovanja. Tako su, npr., za operativno-istraživačke poslove, prije pojave PC računala, nabavljena prijenosna računala s karticama, što je bilo neprocjenjivo za obradu prikupljenih podataka ili obradu rutinskih poslova. Za mene je prava revolucija nastupila nabavom telefaksa (koji u to doba još nisu bili dio svakodnevice).Telefaks mi je omogućio brzu tehničku komunikaciju s domaćim osobama i sa strancima (istina, na mojem "osebujnom" engleskom), ali odvijala se u jednom danu, bez prevođenja, uz jednostavne naznake na crtežu − s jednim ili dva upitnika i/ili naznakom potrebne veličine i tolerancije. Postupak je tekao, a kasnije se to uobličavalo "kako Bog zapovijeda". Da, Nenad Marinović forsirao je nabavu moderne tehnike i što je važnije, forsirao je njezinu primjenu da se omogući brza i učinkovita komunikacija bez dopisivanja, prevođenja, crtanja i sl. To je zaista bio dobitak i velik skok u učinkovitosti poslovanja.

[11] **IP** (engl. **international protection, ingress protection**), normirani način označavanja stupnja zaštite od ulaska krutih ili tekućih elemenata u kućište električnih ili elektroničkih uređaja

1.2. Izvještaj o ispitivanju

Ne ulazeći u sve detalje rada i poboljšavanja procesa u laboratoriju, posebno je važno navesti uvođenje standardnog Izvještaja o ispitivanju. Tu je bila presudna uloga i inventivnost Nenada Marinovića.

Novi, standardni Izvještaj o ispitivanju uključivao je, kao što je uobičajeno, tehničke podatke o uređaju, njegov opis, a novost je bila da su unesene točke zahtjeva iz JUS standarda. Povezujući rezultate s točkama JUS standarda vidjelo bi se jesu li provedena sva tražena ispitivanja i jesu li zadovoljeni zahtjevi i u kojoj mjeri. Kao što je navedeno, točke našeg JUS standarda bile su identične točkama IEC standarda, što je omogućilo da korisnik koji ima IEC standard može bez dodatnih radnji koristiti rezultate ispitivanja. Ta univerzalnost izvještaja pokazala se iznimno korisnom u postupku razmjene ispitnih izvještaja s drugim ispitnim stanicama. Koliko je to bilo dalekovidno vidi se i po tome što je još sredinom osamdesetih godina na osnovi pristupa identičnosti JUS standarda s IEC standardima i europskim normama i povezivanja sukladnosti rezultata s prepoznatljivim zahtjevima, bilo moguće bez prevođenja razmjenjivati ispitne izvještaje s BVS-om (SR Njemačka), s kojim je postojao sporazum o razmjeni ispitnih izvještaja, ali bila je moguća razmjena ispitnih izvještaja s PTB-om (SR Njemačka), CERCHAR-om (Francuska), BASEEFA-om (UK). To je samo jedan primjer kako je, puno prije ulaska u EU, zahvaljujući tehničkoj logici Nenada Marinovića, bilo moguće ostvariti ono što je danas općeprihvaćeno (putem Općeg i Globalnog pristupa), o čemu će još biti riječi.

Da bi to sve bilo moguće, potrebno je vratiti se u prošlost. Prvo vidljivo ostvarenje rada i prisutnosti Nenada Marinovića na području protueksplozijske zaštite bile su objave saveznih tehničkih propisa −1962. za rudarstvo i 1963. za industriju, a 1968. objavljen je prvi domaći konstrukcijski propis (*Službeni list SFRJ*, br. 32/68). Tako je područje protueksplozijske zaštite dobilo početni zakonski okvir. Idući korak bilo je ispunjavanje institucionalnih zahtjeva da bi se zakonske odrednice mogle provoditi. To znači da je bilo potrebno oformiti S-Komisiju kao instituciju za ocjenjivanje i potvrđivanje uređaja i opreme za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnim smjesama te je osposobiti za stručno djelovanje pod uvjetima da bude neovisna i općepriznata, uz poznate antagonizme u Jugoslaviji oko priznavanja autoriteta i sl.

1.3. S-Komisija

Da bi se postigao autoritet i neovisnost, članovi S-Komisije, prema prijedlogu Nenada Marinovića, postaju glavni inspektori za rudarstvo i energetiku iz pojedinih republika Jugoslavije, koji su zakonski odgovorni i za sigurnost. Za sjednice S-Komisije uveden je standardni dnevni red. Za svaku točku dnevnog

reda popunjavala se tiskanica (Prilog 1.), kojoj je bila priložena dokumentacija (tehnička dokumentacija, ispitni izvještaji i dr.). Svaki je član prije ili za vrijeme sjednice imao pravo pogledati dnevni red i dokumentaciju i predložiti raspravu o pojedinim predmetima. Nakon usklađivanja stanovišta, na sjednici S-Komisije odluke su se donosile jednoglasno, a ako je postojala dvojba, predmet se vraćao na dodatnu obradu. Iz S-Komisije mogao je izići samo dokument s naznakom na kojoj je sjednici i pod kojom točkom odobren.

Kao stručnu instituciju za provođenje ispitivanja, kako je spomenuto, Vlada je imenovala Zavod za protueksplozijsku zaštitu u ETI RK-u. U Zavodu su se provodila ispitivanja i obavljala tehnička priprema za donošenje odluka o rezultatima. Djelatnici Zavoda nisu imali pravo donošenja odluka. To pravo imali su samo članovi na sjednici S-Komisije. I tu je vidljivo da je Nenad Marinović u ustroju djelovanja S-Komisije predvidio načelo certifikacijskih odbora i institut zaštitne klauzule za osiguranje nepristranosti i zaštite sudionika, što je danas prepoznatljivo u dokumentima EU-a, puno prije nego što je to ostvareno primjenom Općeg i Globalnog pristupa. Da bi se ostvarila transparentnost rada s jedne strane, a s druge strane informiranost zainteresiranih strana, sve su odluke S-Komisije objavljivane u *Biltenu*, koji izlazi od 1972. godine (Prilog 2., Prilog 3.).

Daljnji korak u ostvarivanju transparentnosti rada bila je Godišnja skupština, koju su organizirali korisnici u suradnji s S-Komisijom. Ona je osiguravala korisnicima i svim zainteresiranim stranama na području protueksplozijske zaštite kvalitetan odnos S-Komisije s korisnicima i povezanost s bazom. Tako se uspostavio kritički odnos između S-Komisije te korisnika i zainteresiranih strana, što u krajnjoj liniji znači ocjenu njezina rada, ali i prikupljanje sugestija za budući rad. Dalje u tekstu o tome se opširnije govori.

Sadržaj rada S-Komisije jest stvaranje uvjeta za siguran rad i djelovanje u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, prije svega života i zdravlja ljudi. Taj se zadatak ne može ostvariti samo djelovanjem tehničke primjene i zadovoljenja zahtjeva propisa i norma za uređaje i opremu nego i rješavanjem cjelokupne sigurnosti u takvim prostorima. Osnovna prepoznatljiva problematika kad su u pitanju uređaji i oprema, utvrđivanje je ispunjenja zahtjeva sigurnosti, što će reći da uređaji ili oprema ugrađeni u prostore ugrožene eksplozivnim smjesama ne budu izvor paljenja eksplozivne smjese i posljedično eksplozije.

U ocjenjivanju izvedbe uređaja/opreme za sigurno korištenje u ugroženim prostorima postoje dva pristupa: pristup proizvođača koji svoj uređaj namjenjuje nepoznatom kupcu/korisniku i pristup korisnika (vlasnika) uređaja/opreme za određenu tehnologiju, gdje uređaji/oprema moraju biti sigurni za primjenu u definiranoj situaciji. Razlika je tih dvaju pristupa u tome što se u slučaju proizvođača mogu nadzirati svi parametri za ocjenu: dokumentacija, definirani

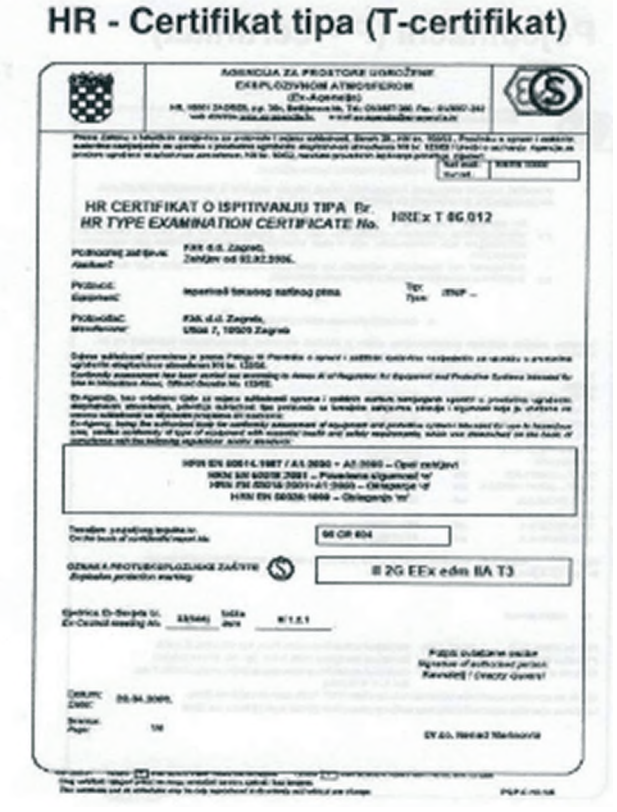


Sl. 6.: *Bilten S-Komisije*, stručno-znanstveni časopis za protueksplozijsku zaštitu

uzorci, nadzor nad proizvodnjom i on je odgovoran za proizvod kod stavljanja na tržište, dok kod utvrđivanja sigurnosti uređaja/opreme namijenjenih poznatoj namjeni u vlasništvu korisnika nedostaju podaci o uvjetima proizvodnje i nedostaje odgovornost proizvođača.

Uočavajući taj problem Nenad Marinović uvodi sustavni pristup u provedbi ocjenjivanja s obzirom na to da je praksa jako varirala i u pristupu i u kriterijima. Regulatorni, zakonski dokumenti koje mora posjedovati svaki uređaj u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom poznati su i definirani, ali u postupke pribavljanja certifikata moralo se unijeti reda. U tom smislu Nenad Marinović pokreće dva postupka u provedbi certificiranja uređaja. Važno je uočiti da se ti postupci, implementirani osamdesetih godina, danas mogu iščitati kao moduli u postupcima certificiranja u harmoniziranim dokumentima EU-a (Opći i Globalni pristup − moduli III. i V.)

1.4. Ispitivanje tipa proizvoda


HR - Certifikat tipa (T-certifikat)

AGENCIJA ZA PROSTORE UGROŽENE EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM (Ex-Agencija)

HR CERTIFIKAT O ISPITIVANJU TIPA Br. HREx T 8G 012
HR TYPE EXAMINATION CERTIFICATE No.

II 2G EEx edn IIA T3

Sl. 7.: Naslovna stranica certifikata tipa (T-certifikat)

Kad utvrđivanje svojstava uređaja za ugradnju u prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom traži proizvođač od nadležne institucije, postupak i kriteriji su određeni: dostavlja se dokumentacija, koja se zatim pregledava, određuju se (ako je potrebno) korekcije koje treba provesti proizvođač, definiraju se ispitni uvjeti, provede se ispitivanja, o rezultatima se donose odluke na S-Komisiji, provodi se pregled proizvodnje i izdaje certifikat s uvjetima kontrole i nadzora prije stavljanja na tržište. Proizvođač je pod nadzorom S-Komisije, što znači da može izgubiti certifikat ako se ne pridržava ispunjenja uvjeta certifikata. Postupak je jednak za domaćeg i stranog proizvođača.

Pojedinačni (P – certifikat)



AGENCIJA ZA PROSTORE UGROŽENE EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

(Ex-Agencija)

HR CERTIFIKAT O SUKLADNOSTI Br. HREx P 06.111

HR CERTIFICATE OF CONFORMITY No.

Podnositelj zahtjeva: Aplikant: KBB d.d. Zagreb, Zahtjev od 02.02.2006.

Proizvod: Oprema: kontrolni tekućeg radnog pitka Tip: Type: ITMP ...

Serijski broj: Serial number: A123456/06

Proizvođač: Manufacturer: KBB d.d. Zagreb, Ulica 7, 10000 Zagreb

HRN EN 60079-0:2007 / A1:2009 + A2:2009 – Opći zahtjevi
HRN EN 60079-1:2007 – Posebna sigurnost 'd'
HRN EN 60079-26:2007+A1:2008 – Oblikovanje 'ia'
HRN EN 60529:1998 – Oblikovanje 'ma'

Temeljem projektnog broja: On the basis of numbered report no. 04 CR 111

OZNAKA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE: Explosion protective marking: II 2G EEx edm IIA T3

Sjednica Ex-Savjeta br: Ex-Council meeting No: 115 koja je održana: held on: 111

Potpis ovlaštene osobe: Signature of authorised person: Ravnatelj / Director General

Datum: Date: 20.04.2006.

Broj: Page: 1/3

Dr.sc. Nenad Marković

Sl. 8.: Naslovna stranica pojedinačnog certifikata (P-certifikat)

1.5. Pojedinačno ispitivanje proizvoda

Veći je problem s pojedinačnim uređajima. Taj postupak bio je puno značajniji prije donošenja harmoniziranih dokumenata EU-a i ulaska Republike Hrvatske u EU. To je vrijeme obveznih JUS standarda i međusobnonog nepriznavanja certifikata.

Do donošenja tog postupka koji je implementirao Nenad Marinović i koji je pridonio uređenju područja, kriteriji i postupci u certificiranju bili su vrlo različiti, a usto su postojala i mišljenja na području protiv kojih se trebalo boriti: "(…) ako je uređaj dobar njima, u zapadnom svijetu, onda zašto nije dobar nama?", a bilo je i mišljenja izvan zemlje, kod dobavljača, kao ono: "(…) ma oni su tamo negdje na 'divljem Balkanu' – … može to i tako, njima je sve dobro" − nažalost, s tim smo se sreli, imam osobna iskustva s nekim velikim tvrtkama u industrijski razvijenim zemljama, i tek je kontrola, postupak pojedinačnog ispitivanja, zaustavio neispravnu opremu.

Naravno da se s takvom filozofijom, mišljenjima i praksom nije moglo naprijed. Stoga se inicijativom Nenada Marinovića uvodi sustav: svi uređaji i oprema namijenjeni za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom moraju prije ugradnje biti provjereni od nadležne institucije (S-Komisija).

Za provedbu postupka zadovoljenja zahtjeva za opremu / uređaje bez tipskog certifikata S-Komisije, traži se obvezno certifikat zemlje proizvodnje, dostava što više dokumentacije (certifikacijske i izvedbene, gdje je moguće), količina opreme / uređaja koja se namjerava ugraditi, sa serijskim brojevima. Na osnovi provedene obrade zahtjeva pregledavala se količina i odabirao uzorak za ispitivanje. Nakon ispitivanja uzorka pregledavao se ostatak opreme, utvrđivala sukladnost opreme / uređaja iz količine te se na S-Komisiji donosila odluka o prihvatu ili neprihvatu deklarirane količine. Za opremu / uređaje koji su zadovoljili izdavao se dokument, tzv. pojedinačni certifikat. Zakonska mu je vrijednost jednaka certifikatu, ali primjenjuje se samo na opremu / uređaje navedene u certifikatu, nema univerzalnu vrijednost kao tipski certifikat, što znači da se u slučaju uvoza nove količine takvih uređaja ili opreme postupak ponavlja. To je korisnicima bilo sporno, ali gledano sa sigurnosnog stanovišta bilo je normalno ponavljanje ispitivanja s obzirom na to da u postupku certificiranja nije bilo podataka ni dokumentacije o pregleda uvjeta proizvodnje ni dogovorenog nadzora nad proizvodnjom. Kad korisnik preuzme uređaje/opremu koji nemaju cjeloviti postupak certifikacije, proizvođač nema zakonsku odgovornost za sigurnost isporučene opreme / uređaja. Stoga je logično da se mora provesti sustavan nadzor nadležne institucije u zemlji (S-Komisija).

Naravno da je tu bilo mnogo priča, nezadovoljstva, pritisaka s obzirom na to da je takav postupak vezan uz troškove, koji se obično nisu, nažalost, unaprijed dogovorili s isporučiteljem. Uporna dosljednost i sustavni pristup

pokazali su se opravdani, što je vidljivo iz dvije činjenice: (1) nije bilo eksplozija izazvanih opremom koja je prošla navedeni postupak i (2) postupak je ugrađen u dokumente, u tzv. EU module (Opći i Globalni pristup). Ti su se moduli počeli primjenjivati u harmoniziranim normama desetak godina nakon što su implementirani kod nas.

Gledajući iz današnje perspektive trebalo je to izdržati, a tu su se vizionarstvo i dosljednost Nenada Marinovića pokazali na djelu. Zašto to naglašavam? To je bilo u doba kad domaće opreme i tehnologije nije bilo, ili je bilo malo, ili oprema ili tehnologija nije bila suvremena. Tad se počela uvoziti tehnologija i oprema sa svih strana, što je dovodilo do uočljivih neusklađenosti kao posljedica različitih praksi i načina izvedaba. Razina sigurnosti postala je upitna. Posljedično, sigurnost života i zdravlja nije se mogla *a priori* osigurati, a ako se tomu dodaju i problemi s održavanjem − da i ne govorim.

Tu bih dodao samo nešto: u to sam doba naučio nešto od dr. Marinovića: "(…) *carta canta*![12]" Bez komentara!

1.6. Razredba (klasifikacija) ugroženog prostora

Kako je tehnologija prostorno-vremenski fenomen, jedino sukladnost mjera sigurnosti tehnologije i ugrađene opreme može osigurati sigurnost života i zdravlja ljudi koji djeluju u tom prostoru. Stoga je opseg djelovanja S-Komisije morao obuhvatiti i razredbu opasnosti u tehnološkim postrojenjima.

Tijekom 1960-ih i 1970-ih, dakle u doba uspostavljanja sustava na području protueksplozijske zaštite, u postupcima razredbe opasnosti prostora nije bilo ujednačenosti, nego su preuzimane razredbe onoga koji je isporučio tehnologiju. U industrijskom svijetu nije postojala ujednačenost razredbe, najčešće su se prihvaćala rješenja primijenjena u velikim kompanijama, njihova tehnologija za prostore gdje je postojala mogućnost pojave eksplozivne atmosfere. U rudarstvu nije bilo većih teškoća jer se ono oslanjalo na dugogodišnju tradiciju i imalo je više-manje sređene mjere i načine određivanja ugroženosti prostora. (Neka mi Bog oprosti − uvijek se sjetim jadnih kanarinaca!)

Dakle, situacija je, blago budi rečeno, u to vrijeme bila više-manje kaotična. Velika raznolikost tehnologija, zapaljivih tvari i njihovih fizikalno-kemijskih svojstava, kao i uvjeta okoliša bila je uzrok da se nije moglo (a ni danas se ne može), jednoznačno, normom, određivati stupanj ugroženosti. U industrijski razvijenim zemljama postojale su razvijene metode i smjernice za procjene

[12] tal. ***carta canta***, uvijek je bolje zapisati, crno na bijelom

ugroženosti, npr. ElexV[13] (SR Njemačka), NFPA[14] (SAD), Rospa[15] (UK) itd., no jedinstvenog sustava i pristupa nije bilo. Kod nas se naftna industrija oslanjala i bila vezana uglavnom na američka rješenja u pogledu sustava ugroženosti s obzirom na to da je u naftnom rudarstvu većinom njihova oprema. Ugroženi prostor dijelio se na dvije zone ugroženosti. Podjela ugroženog prostora na dvije zone ugroženosti za industrijska postrojenja bila je nerealna, preskupa, a sigurnosno nelogična.

Naime, suvremene industrijske tehnologije u pravilu su zatvorenog tipa. Ugroza od pojave eksplozivne atmosfere u najvećem dijelu prostora, u najvećem broju slučajeva, iako moguća, potencijalno je neznatna, posebno na dnevnoj bazi. Situacija je nešto drugačija u prostoru, u proširenju od nekoliko metara, oko manipulativnih otvora ili oko mjesta predvidivog kvara, gdje se može češće pojaviti ugroza od eksplozivne atmosfere. Prostori s trajnom prisutnosti eksplozivne atmosfere rijetki su i tehnološki dobro poznati.

Tri pojavna oblika ugroze prostora – rijetko, povremeno i stalno, u razredbi ugroženosti označavaju se kao tri zone opasnosti. U sve tri zone mora se rabiti oprema koja neće izazvati paljenje eksplozivne atmosfere, no razina primijenjenog stupnja sigurnosnih mjera na opremi / uređajima varira ovisno o stupnju ugroženosti. Razina stupnja sigurnosnih mjera i veličina ugroze eksplozivnom atmosferom moraju biti usklađeni do te mjere da ne dođe do prostorne eksplozije.

Prvo što je Nenad Marinović učinio bilo je da je sve dostupne datosti posložio u smjernice za karakteristične slučajeve i objavio u *Biltenu*, uz napomenu da te smjernice nisu obvezne, da nisu norma (to je doba kad su norme bile obvezne), nego pomoć tehnolozima i stručnjacima koji razrađuju tehnologije. Odstupanja su bila prihvatljiva u primjeni smjernica, uvažavajući da je svaka tehnologija specifična i da svaki 'vlasnik' tehnologije najbolje zna gdje i u kojoj mjeri može očekivati ugrozu, što ga je obvezalo da to dokumentira (*carta canta*); što će reći da je 'vlasnik' odgovoran za primjenu sigurnosnih i zaštitnih mjera u svojem postrojenju.

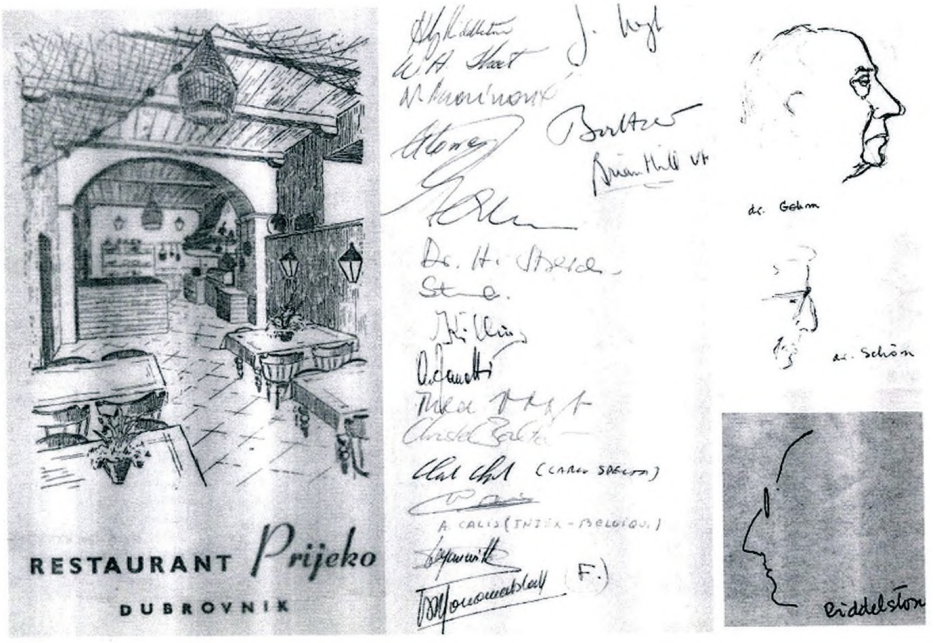
Konkretno razrađeni primjeri, koji su uvažavali dostupne metode i pristupe različitih zemalja i industrijskih praksi, bili su ulazni prijedlog Nenada Marinovića IEC-u za pokretanje ujedinjenja kriterija i metoda za razredbu ugroženih prostora (u tri zone) i kriterija za odabir razine stupnja zaštite na uređajima/opremi koji bi se koristili u određenoj zoni opasnosti. Osnovni kriterij za opremu za uporabu u pojedinoj zoni opasnosti bio je dokazani primijenjeni faktor sigurnosti.

[13] **ElexV**, Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen

[14] **NFPA**, National Fire Protection Association

[15] **Rospa**, Electrical Installation in Flamable Atmospheres

Ukratko, uporan i sustavan rad i argumentiranje Nenada Marinovića rezultirali su tim da je 1982. osnovan Tehnički pododbor IEC/SC 31J *Classification of hazardous areas and installation requirements* (Razredba zona opasnosti i instalacijski zahtjevi), a njemu je povjereno tajništvo tog pododbora od 1982. do 2007. godine, odnosno do odlaska u mirovinu.



Sl. 9.: Uz zasjedanje IEC SC 31J: u Dubrovniku. Potpisi: (1) S. Riddlestone, (2) G. Vogt, (3) W. A. Hart, (4) N. Marinović, (5) H. Baltzer, (6) Brian Hill, (7) K. H. Gehm, (8) R. Streich, (9) F. Kiling, (10) O. Zanetti, (11) Carlo Spelta, (12) A. Calis, (13) S. Monomachoff (crteži: M. Matasović) (u gornju sliku treba upisati brojeve, donju sliku izbaciti)

Taj šturi podatak treba upozoriti na nešto vrlo važno: Jugoslavija je 1982. bila industrijski ne baš razvijena zemlja, relativno skromnih znanstvenih doprinosa, ali podatak da je IEC vođenje jednog pododbora iznimno važnog za industrijska postrojenja povjerio Jugoslaviji upućuje na autoritet i osobnost prof. dr. sc. Nenada Marinovića. Zapravo, to govori sve o čovjeku koji je mnogo uložio, mnogo dao i, što je posebno važno, da je IEC to prepoznao i priznao.

O autoritetu Nenada Marinovića najbolje govori podatak da je okupio oko sebe najznačajnije stručne osobe IEC-a i Europe na sastanku u Dubrovniku radi razrade i usklađenja opsega SC 31J, slika 9.

1.7. Stručna mišljenja

Gledajući kompleksnost procjene rizika za nastanak eksplozije u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom, uvjetovane raznolikošću industrijskih prostora i tehnologija, te relativno malog broja stručnih ljudi upućenih u tu problematiku, uočljiv je značaj uvođenja dokumenta pod nazivom Stručno mišljenje.

Sustavnost postupka izrade dokumenta Stručno mišljenje omogućila je dobivanje jednoznačnog uvida u dostatnost ili manjkavost budućeg ili postojećeg stanja u sprečavanju nastanka eksplozije u postrojenjima s prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Naravno da je posjedovanjem dokumenta koji stručno procjenjuje stanje i rizike u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom olakšalo planiranje i financiranje uklanjanja opasnosti u postojećim postrojenjima, ali je i olakšalo utvrđivanje zahtjeva kod ugovaranja novih investicija. Izdavanje dokumenta Stručno mišljenje rezultiralo je podizanjem razine sigurnosti u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom i velikim uštedama, što je uočljivo kroz činjenicu da je većina novih tehnologija i opreme bila iz uvoza i da je taj uvoz bio opterećen carinama i ispitivanjima, što je posljedično izazvalo produljenje rokova i sl.

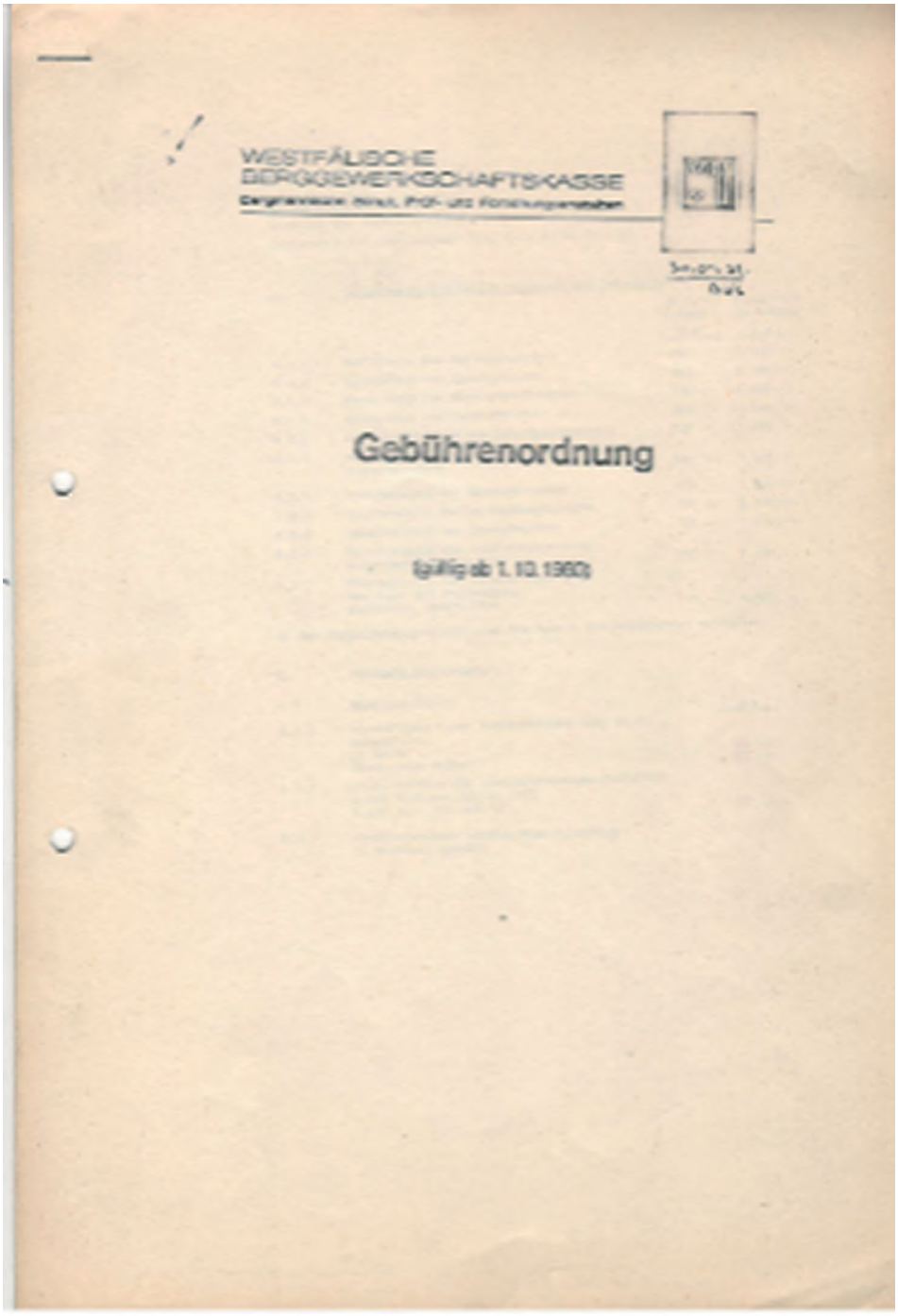
O stručnim mišljenjima, kao i o ostalom, raspravljalo se na sjednicama S-Komisije i javno su objavljivana u njezinu *Biltenu*, Prilog 3.

1.8. Priznavanje izvještaja o ispitivanju

Još je jedan veliki problem koji je pritiskao gospodarstvo riješen radom i autoritetom Nenada Marinovića – smanjenje ponavljanja ispitivanja certificiranih proizvoda iz drugih zemalja. Naime, proizvodi koji su se uvozili iz drugih zemalja a nisu imali certifikat S-Komisije (tad nije bilo harmoniziranog sustava certifikacije), morali su se nakon uvoza ispitati da zadovoljavaju tražena svojstva, da bi se tako dobila zakonska sigurnost upotrebe proizvoda.

Uočivši da je dokazivanje svojstava osnovano na istim normama, u konkretnom slučaju na IEC standardima i JUS standardima koji su identični IEC standardima, Nenad Marinović zaključio je da se ispitivanja ne moraju ponavljati. Ako se uzme u obzir da, uz sve ostale troškove (carina, transport i sl.), troškovi ispitivanja i nadzora uređaja/opreme nisu zanemarivi, valjalo je iskoristiti uočenu činjenicu.

Navedeni pristup Nenada Marinovića kod prijenosa međunarodnih norma u JUS standarde na području protueksplozijske zaštite, tj. "preslikavanje" IEC/CENELEC norma u JUS standarde, olakšalo je inicijativu za priznavanje tehničkih dokumenata među ispitnim stanicama koje rade po istim normama. Oslanjajući se na svoj autoritet, na autoritet koji je postigla S-Komisija, Nenad


WESTFÄLISCHE
BERGGEWERKSCHAFTSKASSE

Gebührenordnung

(gültig ab 1. 10. 1960)

Sl. 10.: Cjenik BVS-ovih usluga (Bergbau-Versuchsstrecke)

Marinović pokrenuo je dogovor s njemačkom ispitnom organizacijom BVS o priznavanju rezultata ispitivanja bez ponavljanja. To je bilo posebno važno za rudarsku opremu, koja je većim dijelom uvožena iz SR Njemačke. I poduzeće *Rade Končar* imalo svoj interes za izvoz rudarskih trafostanica u SR Njemačku, Prilog 4.

Razgovori o priznavanju počeli su od činjenice da imamo iste norme, dakle iste metode ispitivanja. Dogovoreno je da ispitni izvještaji imaju iste točke zahtjeva iz norma (što je u našim ispitnim izvještajima već provedeno), te da stručnjaci svake strane pregledaju ispitna postrojenja, opremu i metode (Prilog 4.), kako bi se ocijenili postojeći sustavi − identičnosti i razlike, te da se na toj osnovi uspostavi razmjena ispitnih izvještaja u opsegu koji obuhvaća usklađena ispitivanja. Na osnovi takvog dogovora mogli su se razmjenjivati ispitni izvještaji uz plaćanje administrativnih troškova strani koja daje izvještaj. Svaka je strana dodatno ispitivala samo ono što je specifično i različito.

Sklopljen je sporazum između BVS-a i S-Komisije. Primjenom tog sporazuma troškovi ispitivanja enormno su smanjeni. Posebno treba naglasiti da se sporazum primjenjivao ravnopravno u oba smjera. To nije bio međunarodni sporazum nego sporazum između dva pravna subjekta i svaka strana bila je zakonski odgovorna u svojoj zemlji za prihvaćene rezultate i za izdane certifikate u skladu sa svojim zakonodavstvom.

Sporazum se pokazao iznimno korisnim i omogućio je razmjenu protokola s još nekim važnim institucijama iako nije bilo formalnog sporazuma. Osim umanjivanja troškova za korisnike, takav pristup i praksa olakšali su i ubrzali S-Komisiji postupke certificiranja te smanjili rizike u postrojenjima.

1.9. Godišnja skupština

U to vrijeme u Jugoslaviji nije bilo ni dovoljno proizvođača protueksplozijski zaštićene opreme ni naprednih tehnologija za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom. Posljedica toga bio je relativno velik uvoz. Sav uvoz morao je proći ocjenu i certifikaciju S-Komisije. U takvoj situaciji, iako je veza s korisnicima usluga S-Komisije bila trajna, posebno kad su u pitanju velike organizacije, ipak se osjetila potreba za izravnim povezivanjem korisnika usluga S-Komisije i same S-Komisije. To se prije svega odnosilo na potrebu da S-komisija dobije informacije o stanju na području, i to izravno od korisnika, kao i povratne informacije o njihovim potrebama, kao i o zadovoljstvu radom S-Komisije. U tu svrhu Nenad Marinović pokreće inicijativu za održavanje Godišnje skupštine svih korisnika usluga S-Komisije.

Skupština se održavala jedanput godišnje na mjestu vezanom uz neku važniju tehnologiju. S-Komisija objavljivala je na Godišnjoj skupštini godišnji izvještaj o svojem radu. Na otvorenom plenarnom skupu korisnici su iznosili

svoja stanovišta, potrebe i pokretali pitanja koja treba riješiti da bi se rad u prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom učinio sigurnijim i da ne bi dolazilo do zastoja i/ili nedorečenosti u primjeni. Iznosili su se prijedlozi za poboljšavanje.

Godišnje skupštine pokazale su se vrlo korisnim, nezaobilaznim, jer se dobivala neposredna informacija u kojem smjeru treba ići te o tome gdje su najveći problemi. Ne mogu ne spomenuti da se na godišnjim skupštinama znalo događati i zgodnih stvari. Kako se nastojalo da se održavaju na važnim mjestima diljem zemlje, na kraju jedne postavljen je upit: "Kamo ćemo idući put?", javlja se jedan kolega i predloži Ohrid.

"Odlično! Hoćete li vi to organizirati? Jeste li vi od tamo?"

"Ne."

"A zašto onda predlažete Ohrid?"

"Jer je tamo lepo!"

1.10. Nepristranost i javna objava rezultata

Kao što je Nenad Marinović uveo redovite sastanke S-Komisije jednom mjesečno sa stalnim dnevnim redom (Prilog 1.), gdje su za svaku točku dnevnog reda dokumenti imali stalan i jednoznačan oblik, tako su se odluke i dokumenti koji su se donosili na sjednicama S-Komisije redovito objavljivali i postali su javno dostupni te se mogla ocijeniti njihova prihvatljivost i nepristranost (Prilog 2.).

Članove S-Komisije imenovale su republičke vlade, a u pravilu su to bili glavni republički inspektori za industriju i rudarstvo, u čijoj je nadležnosti bilo i osiguravanje sigurnosti industrijskih postrojenja i rudnika. Izvjestitelji i prezenteri dokumenata na sjednicama S-Komisije bili su predstavnici Zavoda za protueksplozijsku zaštitu ETI RK. Ispitna organizacija, Zavod, imala je jednog svojeg predstavnika u S-Komisiji. Pravo glasa i odlučivanja nisu imali izvjestitelji iz Zavoda, nego samo imenovani članovi.

Način rada osnivao se na načelu da je član S-Komisije između dvije sjednice mogao pogledati i pregledati bilo koji predmet koji će biti na dnevnom redu za odlučivanje. Tijekom sjednice raspravljalo se o pojedinom predmetu u potrebnom opsegu problematike. Odluke su se donosile jednoglasno, a ako nije bila postignuta suglasnost predmet se vraćao na doradu.

Takvim se načinom rada postizala ne samo nepristranost nego su inspektori bili obaviješteni o događanjima na cjelokupnom području protueksplozijske zaštite, ali i o problemima koji se javljaju u dnevnoj praksi. Na taj se način ujednačavala praksa u cijeloj zemlji na provedbi mjera i sigurnosti u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom.

Posebna se važnost na sjednicama S-Komisije posvećivala praćenju događanja na međunarodnom planu – i na području normizacije, i na području zakonske regulative. U tom smislu bilo je posebno važno sudjelovanje naših stručnjaka na odborima VDE-a[16] kao vanjskih članova jer su na taj način najbrže dolazile relevantne informacije iz tadašnje Europske zajednice (EZ), što se odmah prenosilo u naše dokumente. Stoga, kad je došlo 2013. do usklađivanja s EU-om na području protueksplozijske zaštite nije bilo mnogo posla.

Može se slobodno reći da je S-Komisija u to vrijeme bila jedna od rijetkih organizacija koja je svoje djelovanje imala usklađeno na području i normizacije i zakonske regulative sukladno svjetskim trendovima. S obzirom na raznovrsnost opreme koja je dolazila, a da bi se osigurala nepristranost i nalazilo prava rješenja, suradnici S-Komisije bili su dobri poznavatelji normizacije i zakonske regulative mnogih europskih zemalja − anglosaskih zemalja, SSSR-a, zatim Japana, Indije,… što je bilo prepoznato među sudionicima međunarodnih skupova (IEC[17], CENELEC[18], VDE i na drugim stručnim skupovima o problematici protueksplozijske zaštite).

1.9. *S-bilten*

Transparentnost rada, transparentnost donesenih odluka i prenošenje stručnih znanja nezamislivo je bez *S-biltena* − stručnog glasila S-Komisije koje je počelo izlaziti 1972. godine.

U *Biltenu* (Prilog 2.) objavljivani su stručni članci iz područja protueksplozijske zaštite, izvještaji o radu međunarodnih i domaćih stručnih organizacija, listiranje[19] objavljenih tipskih i pojedinačnih certifikata te izdanih stručnih mišljenja (Prilog 3.), informacije o održanim stručnim sastancima domaćih i međunarodnih normizacijskih organizacija te prisustvovanju tim sastancima, o savjetovanjima i edukacijama iz područja protueksplozijske zaštite.

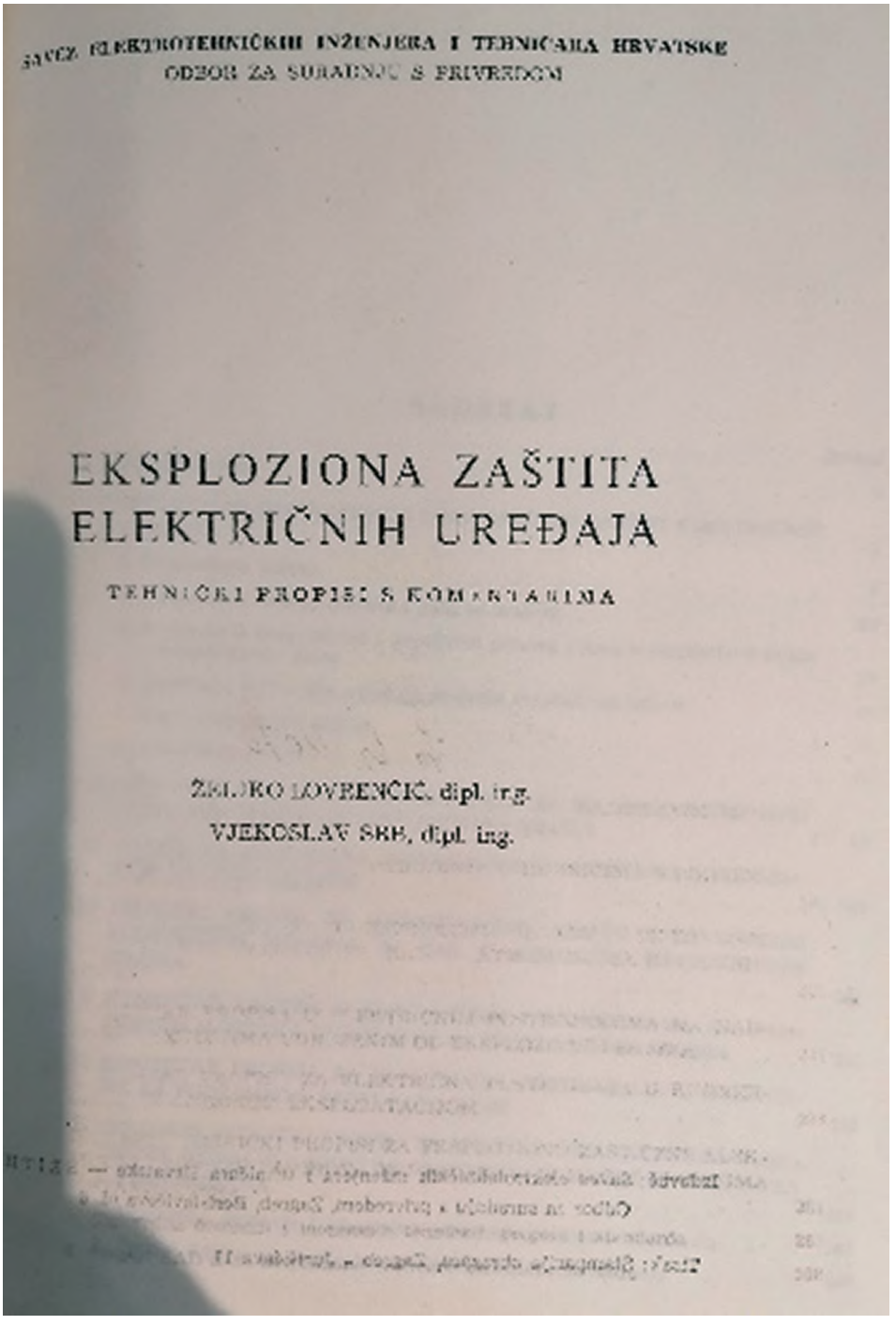
Kao glavni urednik Nenad Marinović osigurava *Biltenu* široku podršku putem izdavačkog savjeta, u koji su uključeni eminentni stručnjaci iz područja industrije, rudarstva i znanstvenih ustanova (Prilog 2.).Uredništvo je uglavnom povjereno stručnjacima oko Zavoda za protueksplozijsku zaštitu i S-Komisije s obrazloženjem glavnog urednika: "(…) ako se bavite tim poslom morate biti najbolje upoznati sa stanjem i morate djelovati na unapređivanju područja". Natjeravao nas je "kao vrag grešnu dušu" da pišemo (hvala mu – imam

[16] **VDE,** Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik)

[17] I**EC**, International Electrotechnical Commission

[18] **CENELEC**, European Committee for Electrotechnical Standardization

[19] **listiranje,** javna objava odluka S-komisije o certifikatima, izdanim stručnim mišljenjima i izdanim ovlaštenjima



Sl. 11.: Prikaz tehničkih propisa

objavljeno više od 100 članaka), ali i da prikupljamo članke priznatih stručnjaka iz područja.

1.10. Međunarodni ugled

Sustavan rad, stalan doprinos normativnom i zakonskom uređenju područja kao i stalan kontakti s institucijama i osobama u domaćem i međunarodnom okruženju nije mogao ostati nezapažen. Mi, tad Jugoslavija, sa skromnim industrijskim i rudničkim potencijalom, zaslugom Nenada Marinovića bili smo aktivni sudionici u većini odbora i pododbora IEC-a, pridruženi sudionici u VDE-u i stalno prisutni na značajnijim stručnim i znanstvenim okupljanjima.

Osim navedene afirmacije, osnivanjem Tehničkog pododbora IEC/SC 31J koji je obuhvatio najosjetljivija područja protueksplozijske zaštite, Nenad Marinović omogućio je afirmaciju svojih suradnika u mnogim pododborima. O važnosti Tehničkog pododbora 31J možda najviše govori činjenica da su sastanku održanom u Dubrovniku prisustvovali svi najznačajniji stručnjaci i nositelji područja protueksplozijske zaštite u Europi, slika 9.

1.11. Sustav − tiskanice i tehnički nadzor

Sustavan i kontinuiran rad Nenada Marinovića na području protueksplozijske zaštite, gledano iz današnje perspektive, može se karakterizirati kao 'škola protueksplozijske zaštite'. Prema toj "školi" sve je dokumentirano, sustavno uređeno (dokumenti), jednoznačno su određene metode. Ne ulazeći u detalje, kontinuitet te "škole" može se naći na stranicama Ex-Agencije (kao sljednice S-Komisije). Dobra su ilustracija navedenog standardni dokumenti (tzv. tiskanice), koji podupiru provedbu protueksplozijske zaštite u postrojenjima:

- klasifikacija prostora (TN-KL)
- elektroenergetski uređaji (TN-URE)
- elektroinstrumentacijski uređaji (TN-URI)
- električne instalacije energetike (TN-EIE)
- električne instalacije instrumentacije (TN-EII)
- neelektrični uređaji i instalacije (TN-NEU).

Obradom sadržaja pojedine tiskanice, koja uključuje zahtjeve za potrebnu dokumentiranost postrojenja i koja mora postojati u postrojenju, dobiva se jednoznačna slika stvarnog stanja u postrojenju i razina ispunjenja zahtjeva. Na osnovi takve obrade dokumenata pristupa se ocjenjivanju ispunjavanja zahtjeva sigurnosti kao i donošenju odluka o predmetu, bez dodatnog elaboriranja i izrade drugih dokumenata.



OZNAM S - KOMISIJA

TN	TEHNIČKI NADZOR	KL
JRV	KLASIFIKACIJA PROSTORA	1/16

Temeljem članka 35. i 36. Zakona o normizaciji Narodne novine br. 55/96. i Odluke klase: 383-02/98-02/1, ur.br. 338-04/5-98-1 od 30.12.1998. godine te Pravilnika o tehničkom nadzoru električnih postrojenja, instalacija i uređaja namijenjenih za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom 'Narodne novine' Republike Hrvatske br. 69/98 i 149/99 proveden je nadzor o stanju protueksplozijske zaštite.

Na zahtjev:

Znak: RN / Od

U objektu:

Obavljen je pregled dana **o čemu je sastavljen zapisnik koji je obostrano potpisan.**

Podnesena je izvješća koja je raspravljeno na sjednici S-Komisija broj _____ tč. _____ temeljem kojega se izdaje:

NALAZ
O STANJU PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE

Broj **Znak:** **Od:**

Temeljem dokumentacije i pregleda objekta obrađeno je sljedeće:

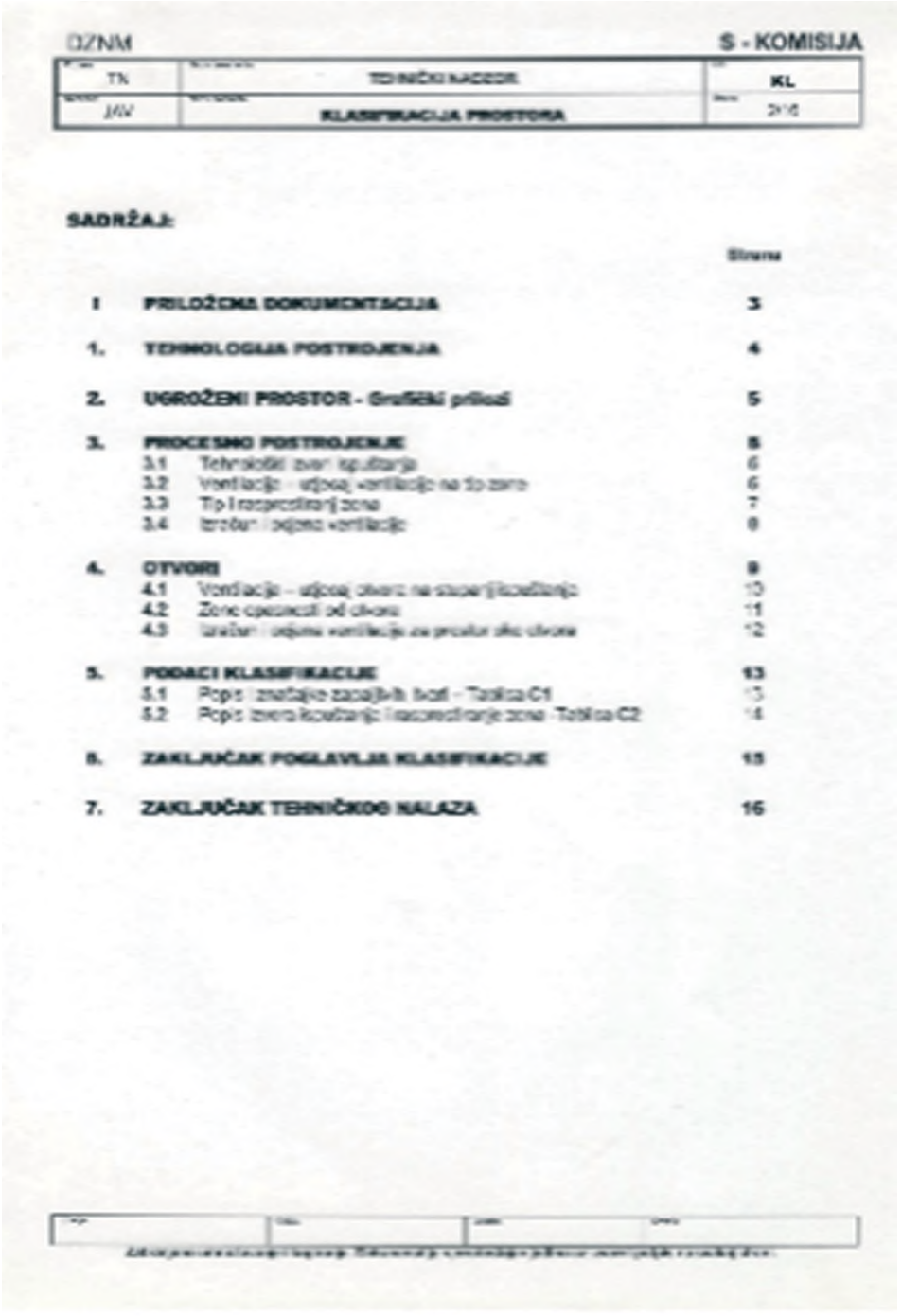
✓ **Klasifikacija prostora**	**HRN EN 60079-10; 1997**	**KL**
Električne instalacije energetskih uređaja	HRN EN 60079-14; 1997	EIE
Električne instalacije instrumentacije	HRN EN 60079-14; 1997	EII
Elektroenergetski uređaji	HRN EN 50014-020+028; 1997, 1999.	URE
Elektroinstrumentacijski uređaji	HRN EN 50014-020+028; 1997, 1999.	URI
Proizvodnja S-proizvoda	Pravilnik o T.Z. NN br. 69/98 i 149/99	PR
Instaliranje i povezivanje S-proizvoda	Pravilnik o T.Z. i T.N. NN br. 69/98 i 149/99	IN
Održavanje S-proizvoda	HRN EN 60079-17; 1997	OO
Popravak S-proizvoda	HRN EN 60079-19; 1997	PO
Ostalo		

Napomena: Kumulativni skuhalaj komponenta, uređaja, zaštitnih sustava u ugroženom prostoru, ima svoje vlastite oznake koje se nalaze u ugroženom prostoru.

✓ znači da tekst vrijedi ✗ znači da ne obrađuje

Zabranjeno umnožavanje i kopiranje. Dokument je vjerodostojan jedino uz žigosani potpis na svakoj stranici.

Sl. 12.: Tiskanica TN-KL (naslovnica)



DZNM S - KOMISIJA

TN	TEHNIČKI NACRTI	KL
JAV	KLASIFIKACIJA PROSTORA	2016

SADRŽAJ:

		Stranica
I	PRILOŽENA DOKUMENTACIJA	3
1.	TEHNOLOGIJA POSTROJENJA	4
2.	UGROŽENI PROSTOR - Grafički prilozi	5
3.	PROCESNO POSTROJENJE	5
3.1	Tehnološki zoni ispuštanja	6
3.2	Ventilacija - ulazni i ventilacija na tlo zone	6
3.3	Tip i raspoređivanje zona	7
3.4	Izračun i ulazni ventilacija	8
4.	OTVORI	9
4.1	Ventilacija – ulazni otvori na stupnjevi/ispuštanja	10
4.2	Zone opasnosti od otvora	11
4.3	Izračun i ulazni ventilacija za prostor oko otvora	12
5.	PODACI KLASIFIKACIJE	13
5.1	Popis i značajke zapaljivih tvari - Tablica C1	13
5.2	Popis izvora ispuštanja i raspoređivanje zona - Tablica C2	14
6.	ZAKLJUČAK POGLAVLJA KLASIFIKACIJE	15
7.	ZAKLJUČAK TEHNIČKOG NALAZA	16

Sl. 13.: Tiskanica TN-KL (sadržaj)

1.12. Ovlaštenja

Da bi se operativni rad u provedbi protueksplozijske zaštite prenio na poslovne subjekte, S-Komisija uvela je nadzirani sustav ovlaštenja za obavljanje pojedinih poslova, za koje je poslovni subjekt osposobljen i za koje je morao dokazati S-Komisiji u postupku ovlašćivanja kompetentnosti i potrebne strukture. S-Komisija obavlja ovlašćivanje za poslove:

– instaliranja
– održavanja
– popravaka.

U svojem djelovanju nositelj ovlaštenja morao je ispunjavati određene zahtjeve (slično kao obveze korištenja certifikata). Neispunjavanje zahtjeva i obveza imalo je za posljedicu gubitak ovlaštenja, što je objavljivano u *Biltenu*.

1.13. Edukacija i osposobljavanje

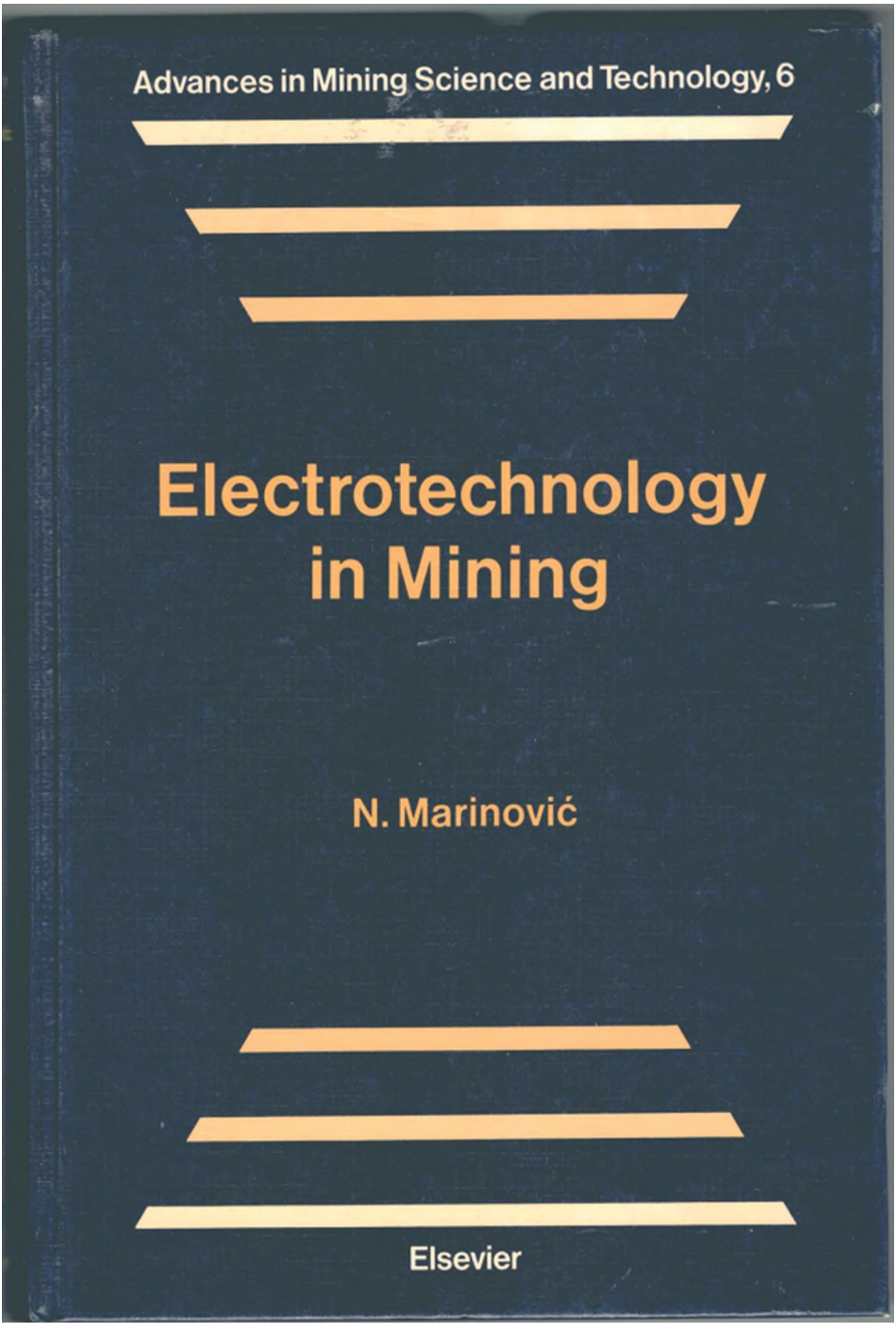
Područje protueksplozijske zaštite nije bilo obuhvaćeno ni općim ni stručnim obrazovanjem. Stoga je Nenad Marinović pokrenuo obrazovanje u registriranim obrazovnim ustanovama prema programu koji je odobravala S-Komisija. Predavači na obrazovnim oblicima bili su provjereni stručnjaci vezani uz rad S-Komisije ili provjereni akademski stručnjaci / profesori iz specifičnih područja.

Takav pristup bio je logičan s obzirom na to da nedovoljno stručna edukacija može imati štetne posljedice, posebno za ljudski život. S-Komisija nadzirala je seminare u okviru Radničkog sveučilišta, kasnije ZIRS-a[20], kao i njihove sljednike. Nenad Marinović, kao profesor na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, pokrenuo je seminare na razini inženjerske struke. Na Visokoj školi za sigurnost predavala se protueksplozijska zaštita kao redoviti sveučilišni predmet i poslijediplomski studij.

Najveći doprinos objavljenoj literaturi iz područja protueksplozijske zaštite pripada Nenadu Marinoviću. Dovoljno je pogledati popis objavljenih knjiga u njegovu životopisu. Svako područje djelovanja ima bar jednu njegovu knjigu, priručnik ili udžbenik.

Poznata izdavačka kuća Elsevier objavila je 1990. njegovu knjigu *Electrotechnology in Mining*. To je cjelovita knjiga namijenjena onima koji primjenjuju električnu energiju u rudnicima. Knjiga je iznimno važna i citirana, o čemu govori činjenica da je još i danas u prodaji − 30 godina nakon objavljivanja.

[20] **ZIRS**, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti



Sl. 14.: Knjiga *Electrotechnology in Mining*

Zaključak

Vrlo je teško opisati i zapisati rad i djelovanje jednog tako sustavnog i plodnog znanstvenika, a da nešto, ili toliko toga, nenamjerno ostane nezapisano. Stoga uvijek valja pogledati u njegov životopis ili popis literature, popis njegovih patenata… . Tko god se bavio ili djelovao na području prostora ugroženih eksplozivnom atmosferom ili protueksplozijskom zaštitom nezaobilazno se sretao s prof. dr. sc. Nenadom J. J. Marinovićem. U domovini i svijetu ostavio je neizbrisiv trag i svuda je vidljiv njegov hod ispred vremena…

Završio bih prikaz posvetom koja se nalazi u knjizi *Electrotechnology in Mining*:

> "Dedicated to my daughters and miners´ children everywhere and the hope that their fathers will always return safe and healthy from the mines"

> "Posvećujem svojim kćerima i djeci rudara bilo gdje s nadom da će im se očevi sigurno i zdravi vratiti iz rudnika"

DODACI

D.1. Životopisni podaci

Opći biografski podaci i školovanje

11. 8. 1929.	rođen u Šibeniku
1940.	završio osnovnu školu
1944.	završio nižu gimnaziju
1948.	završio Tehničku školu u Splitu
1949. – 1952.	izvanredni studij na Tehničkom fakultetu u Zagrebu (Elektrotehnički odjel)
1955.	diplomirao na Tehničkom fakultetu u Zagrebu (Elektrotehnički odjel)
1955./1956.	Škola rezervnih oficira mornaričko tehnička služba (MTS)
1976.	obranio doktorsku disertaciju pod naslovom: *Partikel zunddurchslagan Schlagvvettergeschutzten electrischen Betriebsmtteln mit ebenen Spalten* (*Probojno paljenje užarenim česticama kroz ravne raspore protueksplozijski zaštićenih električnih uređaja*) na Tehničkom sveučilištu u Berlinu dobio naslov Dr. Ing. (nostrificiran kao ekvivalent naslovu dr. sc.)

Služba i funkcije

1948.	Radioindustrija Beograd
1949. – 1952.	Istarski ugljenokopi Raša
1956. –1960.	Istarski ugljenokopi Raša, glavni inženjer elektrostrojarske službe
1960./1961.	poduzeće *Rade Končar*, konstrukter specijalist
1961. – 2007.	Elektrotehnički institut poduzeća *Rade Končar*, direktor razvoja i direktor Sektora protueksplozijske zaštite
1964. – 1970.	član i tajnik S-Komisije
1964. − 2007.	izvršni tajnik S-Komisije (Ex-Agencije)
1982. – 2007.	tajnik međunarodnog komiteta IEC-SC.31 J
2007.	umirovljen

Napredovanje u nastavnim zvanjima na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu (RGN)

1961.	asistent	predmet Elektrotehnika
1963.	nastavnik	predmet Rudarska elektrotehnika
1967. – 1969.	viši predavač	predmet Rudarska elektrotehnika
1969.	viši predavač	predmet Elektrotehnika I i II
1974.	viši predavač	predmet Elektrotehnika i elektronika (rudarski odio)
1974.	viši predavač	predmeti Elektrotehnika i Elektromotorni pogoni (naftni odio)
1978.	znanstveni savjetnik	
1987. − 1999.	redoviti profesor.	

D.2. Znanstveni i stručni radovi

Udžbenici i knjige (prva i proširena izdanja)

1. *Električni uređaji namijenjeni za rad u atmosferi eksplozivnih smjesa zapaljivih plinova i para*, Viša tehnička škola za sigurnost na radu i zaštitu od požara, Zagreb, 1978., 1991.

2. *Opća elektrotehnika i elektronika − za inženjersku tehnologiju*, Školska knjiga, sveučilišni udžbenik, Zagreb, 1979.

3. *Protueksplozijska zaštita električnih uređaja − namijenjena inspekcijskim organima*, Zagreb, 1980.

4. *Protueksplozijska zaštita električnih uređaja*

5. *Opća elektrotehnika i elektronika I*, udžbenik RGN-a Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb, 1980., 1996.

6. *Protueksplozijska zaštita električnih uređaja*, LIBER − Komisija za ispitivanje S-uređaja, Zagreb, 1981., 1983.

7. *Rudarska elektrotehnika*, udžbenik RGN-a Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb, 1982.

8. *Protueksplozijska zaštita električnih uređaja*, Komisija za ispitivanje S-uređaja, 1983.

9. *Protueksplozijska zaštita električnih uređaja*, Školska knjiga, Zagreb, 1986.

10. *Elektromotorna postrojenja za inženjersku tehnologiju s i bez eksplozivne atmosfere, usmjerenu na eksploataciju nafte i plina*, Zagreb, 1986.

11. *Electrotechnology in Mining*, Elsevier, 1990.

12. *Električni uređaji i instalacije za eksplozivnu atmosferu plinova i para*, autorovo izdanje, Zagreb 1991., 1997.

13. *Opća elektrotehnika i elektronika 2*, udžbenik RGN-a Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb, 1993.

14. *Električni uređaji i instalacije za eksplozivnu atmosferu plinova i para*, autorovo izdanje, Zagreb,1994., 1997., 1998.

15. *Električni uređaji i instalacije za eksplozivnu atmosferu*, autorovo izdanje, Zagreb, 1999., 2010.

16. *Protueksplozijska zaštita za eksplozivnu atmosferu*, Etekon, 2005.

17. *Oprema i instalacije za eksplozivnu atmosferu*, Etekon, 2010., 2016.

Značajniji radovi

1. Kontrolnik posebnog provjetravanja u metanskim rudnicima, *Bilten S-Komisije*, br. 8., 1979.

2. Elektromotorni pogoni u protueksplozijskoj zaštiti, *Bilten S-Komisije*, god. 10., br. 2., 1981.

3. Električni sklopni uredjaji i elektronička zaštita od greške u mreži (ASZK) za prostore ugrožene eksplozijom i požarom, *KONČAR stručne informacije,* Zagreb, br. 2-3, god. 28, 1981.

4. Smjernice za nabavku, održavanje, preglede i popravke električnih uređjaja namijenjenih za rad u eksplozivnoj atmosferi, *Bilten S-Komisije*, god. 11., br. 1., 1982.

5. Protueksplozijska zaštita za nadzemna mjesta, *Bilten S-Komisije*, Zagreb, god. 11., br. 2., 1982.

6. Propisi za nabavku, održavanje, preglede i popravke električnih uređjaja namijenjenih za rad u eksplozivnoj atmosferi, *III. Savjetovanje: Električni uredjaji, proizvodi, postrojenja u eksplozivno ugroženim prostorima*, SEITH, Zagreb, Dubrovnik 1982.

7. Razvoj opreme za automatizaciju i upravljanje u rudarstvu, *Jugoslavensko savjetovanje: Izvori energije i tehničko tehnološki razvoj opreme za energetiku*, Jugoslavenski komitet svjetske konferencije za energiju, knjiga 2., Beograd 1983.

8. Automation of continuous transport systems in mines, *ABMEC 83, International conference on mines transport*, UK, 1983.

9. Requirements for equipment for surface use, *The Conference Electrical Equipment for use in Flammeble Atmospheres*, London 1983.

10.Thin-wall flameproof enclousures for electrical apparatus*, 2. International Conference of Safety in Mines Research Institutes*, Sheffield, UK, 1983.

11. Tankostjena neprodorno oklopna kućišta za električne uredjaje, *Bilten S-komisije,* Zagreb, god. 13, 1984.

12 Ispitivanje probojnog paljenja motora u neprodorno oklopnoj zaštiti za grupu IIC, *Bilten S-Komisije*, Zagreb, god. 13., br. 2., 1984.

13. Ispitivanje na probojno paljenje motora izradjenog u protueksplozijskoj zaštiti neprodorni oklop za grupu plinova IIC, *KONČAR stručne informacije*, god. 31., br. 4., 1984.

14. Kontrola fizikalnosti ispitnih smjesa za ispitivanje neprodorno oklopnog kućišta (Checking of physicality of test mixtures for testing of flameproof enclosures), *Bilten S-Komisije*, Zagreb, god. 13., br. 2., 1984.

15. Der Explosionschutz elektrischer Betriebsmittel in Jugoslawien, *Ex Zeitschrift*, br. 16., August 1984.

16. Explosion protected electrical apparatus in Jugoslavia and its relation to European Standards, *Ex Magazine*, Nr. 10, October 1984.

17. Međusobno priznavanje izvještaja o tipnom ispitivanju S-Komisije (YU) i CHERCHÀR-a (F), *Bilten S-Komisije*, Zagreb, god.14., br. 1., 1985.

18. Possibilities of internationalization of installation standards for electrical installations in pit mines, *21. International Conference of Safety in Mines Research Institutes*, Sydney, Australia, 1985.

19. New medium-voltage switching unit for mines, *21. International Conference of Safety in Mines Research Institutes*, Sydney, Australia, 1985.

20. A Banyavillamossagnehanyfülönlegesjellegzetessege, metan-verzelyersbanyakeseteben, *MEE XXXII Vandorgyuleselöadäsari*, Pécs 1985.

21. Kratki spoj u električnim instalacijama kao uzročnik požara i eksplozija, *Zbornik radova savjetovanja: Značaj i metode utvrđivanja uzroka požara i inovacije u zaštiti od požara i eksplozije*, Beograd, 1985.

22. Tankostjena neprodorno oklopna kućišta za električne uređaje, *KONČAR stručne informacije*, god. 32., br. l., 1985.

23. Nova srednjenaponska rudnička sklopna jedinica, *KONČAR stručne informacije*, god. 32., br. l., 1985.

24. Mogućnosti internacionalizacije instalacijskih normi za električne instalacije rudnika s podzemnom eksploatacijom, *Bilten S-Komisije*, Zagreb, god. 14., br. 2., 1985.

25. Protueksplozijska zaštita električnih uređaja, *KONČAR stručne informacije*, god. 33., br. 3., 1986.

Stručna djelatnost

17 knjiga
2 koautorstva u knjigama
brojni članci u časopisima
18 patenata
23 projekta
1 priručnik za seminar i projektiranje, klasifikaciju prostora, proizvodnju, održavanje i popravak uređaja i instalacija (inženjerski seminar)

Uredništvo stručnih časopisa – glavni i odgovorni urednik

1966. *Sigurnost u pogonu*
1967 *.Informacije Rade Končar*
1972. − 2005. *Bilten Komisije za ispitivanje S-uređaja*
1975. − 1989. *Končar stručne informacije* i *Končar Journal* (na engleskom jeziku)
1975. *Mining Technology*
1990. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*
2005. – 2006. *Bilten Agencije za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom*
2005. *Sigurnost*

Članstvo u stručnim organizacijama

Tajnik Tehničkog odbora 31 JEK-a: Protueksplozijski zaštićeni električni uređaji (1962. – 2007.)

Tajnik Tehničkog *pododb*ora IEC-SC31J: Električne instalacije i klasifikacija prostora u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom (1982. – 2007.)

Voditelj radnih grupa u tehničkim pododborima lEC-a:
– TC 31 WG No. 2: Klasifikacija prostora ugroženog eksplozivnim xxxx
– TC 31 WG No. 6: Električni uredjaji namijenjeni za zonu 2
– TC 31 WG No. 9: Instalacija električnih uredjaja u prostorima ugroženim eksplozivnim smjesama
– SC 31A WG No. 1: Ispitivanje električnih uredjaja u neprodorno oklopnoj zaštiti

Tajnik radnih grupa:
– SC 31 D WG No. 2.: Priprema standarda za električne uređaje, koji sami sadrže izvore eksplozivnih plinova i para
– SC 31J WG2: Ignition by hot particles

D.3. Nagrade i priznanja

1952. Orden rada br. 1858 za rad u IU Raša
1966. Republička nagrada *Nikola Tesla*
1966. Zlatna značka poduzeća *Rade Končar*
1971. Nagrada poduzeća *Rade Končar*
1976. Zlatna značka s vijencem poduzeća *Rade Končar*

1978. Zlatna plaketa jugoslavenskog pronalazaštva
Godišnja nagrada za razvoj domaće normizacije (povodom 30. godišnjice Saveznog zavoda za standardizaciju)
1983. Prva nagrada za znanstveno istraživački rad u Elektrotehničkom institutu *Rade Končar*
Nagrada za razvoj svjetske normizacije elektrotehnologije
1985. Zlatna plaketa za nagrađeni izum: "Minijaturni modularni sistem upravljačko signalnih jedinica u Ex-izvedbi", RAST YU
1987. Komora
1988. RAST YU
2003. IEC *Certificate of Appreciation*
2005. IEC Award 1906 (za 25 godina vođenja SC 31J)
2007. Nagrada Hrvatskog zavoda za normizaciju
36 plaketa i diploma za uspješnu suradnju s rudnicima i proizvodnim organizacijama
4 zlatne plaketu za inovacijski rad
1 srebrna plaketa za inovacijski rad.

Prilozi

Prilog 1.: Forma zapisnika S-Komisije

Zapisnik sjednice S-Komisije broj 430
Zagreb, xx.xx.xxxx.

Sjednica S-Komisije održana dana xx. xx. xxxx. u Zagrebu.
Prisutni: Članovi S-Komisije, direktor komercijalno-financijske službe, direktor tehničke službe, direktor certifikacijske službe
Odsutni: koordinator DZNM-a

Dnevni red:
0. Opća tehnička problematika
1. Stručna mišljenja i tehnički nadzor
2. Osposobljenost proizvođača i popravljča
3. Promjena dokumenata S-Komisije
4. Promjena dnevnog reda sjednice

Ad II 0. Opća tehnička problematika
Ad II.0.1 Problematika zona opasnosti benzinskih postaja (tekst)
Ad II 0.2 Općenito upozorenje za tehničke nalaze (tekst)

Ad II 1.0 Tehnički nalazi i stručna mišljenja postrojenja

Ad II 1.1 Tehnički nadzori i stručna mišljenja provedeni prema listi

Ad II 1.1 Stručna mišljenja lista 1 − 13
Prihvaća se lista prema C-16-2/430/2, osim stavki 11., 12. i 13 koje se odgađaju za sljedeću sjednicu.

Ad II 1.2 Stručna mišljenja za raspravu
1-2 Prihvaća se lista prema C-16-3/430/1 uz sljedeću odluku: (tekst)

Ad II 1.3 Pravilnik o tehničkom nadzoru − rasprava
Za dopunu Pravilnika o tehničkom nadzoru odgađa se rasprava dok ne dođemo do normi za prašinu koje je izdao CENELC kao europske norme koje ćemo zamijeniti postojećim normama IEC-a. Treba ih preuzeti kao hrvatsku normu i ubaciti u Pravilnik za Tehnički nadzor.

Ad II 2.0 Osposobljenost (tekst)

Ad II 2.1 Tehnički nadzori TN-PR i TN-PO (tekst)

Ad II 2.2 Odgovorne osobe (tekst)

Ad II 3.0 Promjena dokumenata S-Komisije
Mijenja se novo izdanje dokumenta C-8-1 PQP-a gdje su provedene sitne promjene i ubačena također i primjena za prašinu. Pitati lektore je li prikladniji naziv Proizvođačka izjava ili Izjava proizvođača, odnosno Proizvođačeva izjava.

Ad III0 Certificiranje

Ad III 1.0 Tipno certificiranje

Ad III 1.1 Tipno certificiranje prema listi 1 − 3 (tekst)

Ad III 1.2 Tipno certificiranje uz posebne odluke (tekst)

Ad III 1.3 Potvrde (tekst)

Ad III 2.0 Pojedinačno certificiranje

Ad III 2.1 Pojedinačno certificiranje prema listi 1 – 41 (tekst)

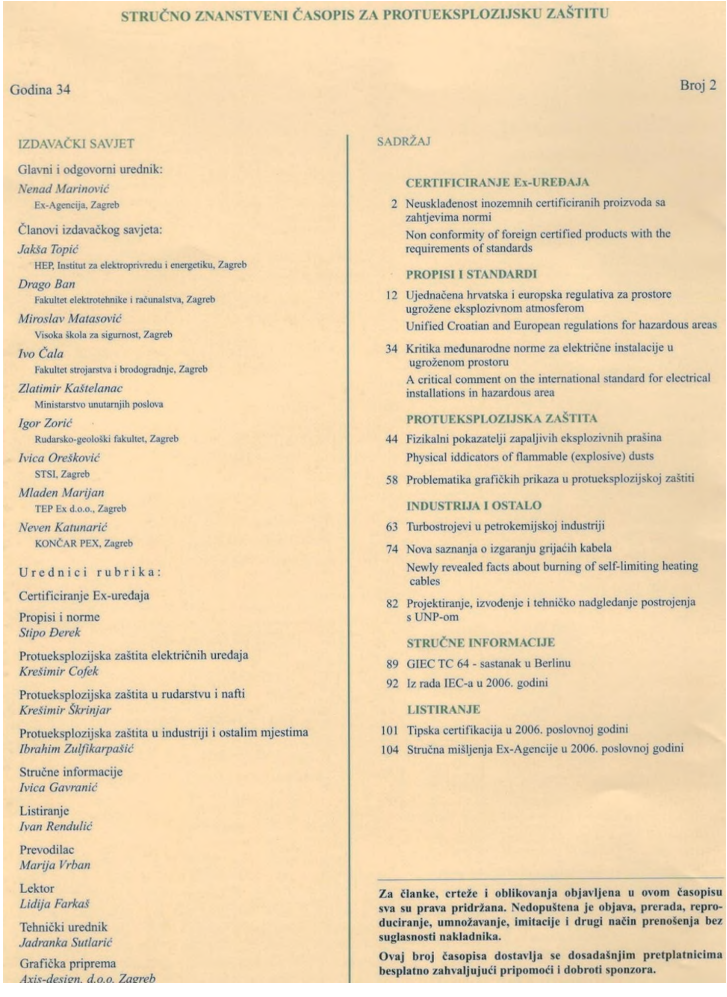
Ad III 2.2 Pojedinačni certifikati za tipski certificirane proizvode 1 − 7 (tekst)

Ad III 2.3 Pojedinačno certificiranje uz raspravu:

Redni br.	Zahtjevatelj	RN	Kom	Naziv uređaja	Tip	Proizvođač	Ispitni protokol	Ocjena ispitivanja	Vrsta zaštite
Raspravljena je problematika komorica za detekciju plina, koje su certificirane nacionalnim njemačkim certifikatom u vrsti zaštite Exs IICT4. U ovom slučaju treba primijeniti odluku III.0.2, kako je navedeno gore, a posebna se vrsta zaštite sastoji od nedosljedno provedenog neprodornog oklopa i zaštite samosigurnosti, međutim udovoljava uvjetima za uporabu u zoni 1 i 2 takvog proizvoda. Samosigurnost je dosljedno provedena, a samo se radi o nedosljednoj primjeni neprodornog oklopa.									

Ovim je dnevni red iscrpljen i sjednica br. 430 završena.
Sljedeća sjednica zakazuje se za xx. xx. xxxx. godine.
Zapisnik diktiran u diktafon uz suglasnost svih prisutnih članova.
Zapisnik se dostavlja:
1. Članovima:
2. Koordinator mr.
3. Arhiva S-Komisije
4. Server.

Prilog 2.: Primjer sadržaja *S-biltena*



STRUČNO ZNANSTVENI ČASOPIS ZA PROTUEKSPLOZIJSKU ZAŠTITU

Godina 34 Broj 2

IZDAVAČKI SAVJET

Glavni i odgovorni urednik:
Nenad Marinović
Ex-Agencija, Zagreb

Članovi izdavačkog savjeta:
Jakša Topić
HEP, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb
Drago Ban
Fakultet elektrotehnike i računalstva, Zagreb
Miroslav Matasović
Visoka škola za sigurnost, Zagreb
Ivo Čala
Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
Zlatimir Kaštelanac
Ministarstvo unutarnjih poslova
Igor Zorić
Rudarsko-geološki fakultet, Zagreb
Ivica Orešković
STSI, Zagreb
Mladen Marijan
TEP Ex d.o.o., Zagreb
Neven Katunarić
KONČAR PEX, Zagreb

Urednici rubrika:

Certificiranje Ex-uređaja
Propisi i norme
Stipo Đerek
Protueksplozijska zaštita električnih uređaja
Krešimir Cofek
Protueksplozijska zaštita u rudarstvu i nafti
Krešimir Škrinjar
Protueksplozijska zaštita u industriji i ostalim mjestima
Ibrahim Zulfikarpašić
Stručne informacije
Ivica Gavranić
Listiranje
Ivan Rendulić
Prevodilac
Marija Vrban
Lektor
Lidija Farkaš
Tehnički urednik
Jadranka Sutlarić
Grafička priprema
Axis-design, d.o.o. Zagreb

SADRŽAJ

CERTIFICIRANJE Ex-UREĐAJA
2 Neusklađenost inozemnih certificiranih proizvoda sa zahtjevima normi
Non conformity of foreign certified products with the requirements of standards
PROPISI I STANDARDI
12 Ujednačena hrvatska i europska regulativa za prostore ugrožene eksplozivnom atmosferom
Unified Croatian and European regulations for hazardous areas
34 Kritika međunarodne norme za električne instalacije u ugroženom prostoru
A critical comment on the international standard for electrical installations in hazardous area
PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA
44 Fizikalni pokazatelji zapaljivih eksplozivnih prašina
Physical iddicators of flammable (explosive) dusts
58 Problematika grafičkih prikaza u protueksplozijskoj zaštiti
INDUSTRIJA I OSTALO
63 Turbostrojevi u petrokemijskoj industriji
74 Nova saznanja o izgaranju grijaćih kabela
Newly revealed facts about burning of self-limiting heating cables
82 Projektiranje, izvođenje i tehničko nadgledanje postrojenja s UNP-om
STRUČNE INFORMACIJE
89 GIEC TC 64 - sastanak u Berlinu
92 Iz rada IEC-a u 2006. godini
LISTIRANJE
101 Tipska certifikacija u 2006. poslovnoj godini
104 Stručna mišljenja Ex-Agencije u 2006. poslovnoj godini

Za članke, crteže i oblikovanja objavljena u ovom časopisu sva su prava pridržana. Nedopuštena je objava, prerada, reproduciranje, umnožavanje, imitacije i drugi način prenošenja bez suglasnosti nakladnika.

Ovaj broj časopisa dostavlja se dosadašnjim pretplatnicima besplatno zahvaljujući pripomoći i dobroti sponzora.

image193.psd

Prilog 3.: Objave odluka S-Komisije − listiranje

Tipska certifikacija u 2006. poslovnoj godini
Izvjestitelj: **Ivan Rendulić**

Prema Pravilniku o temeljnim zahtjevima za opremu, zaštitne sustave i komponente namijenjene eksplozivnoj atmosferi plinova, para, maglica i prašina, *Narodne novine*, br. 69/98, te Pravilniku o izmjenama i dopunama Pravilnika o temeljnim zahtjevima za opremu, zaštitne sustave i komponente namijenjene eksplozivnoj atmosferi plinova, para, maglica i prašina, *Narodne novine*, br. 148/99, 04/00, 01/01 i 112/03, protueksplozijski uređaji domaće proizvodnje prije slanja na tržište moraju se obvezatno tipski certificirati, a svake 3 godine, ukoliko se uređaji i nadalje proizvode i stavljaju na tržište, proizvođač treba provesti postupak recertificiranja.

Tipsko ispitivanje i certificiranje provodi Ex-Agencija.

Da bi proizvođač uopće mogao provesti tipsku certifikaciju svojih proizvoda, dužan je zatražiti provedbu Tehničkog nalaza o osposobljenosti protueksplozijskih uređaja za proizvodnju koju izvodi Ex-Agencija.

Nakon dobivanja pozitivnog Tehničkog nalaza o osposobljenosti za proizvodnju i provedene procedure ispitivanja i certificiranja konkretnog uređaja, a potom i izdanog tipskog certifikata ili, kako se dokument službeno zove Certifikata sukladnosti, proizvođač protueksplozijskih uređaja izdaje pojedinačnu potvrdu za svaki uređaj koji stavlja na tržište pod nazivom Izjava proizvođača.

Inozemni uređaj koji dolazi na hrvatsko tržište, nakon provedenog kontrolnog ispitivanja uzorka za svaku uvezenu količinu dobiva dokument pod nazivom Certifikat.

Ukoliko inozemni proizvođač želi biti siguran da je njegov proizvod sukladan s hrvatskim normama i da će bez teškoća plasirati isti na naše tržište, može od Ex-Agencije zatražiti provedbu tipske certifikacije. Postupak je isti kao i za domaćeg proizvođača protueksplozijskih uređaja, s tim da korisniku isporučenog uređaja u Hrvatskoj Ex-Agencija izdaje Certifikat za taj uređaj.

TIPSKI CERTIFICIRANI I RECERTIFICIRANI UREĐAJI, SUSTAVI I KOMPONENTE DOMAĆE I INOZEMNE PROIZVODNJE U 2006. POSLOVNOJ GODINI (proizvođači ovih uređaja pod tehničkim su nadzorom Ex-Agencije) IZVJEŠĆE IZDANIH CERTIFIKATA SUKLADNOSTI ZA MJESECE siječanj, veljaču i ožujak 2006. god.

Certifikat Tbr.	Podnositelj zahtjeva	Proizvod	Tip uređaja	Tehnički podaci
Dopuna br. 2 HRExT.00.0071	xxx	Višežilni provodni izolator	RSM 05	max. 1000 V navoj: M25 × 1,5 max. br. vodiča 1,5 mm^2:8
Dopuna br. 1 HRExT 04.001 X	yyy	Mjerni pretvornik tlaka SITRANS P niza Z	7MF1564-***04-***	–
HRExT 06.011	zzz	Ovjesna svjetiljka	0401.35	230 V_{AC}, IIO V_{AC}; 60 Wnm, 100 Wnw

Proizvođač ili uvoznik	Vrsta zaštite	Datum izdavanja certifikata	Datum valjanosti certifikata
uuu	1 M2112G EExd I/IIC	006	–
vvv	111/2 G EExia DCT4	006	–
www	II2G EExed 1ICT2/T3	006	–

Stručna mišljenja Ex-Agencije u 2006. poslovnoj godini

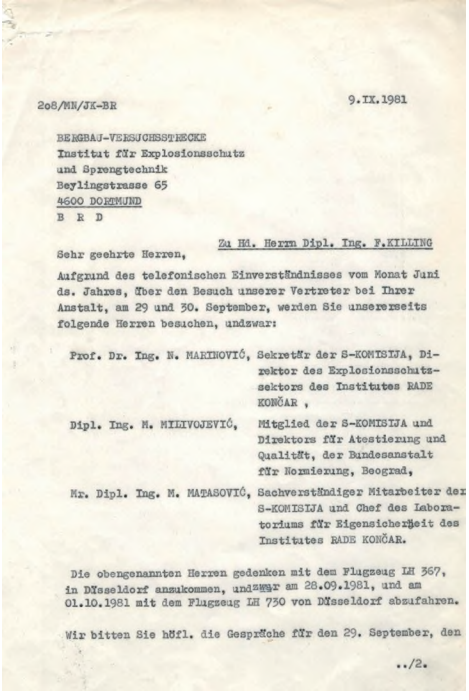
Izvjestitelj: **Ivan Rendulić**

U protekloj 2006. godini za I., II., III. i IV. kvartal (zaključno s 31. 12. 2006.) Ex-Agencija je izdala 54 stručna mišljenja iz različitih područja protueksplozijske zaštite za korisnike iz zemlje i inozemstva.

U ovom broju *Biltena* navodimo sva izdana stručna mišljenja, a u sljedećim brojevima, u skladu s vašim eventualnim zahtjevima, komentirat će se neka karakteristična mišljenja za koja se smatra da će pobuditi pozornost većine stručnjaka koji su zainteresirani za problematiku protueksplozijske zaštite.

R. br.	Šifra	Naručitelj	Predmet
1.	DD/MT/RN 04880	Xxxxx d.o.o., Nova Gradiška	Postaja tekućih goriva XXXXXT “xxxxx”
2.	VH/MD/DD/RN 04973	Xxxxxx d.o.o., Zagreb, xxxxxx	Mjerno-redukcijska stanica MRS xxxxx
3.	JF/SR/RN 04929/1	Xxxxxx d.o.o., Zagreb, xxxxxx	Analiza projektne dokumentacije protueksplozijske zaštite plinske kotlovnice na adresi xxxxx
4.	JF/SR/RN 04929/2	Xxxxxx d.o.o., Zagreb, xxxxxxx	Analiza projektne dokumentacije protueksplozijske zaštite plinske kotlovnice na adresi xxxxx
5.	GK/JF/RN 04491	Xxxxxxx d.o.o., Sisak, xxxxxxx	Plinska kotlovnica međugradskog autobusnog kolodvora u xxxxx

PRILOG 4. Sporazum BVS – S-Komisija (posjet), str. 1



208/MR/JK-BR 9.IX.1981

BERGBAU-VERSUCHSSTRECKE
Institut für Explosionsschutz
und Sprengtechnik
Beylingstrasse 65
4600 DORTMUND
B R D

Zu Hd. Herrn Dipl. Ing. F.KILLING

Sehr geehrte Herren,

Aufgrund des telefonischen Einverständnisses vom Monat Juni ds. Jahres, über den Besuch unserer Vertreter bei Ihrer Anstalt, am 29 und 30. September, werden Sie unsererseits folgende Herren besuchen, undzwar:

Prof. Dr. Ing. N. MARINOVIĆ, Sekretär der S-KOMISIJA, Direktor des Explosionsschutzsektors des Institutes RADE KONČAR ,

Dipl. Ing. M. MILIVOJEVIĆ, Mitglied der S-KOMISIJA und Direktors für Atestierung und Qualität, der Bundesanstalt für Normierung, Beograd,

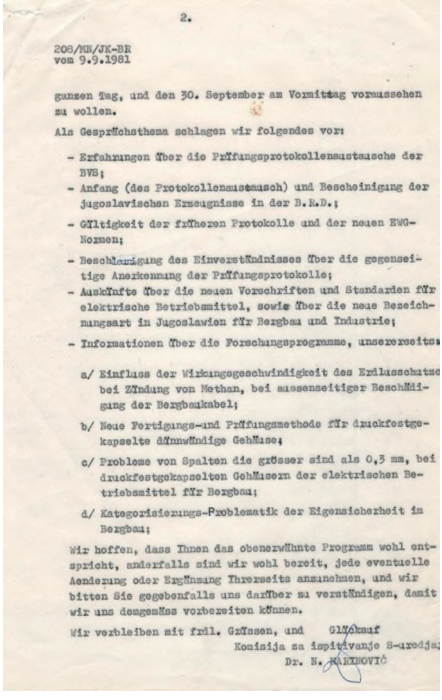
Mr. Dipl. Ing. M. MAŽASOVIĆ, Sachverständiger Mitarbeiter der S-KOMISIJA und Chef des Laboratoriums für Eigensicherheit des Institutes RADE KONČAR.

Die obengenannten Herren gedenken mit dem Flugzeug LH 367, in Düsseldorf anzukommen, undzwar am 28.09.1981, und am 01.10.1981 mit dem Flugzeug LH 750 von Düsseldorf abzufahren.

Wir bitten Sie höfl. die Gespräche für den 29. September, den

../2.

Sporazum BVS – S-Komisija (posjet), str. 2



2.

208/MR/JK-BR
vom 9.9.1981

ganzen Tag, und den 30. September am Vormittag vorzusehen zu wollen.

Als Gesprächsthema schlagen wir folgendes vor:

- Erfahrungen über die Prüfungsprotokollenaustausche der BVS;
- Anfang (des Protokollenaustausch) und Bescheinigung der jugoslavischen Erzeugnisse in der B.R.D.;
- Gültigkeit der früheren Protokolle und der neuen EWG-Normen;
- Beschleunigung des Einverständnisses über die gegenseitige Anerkennung der Prüfungsprotokolle;
- Auskünfte über die neuen Vorschriften und Standarden für elektrische Betriebsmittel, sowie über die neue Bezeichnungsart in Jugoslawien für Bergbau und Industrie;
- Informationen über die Forschungsprogramme, unsererseits

a/ Einfluss der Wirkungsgeschwindigkeit des Explosschutzes bei Zündung von Methan, bei massenseitiger Beschädigung der Bergbaukabel;

b/ Neue Fertigungs-und Prüfungsmethode für druckfestgekapselte dünnwändige Gehäuse;

c/ Probleme von Spalten die grösser sind als 0,3 mm, bei druckfestgekapselten Gehäusern der elektrischen Betriebsmittel für Bergbau;

d/ Kategorisierungs-Problematik der Eigensicherheit in Bergbau;

Wir hoffen, dass Ihnen das obenerwähnte Programm wohl entspricht, anderfalls sind wir wohl bereit, jede eventuelle Aenderung oder Ergänzung Ihrerseits anzunehmen, und wir bitten Sie gegebenfalls uns darüber zu verständigen, damit wir uns demgemäss vorbereiten können.

Wir verbleiben mit frdl. Grüssen, und Glückauf

Komisija za ispitivanje S-uređaja
Dr. N. MARINOVIĆ

PRILOG 5. Dogovor BVS – poduzeće *Rade Končar*

P R O T O K O L L

über den Besuch des Herrn F. Killing vom BVS - Dortmund bei der Firma "Rade Končar" in Zagreb vom 25. bis 27. Mai 1983.

Seitens der Firma "Rade Končar" wurde ein Antrag an BVS wegen Bescheinigung der Bergbautransformatoren Type KTt 630 - 7,2 und KTRt 630 - 7,2 gestellt.
Im Rahmen des Bescheinigungverfahrens wurde ein Besuch des Herrn Killing in Rade Končar verabredet.
Dabei wurden die eingesandten Unterlagen und die seitens BVS gestellten Bemerkungen bezüglich der nötigen Ergänzungen in den Zeichnungen, Beschreibungen und Prüfberichten besprochen. Die ergänzten Unterlagen werden in kürze von Rade Končar nach BVS eingesandt.
Anschliessend wurde die Transformatorenproduktion besichtigt, wobei Herr Killing über die in Rade Končar angewendeten Kontroll - und Prüfverfahren und die zur Verfügung stehenden Prüfeinrichtungen informiert wurde. Stückprüfungen werden am jeden Transformator nach der Fertigung durchgeführt. Uber das Ergebnis der Explosionsprüfungen wird ein Prüfschein TKS 914 ausgestellt. Uber das Ergebnis der elektrischen Prüfungen wird ein gesonderter Prüfschein ausgestellt.

Für "Rade Končar" — Für BVS

V.Šimec, dipl. ing. — Dipl. Ing. F. Killing

Zagreb, 1983.05. 27.

Dogovor BVS – *Rade Končar*

Branko Hanžek

Fizičar Ivo Babić-Gjalski – prerano prekinut uzlet u neslućene visine

Sažetak: Rad prikazuje život i djelo fizičara Ive Babića-Gjalskog. Iako se malo zna o Babiću-Gjalskom, koji je mlad nesretno poginuo, rad iznosi na osnovi autorova istraživanja nove i dosad neotkrivene podatke o njegovu životu, edukaciji i radu. Dana je također prva kompletnija objava njegove publicističke djelatnosti (bibliografija radova i prikaza).

Ključne riječi: Ivo Babić-Gjalski, bibliografija radova i prikaza, život, fizika, obrazovanje, rad

Uvod

Fizičar Ivan Supek (1915. – 2007.), koji je studirao kod nobelovca W. Heisenberga, pozvao je u Zagreb kao svojeg prvog asistenta Dragutina Mayera (1912. – 2010.), i to prije nego što je osnovan Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu (PMF). Nakon osnutka PMF-a, 1946. godine, Supek je okupio skupinu od četiri iznimno darovita fizičara, a to su: Ivo Babić-Gjalski (1927. – 1953.), Vladimir Glaser (1924. – 1984.), Gaja Alaga (1924. – 1988.) i Borivoj Jakšić (1925.). Od njih je najmlađi bio Ivo Babić-Gjalski, ali on je, nažalost, prerano poginuo tako da nije mogao pokazati svu raskoš svoje iznimne darovitosti.

Kako je o njemu malo pisano, u ovom ću radu nastojati to ispraviti. Pokušat će se, iz što je moguće više pogleda, predstaviti njegovo kratkotrajno ali ne tako minorno djelovanje kao fizičara. Predstavljanje je popraćeno opisom njegova života i rada, a navodi iz prateće dokumentacije i literature nisu samo prezentirani nego su i kritički analizirani.

1. Obitelj i školovanje Babića-Gjalskog

1.1. Obitelj Babića-Gjalskog, njegov životopis, odgoj i obrazovanje

Ivo Babić-Gjalski rođen je u Parizu 16. veljače 1927. Rođen je u poznatoj obitelji Babić-Gjalski. Još od mladih dana odgajan je u kulturnoj i intelektualnoj sredini. Ivin djed Ljubo (Ksaver) Šandor-Gjalski bio je poznati hrvatski književnik i vlastelin (što je općepoznat podatak), ali i astronom amater koji se među prvima (1903.) učlanio na Zvjezdarnicu u Zagrebu (što je malo manje poznato). I unuk Ivo već kao gimnazijalac (1945.) također je postao član (suradnik) Zvjezdarnice. Ivin je otac Ivan Babić-Gjalski, a majka Radmila djevojačkim prezimenom Veljković. Otac Ivan bio je, kao ekonom, na poslovima u mnogim državama pa je mali Ivo osnovno obrazovanje počeo u Beču, a nakon pet godina nastavio u Londonu, potom se školovao u Beogradu da bi, kao odličan učenik, maturirao u Zagrebu. Te podatke o školovanju donose dva nekrologa [1] i [2], kao i Biografija-nekrolog koji je napisao njegov prijatelj V. Glaser [3]. Podatke koje u nastavku navodim preuzeo sam uglavnom iz ta tri izvora [1], [2], [3]. Ivo je imao sestru Ljiljanu koja se kasnije udala za Ivina prijatelja i kolegu po struci Vladimira Glasera, fizičara koji je i u svijetu uživao velik ugled.

Iako krhke građe, bio je uporan i nepopustljiv prema onom što je želio postići. Godine 1945. upisao se Ivo na Građevinski odsjek Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Uočivši njegovu iznimnu darovitost, nastavnik na tom fakultetu dr. Ivan Franjo Havliček savjetovao mu je da prijeđe na PMF. Prema Uredbi Filozofskog fakulteta Sveučilišta Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca iz 1928. godine, prema čl. 7., bio je moguć prelazak redovitih slušatelja iz drugih fakulteta u filozofski uz uvjet da imaju svjedodžbu o položenom ispitu zrelosti. To je bilo moguće tako učiniti jer je PMF bio pravni sljednik Filozofskog fakulteta u Zagrebu. Tako je Ivo prešao na PMF na način da su mu priznata dva odslušana semestra na Tehničkom fakultetu, pa je 1946. upisao drugu godinu PMF-a. Prof. Ivan Supek, uočivši njegovu iznimnu darovitost, postavlja ga na dužnost pomoćnika (prema prijašnjim propisima). Danas bismo ondašnje pomoćnike nazvali demonstratorima.

Godine 1949. stekao je diplomu PMF-a, o kojoj će kasnije biti riječi. Neposredno nakon toga imenovan je asistentom pri Katedri za teorijsku fiziku. Dvije godine vodio je vježbe iz Elektrodinamike, a zadnje godine života predavao je Statističku mehaniku. Ipak, glavninu poslova obavljao je u sklopu Seminara za teorijsku fiziku, kad je održao nekoliko predavanja o procesima u kvantnoj elektrodinamici. Nenadana ga je smrt zatekla 17. svibnja 1953. godine. Sprovod mu je bio 20. svibnja 1953. u Zagrebu, gdje je i pokopan.

1.2. Dosadašnji radovi o Babić-Gjalskom

O Ivi Babić-Gjalskom dosad je pisano u spomenicama te, nažalost, u nekrolozima. Tako u *Spomenici PMF-a Sveučilišta u Zagrebu 1874* − 1974 [4] na stranici 73 piše:

> "Ivan Babić-Gjalski (Paris, 16. 2. 1927. − Klek, 17. 5. 1953.). Školovao se u Beču, Londonu, Beogradu i Zagrebu. Studirao je najprije na Građevinskom odsjeku Tehničkog fakulteta da bi zatim prešao na Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu. Diplomirao je 1949. godine i odmah imenovan asistentom u Institutu za teorijsku fiziku. Vodio je Vježbe iz elektrodinamike i kasnije predavao Statističku mehaniku. Predano je sudjelovao i u stvaranju Instituta *Ruđer Bošković*."

U *Spomenici PMF-a* iz 1996. [5] u rubrici Biografije članova Fizičkog odsjeka ne piše ništa o Babić-Gjalskom. Na stranici 102 samo je, uz druge, spomenut. Taj tekst glasi:

> "U Institutu za teoretsku fiziku, koji 1959. postaje Zavod za teorijsku fiziku, otvaraju se nova nastavna i znanstvena područja s posebnim naglaskom na kvantnoj teoriji. Institut se proširuje novim suradnicima; najprije dolazi D. Mayer, zatim I. Babić-Đalski[1], V. Glaser, G. Alaga i B. Jakšić. Uskoro međutim D. Mayer odlazi na Filozofski fakultet, V. Glaser u Genevu, a I. Babić-Đalski umire preranom smrću."

Također je na stranici 479 *Spomenice* navedeno da je Ivo Babić-Đalski diplomirani matematičar.

S obzirom na nedovoljno uočen značaj Ive Babića-Gjalskog sva ta aktivnost ipak je premala, a sjećanje je samo kratkog daha. On je za vrijeme svojeg kratkog života postigao puno više nego što je dosad napisano. Stoga ima puno bogatiju osobnu povijest nego što se do danas isticalo i, nažalost, sve pokazuje da je preranom smrću sve što je postigao prilično pomaknuto u sjenu.

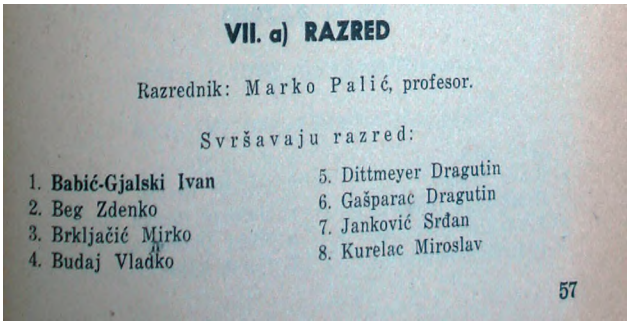
1.3. O ispitu zrelosti Babić-Gjalskog

Sam je svojeručno u nacionalu, prilikom upisa na PMF, napisao da je ispit zrelosti položio u IV. muškoj realnoj gimnaziji u Zagrebu. Naveo je i broj i datum: br. 1. od 26. IX. 1945. To bi trebalo potkrijepiti pisanim dokumentima,

[1] Primijetite grafijsku razliku u pisanju prezimena (Gjalski / Đalski, op. ur.).



a)



b)

Sl. 1.: Naslovnica izvješća škole koju je polazio I. Babić-Gjalski i podatak da je završio VII. a razred IV. muške realne gimnazije u Zagrebu

što je otežano s obzirom na to da nije dostupna originalna svjedodžba ili ovjereni prijepis.

No ipak, kako je upisao Tehnički fakultet prije nego što je upisao PMF, očito je da indeks tog fakulteta, kao službeni dokument, takve podatke o ispitu zrelosti posredno valjano potvrđuje. Kako do vremena upisa Babić-Gjalskog 1945., odnosno 1946. godine, nije još stupio na snagu Opći zakon o univerzitetima (donesen tek 1954.) primjenjivao se, kad je riječ o ispitu zrelosti, Zakon o univerzitetima iz 1930. godine [6]. U § 32. tog zakona propisano je da se za redovne slušače Sveučilišta primaju osobe sa svjedodžbom o položenom ispitu zrelosti u srednjim školama (gimnazijama, realnim gimnazijama i realkama).

1.4. O studiranju i diplomskom ispitu Babić-Gjalskog

Prema Redu predavanja u Sveučilištu u Zagrebu u ljetnom semestru šk. god. 1945./46. [7] Ivo je na Tehničkom fakultetu, Građevnom odjelu, od predmeta matematičkih, fizičkih i kemijskih znanosti slušao:

Željko Marković
Matematika I
Franjo Ivan Havliček
Eksperimentalna fizika
Vjera Marjanović-Krajovan
Kemija

Prema nacionalima Ive Babić-Gjalskog (nalaze se u Arhivu PMF-a) za šk. god. 1946./47., 1947./48. i 1948./49. [8] može se uočiti koje je kolegije iz navedenih znanosti slušao.

Na drugoj godini studija (šk. god. 1946./47., u oba semestra) na PMF-u Ivo je slušao ove kolegije:

Ivan Supek
Uvod u atomnu teoriju, Teorija elektriciteta, Seminar iz teorijske fizike, Uvod u teorijsku fiziku, Vježbe iz teorijske fizike, Račun vektora, Vježbe iz računa vektora, Seminar iz teorijske fizike

Mladen Paić
Opća fizika (5 sati), Opća fizika (4 sata)

Dušan Pejnović
Fizikalni praktikum, Odabrani dijelovi optike i akustike, Fizikalni praktikum, Odabrani dijelovi akustike i elektriciteta

Leo Randić
Uvod u astronomiju I, Vježbe iz astronomije I, Uvod u astronomiju II, Vježbe iz astronomije II

Đuro Kurepa
Diferencijalne jednadžbe, Matematički seminar, Elementi algebre, Elementi analitičke geometrije, Diferencijalne jednadžbe, Matematički seminar, Elementi aritmetike, Elementi analitičke geometrije

Danilo Blanuša
Parcijalne diferencijalne jednadžbe.



Sl. 2.: Ivo Babić-Gjalski (1927. – 1953.) kao student PMF-a, slika iz 1947. godine

Na trećoj godini studija (šk. god. 1947./48., u oba semestra) na PMF-u Ivo je slušao ove kolegije:

Ivan Supek
Kvantna elektrodinamika i teorija pozitrona I, Vježbe k predavanju, Uvod u matematičke metode fizike, Seminar iz teorijske fizike, Elektrodinamika, Vježbe iz elektrodinamike, Mehanika kontinuuma, Seminar iz teorijske fizike, Uputa u naučni rad

Dušan Pejnović
Fizikalni praktikum, Odabrani dijelovi elektriciteta II

Mladen Paić
Uvod u fiziku, Fizički praktikum (drugi semestar)

Leo Randić
Uvod u astronomiju

Đuro Kurepa
Diferencijalni i integralni račun, Matematički seminar, Diferencijalni i integralni račun, Vježbe k predavanju, Uvod u teoriju funkcije kompleksne varijable, Vježbe k predavanju, Matematički seminar

Rudolf Cesarec
Diferencijalna geometrija (u oba semestra), Vježbe k predavanju (drugi semestar).

Na četvrtoj godini studija (šk. god. 1948./49., u oba semestra) na PMF-u Ivo je slušao ove kolegije:

Ivan Supek
Kvantna teorija I, Vježbe iz kvantne teorije I, Mehanika I, Vježbe iz mehanike I, Seminar iz teorijske fizike, Uvod u naučni rad, Kvantna teorija valnih polja, Vježbe k predavanju, Seminar iz teorijske fizike, Uvod u naučni rad

Petar Šimleša
Praktički pedagoški seminar i školski rad (oba semestra).

1.5. Diplomski ispit

U vrijeme upisa (1946.) slušača (tadašnji naziv za studenta) Ive Babić-Gjalskog primjenjivana je (uz navedni zakon iz 1930.) Uredba Filozofskog fakulteta Sveučilišta Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca u Zagrebu od 1928. godine

[9]. Prema čl. 11. Uredbe, sveučilišni studij je završavao diplomskim ispitom u jednoj od XXX znanstvenih grupa. Ipak, prema Redu predavanja na Sveučilištu u Zagrebu u ljetnom semestru šk. god. 1949./50. [10], od tih XXX znanstvenih grupa diplomski ispiti polagali su se samo za prvih XIII znanstvenih grupa, od kojih su za naša razmatranja važne samo prve četiri. Grupa I. bila je za Teorijsku matematiku, grupa II. za Primijenjenu matematiku, grupa III. za Astronomiju, dok je grupa IV. bila Fizikalna grupa. Svaka grupa imala je tri razdjela. To su bili razdjeli a), b), c) i ispit je bio položen kad su bila položena sva tri razdjela.

Ispiti su u grupi I. bili: a) Teorijska matematika, b) Racionalna mehanika i uz to: ili Teorijska fizika, ili Nebeska mehanika, ili Filozofija (historija filozofije, psihologija, logika), c) Fizika ili Teorijska astronomija, ili Deskriptivna geometrija. Ispiti su u grupi II. bili: a) Racionalna mehanika, Nebeska mehanika, Teorijska fizika, ili Deskriptivna geometrija, b) Teorijska matematika, c) Fizika i Praktična astronomija. U grupi III. ispiti su bili: a) Astronomija (teorijska i praktična) i Nebeska mehanika, b) Teorijska matematika, c) Racionalna mehanika, Fizika i Meteorologija. Ispiti u grupi IV. su bili: a) Fizika, b) Racionalna mehanika i Teorijska fizika, c) Osnovi više matematike, kemija i uz to: Meteorologija ili Praktična astronomija.

Treba dalje uočiti da je u skladu s čl. 12. Uredbe propisano da redovni slušaoci moraju imati dovoljan broj punovažnih semestara: za razdio pod a) najmanje osam, za razdio pod b) najmanje šest, a za razdio pod c) najmanje četiri. Također je tim člankom propisano da se odredba o punovažnim semestrima odnosi na predavanja i vježbe te da uz prijavu za ispit iz razdjela a) svaki kandidat mora podnijeti uvjerenje da je sudjelovao u radu praktičkog odjela Pedagoškog seminara najmanje jedan semestar.

Propisano je i trajanje pismenog ispita za sve razdjele, kao prvi uvjet. Iznosilo je najviše četiri sata, dok je trajanje usmenih ispita za razdio a) najmanje jedan, za razdio b) i c) najmanje pola sata. Istim člankom Uredbe uređeno je da se ispiti iz pojedinih razdjela polažu posebno, a odjednom iz svih predmeta koji te razdjele sačinjavaju. Kao drugi uvjet, pojavljuje se odredba da su slušaoci imali ukupno predavanja i potrebnih vježbi iz svakog predmeta u razdjelu pod a) najmanje šest, u razdjelu pod b) najmanje pet, a u razdjelu pod c) najmanje četiri semestra. Uz prijavu za ispit iz razdjela a) svaki kandidat bio je dužan ponijeti uvjerenje o tome da je sudjelovao u radu praktičnog odjela Pedagoškog seminara najmanje jedan semestar. Istaknuto je i to da su u razdjelima a) i b) vježbe obvezne, a o potrebnosti vježbi pod c) odlučivao je Fakultetski savjet na prijedlog nastavnika.

Kad se sve navedeno uzme u obzir, mora se zaključiti da iz razmatranja odmah treba izuzeti grupu III. (Astronomija) jer nitko, pa ni Ivo, na Sveučilištu u Zagrebu nije slušao Astronomiju osam semestara jer ta katedra nije imala

sreće pri ustrojavanju. Treba izuzeti i grupu IV (Fizika) jer Ivo nije slušao najmanje četiri semestra Osnove kemije. Ostaju samo grupa I i grupa II kao zanimljive za kritičku analizu. Lako je uvidjeti da je, u Ivinu slučaju, najizglednija grupa II. (za primijenjenu matematiku) jer je Ivo odslušao razdjele a), b) i c) kako je propisano i stoga bi bilo ispravno da je na diplomi istaknuto da je Ivo Babić-Gjalski diplomirao iz ispitne grupe II (primijenjena matematika) s pripadajućim razdjelima a), b) i c) od kojih je najviše odslušao Teorijsku fiziku.

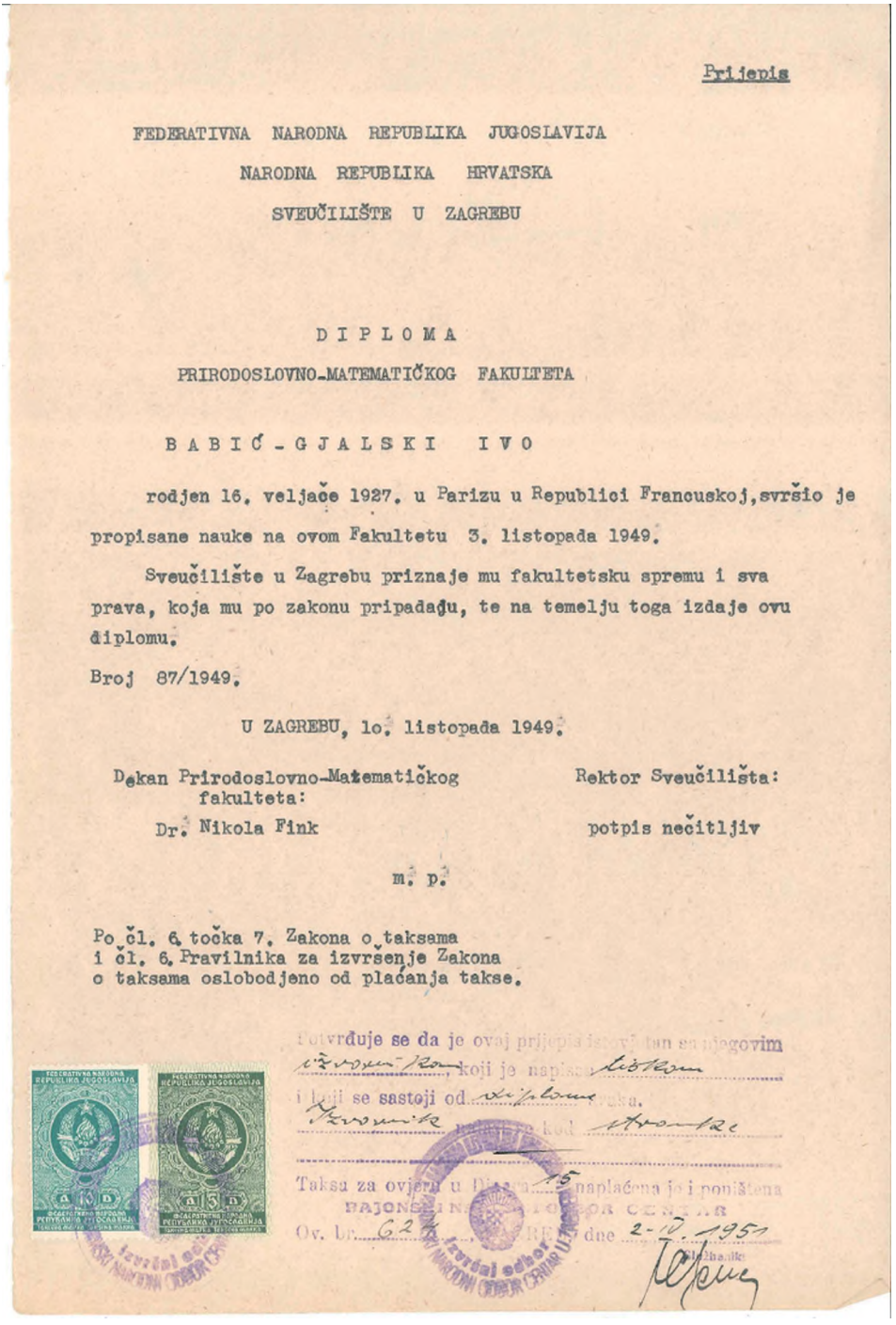
I za ostale diplomirane imenovane studente PMF-a (od 1946. do 1950. u *Spomenici* iz 1996.), trebalo bi ubuduće u opisu diploma sličnog sadržaja, kao kod Ive, ispraviti sve nedorečenosti koje su nastale skraćenim formulacijama poput 'dipl. matematičar', 'dipl. fizičar', 'dipl. kemičar', 'dipl. biolog' i 'dipl. geograf'. Dodatna je poteškoća podatak da, unatoč poduzetim istraživanjima, ni u arhivi PMF-a ni u Hrvatskom državnom arhivu ne postoje dokumenti koji bi mogli pouzdano odgonetnuti skraćene formulacije na izdanim diplomama PMF-a u navedenom razdoblju (prijavnice za diplomski ispit ili zapisnici sa svih razdjela iz kojih se sastojao diplomski ispit).

Važno je napomenuti da za slušače koji su diplomirali na Filozofskom fakultetu u arhivi tog fakulteta postoje, uz diplome, prijavnica i zapisnici o diplomskim ispitima po razdjelima. Ti dokumenti postoje npr. za fizičare Karla Kempnija, Vladimira Glumca, Božu Metzgera, Gustava Šindlera, Dragutina Mayera, Ivana Supeka (predavača koji je najviše predavao Ivi i bit će mu poslije mentor u disertacijskom postupku za stjecanje znanstvenog stupnja doktora fizičkih znanosti, a koji je diplomirao na Filozofskom fakultetu –također na II. grupi − primijenjena matematika), Hamida Pašića i matematičare Vatroslava Lopašića i Vladimira Benčića. Zanimljivo je da je prvi koji je na Filozofskom fakultetu diplomirao u skladu sa spomenutom Uredbom bio Đuro Jakobčić, koji je 11. veljače 1929. diplomirao iz IV. grupe (za fiziku), a posljednji na tom fakultetu koji je tako diplomirao bio je Marko Grubišić, koji je iz iste grupe diplomirao 30. lipnja 1946. godine. Za diplomirane studente PMF-a od 1951. pa nadalje taj problem ne postoji jer su oni polazili po novom programu pa su diplome usklađene s njim.

U diplomi PMF-a piše samo da je Ivo Babić-Gjalski završio propisane nauke na tom fakultetu, da mu Sveučilište u Zagrebu priznaje fakultetsku spremu i sva prava koja mu po zakonu pripadaju. Naveden je i datum izdavanja i broj diplome (10. listopada 1949., broj 87/1949.) [11].

1.6. O doktoratu znanosti Babić-Gjalskog

Tema pisane disertacije Ive Babića-Gjalskog *Radiacione korekcije kvantno elektrodinamičkih procesa* prihvaćena je na PMF-u u Zagrebu u svibnju 1951. godine. Mentor na disertacijskom postupku trebao je biti prof. dr. Ivan Supek,



Prijepis

FEDERATIVNA NARODNA REPUBLIKA JUGOSLAVIJA

NARODNA REPUBLIKA HRVATSKA

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

D I P L O M A

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKOG FAKULTETA

B A B I Ć - G J A L S K I I V O

rođen 16. veljače 1927. u Parizu u Republici Francuskoj, svršio je propisane nauke na ovom Fakultetu 3. listopada 1949.

Sveučilište u Zagrebu priznaje mu fakultetsku spremu i sva prava, koja mu po zakonu pripadaju, te na temelju toga izdaje ovu diplomu.

Broj 87/1949.

U ZAGREBU, 10. listopada 1949.

Dekan Prirodoslovno-Matematičkog fakulteta:

Dr. Nikola Fink

Rektor Sveučilišta:

potpis nečitljiv

m. p.

Po čl. 6. točka 7. Zakona o taksama i čl. 6. Pravilnika za izvršenje Zakona o taksama oslobođeno od plaćanja takse.

Potvrđuje se da je ovaj prijepis istovjetan sa njegovim izvornikom, koji je napisan ... i koji se sastoji od ... listova.

Taksa za ovjeru u ... naplaćena je i poništena ... Ov. br. 624 ... dne 2-10-1951

FEDERATIVNA NARODNA REPUBLIKA JUGOSLAVIJA

Sl. 3.: Preslika diplome Ive Babića-Gjalskog (izvor: arhiva PMF-a)

koji je kao referent trebao ocijeniti disertaciju. Nažalost, to nije bilo tako jer je I. Babić-Gjalski nesretno poginuo ne izradivši i ne obranivši radnju i ne završivši disertacijski postupak.

Dakle, ako se usporedi postignuće Babić-Gjalskog s tad važećim Zakonom o sticanju naučnog stepena doktora nauka iz 1948. [12], može se uočiti da je u tom postupku prošao samo tri faze od traženih šest. Naime, imao je uvjet da mu se dodijeli znanstveni stupanj doktora znanosti jer je posjedovao diplomu PMF-a o završetku propisane znanosti na tom fakultetu, ali do dodjele nije došlo jer nije javno obranio doktorsku disertaciju (peta faza postupka). Ostvarenje druge faze postupka svjedočilo je o njegovoj iznimnoj darovitosti. Kako kao osobi koja je mogla prijaviti doktorat nije proteklo bar dvije godine od stjecanja diplome, za njega je primijenjena iznimno propisana zakonska odredba. Naime, iznimno se za polaganje doktorata mogao prijaviti završeni student fakulteta i odmah po stjecanju diplome, ali samo ako se na Sveučilištu i izvan njega tijekom studija već istaknuo svojim znanstvenim sposobnostima i radovima. Odluku o tome kao i o prijmu kandidata donio je Fakultetski savjet. Treća faza stjecanja znanstvenog stupnja doktora znanosti ostvarena je na način da je temu za disertaciju, na temelju prijedloga kandidata, potvrdio Fakultetski savjet i pritom odredio jednog svojeg člana kao referenta za ocjenu disertacije.

Radi potpune jasnoće potrebno je razjasniti što se, prema navedenom Zakonu, smatralo doktorskom disertacijom. Ta je disertacija morala biti samostalan prilog znanosti i trebala je biti samostalan rad u čijem je rezultatu dano rješenje ili teorijsko obrazloženje znanstvenih problema ili su znanstveno postavljeni novi problemi koji imaju interes za znanost. Disertacija je također morala iscrpno razraditi problem i obrazložiti ga u vezi s problematikom odgovarajućeg znanstvenog područja. Radi zadnjeg uvjeta Babić-Gjalski trebao je otići u Grenoble u školu za teorijsku fiziku i biti jednogodišnji stipendist Europskog centra za fiziku u Kopenhagenu (rad s grupom teorijskih fizičara). Nažalost, nesretna pogibija onemogućila je sve te planove. Četvrta faza sastojala se od ocjenjivanja izrađene disertacije koje je trebala provesti komisija sastavljena od tri člana Fakultetskog savjeta. U slučaju povoljne ocjene disertacija je trebala biti tiskana i trebala se odrediti obrana disertacije. No, to se u slučaju Ive Babić-Gjalskog nije dogodilo. Tako on nije dospio do pete faze, kad se disertacija branila pred komisijom od pet članova koje je odredio Sveučilišni savjet, ni do šeste (promocije na stupanj doktora znanosti), koju je vršio rektor Sveučilišta te mu nije bila uručena diploma stupnja doktora znanosti s pečatom Sveučilišta i potpisima rektora i članova komisije za obranu disertacije.

Zanimljiva je i jedna odredba Opšteg uputstva za izvršenje Zakona o sticanju naučnog stepena doktora nauka iz 1950. godine [13]. Točkom 3. tog Uputstva uređeno je da se doktorat može polagati, po pravilu, iz znanstvene oblasti koja odgovara fakultetu odnosno visokoj školi koju je kandidat završio (na

primjer: diplomirani pravnik može polagati, u pravilu, doktorat pravnih znanosti). Slijedom toga, diplomom Ive Babić-Gjalskog moglo se izrijekom navesti da je diplomirao primijenjenu matematiku s najviše odslušanih kolegija iz Teorijske fizike kako bi se jasno upozorilo da on želi steći znanstveni stupanj doktora fizikalne znanosti. Ako je suditi po formulaciji iz *Spomenice* iz 1996. da je Ivo Babić-Gjalski diplomirani matematičar, on ne bi ni mogao prijaviti doktorat iz fizike! Korisno je napomenuti da su spomenuti Zakon, kao i Opšte uputstvo, bili na snazi do 1955., kad je donesen Zakon o doktoratu nauka.

2. Radna i ostala djelatnost, aktivnosti i interesi Babić-Gjalskog

Prema podacima Kadrovske službe Ivo Babić-Gjalski primljen je u radni odnos kao asistent na PMF-u dana 14. prosinca 1949. te je radio do svoje smrti 17. svibnja 1953. godine. Ivo je primljen na PMF pri Katedri (tad Institutu) za teorijsku fiziku za pripravnika u zvanju asistenta. Osim što je predavao Statističku mehaniku i držao vježbe iz Elektrodinamike, Ivo je pomagao oko uređivanja knjižnica Instituta za teorijsku fiziku PMF-a i Instituta *Ruđer Bošković* tako da je neumorno nabavljao stručne knjige. Također je bio odbornik Hrvatskog prirodoslovnog društva od 1945. do smrti.

Kad su na kolokvijima Matematičko-fizičke sekcije Hrvatskog prirodoslovnog društva uvedene večeri Malih tema, Ivo Babić-Gjalski 28. ožujka 1948. prvi je držao kolokvij pod naslovom O Blackettovoj relaciji magnetskog i rotacionog momenta. To je bilo određeno osvježenje i novost u odnosu na ostale kolokvije. Ivo je u sažetom i nevezanom obliku iznio spomenutu problematiku. Na kolokviju Društva matematičara i fizičara NR Hrvatske 7. veljače 1951. održao je predavanje Procesi u kvantnoj elektrodinamici. Prikazao je metode proračunavanja procesa koji nastaju kao rezultat uzajamnog djelovanja elektrona i elektromagnetskog polja. Razvio je Diracov račun smetnje do druge aproksimacije u tzv. reprezentaciji uzajamnog djelovanja i izveo opći izraz za presjek djelovanja. Upozorio je na vezu sa stacionarnim računom smetnji. Na kraju je dao osvrt na tadašnju situaciju u kvantnoj elektrodinamici, upozorio na neuklonjene poteškoće te na pokušaje koji su u tom smjeru učinjeni u razdoblju od nekoliko godina.

No, nije samo predavao za Društvo matematičara i fizičara NR Hrvatske nego je obavljao englesku korespondenciju Društva i pomogao s još dvojicom kolega u organizaciji knjižnice Društva. Od 1949. počinje se Ivo zanimati za planinarstvo, a 1952. postao je alpinist. Volio je i glazbu, posebno klasičnu. Najviše je slušao Bacha, Händela, Beethovena i Brahmsa.

3. Publicistička djelatnost I. Babić-Gjalskog (bibliografija radova i prikaza)

U pogledu broja kataloških jedinica autorskog i predmetnog kataloga Ive Babić-Gjalskog korisno je rezimirati da su to tri jedinice u pogledu predmetnog (o njemu) kataloga i 38 jedinica u pogledu autorskog kataloga (gdje je on autor). Ivo Babić-Gjalski u suautorstvu s prof. Ivanom Supekom napisao je jedan znanstveni rad i jedan sažetak tog znanstvenog rada, dva stručna rada, tri znanstveno-popularna rada, jedan rad druge tematike i 30 sažetih prikaza stranih znanstvenih i stručnih radova. Na ovom mjestu donosimo popis navedenih jedinica autorskog i predmetnog kataloga Ive Babić-Gjalskog.

3.1. Jedinice predmetnog kataloga

1. Ivo Babić-Gjalski, nekrolog u *Našim planinama*
2. Ivo Babić-Gjalski, nekrolog u *Prirodi*
3. Ivo Babić-Gjalski, nekrolog koji je napisao V. Glaser u *Glasniku matematičko-fizičkom i astronomskom*

3.2. Jedinice autorskog kataloga

a) Znanstveni radovi:

1. Ivan Supek, Ivo Babić-Gjalski: Korespondencija klasične i kvantne elektrodinamike, *RAD Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti,* knj. 296 (1953.), str. 23-48.
2. Ivan Supek et Ivo Babić-Gjalski: La correspondance entre l'electrodynamique classique et l'electrodynamique quantique, *Bulletin International de l´academie Yougoslave des sciences et des beaux-arts, Nouvelle serie Livre 12*, Zagreb, 1954, str. 13-18, sažetak rada pod 1.

b) Stručni radovi:

3. J. M. Blatt, V. F. Weisskopf: Theoretical nuclear Physics, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski,* Zagreb, 1953., serija II. T. 8., str. 153. (stručni prikaz knjige).
4. Ivo Babić-Gjalski: Kozmičke zrake, *Matematičko-fizički list*, god. III/1952/53, br. 1, str. 23.

c) Znanstveno-popularni radovi objavljeni u časopisu *Priroda*:

5. Ivo Babić-Gjalski: O elementarnim česticama materije, 1949., br. 9, str. 257-261, br. 10, str. 302-307.

6. Ivo Babić-Gjalski (potpisano inicijalima ibg[2]): Nobelova nagrada za fiziku za 1952. godinu, 1953., br. 3, str. 118-119.
7. Ivo Babić-Gjalski (potpisano inicijalima ibg): Nezgoda kod kanadske atomske peći, 1953., br. 5, str. 187-188.

d) Ostalo (druga tematika):

8. Ivo Babić-Gjalski: O ledenjacima i njihovu kretanju, *Naše planine*, god. V., 1953., br. 3-5, str. 94-102.

3.3. Sažeti prikazi stranih znanstvenih i stručnih radova

Opširniji tekst potreban je kad je riječ o skraćenim prikazima Babić-Gjalskog u *Biltenu dokumentacija inostrane stručne literature* (1950. i 1951.) i u *Biltenu dokumentacija stručne literature* (1952.).

Savezna uprava za unapređenje proizvodnje sa sjedištem u Beogradu počela je 1950. godine izdavati *Bilten dokumentacija inostrane stručne literature*. Glavni i odgovorni urednik bio je inženjer Herman Mattes. U prikupljanju materijala za *Bilten* sudjelovala su tri redakcijska odbora (Beograd, Zagreb, Ljubljana). *Bilten* je pokrenut s namjerom da se naše tadašnje znanstvene ustanove i stručnjaci u Jugoslaviji upoznaju s dokumentacijom u industrijskim razvijenim zemljama. Taj se materijal objavljivao u obliku skraćenih prikaza sređenih prema sustavu decimalne klasifikacije i donesen je u tzv. Zelenom biltenu. Razvoj znanosti i tehnike u industrijskim razvijenim zemljama nametnuo je kao nužnost poznavanje i praćenje aktualne stručne literature.

Kako je organizacija stručne dokumentacije u tadašnjoj Jugoslaviji bila u početnoj fazi, organizirano je u *Biltenu* objavljivanje materijala koje donose inozemni časopisi u svijetu. To je bilo od najveće važnosti za najširi krug stručnjaka u Jugoslaviji. Na taj način, objavljivanjem važnog materijala, postignuto je i uključivanje u međunarodni savez za dokumentaciju kako bi se pomoglo razvoju na području stručne dokumentacije u slabije razvijenim zemljama. Time je potreba usklađivanja tehnike, koja se primjenjivala kod stručne dokumentacije, dovela do potrebe za normizacijom i tipizacijom na području dokumentacije. Stoga je formiran Tehnički komitet za dokumentaciju u sklopu Međunarodne ustanove za normizaciju sa sjedištem u Den Haagu.

Tumač kratica u ovom odsječku 3.3.:

pod.	podatak
št. zn.	štampanih znakova
pl.	ploča

[2] **ibg,** Ivo Babić Gjalski

a) Bilten dokumentacija inostrane stručne literature (god. I., Beograd, 1950.)

Br. 2-3

1. OPPENHEIMER, F.: 539.152.1 537.59= 2

Teške jezgre kao primarne komponente kozmičkih zraka. (Evidence for heavy nuclei as a component of primary cosmic radiation.), – i Peters B.: Rochester i Minneapolis. *Rev. Mod. Phys*. 21. januar 1949, str. 101. Sadrži 3 sl. i 1 tab. − B. 1170.

Br. 4-5

2. BLACKETT P. M. S.: 521.038:550.38 = 2

Magnetsko polje masivnih rotirajućih tijela. (The magnetic field of massive rotating bodies). *Phil. Mag*. (7),vol. 40. februar 1949, str. 125. Sadrži 75.000 št. zn., 2 sl., 6 tab. i 30 pod. cit. lit.− B.2178.

3. GALANIN, A.: 535.32:546.291 = 82

Raspršenje svjetlosti na skoro idealnom Bose-Einsteinovom plinu. (Rassejanie sveta počti idealnym gazom Boze-Einsteina). *Ž. eksp. teor. fiz*., 19. februar 1949, str. 175. Sadrži: 9000 št. zn.,9 pod. cit. lit. – B. 2228.

4. FEYNMAN, R. P.: 537.132 = 2

Teorija pozitrona. (The theory of positrons). *Phys. Rev*. 1949, 76, No. 6, str. 749-759. Sadrži: 61.600 št. zn., 4 sl. i 13 pod. cit. lit. − B. 2249.

5. BIEHL, A. T. 537.59.523.165 = 2

Kozmičke zrake na velikim visinama. (Cosmic ray experiments at high altitudes over a wide range of latitudes), − i Neher, H. V., Roesch, W. C., *Phys. Rev*. 1949., sv. 76, br. 7, str. 914-932. Sadrži: 29 sl., 6 tab. i 37 pod. cit. lit. − B. 2261.

6. DAVIES, J.: 539.152.1:539.162=1

Raspad μ-mezona (The decay of μ-mesons). – i Lork W., Muirhead H., *Phil. Mag* (7), vol. 40, prosinac 1949, str. 1250. Sadrži: 28.500 št. zn. 4 sl., 2 tab. i 12 pod. cit. lit. − B. 2273.

7. JONES, W. M.: 546.26=2

Polovično trajanje ugljika C^{12}. (A determination of the half life of carbon 14). *Phys. Rev*. 1949, sv. 76, str. 885-889. Sadrži: 2 sl., 5 tab. i 11 pod. cit. lit. − B. 2346.

Br. 6-7-8

8. ANDERSON, P. W.: 535.338.334:539.36 = 2

Širenje spektralnih linija uslijed srazova u mikrovalnom i infracrvenom području. (Pressure broadening in the microwave and infrared regions.). *Phys. Rev.* 1949, vol. 76, No. 5, str. 647-661.Sadrži: 2 sl., 3 tab. i 26 pod. cit. lit. − B. 3597.

9. DAVIDOV, A.: 535.347:539.11 = 82

Molekularna teorija pleohroizma. (Molekuljarnaja teorija pleonroizma). *Ž. eksp. teor. fiz.*, 19. februar 1949., str. 168. Sadrži: 21.900 št. zn., 1 sl. i 8 pod. cit. lit. − B. 3598.

10. SEROVA, F.: 537.31.1.001 :546.3 = 82

Doprinos teoriji električne vodljivosti jednovalentnih metala. (K teorii elektroprovodnosti odnova-lentnyh metallov.). *Ž. eks. teor. fiz*., 19. februar 1949, str. 126. Sadrži: 28.200 št. zn., 1 tab. i 9 pod. cit. lit. − B. 3609.

11. BULLARD, E. C.: 538.3:538.7 = 3

Elektromagnetska indukcija u rotirajućoj kugli. (Electromagnetic induction in a rotating sphere). *Proc. Roy. Soc*. *A*, 1949, vol. 199, No. 1059, str. 413-443. Sadrži: 8 sl. 3 tab. i 14 pod. cit. lit. − B. 3619.

12. WILKINSON, G.: 539.155.2:546.59+546.92=2

Radioaktivni izotopi platine i zlata. (Radioactive isotopes of platinum and gold.). *Phys. Rev*., 1949, vol., 75, No. 7, str. 1019-1029. Sadrži: 11 sl, 1 tab. i 12 pod. cit. lit. − B. 3624.

13. TIOMNO, J: 539.164.1 = 4

Uzajamno djelovanje μ-mezona sa jezgrima. (Charge-exchange reaction of the μ-meson with the nucleus.) − i Wheeler A. *Rev. Mod. Phys*., 21. Januar 1949, str. 153. Sadrži: 57.600 št. zn., 6 dijag., 2 tab. i 17 pod. cit. lit. − B. 3627.

14. CHANG, W.: 539.18 = 2

Apsorpcija mezona u tankim metalnim listićima. (A cloud-chamber study of meson absorption by thin Pb, Fe and Al foils). *Rev. Mod. Phys*., 21 januar 1949, str. 166. Sadrži: 70.000 št. zn., 8 sl., 4 tab. 30 pod. cit. lit. − B. 3629.

15. MARCUS, J. A.: 546.47+546.48:538.214:536.52

Ovisnost susceptibiliteta o temperaturi kod cinka, kadmija i γ-mjedi. (Temperature dependence of susceptibility of zinc, cadmium and gamma-brass). *Phys. Rev.* 1949, vol. 76, No. 5, str. 621-623. Sadrži 4 sl., 1 tab. i 13 pod. cit. lit. − B. 3728.

b) Bilten dokumentacija inostrane stručne literature (god. II., Beograd, 1951.)

Br. 1

16. PREISWERK, P.: 539.152.1 : 535.338.42 = 3

Rotacioni spektri atomnih jezgri. (Rotationsspektren der Atomkerne.). *Helv. Phys. Acta*, vol. 23, No.1-2, 1950, str. 7-14. Sadrži: 3 tab., 1 sl. i 10 pod. cit. lit. − B. 7560.

17. STAUB, H. H.: 539.152.1 : 538.2 = 2

Predznak magnetskog momenta neutrona i protona. (The signs of the magnetic moments of neutron and proton). − i Rogers, E. H. *Helv. Phys Acta*, vol. 23., No. 1-2, 1950, str. 63-92. Sadrži: 2 tab., 14 sl. i 11 pod. cit. lit. − B. 7561.

18. BESS, L.: 539.162 = 2

Zakočno zračenje teških elemenata kod visokih energija. (Bremsstrahlung for heavy elements at extreme relativistic energies). *Phys. Rev.*, vol. 77, No. 4, februar 1950, str. 550-556. Sadrži: 7 pod. cit. lit. − B. 7568.

Br. 2

19. COPSON, E. T.: 537.533.73 = 2

Skretanje na ravnom zastoru. (Diffraction by a plane screen). *Proc. Roy. Soc. A*, vol. 202, No. 1069, juli 1950, str. 277-284. Sadrži: 11 pod. cit. lit. – B. 8120.

20. CARLSON, A. G.: 537.591 : 539.17 = 2

Nuklearne transmutacije prouzrokovane česticama kozmičkih zrakova visokih energija. − Dio V. Neutralni mezoni. (Nuclear transmutations produced by cosmic-ray particles of great energy− Part V. Neutral mesons). − i Hooper, J. E., King, D. T. *Phil. Mag.* (7), vol. 41, No. 318, juli 1950, str. 701-724. Sadrži: 1 fot. pl., 15 sl., 3 tab., 22 pod. cit. lit. − B. 8122.

21. COLOMBANI, A.: 538.213.082.103 = 4

Određivanje prividnog prožimanja i faktora kvaliteta magnetskog praha kod visokih frekvencija. (Détermination de la perméabilité apparente et du facteur de qualité en haute fréquence d'une poudre magnétique). *J. Phys. Rad.*, Tom 11, No. 5. maj 1950, str. 201-207. Sadrži: 1 sl., 12 pod. cit. lit. − B. 8124.

22. HODSON, A. L.: 539.16.08 = 2

Kombinacija Wilsonove komore i brojača koji se nalazi u njoj. (The control of a Wilson cloud chamber by means of an internal counter). − i Loria, A., Ryder, N. V. *Phil. Mag*. (7), vol. 41. No. 319, august 1950, str. 826-837. Sadrži: 3 sl., 4 fot. pl., 15 pod. cit. lit. – B. 8130.

23. O'CEALLAIGH, G.: 539.18 =2

Neutralna čestica koja se emituje prilikom raspada π-mezona. (The nature of the neutral particle emitted in the decay of the π -meson). *Phil. Mag.* (7), vol. 41, No. 319, august 1950, str. 838-848. Sadrži 2 sl., 1 tab., 1 fot. pl., 22 pod. cit. lit. – B. 8135.

Br. 4

24. DILWORTH, C. C.: 538.122 : 77.021.11 = 2

Magnetski otklon brzih nabijenih čestica u fotografskoj emulziji. (The magnetic deflection of fast charged particles in the photographic emulsion). Goldsack S. J., Goldsmidt-Clermont Y. i Levy F. *Phil. Mag.* (7), vol. 41, No. 321, oktobar 1950, str. 1032-1057. Sadrži: 1 pl., 13 sl., 3 tab. i 14 pod. cit. lit. − B. 9404.

25. MAGNUSSON, L. B.: 539.155.2/539.17: 546.799.3 = 2

Novi izotopi neptunija. (New isotopes of neptunium). – i Thompson S. G., Seaborg G. T. *Phys. Rev*., vol. 78. No. 4, 15. maj 1950, str. 363-372. Sadrži: 3 tab., 8 sl. i 19 pod. cit. lit. − B. 9411.

Br. 7

26. ZWICKY, F.: 535.833.09 +531.552 = 2

Morfološko istraživanje. (Morphologische Forschung). *Helv. Phys. Acta*, vol. 23, No. 1-2, 1950, str. 223-238. Sadrži: 2 sl., 5 pod. cit. lit. − B. 11523.

27. MODESITT, G. E.: 539.165.8 = 2

Nuklearni impuls kod tvorbe para elektrona. (Nuclear impulse in electron pair creation). *Phys. Rev.*, 77, No. 2, 15. januar 1950, str. 175-179. Sadrži: 6 sl., 4 tab., 9 pod. cit. lit. − B. 11529.

c) Bilten dokumentacija stručne literature (god. III., Beograd, 1952.)

Br. 5

28. BARDEEN, J.: 537.212: 549-162 = 2

Raspršenje elektrona u kristalima u prisustvu velikih električnih polja (Scattering of electrons in crystals in the presence of large electric fields) − i Schockley W., *Phys, Rev.* 1950, 80, No. 1, str. 69-71. Sadrži: 4 pod. cit. lit.

29. HAWORTH, F. E.: 537.523.5.001.4 = 2

Pokusi sa nastajanjem električnih lukova (Experiments on the initiation of electric arc). *Phys. Rev*. 1950, 80, No. 2, str. 223-226. Sadrži: 3 sl., 1 tab. i 12 pod. cit. lit.

30. WHITEHOUSE, W. J.: 539.17:546.792 = 2

Spektar energije produkata spontanog cijepanja prirodnog urana (Energy spectrum of fragments from the spontaneous urana). − i Galbraith, W., *Phil. Mag*, maj 1950, vol. 41, No. 316, str. 429-443. Sadrži: 7 sl. i 21 pod. cit. lit.



Sl. 4.: Ivo na vidiku osvojenog visa s mislima o uzletu u neslućene visine

Zaključak

Iako je nesretno poginuo vrlo mlad (s navršenih 26 godina) i s malo radnog iskustva, u nepune četiri godine Ivo Babić-Gjalski ostavio je poseban trag u hrvatskoj fizici. Njegov prijatelj Vladimir Glaser ispravno je napisao da je premalen vremenski razmak za biografiju jednog znanstvenog radnika (samo jedan znanstveni rad i započeta disertacijska radnja) i ispravno naslutio da je neispisani sadržaj Ivina stručnog doprinosa prema svemu trebao biti sjajan. To tek sad pokazuje i njegova autorska bibliografija s čak 38 bibliografskih jedinica, sve mahom stručnog sadržaja. Nad njegovim je grobom ugledni znanstvenik matematičar Željko Marković istaknuo da je Ivu zanosilo sve što odabrane mlade ljude diže do zaravanka višeg života (tihi krajevi svemira i život zvijezda u njemu, kristalna atmosfera, jasni vidici visova i čudna lakoća i mir života u velikim visinama), a povrh svega posjedovao je stalnu težnju za znanstvenim radom, za pristupom u teške krajeve ondašnje teorijske fizike, dok se budućnost ukazivala puna obećanja. I onda je kobni pad s litice Kalnika prerano prekinuo

taj uzlet u neslućene visine. Njegovi prijatelji (Glaser i planinari) bolno su uvidjeli gubitak njegove čovječnosti te rekli da ga je kao čovjeka još više šteta. "Bio je obdaren jakim duhom i tijelom svjesno se boreći za umno, čuvstveno i moralno savršenstvo, a svojom skromnošću i uslužnošću sticao je svuda prijatelje" (Glaser). Planinari su biranim riječima isticali Ivine sklonosti ka visinama: "Divne, vječne planine i ponosni njihovi vrhunci, bezgranični horizonti i emocije, planinari i prijatelji iz najljepših i najtežih časova vezali su Ivu (od milja zvan Džoni) vezom, koja traje kroz cio život."

Zahvala

Autor zahvaljuje arhivaru PMF-a gospodinu Nikoli Sviraču kao i gospođi Vesni Štefančić, dipl. iur., iz Kadrovske službe PMF-a na ljubaznoj suradnji.

Literatura

[1] Ivo Babić-Gjalski, nekrolog potpisan inicijalima L. K., *Naše planine*, mjesečnik Planinarskog saveza Hrvatske, god. V., 1953., br. 6-7, str. 217.

[2] Ivo Babić-Gjalski, nekrolog, *Priroda*, br. 6, str. 244-246.

[3] Ivo Babić-Gjalski, biografija koju je napisao Vladimir Glaser, *Glasnik matematičko-fizički i astronomski*, Zagreb, 1953., serija II. T. 8., str. 150-151.

[4] *Spomenica Prirodoslovno matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 1874 – 1974*, Zagreb, 1974.

[5] *120 godina nastave prirodoslovlja i matematike na Sveučilištu u Zagrebu*, *Spomenica PMF*, Zagreb, 1996.

[6] Zakon o univerzitetima, Zagreb, 1930.

[7] Red predavanja u Sveučilištu u Zagrebu u ljetnom semestru šk. god. 1945./46., Zagreb, 1946.

[8] Nacionali koji se odnose na Ivu Babić-Gjalskog i koji se nalaze u arhivi PMF-a za šk. god. 1946./47., 1947./48. i 1948./49.

[9] Uredba Filozofskog fakulteta Sveučilišta Kraljevine Srba, Hrvata i Slovenaca, *Službene novine*, god. XXX, br. 94., 27. travnja 1928.

[10] Red predavanja na Sveučilištu u Zagrebu u ljetnom semestru šk. god. 1949./50., Zagreb, 1950.

[11] Prijepis diplome Ive Babić-Gjalskog koju je izdao PMF u Zagrebu 10. listopada 1949.

[12] Zakon o sticanju naučnog stepena doktora nauka, *Službeni list FNR Jugoslavije*, god. IV, br. 89., 18. listopada 1948.

[13] Opšte uputstvo za izvršenje Zakona o sticanju naučnog stepena doktora nauka, *Službeni list FNR Jugoslavije*, god. VI, br. 69, 19. oktobar 1950. (na ćirilici), str. 962.

Physicist Ivo Babić-Gjalski – prematurely interrupt take-off to unprecedented heights

Branko Hanžek

Abstract: This article presents life and work of physicist Ivo Babić-Gjalski. Since it is little known about Lypold who died young, the article gives, based on author's research, the new and until now undiscovered data about his life, education and career. A first attempt of completing the autor's bibliography of Babić-Gjalski is also given.

Keywords: Ivo Babić-Gjalski, life, education, work, physics, bibliography

Iva Kurelac

John Wilkins and the Issue of Faust Vrančić's Parachute Jump: The Analysis of the Narrative Sources

Abstract: Based on the content analysis, as well as on the established tradition of the Renaissance and early modern narrative sources concerning the art of flying, this article critically considers and disputes the hypothesis established by a number of Croatian 20th century scientists that the English mathematician and bishop John Wilkins (1614 − 1672) described in his work *Mathematical Magick* (London, 1648) the parachute jump of Faust Vrančić from a tower in Venice. The content analysis of the work *Mathematical Magick* (London, 1680) revealed that it does not mention Faust Vrančić, nor his parachute, nor his parachute jump. Moreover, all the narrative sources considering the art of flying, quoted by John Wilkins, are identified and analysed. These are the works by the 16th and 17th century West-European authors: Johann Ernst Burggrave (*Achilles Panoplos redivivus*), Johannes Sturm *(Linguae Latinae resolvendae ratio*), Hermann Friedrich Flayder (*De arte volandi*) and Alvaro Gutiérrez Torres (*El sumario de las marauillosas*). For the first time the tradition of these narrative sources is established, and the work of A. Gutiérrez Torres is identified as its oldest narrative source. Based on Gutiérrez's work, the former assumption that *Elmerus*, whose attempt to fly was also described by Wilkins, was the same person as the English medieval monk Eilmer of Malmesbury, is finally confirmed as well.

Key words: Faust Vrančić, John Wilkins, Johann Ernst Burggrave, Johannes Sturm, Hermann Friedrich Flayder, Alvaro Gutiérrez Torres, Eilmer of Malmesbury, parachute, narrative sources

Introduction

In order to properly reexamine the long-lived hypothesis, established by the Croatian scientists, that the English mathematician and bishop John Wilkins described in his work *Mathematical Magick* (London, 1648) the parachute jump of Faust Vrančić, performed from a tower in Venice, this article delivers a critique of the contemporary scientific literature concerning this particular topic. The content of Wilkins' work *Mathematical Magick* is also analysed, and finally, for the first time, all the narrative sources considering the art of flying quoted by John Wilkins are identified and its content is analysed. The purpose of this study is in the first place to determine whether any of these narrative sources quoted by Wilkins did mention Faust Vrančić and/or his parachute jump. Also, the aim was to establish the tradition of these narrative sources, and finally to identify the oldest narrative source on which Wilkins based his study of the human attempts to fly.

An Overview of the Former Scientific Studies

The parachute, *i. e.* the mechanical device also known as *Homo volans*, is probably one of the most popular and the most recognizable inventions of Faust Vrančić (*Faustus Verantius, Fausto Veranzio,* Šibenik, 1 January 1551 – Venice, 20 January 1617) published in his capital work *Machinae novae*.[1] **(Fig. 1)** Vrančić's scientific work in the field of technics was characterized by the fact that, due to the lack of the adequate mathematical and physical apparatus of the time, he interpreted the machines in a phenomenological and practical way. Even so, numerous contemporary devices and constructions were correctly anticipated by Vrančić's solutions.[2] Therefore, Vrančić's empiric approach both to the building and the mechanical constructions, as well as his constant effort to put the science at the service of the man, could implicate to a certain degree that maybe at some point he did personally test his parachute. In accordance with such an epilogue of Vrančić's possible, but yet unconfirmed personal testing of »the Flying Man«, several legends concerning his attempts to fly with his own parachute survived, and these parachute jumps were allegedly

[1] »XXIX. Homo Volans«, Faust VRANČIĆ, *Machinae novae Fausti Verantii Siceni cum declaratione Latina, Italica, Hispanica, Gallica et Germanica*, reprint, Zagreb, 1993, p. 13 and *S. p.*

[2] For a more detailed bio-bibliographical information about Faust Vrančić see: Iva KURELAC, »Vrančić, Faust«, *Hrvatski biografski leksikon*, ed. Nikša LUČIĆ, Zagreb, 2018, (the on-line edition). URL: http://hbl.lzmk.hr/clanak.aspx?id=12009; (16/12/2019).

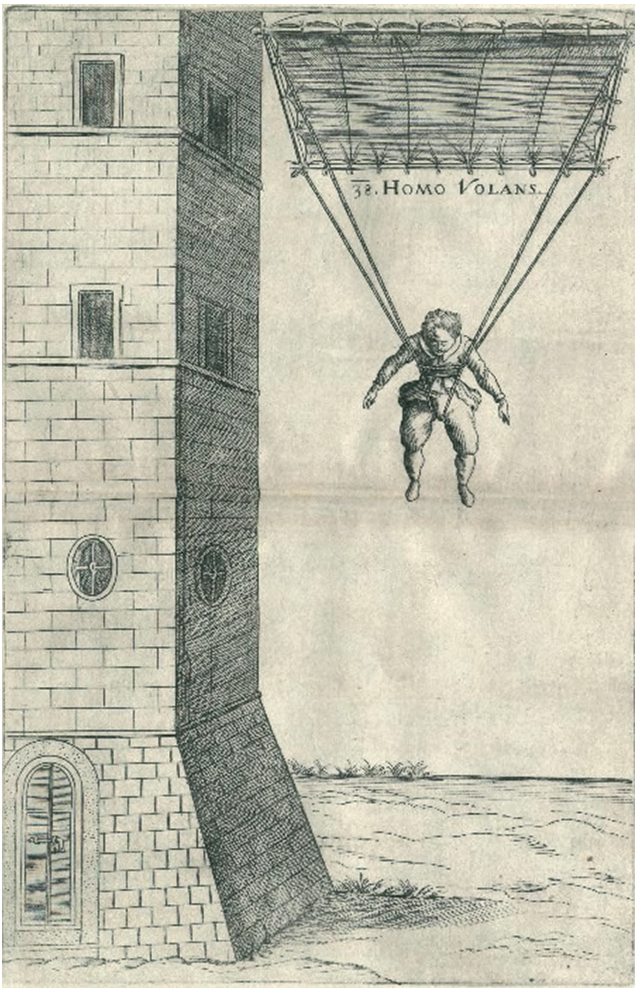


Fig. 1: Facsimile, »38. Homo volans«, Faustus VERANTIUS, *Machinae novae cum declaratione Latina, Italica, Hispanica, Gallica et Germanica*, Venice, (*S. a.*), *S. f.*

performed in the cities of Veszprém and Wrocław.[3] Among the narrative sources that supposedly testified of Vrančić's parachute jump from the St. Mark's steeple in Venice, the work of the English mathematician and bishop John Wilkins *Mathematical Magick, Or, The Wonders that May be Performed by Mechanical Geometry* held a prominent position within the Croatian scientific

[3] Milivoj ZENIĆ, *U pohvalu od grada Šibenika: Pisana riječ od najstarijih vremena do danas*, Šibenik, 2002, p. 127; Gojko NIKOLIĆ, *Život i izumi Fausta Vrančića: Treće prošireno i dopunjeno izdanje*, Zagreb, 2018, pp. 157-158; There is also a mention of Vrančić's jump supposedly performed from the towers in Bologna. Stanislav ŠKOBRENE, *Padobran kroz vijekove*, Zagreb, 1957, p. 26.

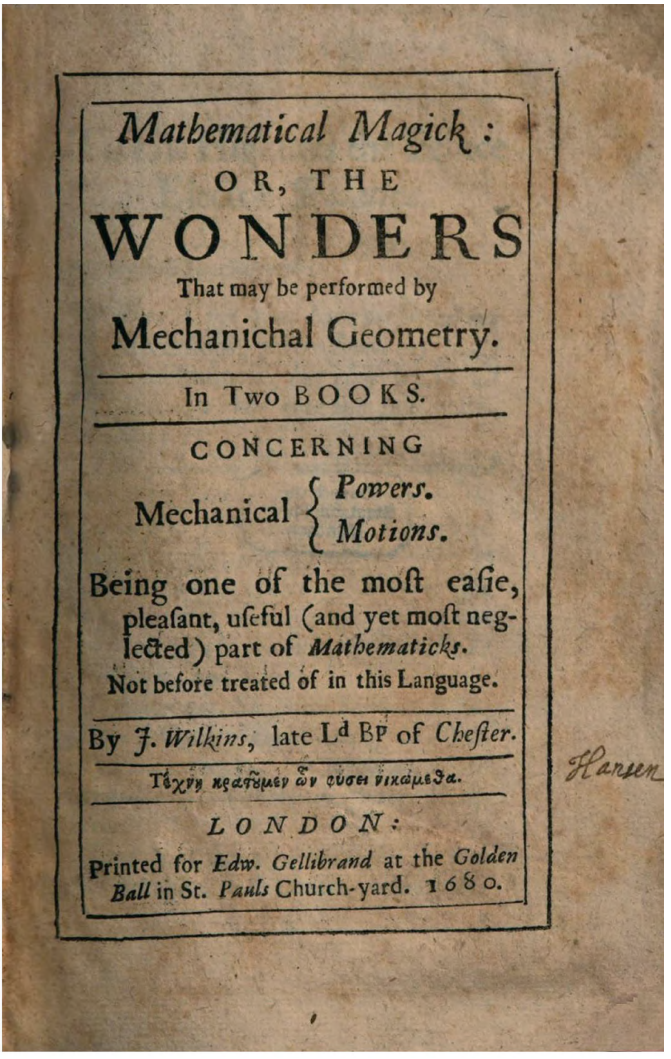

Mathematical Magick:
OR, THE
WONDERS
That may be performed by
Mechanichal Geometry.
In Two BOOKS.
CONCERNING
Mechanical { Powers. Motions.
Being one of the moſt eaſie, pleaſant, uſeful (and yet moſt neglected) part of Mathematicks.
Not before treated of in this Language.
By J. Wilkins, late Ld BP of Cheſter.
Τέχνη κρατεῖται ἐν φύσει νικᾶται.
LONDON:
Printed for Edw. Gellibrand at the Golden Ball in St. Pauls Church-yard. 1680.
Hansen

Fig. 2: Facsimile, John WILKINS, *Mathematical Magick, Or, The Wonders that May be Performed by Mechanichal Geometry*, London, 1680, front page

literature for decades. **(Fig. 2)** In other words, since the middle of the 20th century, the hypothesis that Wilkins described Vrančić's experimental parachute jump preformed in Venice became deeply rooted and widely accepted among the Croatian scientists. The first one who established this hypothesis in Croatia was Stanislav Škoberne. With more or less skepsis many other Croatian scientists after Škoberne also accepted the possibility that Vrančić personally tested his parachute. Some of these authors mentioned only that Vrančić did personally try out his parachute, but they did not mention Wilkins as a source of that

hypothesis. The others did mention Wilkins intermediately, and they mostly referred themselves to Škoberne, but none of them quoted the work *Mathematical Magick*. Therefore, it is very unlikely that anyone of these scientists indeed read Wilkins.[4] That is why it remained unclear how the hypothesis about Vrančić's parachute jump exactly appeared in the Croatian history of science and what was the reason why the work *Mathematical Magick* was mentioned as its source. There is no doubt that the way in which Vrančić constructed his parachute kept the public interest aroused for centuries after *Machinae novae* came out of print. For this reason it is quite possible that perhaps at some point somebody else personally tested similar parachute based on the project *Homo volans* of Faust Vrančić. For instance, F. Savorgnan di Brazza made a general conclusion about the parachute of Faust Vrančić, the inventor from Dalmatia, and he wrote that, due to its simple construction, his parachute most likely did encourage the brave ones to try it out for the sake of the public performance, but di Brazza left this statement completely unargumented, and he did not mention the fact that Vrančić personally tested his flying device.[5]

After we established that, concerning this particular topic, the Croatian scientific literature mentioned John Wilkins and his *Mathematical Magick* only intermediately, we determined to check on the authenticity of the scientific statements about the parachute jump of Faust Vrančić by consulting the original work of John Wilkins. The conducted content analysis of the *Mathematical Magick* has confirmed that it does not mention Faust Vrančić, nor his parachute, nor his parachute jump.[6] Hereby we managed to dispute the long-lived

[4] The literature about the parachute jump of Faust Vrančić can be divided into two groups. In the first group the authors mention that John Wilkins described Vrančić's jump (but neither one of them quoted Wilkins). See: S. ŠKOBRENE, *Padobran*, p. 26; Vladimir MULJEVIĆ, »Hrvatski znanstvenici Antun i Faust Vrančić«, *Encyclopaedia Moderna*, vol. XIV, no. 2(42), Zagreb, 1993, p. 133; Žarko DADIĆ, »Prirodoznanstveni i metodološki aspekt Vrančićeva rada«, *Encyclopaedia Moderna*, vol. XIV, no. 2(42), Zagreb, 1993, p. 141; Žarko DADIĆ, *Povijest egzaktnih znanosti u Hrvata: Egzaktne znanosti u Hrvata do kraja 18. stoljeća*, vol. 1, Zagreb, 1982, p. 128; M. ZENIĆ, *U pohvalu*, p. 127. The authors in the second group do not mention the work *Mathematical Magick*, nor John Wilkins, but they do mention that Faust Vrančić did personally perform the parachute jump in Venice. See: Vladimir MULJEVIĆ, »Water wheels and water supply projects by Faust Vrančić in XVI Century«, *Encyclopaedia Moderna*, vol. XII, no. 36, Zagreb, 1991, p. 22; Marin FRANIČEVIĆ, *Povijest hrvatske renesansne književnosti*, Zagreb, 1983, p. 675; Joanna RAPACKA, »Homo volans o doktoru Faustu i Faustu Vrančiću«, *Dani Hvarskoga kazališta: Građa i rasprave o hrvatskoj književnosti i kazalištu*, vol. 20, Split, 1994, p. 99; »Vrančić, Faust«, *Hrvatska opća enciklopedija*, vol. 11, ed. Slaven RAVLIĆ, Zagreb, 2009, p. 500.

[5] F. SAVORGNAN DI BRAZZA, »Un inventore Dalmata del '500: Fausto Veranzio da Sebenico«, *Archivio storico per la Dalmazia*, vol. XIII, Rome, 1932, p. 60.

[6] The *editio princeps* of the work *Mathematical Magick* by John Wilkins was published in London in 1648, but it was not available to us, so for the purpose of this research we consulted the edition from 1680. Cf. John WILKINS, *Mathematical Magick, Or, The Wonders that May be Performed by Mechanical Geometry*, London, 1680, *passim*. (URL: https://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10922793_00009.html; 10/12/2019).

hypothesis of the Croatian scientists that John Wilkins described the parachute jump of Faust Vrančić from the St. Mark's steeple in Venice.[7]

The Analysis of the Narrative Sources Concerning the Art of Flying Quoted by John Wilkins

Due to the lack of the systematic scholarly analysis of the narrative sources that John Wilkins quoted in order to discuss the various techniques that people tried over the past to successfully fly, this research is also focused on establishing the tradition of these narrative sources.

There are two main reasons why it was necessary to conduct the analysis of the narrative sources quoted by John Wilkins in the chapter *De arte volandi.* In the first place, it would definitely confirm whether any of these sources mentioned Faust Vrančić and/or his parachute jump. Secondly, based on the analysis of the narrative sources that Wilkins quoted concerning this particular topic, as well as on the analysis of the narrative sources quoted by the authors quoted by Wilkins, it would be possible to establish a complete overview of the Renaissance and early modern tradition of these texts. Finally, it would also make possible the identification of the oldest available narrative source(s) on which Wilkins based his study of the human attempts to fly. Such an ubication and identification of the narrative sources, as well as the establishing of the chronological connection between them, starting from the sources quoted by Wilkins himself, up to the sources he adopted intermediately, and conclusively with the oldest narrative source in this tradition, would help to precisely identify and analyse all the available narrative sources that Wilkins quoted concerning

[7] While conducting the research of the narrative sources and the scientific literature concerning the issue of the parachute jump of Faust Vrančić performed in Venice and/or elsewhere, I came across a digital copy of the edition of the *Mathematical Magick* by John Wilkins from 1680. In 2015 I provided my colleague, professor Gojko Nikolić, who also did a research on this particular topic, with that copy of the *Mathematical Magick* (London, 1680) and I also informed him that, based on the content analysis of the aforementioned narrative source, I came to the conclusion that the scientific hypothesis that John Wilkins described the parachute jump by Faust Vrančić was incorrect, because he did not mention Faust Vrančić, nor his parachute, nor his parachute jump. After he got an insight into the work *Mathematical Magick*, professor Nikolić also came to the same conclusion as I did. See: Gojko NIKOLIĆ, *Život i izumi Fausta Vrančića: Drugo prošireno izdanje,* Zagreb, 2016, p. 123, n. 1, (printed in April 2016); Gojko NIKOLIĆ, *Život i izumi Fausta Vrančića: Treće prošireno i dorađeno izdanje*, p. 158, n. 2; I also presented this cognition of mine in the TV series *Hrvatski velikani: Faust Vrančić*, author: Robert Knjaz, Croatian television, (broadcasted 21/2/2017); Afterwards Marijana Borić also presented the same conclusion. Marijana BORIĆ, »Faust Vrančić: 400 years after the publication of his work Machinae novae«, *Croatian Studies Review*, vol. 12, Sidney, 2016, p. 66 (published in March 2017).

the art of flying, as well as to confirm whether the tradition of these sources holds any testimony of the parachute jump of Faust Vrančić.

***

The English mathematician and bishop of Chester, John Wilkins,[8] divided his work *Mathematical Magick, Or, The Wonders that May be Performed by Mechanical Geometry*, (London, 1680),[9] into two books: Book 1 (in 20 chapters), *Mechanical Powers (Or Archimedes)*, pp. 1-144; and Book 2 (in 15 chapters), *Mechanical Motions (Or Daedalus)*, pp. 145-295. It is noticeable that the scientific interests of John Wilkins were also largely influenced by the models and the topics derived from the tradition of antiquity, particularly from the scientific and mythological corpus of the ancient Greece. Wilkins demonstrated his classical erudition on the front cover of the *Mathematical Magick* by quoting Aristotle's *Mechanics*.[10] When addressing the reader, he mentioned Heraclitus,[11] he titled both books of the *Mathematical Magick* after the ancient Greek scientist Archimedes and after mythical Daedalus,[12] and he emphasized the priority that they had in reducing of the mathematical principles to the mechanical experiments.[13] Therefore, taking into account the importance that the ancient context concerning the human attempts to fly obviously had for the English mathematician, it is easy to understand why he included this particular topic in his work *Mathematical Magick*.

In the context of the ancient tradition and its inherent influence on the Renaissance scientists, it can be assumed that Faust Vrančić maybe constructed the mechanical device *Homo volans* also by looking up to the classical antiquity. However, we have no evidence that he indeed personally tested his parachute. In the book

[8] John Wilkins (Fawsley, 1614 – London, 1672) was a theologian and natural philosopher, centre of group of men who formed the Royal Society 1662, and the first secretary. Filled numerous important ecclesiastical and university posts. Published *The Discovery of a World in the Moone*; *Discourse Concerning a New Planet Tending to Prove, that ('Tis Probable) Our Earth is One of the Planets*; *Mercury, the Secret and Swift Messenger*; *Mathematical Magick*; *An Essay Towards a Real Character and a Philosophical Language* and other works. John HENRY, »Wilkins, John«, *Oxford Dictionary of National Biography*, eds. H. C. G. MATTHEW and Brian HARRISON, Oxford, 2004, pp. 982-985.

[9] The work *Mathematical Magick* was influenced by Guidobaldo del Monte and Marin Mersenne, as an attractive and effective medium of popularization it was offered as a practical manual rather than as a work of theoretical exposition. »Wilkins, John«, *Oxford Dictionary of National Biography*, p. 983.

[10] »Τέχνῃ γὰρ κρατοῦμεν, ὧν φύσει νικώμεθα. [We by skill gain mastery over things in which we are conquered by nature.]«, Aristotle, *Mechanica*, 847a 20-21; *Cf.* J. WILKINS, *Mathematical Magick*, front cover, *S. p.*

[11] J. WILKINS, *Mathematical Magick*, »To the reader«, *S. p.*

[12] J. WILKINS, *Mathematical Magick,* p. 1, 145.

[13] J. WILKINS, *Mathematical Magick*, »To the reader«, *S. p.*

2 of the *Mathematical Magick*, in the chapter 7, titled »Concerning the Art of Flying: The Several Ways Whereby This hath been, Or May be Attempted« there is no mention of Faust Vrančić, nor he was mentioned in the rest of that book.[14] Based on several narrative sources, Wilkins listed a series of the attempts to fly by jumping from a tower. He mentioned the jump performed by the monk Eilmer, as well as the jumps of the anonymous performers, taken from the St. Marks' steeple in Venice, in Nürnberg and in Constantinople.[15] **(Figs. 3 and 4)** Inspite of the fact that Wilkins did not attribute any of these attempts to Faust Vrančić, the anonymous jumper from the St. Mark's steeple in Venice,[16] mentioned by the English mathematician, was, as we elaborated, completely unfounded identified by the Croatian scientists as Faust Vrančić. In order to additionally investigate if any of the narrative sources quoted by John Wilkins concerning the art of flying did mention Faust Vrančić, all these sources will for the first time be analysed here.

Based on the comparative content analysis of the narrative sources from the chapter 7 of the book 2 of the *Mathematical Magick*, we have established that John Wilkins adopted the fact about the jump performed in Nürnberg from the work *Achilles Panoplos redivivus, seu Panoplia physico-vulcania* (Amsterdam, 1612) by a German physician and alchemist Johann Ernst Burggrave.[17] **(Fig. 5)** When considering the human attempts to fly, in the chapter titled »The Winged Man« *(Homo alatus)*, Burggrave wrote about an old man, the singer from Nürnberg, who flew up on wings into the air like a bird, but he eventually by accident crashed on to the ground, due to the carelessness and the incorrectly attached wings.[18]

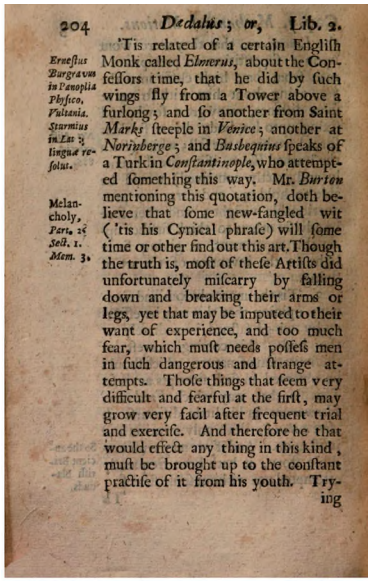
[14] J. WILKINS, *Mathematical Magick*, p. 204 and *passim*.

[15] »'Tis related of a certain English monk called Elmerus, about the Confessors time, that he did by such wings fly from a tower by a furlong; and so another from Saint Marks steeple in Venice; another at Norinberge; and Busbequius speaks of a Turk in Constantinople, who attempted something this way.«, J. WILKINS, *Mathematical Magick*, p. 204; Wilkins also mentioned the jump performed in Constantinople in the 1st book of his work *The Discovery of a New World*, titled »That the Moon May be a World«; John WILKINS, *The Mathematical and Philosophical Works of the Right Reverend John Wilkins, Late Bishop of Chester*, London, 1707, p. 132. (URL: https://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10138478_00005.html).

[16] »(…) and so another from Saint Marks steeple in Venice«, J. WILKINS, *Mathematical Magick,* p. 204.

[17] There is not much known about the life of Johann Ernst Burggrave – he was born in Neustadt an der Hart, he lived and worked in the 17th century. He is also the author of the works *Biolychnium seu lucerna cum vita ejus; Alexipharmacon omnium venenorum; De oleis destillatis* etc. »Burggrave, Johann Ernst«, *Allgemeines Gelehrten-Lexicon*, ed. Christian Gottlieb JÖCHER, Leipzig, 1750, p. 1494; *Index bio-bibliographicus notorum hominum*, pars C, vol. 26, ed. Jean-Pierre LOBIES, Osnabrück, 1982, p. 16041; *Deutscher Biographischer Index*, vol. 1, ed. Willi GROZNY, München – London, 1986, p. 297.

[18] »Senecio quidam Noribergae praecentor erat, qui alarum geminarum praesidio vel remigio elatus in aëre, instar alitis, vagabatur: et prapetis instar rursus devolabat, etsi casu denique ex imprudentia commisso (quo rotulae, nescio quae, alis affixae, volatumque concitantes, vel implicatae, vel non rite applicatae et praepeditae:) praecipitatus brachia et crura deffringeret.« Ioannes Ernestus BURGGRAVUS, *Achilles Panoplos redivivus, seu Panoplia physico-vulcania*, Amsterdam, 1612, p. 52.



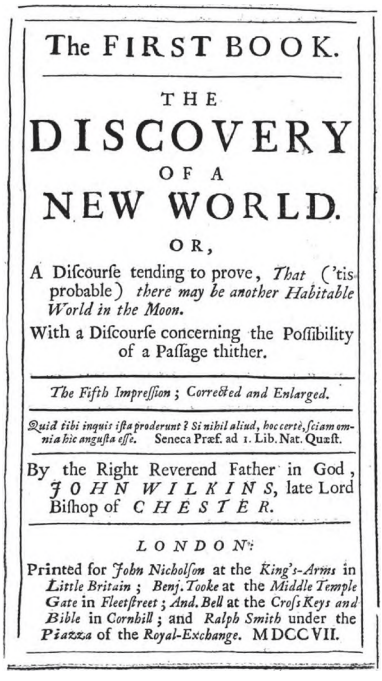
204 *Dædalus; or,* Lib. 2.

Eneſtius Burgravius in Uranoplia Phyſica, Paltania. Starmius in Lat. ſ. lingua reſolut.

'Tis related of a certain Engliſh Monk called *Elmerus*, about the Confeſſors time, that he did by ſuch wings fly from a Tower above a furlong; and ſo another from Saint *Marks* ſteeple in *Venice*; another at *Norinberge*; and *Busbequius* ſpeaks of a Turk in *Conſtantinople*, who attempted ſomething this way. Mr. *Burton* mentioning this quotation, doth believe that ſome new-fangled wit ('tis his Cynical phraſe) will ſome time or other find out this art. Though the truth is, moſt of theſe Artiſts did unfortunately miſcarry by falling down and breaking their arms or legs, yet that may be imputed to their want of experience, and too much fear, which muſt needs poſſeſs men in ſuch dangerous and ſtrange attempts. Thoſe things that ſeem very difficult and fearful at the firſt, may grow very facil after frequent trial and exerciſe. And therefore he that would effect any thing in this kind, muſt be brought up to the conſtant practiſe of it from his youth. Trying

Melancholy, Part. 2. Sect. 1. Mem. 3.

Fig. 3: Facsimile, John WILKINS, *Mathematical Magick, Or, The Wonders that May be Performed by Mechanichal Geometry*, London, 1680, p. 204



The FIRST BOOK.

THE

DISCOVERY

OF A

NEW WORLD.

OR,

A Diſcourſe tending to prove, *That* ('tis probable) *there may be another Habitable World in the Moon.*

With a Diſcourſe concerning the Poſſibility of a Paſſage thither.

The Fifth Impreſſion; Corrected and Enlarged.

Quid tibi inquis iſta proderunt? Si nihil aliud, hoc certè, ſciam omnia hic anguſta eſſe. Seneca Præf. ad 1. Lib. Nat. Quæſt.

By the Right Reverend Father in God, *JOHN WILKINS*, late Lord Biſhop of *CHESTER*.

LONDON:

Printed for *John Nicholſon* at the *King's-Arms* in *Little Britain*; *Benj. Tooke* at the *Middle Temple Gate* in *Fleetſtreet*; *And. Bell* at the *Croſs-Keys and Bible* in *Cornhill*; and *Ralph Smith* under the *Piazza* of the *Royal-Exchange*. MDCCVII.

Fig. 4: Facsimile, John WILKINS, *The Mathematical and Philosophical Works of the Right Reverend John Wilkins, Late Bishop of Chester*, London, 1707, front page

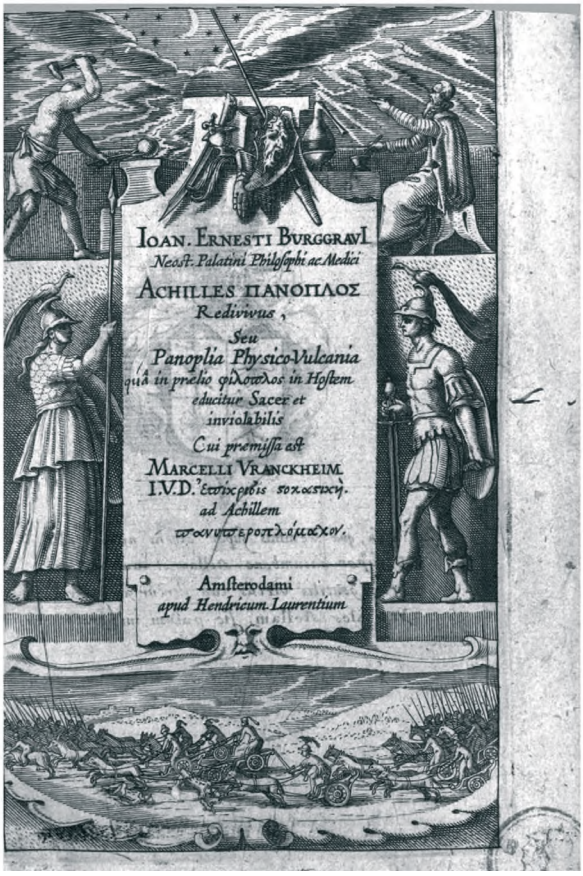


Fig. 5: Facsimile, Ioannes Ernestus BURGGRAVUS, *Achilles Panoplos redivivus, seu Panoplia physico-vulcania*, Amsterdam, 1612, front page

The further comparison of the sources has revealed that Wilkins adopted a description of the anonymous attempt to fly, performed from the St. Mark's steeple in Venice, from the work *Linguae Latinae resolvendae ratio: tradita in celebri Reipublicae Argentoratensis academia,* (Strasbourg, 1581) by a German humanist and educator Johannes Sturm.[19] **(Fig. 6)** However, this work of Strum is not dealing with technical issues at all. His book is in fact a didactic treatise about the Latin language, and the aforementioned episode concerning the jump from a tower in Venice was completely pulled out of the context by John Wilkins. In that dialogue Sturm mentioned the jump from a tower only as an

[19] Johannes Sturmius, a rhetorician and diplomat (1507-1589). One of the most influential educators and Protestant reformers of the European 16th century education system. Published numerous pedagogical and rethorical works. Herbert JAUMANN, »Sturm(ius), Johann(es) (Jean)«, *Neue Deutsche Biographie*, vol. 25, Berlin, 2013, pp. 654-656.

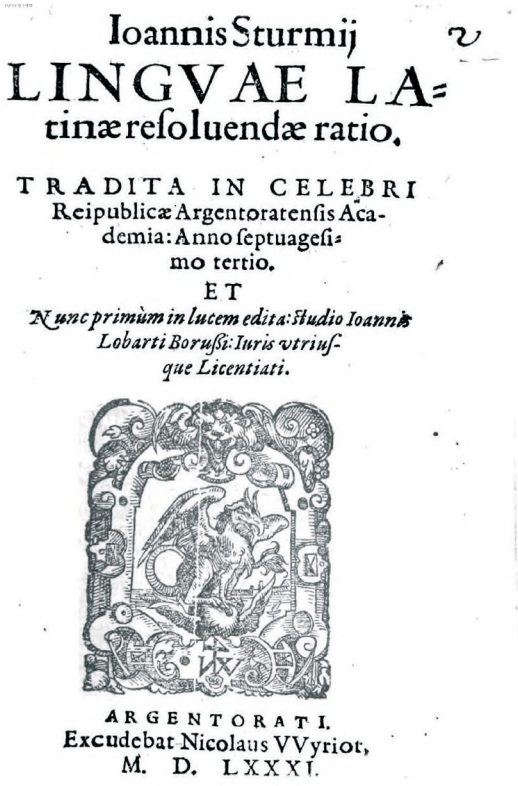

Ioannis Sturmij
LINGVAE LA=
tinæ reſoluendæ ratio,
TRADITA IN CELEBRI
Reipublicæ Argentoratenſis Aca-
demia: Anno ſeptuageſi=
mo tertio.
ET
Nunc primùm in lucem edita: ſtudio Ioannis
Lobarti Boruſſi: Iuris vtriuſ-
que Licentiati.
ARGENTORATI.
Excudebat Nicolaus VVyriot,
M. D. LXXXI.

Fig. 6: Facsimile, Joannes STURMIUS, *Linguae Latinae resolvendae ratio: tradita in celebri Reipublicae Argentoratensis academia*, Strasbourg, 1581, front page

example to elaborate the principles of the subordinate clause in the Latin language, and his aim was not to consider the art of flying from a technical aspect.[20]

When describing the other known attempts to fly by the wings attached to the body, Wilkins also quoted the work *De arte volandi* by a German humanist Hermann Friedrich Flayder.[21] **(Fig. 7)** In the form of a speech Flayder

[20]»Alius quidam dixit, se velle se demittere ex turre D. Marci Venetiis: fecit itaque se alatum et demisit se. Tunc alter dixit et ego hoc fecissem, si dixisses te velle alis uti. Respondit is, cur igitur non fecisti. Sic etiam, si quisquam mihi dixerit, cuius est hanc rationem inuenire: dicam ego, cur tu non inuenisti.«, Joannes STURMIUS, *Linguae Latinae resolvendae ratio: Tradita in celebri Reipublicae Argentoratensis academia*, Strasbourg, 1581, p. 40.

[21]J. WILKINS, *Mathematical Magick*, p. 203; Friedrich Hermann Flayder, poet and philologist (1596-1640). Professor and librarian at the University of Tübingen, he also taught classics. The author of *Argenis incomparabilis; Moria rediviva; Orationes et epigrammatum libellus; Sal musarum* etc., Gustav BEBERMEYER, »Flayder(us), Friedrich Hermann«, *Neue Deutsche Biographie*, vol. 5, Berlin, 1971, pp. 225-226.

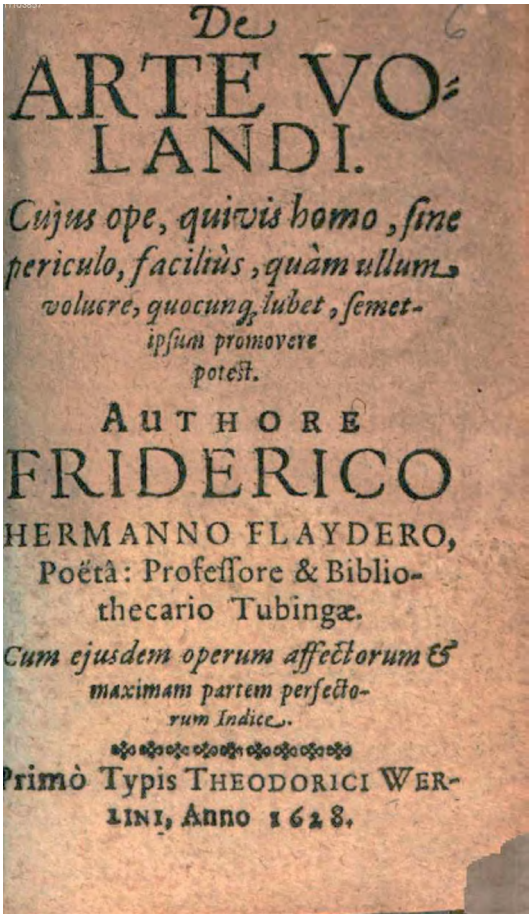
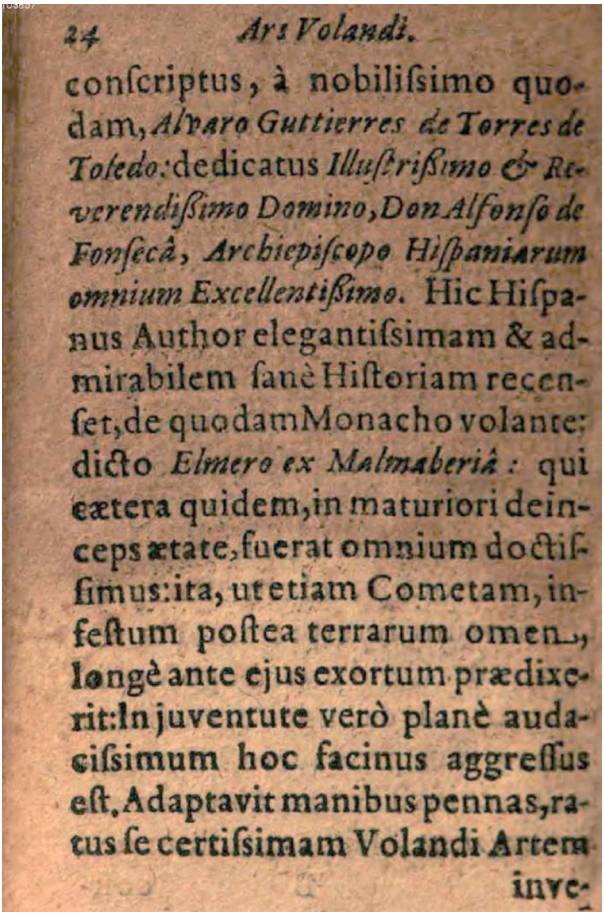

De
ARTE VO-
LANDI.
Cujus ope, quivis homo, ſine
periculo, facilius, quàm ullum
volucre, quocunq; lubet, ſemet-
ipſum promovere
poteſt.
AUTHORE
FRIDERICO
HERMANNO FLAYDERO,
Poëtâ: Profeſſore & Biblio-
thecario Tubingæ.
Cum ejusdem operum affectorum &
maximam partem perfecto-
rum Indice.
Primò Typis THEODORICI WER-
LINI, Anno 1628.

Fig. 7: Facsimile, Fridericus Hermannus FLAYDERUS, *De arte volandi cujus ope, quivis homo, sine periculo, facilius quam ullum volucre, quocunq[ue] lubet, semet ipsum promovere potest*, (*S. l.*), 1628, front page

elaborated »the real art of flying«. He tried to prove that a man can fly as well, and in such context he referred to the book of Alvaro Gutiérrez Torres of Toledo, which he quoted as *Compendium miraculorum*. The further analysis of the narrative sources proved that Flayder first adopted the fact about the flying English monk *Elmerus* from Gutiérrez, and that Wilkins adopted it later from Flayder. However, Wilkins noted the name of the English monk only as *Elmerus*, while Flayder noted his name as *Elmero ex Malmaberia*.[22] **(Fig. 8)** This is particularly important because it definitely confirmed what has so far only been

[22] J. WILKINS, *Mathematical Magick*, p. 204; Fridericus Hermannus FLAYDERUS, *De arte volandi cujus ope, quivis homo, sine periculo, facilius quam ullum volucre, quocunq[ue] lubet, semet ipsum promovere potest*, (*S. l.*), 1628, pp. 23-24.



24 *Ars Volandi.*

conſcriptus, à nobiliſsimo quodam, *Alvaro Guttierres de Torres de Toledo*: dedicatus *Illuſtriſsimo & Reverendiſsimo Domino, Don Alfonſo de Fonſecâ, Archiepiſcopo Hiſpaniarum omnium Excellentiſsimo.* Hic Hiſpanus Author elegantiſsimam & admirabilem ſanè Hiſtoriam recenſet, de quodam Monacho volante: dicto *Elmero ex Malmaberiâ*: qui cætera quidem, in maturiori deinceps ætate, fuerat omnium doctiſſimus: ita, ut etiam Cometam, infeſtum poſtea terrarum omen, longè ante ejus exortum prædixerit: In juventute verò planè audaciſsimum hoc facinus aggreſſus eſt. Adaptavit manibus pennas, ratus ſe certiſsimam Volandi Artem inve-

Fig. 8: Facsimile, Fridericus Hermannus FLAYDERUS, *De arte volandi cujus ope, quivis homo, sine periculo, facilius quam ullum volucre, quocunq[ue] lubet, semet ipsum promovere potest*, (*S. l.*), 1628, p. 24

assumed[23] – that the English monk Eilmer of Malmesbury (11th century) was indeed the same person as *Elmerus*, mentioned by Wilkins. It should also be mentioned that the analysis of the narrative sources did confirm that Wilkins quoted the same sources and adopted the same parts of the text from the works of Burggrave and Sturmius as Flayder did (for example, except the episode about the flying monk Eilmer, Wilkins also mentioned the attempt to fly with the wings performed in Nürnberg, as well as the jump performed from the St. Marks' steeple in Venice).[24]

[23] About this assumption see more in: Gojko NIKOLIĆ, *Život i izumi Fausta Vrančića: Drugo prošireno izdanje*, p. 125; Gojko NIKOLIĆ, *Život i izumi Fausta Vrančića: Treće prošireno i dorađeno izdanje,* pp. 161-163.

[24] F. H. FLAYDERUS, *De arte volandi,* pp. 25-26.

Finally, in the context of the tradition of the narrative sources quoted by Wilkins, we can assume that, based on all the aforementioned facts, Wilkins most likely quoted Flayder directly, and Burggrave and Sturm intermediately, from Flayder, and that he adopted the fact about the monk Eilmer in the same way.

As the oldest narrative source on which Wilkins intermediately based his considerations of the attempt to fly performed by the monk Eilmer (*Elmero d' Malmaberia*), we eventually identified the work by Alvaro Gutiérrez Torres,[25] originally titled *El sumario de las marauillosas y espantables cosas que en el mundo han acontescido* (Toledo, 1524).[26] **(Fig. 9**) The collation of the key part of Flayder's work with Gutiérrez's has confirmed their general concordance, but we also detected the slight paraphrase in Flayder's translation of the original text of Gutiérrez in Spanish.[27] **(Fig. 10)**

The analysis of the narrative sources concerning the art of flying, quoted by John Wilkins, as well as the analysis of the sources quoted by the authors quoted by Wilkins, has additionally confirmed that neither one of them – neither Burggrave, nor Sturm, nor Flayder, nor Gutiérrez Torres – mentioned Faust Vrančić and/or his parachute jump. A general overview of the topics of the works of these authors has revealed that Wilkins, even though an early modern mathematician, was still largely influenced by the humanist scholarly canon. This is particularly noticeable from the fact that in the chapter 7 of the book 2 of his *Mathematical Magick*, Wilkins predominantly quoted the authors whose opus corresponded with the Renaissance *studia humanitatis*.[28]

Even though we did not find the proof that anyone of the Croatian scientists dealing with this topic indeed consulted Wilkins' work *Mathematical Magick*, it can be concluded that the part of its book 2, chapter 7, was wrongly interpreted in Croatian scientific literature. In other words, the assumption that John Wilkins was the one who described the parachute jump of Faust Vrančić, performed from the St. Mark's steeple in Venice, was completely incorrect. Athough this research has confirmed that within the analysed narrative sources there was no written evidence that Faust Vrančić personally tested his parachute, this is

[25] Alvaro Gutiérrez Torres was a Spanish 16th century author, probably born in Toledo. Nothing else is known about his life. He published *Breve compendio de las alabanzas de la astrologia* in the same volume with *Sumario de las maravillosas*. »Gutiérrez de Torres de Toledo (Alvaro)«, *Enciclopedia universal ilustrada: Europeo-Americana*, vol. XXVII, Madrid, 1925, pp. 375-376.

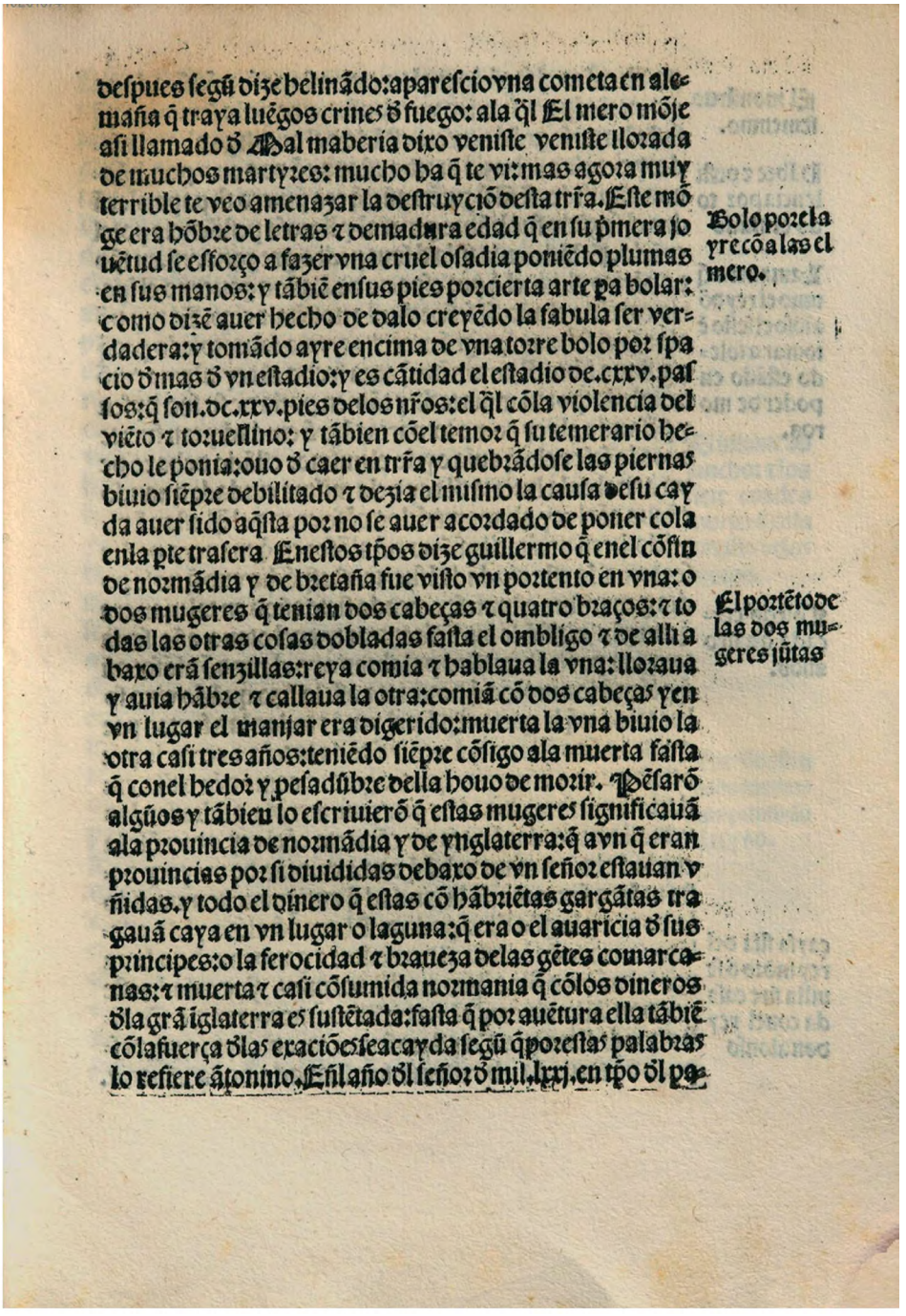
[26] Alvaro GUTIÉRREZ TORRES, *El sumario de las marauillosas y espantables cosas que en el mundo han acontescido*, *S. l.*, 1524, fol. [35r].

[27] F. H. FLAYDERUS, *De arte volandi*, pp. 24-25.

[28] In the Renaissance *studia humanitatis* (»the learnings worthy of a man«) enclosed five teaching disciplines: grammar, rhetoric, history, poetry and moral philosophy. Unlike the ancient and medieval division, the Renaissance teaching disciplines did not include medicine, mathematic, astronomy, theology, logic, physics and metaphysics. Darko NOVAKOVIĆ, »Latinsko pjesništvo hrvatskoga humanizma«, *Marko Marulić: Hrvatski latinisti*, Zagreb, 1994, p. 56.



Fig. 9: Facsimile, Alvaro GUTIÉRREZ TORRES, *El sumario de las marauillosas y espantables cosas que en el mundo han acontescido*, (*S. l.*), 1524, front page



despues segũ dize belinãdo: apareſcio vna cometa en alemaña q̃ traya luẽgos crines ỏ fuego: ala q̃l El mero mõje aſi llamado ỏ Mal maberia dixo veniſte veniſte llorada de muchos martyres: mucho ha q̃ te vi: mas agora muy terrible te veo amenazar la deſtruyciõ deſta trra. Eſte mõge era hõbre de letras ꝛ demadura edad q̃ en ſu pmera ſo uẽtud ſe eſforço a fazer vna cruel oſadia poniẽdo plumas en ſus manos: y tãbiẽ enſus pies porcierta arte pa bolar: como dizẽ auer hecho de dalo creyẽdo la fabula ſer verdadera: y tomãdo ayre encima de vna torre bolo por ſpacio ỏmas ỏ vn eſtadio: y es cãtidad el eſtadio de. cxxv. paſſos: q̃ ſon. dc. xxv. pies delos nr̃os: el q̃l cõla violencia del viẽto ꝛ torueſſino: y tãbien cõel temor q̃ ſu temerario hecho le ponia: ouo ỏ caer en trra y quebrãdoſe las piernas biuio ſiẽpre debilitado ꝛ dezia el miſmo la cauſa deſu cayda auer ſido aq̃ſta por no ſe auer acordado de poner cola enla pte traſera. Eneſtos tpos dize guillermo q̃ enel cõfin de normãdia y de bretaña fue viſto vn portento en vna: o dos mugeres q̃ tenian dos cabeças ꝛ quatro braços: ꝛ todas las otras coſas dobladas haſta el ombligo ꝛ de alli abaxo erã ſenzillas: reya comia ꝛ hablaua la vna: llorava y auia hãbre ꝛ callaua la otra: comiã cõ dos cabeças yen vn lugar el manjar era digerido: muerta la vna biuio la otra caſi tres años: teniẽdo ſiẽpre cõſigo ala muerta haſta q̃ conel hedor y peſadũbre della bouo de morir. Deſaroõ algũos y tãbien lo eſcriuieroõ q̃ eſtas mugeres ſignificauã ala prouincia de normãdia y de ynglaterra: q̃ avn q̃ eran prouincias por ſi diuididas debaxo de vn ſeñor eſtauan vñidas. y todo el dinero q̃ eſtas cõ hãbriẽtas gargãtas tragauã caya en vn lugar o laguna: q̃ era o el auaricia ỏ ſus principes: o la ferocidad ꝛ braueza delas gẽtes comarcanas: ꝛ muerta ꝛ caſi cõſumida normania q̃ cõlos dineros ỏla grã iglaterra es ſuſtẽtada: haſta q̃ por auẽtura ella tãbiẽ cõla fuerça ỏlas exaciõesſea cayda ſegũ q̃ por eſtas palabras lo refiere ãtonino. En el año ỏl ſeñor ỏ mil. lxxj. en tpo ỏl po-

Bolo por cima yrecõ alas el mero.

El portẽto de las dos mugeres jũtas

Fig. 10: Facsimile, Alvaro GUTIÉRREZ TORRES, *El sumario de las marauillosas y espantables cosas que en el mundo han acontescido*, (*S. l.*), 1524, fol. [35r]

the first time that the tradition of the narrative sources concerning the art of flying, quoted by Wilkins, was examined and that all the available narrative sources on which he based his considerations of this particular topic were precisely identified.

Conclusion

The article on three levels critically reexamines and disputes the thesis established by the Croatian 20th century scientists that the English mathematician and bishop John Wilkins described in his work *Mathematical Magick* (London, 1648) the parachute jump of Faust Vrančić performed from a tower in Venice. First, the scientific literature concerning this issue was analysed, and it was established that none of the authors of these studies actually quoted the work *Mathematical Magick*, *i. e.* that they adopted the thesis about Vrančić's attempt to fly intermediately and without any direct insight into the original work of John Wilkins. Also, the content analysis of the work *Mathematcal Magick* (London, 1680) was conducted, and it was confirmed that it does not mention at all Faust Vrančić, nor his parachute, nor his parachute jump. Finally, in order to definitely make clear the possible ways the aforementioned hypothesis was adopted in the Croatian science, as well as to determine whether any of the narrative sources quoted by Wilkins maybe mentioned the parachute jump of Faust Vrančić, all the narrative sources concerning the art of flying quoted by Wilkins were identified and analysed. These are the works of four West-European authors of the 16th and the 17th century, the Germans Johann Ernst Burggrave (*Achilles Panoplos redivivus*), Johannes Sturm (*Linguae Latinae resolvendae ratio*), Hermann Friedrich Flayder (*De arte volandi*) and the Spaniard Alvaro Gutiérrez Torres (*El sumario de las marauillosas*). The content analysis of these narrative sources established that neither one of them mentioned Faust Vrančić, nor his parachute, nor his parachute jump. Also, this was the first time that all the narrative sources about the art of flying, quoted by Wilkins were identified. Finally the tradition of these sources was established, and as its oldest narrative source was identified (*El sumario de las marauillosas* of A. Guttiérez Torres). This is particularly important because the analysis of Gutiérrez's work confirmed for certain that what was so far only the matter of speculation – that *Elmerus* whose attempt to fly was mentioned by Wilkins, was indeed the English medieval monk Eilmer of Malmesbury (11th century), and that Wilkins adopted this fact intermediately from Gutiérrez.

John Wilkins i pitanje skoka Fausta Vrančića padobranom: Analiza narativnih izvora

Iva Kurelac

Sažetak: Na temelju detaljne sadržajne analize te uspostave tradicije renesansnih i ranonovovjekovnih narativnih izvora koje je engleski matematičar i biskup John Wilkins (1614. – 1672.) citrao u svojem djelu *Mathematical Magick* (London, 1648.) u vezi s umijećem letenja, u radu se kritički razmatra i pobija teza hrvatskih znanstvenika 20. stoljeća prema kojoj je upravo Wilkins opisao skok Fausta Vrančića padobranom s tornja u Veneciji. Pregledom suvremene znanstvene literature ustanovljeno je da se među hrvatskim znanstvenicim teza o Vrančićevom navodnom skoku padobranom preuzimala posredno i bez ikakvog uvida u izvornik spomenutog Wilkinsovog djela. Sadržajnom analizom djela *Mathematical Magick* (London, 1680.) utvrđeno je da se ondje ne spominje niti Faust Vrančić, niti njegov padobran (odnosno naprava *Homo volans*), niti njegov skok padobranom. Identificirani su i analizirani svi renesansni i ranonovovjekovni narativni izvori citirani u djelu *Mathematical Magick* u kontekstu umijeća letenja. Riječ je o djelima trojice Nijemaca Johanna Ernsta Burggravea (*Achilles Panoplos redivivus*), Johannesa Sturma *(Linguae Latinae resolvendae ratio*) i Hermanna Friedricha Flaydera (*De arte volandi*) te Španjolca Alvara Gutiérreza Torresa (*El sumario de las marauillosas*). Premda je utvrđeno da niti jedan od tih izvora ne spominje Fausta Vrančića niti njegov skok padobranom, ovime je po prvi put uspostavljena tradicija svih narativnih izvora koje je Wilkins citirao u vezi s umijećem letenja te je unutar nje identificiran i najstariji narativni izvor (*El sumario de las marauillosas* A. Gutiérreza Torresa). Na temelju Gutiérrezova djela sa sigurnošću je potvrđeno i ono što se dosad samo pretpostavljalo, a to je da je *Elmerus*, čiji pokušaj leta spominje Wilkins, doista ista osoba kao i engleski srednjovjekovni redovnik Elmer iz Malmesburyja (11. st.).

Ključne riječi: Faust Vrančić, John Wilkins, Johann Ernst Burggrave, Johannes Sturm, Hermann Friedrich Flayder, Alvaro Gutiérrez Torres, Elmer iz Malmesburyja, padobran, narativni izvori

Tihomir Vukelja, Tihana Luetić

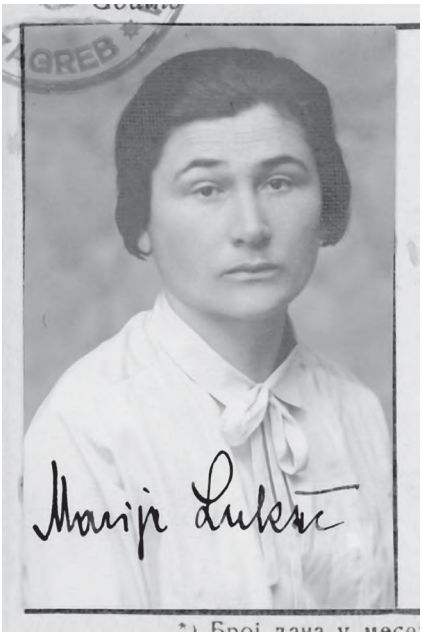
Marija Lukšić, prva asistentica na zagrebačkom sveučilištu

Sažetak: Prikazano je školovanje i profesionalna karijera Marije Lukšić, prve žene u Hrvatskoj koja je položila ispit za srednjoškolsko učiteljstvo iz matematike i fizike kao glavnih struka (1917.) i prve asistentice na zagrebačkom sveučilištu (1915.).

Ključne riječi: obrazovanje žena, Sveučilište u Zagrebu, znanstvena zajednica, Marija Lukšić

Uvod

Marija Lukšić provela je radni vijek kao gimnazijska profesorica matematike i fizike i nije objavljivala znanstvene radove. Ipak, za nju ima mjesta među osobama kojih se prisjećamo u prilikama poput ove, među osobama koje su pridonijele razvoju prirodoslovlja u Hrvatskoj, jer su prve godine njezine profesionalne karijere obilježili događaji važni za proces korjenite preobrazbe hrvatske prirodoslovno-matematičke zajednice. Naime, u doba njezina rođenja, 1894. godine, u Hrvatskoj nije bilo žena sa završenim prirodoslovno-matematičkim studijem. Štoviše, na Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu uopće nije bilo studentica. U naše dane, pak, okolnosti su posve drukčije. Primjerice, akad. god. 2016./2017. na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu (PMF) Sveučilišta u Zagrebu (bez Geografskog odsjeka) studiralo je oko 63 % studentica i 37 % studenata [1], a u nastavnom osoblju PMF-a, bez Geografskog odsjeka, bilo je oko 42 % nastavnica i asistentica [2]. Nadalje, početkom šk. god. 2018./2019. žene su činile oko 80 % hrvatskog gimnazijskog



Sl. 1.: Marija Lukšić [4]

prirodoslovno-matematičkog nastavnog osoblja (bez nastavnika zemljopisa) [3]. Tijekom XX. stoljeća se, dakle, ustroj hrvatske prirodoslovno-matematičke zajednice temeljito promijenio, a početak te preobrazbe zrcali se u školovanju i profesionalnom djelovanju Marije Lukšić.

1. Školovanje

1.1. Osnovno i srednje školovanje

Marija Lukšić rodila se 30. lipnja 1894. u Gospiću [4]. Njezin otac Stjepan Lukšić (1867. – 1914.) bio je činovnik, a od 1905. radi u Zagrebu, isprva kao vojnoračunarski akcesist[1], potom, od 1911. do smrti, kao vojnoračunarski oficijal[2], pri opskrbništvu 13. hrvatsko-slavonskog zbora [5].

Nešto više od godinu nakon njezina rođenja, u listopadu 1895., na Mudroslovni fakultet Kr. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu primljene su prve studentice. Bilo ih je deset, uglavnom učiteljica u Privremenom ženskom liceju u

[1] **akcesist**; niži činovnik u upravnoj službi; početnik, pripravnik

[2] **oficijal**; državni službenik nižeg položaja

Zagrebu i u Kr. zemaljskoj ženskoj stručnoj školi u Zagrebu, koje su upisane kao izvanredne studentice na temelju molbe Akademičkom senatu Sveučilišta. Molbom su zatražile "u naše hrvatsko sveučilište pristup kao izvanredne slušateljice filozofskoga fakulteta", ističući da "nas k toj molbi ne vodi pustopošna želja za slavom ili može biti isticanje svoje osobe, već ozbiljno nastojanje, da što vrsnije i valjanije promičemo interese stvari kojoj služimo i kojoj smo život svoj posvetile – naime odgoju ženske omladine naše" [6– 8].

Prvih deset studentica zagrebačkog sveučilišta na Mudroslovnom fakultetu slušalo je isključivo društveno-humanističke kolegije, ali njihova je molba otvorila vrata i djevojkama zainteresiranim za prirodoslovlje i matematiku. Tako se dvije godine kasnije, u listopadu 1897., na Mudroslovni fakultet upisala prva izvanredna studentica matematike i fizike, Marija Göszl [9]. Marija Göszl (Ruma, 1876. – Zagreb, 1955.), studirala je tijekom akad. god. 1897./1898. matematiku i fiziku kao izvanredna studentica, a u listopadu 1898. položila je ispit zrelosti na Kr. donjogradskoj gimnaziji u Zagrebu te je potom uputila molbu Kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljskoj vladi da joj se dopusti upis na Mudroslovni fakultet kao redovitoj studentici. No Vlada je molbu odbila, unatoč preporuci Profesorskog zbora Mudroslovnog fakulteta [10]. Marija Göszl nakon toga je još dva semestra studirala kao izvanredna studentica, zadnji put u zimskom semestru akad. god. 1899./1900., no ubrzo se zaposlila kao učiteljica te je radni vijek provela u zagrebačkim višim djevojačkim školama. Ipak, naposljetku je dovršila studij na Mudroslovnom fakultetu, koji je ponovno upisala, kao redovita studentica, gotovo dvadeset godina kasnije, akad. god. 1917./1918., te je 1921. dovršila studij prirodopisa [11 – 12].

Marija Göszl odustala je od nastavka studija matematike i fizike vjerojatno stoga što joj nije bio dopušten upis kao redovitoj studentici. U vezi s tim valja se prisjetiti da su se prema tadašnjim sveučilišnim propisima izvanredni i redoviti studenti bitno razlikovali po statusu. Izvanredni studenti nisu imali gotovo nikakvih obveza, ali su im tolika bila i prava: sveučilišnim zakonom iz 1874. godine bilo je propisano da izvanredni studenti "mogu istina iskati, da jih učitelji svršetkom polieća upitaju iz naukah, koje su polazili, i da jim uz taksu od 3 for. a. vr. izdadu privatne svjedočbe, ali državnim ili izpitom strogim podvrći se nemogu" [13]. Drugim riječima, pohađanje sveučilišta u statusu izvanrednog studenta bilo je čisto privatna stvar, dodatno obrazovanje po osobnim željama i potrebama. Takvo školovanje, neovisno o broju upisanih kolegija i trajanju, nije omogućavalo pristupanje javnim ispitima – ispitima kojima se potvrđivala sposobnost za neku javnu službu. Stoga primanje izvanrednih studentica na Mudroslovni fakultet nije otvaralo nikakvu mogućnost da žene eventualno osvoje neke nove pozicije u javnoj sferi. Redoviti studenti Mudroslovnog fakulteta su, s druge strane, bili obvezni upisati najmanje 20 sati nastave tjedno i redovito pohađati predavanja. Da bi redoviti student Mudroslovnog fakulteta dovršio

sveučilišni studij morao je predavanja polaziti četiri godine, a redovitim studentima koji su propisano vrijeme polazili predavanja, po svršetku četvrte godine studija izdavana je "konačna svjedodžba" ("absolutorij") [14]. Apsolventi Mudroslovnog fakulteta mogli su se na temelju apsolutorija privremeno zaposliti kao namjesni učitelji u srednjim školama[3] ili pomoćnici u znanstvenim zavodima, a apsolutorij im je omogućavao pristupanje ispitu za učiteljsku službu u srednjim školama i/ili strogim ispitima (ispitima kojima se stjecao doktorat filozofije). Ukratko, dok status izvanrednog studenta zapravo nije prelazio privatnu sferu, status redovitog studenta u perspektivi je otvarao različite mogućnosti djelovanja u javnoj sferi. Vjerojatno je ta usmjerenost studiranja u statusu redovitog studenta prema javnim službama bila glavni razlog što je primanje žena na Mudroslovni fakultet kao redovitih studentica išlo mnogo teže nego njihovo primanje kao izvanrednih.[4]

Godine 1900., kad je prva studentica matematike i fizike na zagrebačkom sveučilištu prekinula studij, Marija Lukšić krenula je u nižu pučku školu, koju je pohađala u Otočcu, od šk. god. 1900./1901. do 1903./1904. [17]. Tijekom te četiri godine bilježimo nekoliko događaja važnih za povijest obrazovanja žena, posebno fizičarki i matematičarki, u Hrvatskoj. Prije svega, na temelju kraljevskog rješenja od 29. kolovoza 1901., Zemaljska vlada izdala je 9. rujna te godine naredbu kojom se, među ostalim, dopušta upis žena kao redovitih studentica na Mudroslovni fakultet Kr. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu [18]. Tako već akad. god. 1902./1903. ondje zatječemo prvu redovitu studenticu matematike i fizike Nadu Švrljugu [9]. Nada Švrljuga, udana Škreb (Zagreb, 1883. – Zagreb, 1974.), prethodne je akad. god. studirala kao izvanredna studentica, no u ljeto 1903. zbog udaje je napustila studij. Konačno, ujesen 1903., kad je Marija Lukšić krenula u četvrti razred niže pučke škole, na Mudroslovni fakultet upisala se Jelisava Vávra, prva žena koja je na zagrebačkom sveučilištu apsolvirala studij matematike i fizike. Jelisava Vávra (Križevci, 1884. – Zagreb, 1946.) studirala je akad. god. 1903./1904. kao izvanredna, a potom tri akad. god. (1904./1905. – 1907./1908.) kao redovita studentica [9]. Po svršetku šestog semestra redovitog studija, u ljeto 1908. su joj na temelju molbe dva semestra izvanrednog studija uračunata u redovito propisano četverogodište [19], ali nakon toga ipak je nastavila studij tijekom akad. god. 1908./1909. te joj je u ljeto 1909. izdan apsolutorij. No, Vávra se 1910. zaposlila kao učiteljica te je sljedećih deset godina radila u raznim nižim pučkim školama, a od 1920. do

[3] Namjesni učitelji ili "suplenti" bili su nastavnici s dovršenim studijem, ali bez položenog ispita za učiteljsku službu u srednjim školama, koji su po potrebi popunjavali mjesta nedostajućih pravih učitelja ili profesora.

[4] O toj asimetriji građanskog društva XIX. stoljeća, koje je kao prirodno mjesto afirmacije žene prepoznavalo i prihvaćalo gotovo isključivo privatnu sferu, obiteljski dom, vidi opširnije u [15] i [16].



Sl. 2.: Nada Švrljuga, prva redovita studentica matematike i fizike na Mudroslovnom fakultetu u Zagrebu u društvu kolega 1902. godine. Slijeva nadesno stoje: Kosta Rožić, Vjenceslav Stjepanek, Antun Kodrnja, Hugo Sedlaček, Tomo Jakić i Zvonimir Celinšćak; sjede: Josip Canić, Bogomir Brus, Nada Švrljuga, Josip Baglama i Petar Petris [21]

umirovljenja 1932. godine u Dvorazrednoj trgovačkoj školi u Zagrebu. Službujući na Trgovačkoj školi, 1922. godine završila je studij ekonomije na Visokoj školi za trgovinu i promet u Zagrebu, no nikad nije pristupila ni ispitima za srednjoškolsko učiteljstvo ni strogim ispitima [20].

Kad je u ljeto 1909. Jelisavi Vávri, prvoj apsolventici studija matematike i fizike na Mudroslovnom fakultetu u Zagrebu, uručen apsolutorij, Marija Lukšić već je bila učenica zagrebačkog Privremenog ženskog liceja. Marija Lukšić je, naime, po dovršenju niže pučke škole u Otočcu obrazovanje nastavila u Zagrebu, gdje je njezin otac radio barem od početka 1905. godine. U Zagrebu je prvo polazila Zemaljsku višu djevojačku školu, tj. višu pučku školu za djevojke, od šk. god. 1904./1905. do 1907./1908. [17], [22]. Nakon što je dovršila višu djevojačku školu, upisala je šk. god. 1908./1909. peti razred Privremenog ženskog liceja u Zagrebu, smjer s latinskim jezikom. Privremeni ženski licej u Zagrebu osnovan je 1892. godine, a iza tog prilično neodređenog naziva krila se obrazovna ustanova kakve dotad nije bilo u Austro-Ugarskoj Monarhiji: državna škola za djevojke koju se najbolje može opisati kao realnu gimnaziju s

nastavnim planom i programom prilagođenim tadašnjim shvaćanjima obrazovnih potreba djevojaka više građanske klase. Tako je Hrvatska prva u Monarhiji dobila javnu školu gimnazijskog tipa za djevojke [23 – 26]. Licej je bio osmogodišnja škola, razdijeljena na četverogodišnji "niži licej" i četverogodišnji "viši licej". Niži licej u osnovi je odgovarao višoj djevojačkoj školi pa su se djevojke koje su dovršile višu djevojačku školu mogle upisati izravno u V. razred.

Marija Lukšić dovršila je školovanje na Privremenom ženskom liceju u Zagrebu krajem šk. god. 1911./1912. [17], [27]. No, iako je nastavni plan i program višeg liceja u osnovi odgovarao nastavnom planu i programu viših razreda realne gimnazije, zagrebački ženski licej formalno nije imao status srednje škole te se na njemu nije polagao ispit zrelosti, nego samo završni licejski ispit. Ispit zrelosti bio je uvjet za upis na Mudroslovni fakultet u statusu redovitog studenta. Stoga su djevojke koje su, poput Marije Lukšić, završile licej, a željele su obrazovanje nastaviti na Mudroslovnom fakultetu kao redovite studentice, ispit zrelosti morale polagati kao "eksternistice", vanjske učenice, na nekoj od zagrebačkih gimnazija [28]. Tako je Marija Lukšić svoje srednjoškolsko obrazovanje dovršila 7. listopada 1912., položivši realnogimnazijski ispit zrelosti na Kr. I. realnoj gimnaziji u Zagrebu [17], [29].

1.2. Studij matematike i fizike na Mudroslovnom fakultetu u Zagrebu

Marija Lukšić upisala je Mudroslovni fakultet Kr. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu ujesen 1912., neposredno nakon polaganja ispita zrelosti, te je ondje provela četiri akad. god. (1912./1913. – 1915./1916.) kao redovita studentica [9]. Zakonskim člankom ob ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu od 1874. godine bilo je studentima Mudroslovnog fakulteta prepušteno da sami kroje program svojeg studija:

"Budući da nauci mudroslovnoga fakulteta nestoje medju sobom u takovu savezu, kako nauci ostalih fakultetah, to se za predavanje njihovo *neustanovljuje nikakov red*" [13].

U skladu s tim bila je i organizirana nastava na Mudroslovnom fakultetu. Danas je sveučilišna nastava ustrojena studijskim programima pa se svake akad. god. održavaju predavanja iz svih obveznih i većine izbornih kolegija. Krajem XIX. i početkom XX. stoljeća na Mudroslovnom fakultetu nije bilo studijskih programa, a nastava je bila ustrojena dvogodišnjim ciklusima temeljnih kolegija. Stoga se u to doba redoviti studenti Mudroslovnog fakulteta nisu upisivali na definirane studijske smjerove niti su bili obvezni slijediti unaprijed zadan nastavni program, nego su početkom svakog semestra upisivali neke od ponuđenih kolegija po vlastitom izboru, uz uvjet da svaki semestar upišu kolegije s ukupno najmanje 20 sati nastave tjedno.

Premda je zakonom, dakle, općenito bilo prepušteno studentima Mudroslovnog fakulteta da sami oblikuju svoj studij, oni su u toj slobodi morali voditi računa o općim i posebnim uvjetima propisanim za pristupanje željenoj profesiji. U to su doba u Austro-Ugarskoj Monarhiji, uključujući Hrvatsku, apsolventi prirodoslovno-matematičkog studija mogli polaganjem ispita za srednjoškolsko učiteljstvo steći svjedodžbu kojom su dokazivali osposobljenost za održavanje nastave iz prirodoslovlja i/ili matematike u gimnazijama ili pak, pisanjem disertacije uz polaganje strogih ispita, steći svjedodžbu kojom su dokazivali osposobljenost za znanstveni rad u prirodoslovlju ili matematici. Jedna od tih svjedodžbi nije ni podrazumijevala ni isključivala drugu. Stoga su opseg i narav upisanih kolegija bili u velikoj mjeri određeni zahtjevima definiranim propisima kojima je bio reguliran postupak stjecanja takve osposobljenosti. Dalje u tekstu potanje ćemo opisati ispit iz matematike i fizike za srednjoškolsko učiteljstvo. Zasad tek spomenimo da student prirodoslovlja i/ili matematike koji je planirao karijeru srednjoškolskog profesora nije mogao birati isključivo kolegije iz užeg područja svojeg interesa, nego je morao paziti na to da stekne dovoljno znanja iz jedne ili dvije bliske struke, kao i iz društvenih i humanističkih znanosti.

S gornjim opaskama na umu možemo razmotriti skup kolegija koje je Marija Lukšić odabrala i pohađala tijekom četverogodišnjega studija [9]. Spomenimo da je ona u svih osam semestara studija upisala kolegije s ukupnom tjednom satnicom nastave većom od propisanih minimalnih 20 sati, u nekim semestrima čak i dvostruko većom, tako da je njezino prosječno tjedno nastavno opterećenje (predavanja, vježbe, seminari, praktikumi) tijekom studija iznosilo oko 34 sata.[5] Tu je bogatu satnicu Marija Lukšić prije svega popunjavala kolegijima iz matematike. U nastavku su nabrojeni matematički kolegiji koje je slušala tijekom studija (neke u više navrata): Teorija skupova, Počela teorije brojeva I, Počela teorije brojeva II: teorija kvadratnih ostataka, Uvod u teoriju algebarskog brojnog tijela, Dijeljenje kružnice, Beskonačni nizovi i produkti, Aritmetička teorija formâ, Determinante, Račun varijacija, Račun vjerojatnosti, Teorija funkcija, Eliptične funkcije, Uvod u analizu, Diferencijalni i integralni račun, Integralni račun, Diferencijalne jednadžbe, Integralne jednadžbe, Matematički seminar, Temelji geometrije, Diferencijalna geometrija prostornih krivulja, Teoretička grafična statika, Sintetička geometrija u ravnini, Sintetička geometrija u ravnini i u prostoru, Sintetička geometrija kompleksâ i kongruencijâ, Analitička geometrija u ravnini i u prostoru, Analitička geometrija površinâ 2. reda i prostornih krivulja 3. reda, Analitička geometrija viših algebarskih

[5] Danas su ukupne tjedne nastavne obveze studenata Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu (svi oblici nastave) na preddiplomskom studiju ograničene na 26, a na diplomskom na 20 sati [30].

krivulja u ravnini, Osnovi deskriptivne geometrije, Konstruktivne vježbe u deskriptnoj geometriji, Geometrijski seminar.

Mariji Lukšić matematika je bila najdraže polje. No u to doba nije bilo moguće samo studirati matematiku te potom studij zaključiti doktorskom ili profesorskom diplomom. Umjesto toga, u tu je svrhu studij matematike trebalo kombinirati ili s ekvivalentnim studijem nacrtne geometrije ili s ekvivalentnim studijem fizike ili s ekvivalentnim studijem filozofije uz fiziku [31 – 32]. Marija Lukšić odabrala je kao drugu struku fiziku pa je iz tog znanstvenog polja polazila sljedeće kolegije: Mehanika i akustika, Toplina, O magnetizmu i elektriciteti, Dodaci k predavanjima o elektriciteti i magnetizmu, Odabrane česti nauke o elektriciteti, Teoretska fizika: mehanika i akustika, Teoretska fizika: toplina, Teorija elektricitete, Fizikalna optika, O teoriji relativnosti, Geometrijske interpretacije teorije relativnosti, Vježbe.

Nadalje, prirodoslovno obrazovanje obogatila je kolegijima iz geofizike (Opća seismologija), kemije (Neorganska ludžba I, Neorganska ludžba II, Organska ludžba I, Organska ludžba II, Praktične vježbe iz analitičke ludžbe), biologije (Općeni dio komparativne embriologije), geologije (Općenita mineralogija, Sistematika i fiziografija silikatnih ruda) i geografije (Matematička geografija).

Osim kolegija iz matematike i prirodoslovlja slušala je i kolegije iz filozofije (Povijest filosofije od Kanta, Princip relativnosti, O glavnim smjerovima teorije spoznaje, Logika), psihologije (Psihologija spoznaje, Uvod u eksperimentalnu psihologiju), pedagogije (Općenita pedagogika, Odabrana poglavlja socijalne pedagogike, Najglavniji momenti iz povijesti pedagogije od XVI. stoljeća ovamo, Pedagogijski seminar), povijesti umjetnosti (Danteova Monarkija i Macchiavellov Principe, Povijest nizozemske umjetnosti, Povijest nizozemske umjetnosti (nastavak) s obzirom na njemačku i francusku umjetnost, Vježbe u određivanju umjetninâ, Kritične šetnje) i kroatistike (Moderna novelistika u Hrvata).

Marija Lukšić dovršila je svoje sveučilišno obrazovanje krajem ljetnog semestra akad. god. 1915./1916., kao tek treća žena koja je na zagrebačkom sveučilištu apsolvirala studij matematike i fizike. Prije nje taj su studij u Zagrebu apsolvirale već spomenuta Jelisava Vávra te Katarina Brozović (Križevci, 1892. – Zagreb, 1990.), koja je studirala od akad. god. 1910./1911. do 1913./1914. [9]. Razdoblje od ljeta 1915. do jeseni 1917. s gledišta povijesti prirodoslovlja u Hrvatskoj, posebno procesa uključivanja žena u profesionalnu prirodoslovno-matematičku zajednicu, najzanimljivije je razdoblje u životu Marije Lukšić. Polagala je ispit za srednjoškolsko učiteljstvo iz matematike i fizike kao glavnih struka i radila kao asistentica u Zbirci matematičkih učila Mudroslovnog fakulteta.

2. Ispit iz matematike i fizike kao glavnih struka za kandidate srednjoškolskog učiteljstva

Na Mudroslovnom se fakultetu u doba kad je Marija Lukšić studirala nije polagao diplomski ispit. Studij je dovršavan primanjem "konačne svjedodžbe", "apsolutorija", u osnovi popisa kolegija slušanih tijekom studija, na temelju koje se apsolvent prijavljivao za "stroge", tj. doktorske ispite i/ili za ispite za srednjoškolsko učiteljstvo, a čijim se polaganjem stjecala ovlast za profesionalni znanstveni ili nastavni rad. Marija Lukšić ujesen 1917. dovršila je polaganje ispita za srednjoškolsko učiteljstvo iz matematike i fizike kao glavnih struka pa u svrhu valjanog vrednovanja tog događaja u kontekstu povijesti prirodoslovlja u Hrvatskoj moramo pobliže razmotriti sam taj ispit.

Ispit za srednjoškolsko učiteljstvo polagao se pred Kr. povjerenstvom za ispitivanje kandidatâ srednjoškolskoga učiteljstva, a u doba kad mu je pristupila Marija Lukšić bio je uređen odredbama Propisa o ispitivanju kandidata srednjoškolskoga učiteljstva u Hrvatskoj i Slavoniji od 1913. godine [32]. Propisom su prije svega bile definirane skupine ispitnih predmeta, tj. kombinacije struka iz kojih je mogla biti priznata sposobnost za srednjoškolsku nastavu. Jedna od tih skupina bila je "matematika i fizika kao glavne struke", kombinacija za koju se odlučila Marija Lukšić. Polaganjem ispita iz neke struke kao "glavne" kandidat je stjecao ovlast da odgovarajući nastavni predmet predaje u cijeloj tadašnjoj gimnaziji (tj. u svih osam razreda), a ako je pak položio ispit iz te struke kao "sporedne", smatran je sposobnim za poučavanje samo u četiri niža razreda gimnazije. Matematika se kao glavna struka mogla kombinirati s nacrtnom geometrijom kao glavnom strukom ili s fizikom kao glavnom strukom ili pak s filozofijom kao glavnom strukom uz fiziku kao sporednu struku. Fizika se, s druge strane, kao glavna struka mogla polagati jedino u kombinaciji s matematikom kao glavnom strukom. Matematika i fizika su se pak kao sporedne struke, zajedno ili zasebno, mogle kombinirati s prirodopisom[6] ili kemijom kao glavnim strukama.

Valja spomenuti da Marija Lukšić nije bila prva žena koja je u Hrvatskoj položila ispit za srednjoškolsko učiteljstvo iz prirodoslovno-matematičkih struka, no prije nje ni jedna žena u Hrvatskoj nije položila ispit iz fizike kao glavne struke, a samo je jedna položila ispit iz matematike kao glavne struke (Irena pl. Catinelli (Budimpešta, 1886. – Zagreb, 1941.), koja je u listopadu 1914. položila ispit za srednjoškolsko učiteljstvo iz matematike i filozofije kao glavnih struka te iz fizike kao sporedne struke [33]). Katarina Brozović, koja je studij matematike i fizike apsolvirala 1914., ispit za srednjoškolsko učiteljstvo iz matematike i fizike položila je tek u proljeće 1923. godine [34]. Marija

[6] Prirodopis je obuhvaćao botaniku, zoologiju, geologiju i mineralogiju.

Lukšić je, dakle, prva žena u Hrvatskoj kojoj je službeno bila priznata sposobnost predavanja fizike u svim razredima gimnazije.

Završimo poglavlje kratkim prikazom ispita Marije Lukšić iz matematike i fizike kao glavnih struka [17], [32]. Marija Lukšić uputila je molbu za pristupanje ispitu 25. srpnja 1916., tj. prije isteka osmog semestra studija, što je u skladu s Propisom bilo dopušteno. Kandidati su molbi trebali priložiti svjedodžbu zrelosti, indeks ili apsolutorij, svjedodžbu o položenom filozofsko-pedagoškom predispitu te životopis s popisom literature korištene tijekom studija. Marija Lukšić priložila je popis u kojem je navela oko sedamdeset knjiga, uz opasku da je izostavila djela iz povijesti i filozofije matematike. Od kandidata koji su se prijavili za ispit iz matematike kao glavne struke tražilo se da prilože svjedodžbu o radu u Matematičkom seminaru i svjedodžbu o uspješnim vježbama u geometrijskom crtanju, a od kandidata koji su se prijavili za ispit iz fizike kao glavne struke tražile su se svjedodžbe o radu u fizičkom i kemijskom praktikumu. Budući da se na ispitu iz matematike kao glavne struke tražilo poznavanje osnova nacrtne geometrije, a na ispitu iz fizike kao glavne struke poznavanje osnova kemije, astronomije i mineralogije, Marija Lukšić je tijekom studija kolokvirala deskriptivnu geometriju (s vrlo dobrim uspjehom) i kemiju (s dobrim uspjehom).

Ispit za kandidate srednjoškolskog učiteljstva uključivao je izradu domaćih radova te pismene i usmene ispite. Kandidati za profesore matematike i fizike trebali su napisati domaće radove o određenim temama iz matematike i fizike, za što su imali na raspolaganju ukupno pola godine (po tri mjeseca za svaki). Mariji Lukšić za domaći rad iz matematike zadana je tema *Nacrt teorije integralnih jednadžbi*, a iz fizike *Millikanova metoda određivanja najmanje množine elektriciteta*. Kandidati su osim pismenih i usmenih ispita iz svojih struka morali položiti pismeni i usmeni ispit iz hrvatskog jezika kao nastavnog jezika te usmeni ispit iz jednog svjetskog jezika, a tim su ispitima mogli pristupiti odmah nakon što su im zadane teme domaćih radova. Tako je Marija Lukšić ispitima iz hrvatskog i njemačkog jezika pristupila već u listopadu 1916. Tom je prilikom na dvosatnom pismenom ispitu iz hrvatskog jezika napisala rad *Nešto iz povijesti fizike* te je ispit iz nastavnog jezika položila s odličnim, a iz njemačkog jezika s dobrim uspjehom.[7] Potom je u propisanom roku predala domaće radove na ocjenu. Njezin je domaći rad iz matematike profesor Vladimir Varićak ocijenio ocjenom "odlično", a domaći rad iz fizike profesor Stanko Hondl ocjenom "dobro". Nakon što su im domaći radovi bili pozitivno ocjenjeni, kandidati su se mogli prijaviti za pismene i usmene ispite iz svojih struka, a bilo im je dopušteno te ispite razdijeliti na dva ispitna roka. Marija Lukšić iskoristila je tu mogućnost te je već u sljedećem ispitnom roku, u travnju 1917.,

[7]Na ispitima za kandidate srednjoškolskog učiteljstva bile su predviđene ocjene "odlično", "dobro", "dovoljno" i "nedovoljno" [32].

pristupila ispitima iz matematike. Za pismene ispite kandidatima su se zadavala dva zadatka, koje su bez korištenja literature (osim logaritamskih tablica) trebali riješiti u roku od najviše četiri sata. Marija Lukšić u tom je ispitnom roku pismeni ispit iz matematike položila s dobrim, a usmeni ispit s odličnim uspjehom. Konačno, u listopadu 1917. pristupila je ispitima iz fizike te je i pismeni i usmeni ispit položila s dobrim uspjehom. Na temelju toga joj je 16. listopada 1917. izdana diploma kojom joj se priznaje sposobnost da u svim razredima srednjih škola predaje matematiku i fiziku. Tako je Marija Lukšić postala prva žena u Hrvatskoj kojoj je službeno priznata sposobnost da predaje fiziku u cijeloj gimnaziji.

3. Rad u Zbirci matematičkih učila Mudroslovnog fakulteta

Marija Lukšić je za povijest prirodoslovlja i matematike u Hrvatskoj i za povijest visokog obrazovanja općenito zanimljiva po još jednom elementu profesionalne karijere. Naime, na redovitoj sjednici Profesorskog zbora Mudroslovnog fakulteta održanoj 10. srpnja 1915. profesor matematike Vladimir Varićak predložio je "da se slušačica Marija Lukšić, koja je ljetos apsolvirala 6. semestar, imenuje pristavom matematičke stolice, sa 1000 K godišnje nagrade". Obrazlažući prijedlog, profesor Varićak naglasio je da je Marija Lukšić "po semestrima najstariji slušač matematike, a po naucima najbolji" te je primijetio "da među muškim slušačima nema starijega iznad 2 naučne godine" [35]. Profesorski zbor Mudroslovnog fakulteta taj je prijedlog jednoglasno prihvatio te je dekan profesor Josip Florschütz dopisom od 14. srpnja 1915. obavijestio Zemaljsku vladu da Profesorski zbor Fakulteta preporučuje Mariju Lukšić za "pristava matematičke stolice sa 1000 Kruna godišnje naknade" [36]. Na to je Vlada odgovorila otpisom od 27. kolovoza 1915., kojim je Marija Lukšić imenovana asistenticom profesora Varićaka s godišnjom naknadom od 1000 Kruna [37] te je 1. listopada 1915. stupila u službu [38]. Tako se Marija Lukšić u Redu predavanja zagrebačkog sveučilišta navodi kao "asistenat" u Zbirci matematičkih učila Mudroslovnog fakulteta (predstojnik profesor Vladimir Varićak) tijekom akad. god. 1915./1916. i 1916./1917. [39 – 41]. Prije nje se kao pomoćnici profesora Varićaka u Zbirci navode Željko Marković (Požega, 1889. – Opatija, 1974.) kao pristav, od zimskog semestra akad. god. 1911./1912. do kraja 1912. godine [42], Stjepan Škreblin (Pregrada, 1888. – Zagreb, 1982.) kao pristav, od siječnja 1913. do studenog 1913. [43] i Jakob Marjančić (Imbriovec, 1891. – Zagreb, 1961.) kao pristav u ljetnom semestru akad. god. 1913./1914. [44] i kao

asistent u ljetnom semestru akad. god. 1914./1915. [45].[8] Očito je, dakle, Marija Lukšić bila prva žena koja je na Mudroslovnom fakultetu u Zagrebu radila kao asistent profesora matematike. Štoviše, među osobljem znanstvenih zavoda zagrebačkog sveučilišta u Redu predavanja prije jeseni 1915. ni jedna se žena ne navodi kao pristav, asistent, pomoćnik ili na službu dodijeljena osoba. Ni u drugim izvorima nismo naišli na trag koji bi upućivao na to da je prije jeseni 1915. neka žena radila u tom svojstvu pa na temelju toga možemo zaključiti da je Marija Lukšić bila prva asistentica uopće na zagrebačkom sveučilištu.[9]

Premda je Marija Lukšić po svemu sudeći bila prva asistentica na zagrebačkom sveučilištu, valja imati na umu da su sveučilišni asistenti u to vrijeme imali status drukčiji od današnjeg. Odredba o pomoćnom sveučilišnom osoblju u Zakonskom članku ob ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu od 1874. godine vrlo je štura. Kaže se tek: "Profesorom liečničkoga fakulteta za njekoje nauke i profesorom filosofičkoga fakulteta za matem : prirodoslovnu struku pridieljeni su pristavi. Oni nisu činovnici, nespadaju u učiteljsko osoblje, dobivaju samo nagradu. Pristavom može biti samo doktor, imenuje ga učiteljski sbor dotičnoga fakulteta na dvie godine, i to na predlog profesora, kojemu se daje u pomoć" [13]. Ta odredba nije bila promijenjena izmjenama i dopunama ovoga Zakona od 6. listopada 1894. [46], nego tek novelom od 12. rujna 1918. [47], prema kojoj odgovarajući paragraf glasi:

"Stolicama i zavodima fakulteta liječničkoga i mudroslovnoga za matematičko-prirodoslovne struke pridjeljuje se prema potrebi pomoćno naučno osoblje. To su pristavi, asistenti i pomoćnici. […] Pristave imenuje ban na prijedlog profesorskoga zbora dotičnoga fakulteta, koji stvara svoj prijedlog sporazumno sa onim profesorom, kojemu se pridjeljuje. Pristavi moraju osim općih uvjeta za namještenje u zemaljskoj službi imati i […] doktorat mudroslovlja ili srednjoškolski učiteljski ispit i barem šestgodišnju praksu u svojoj struci. Asistente imenuje profesorski zbor dotičnoga fakulteta na prijedlog onoga profesora ili predstojnika zavoda, kojemu se pridjeljuju, i to na vrijeme od dvije godine. Asistenti moraju imati jednako osposobljenje kao i pristavi tek ne trebaju iskazati, da su u svojoj struci praktički radili, […]. Pomoćnike imenuje profesorski zbor iz reda slušača dotičnoga fakulteta a na prijedlog profesora ili predstojnika zavoda, kojemu se pridjeljuju." Iako, dakle, u skladu sa zakonom iz 1874. na zagrebačkom sveučilištu nisu bila predviđena asistentska mjesta, krajem XIX. i početkom XX. stoljeća u znanstvenim zavodima Mudroslovnog fakulteta

[8] Jakob Marjančić bio je uvojačen te je Prvi svjetski rat proveo kao zastavnik i potom poručnik u 16. varaždinskoj pješačkoj pukovniji [61 – 63]. Studij matematike i nacrtne geometrije nastavio je i dovršio akad. god. 1918./19. [64].

[9] Podsjetimo se da u Hrvatskoj do pred sam kraj 1918. nije postojala visoka tehnička škola te da je Kr. sveučilište Franje Josipa I. u Zagrebu do 1917., kad je otvoren Medicinski fakultet, imalo tri fakulteta: Bogoslovni, Pravoslovni i državoslovni te Mudroslovni. Na Bogoslovnom fakultetu po naravi stvari nije bilo žena, a Pravni fakultet prve su studentice upisale tek ujesen 1918. godine.

redovito nalazimo “asistente” ili “pomoćnike”, u pravilu iz redova starijih studenata ili apsolvenata koji još nisu bili postavljeni za učitelje u nekoj od srednjih škola [48]. U tu se praksu uklapa Marija Lukšić, koja je kao asistentica počela raditi 1. listopada 1915., dakle na početku četvrte godine studija, te je na tom mjestu ostala do 19. studenog 1917. [4], kad je počela raditi u Kr. ženskoj realnoj gimnaziji u Zagrebu, i koja bi stoga u skladu s definicijama danim u noveli od 1918. godine spadala među “pomoćnike”.

4. Rad u gimnazijama

Privremeni ženski licej u Zagrebu preustrojen je ujesen 1913. u Kr. žensku realnu gimnaziju [49]. Četiri godine kasnije je, rješenjem od 3. studenog 1917., Marija Lukšić imenovana namjesnom srednjoškolskom učiteljicom u toj školi, u kojoj je pet godina ranije završila srednje obrazovanje, a nakon jedne godine službe je, rješenjem od 27. rujna 1918., imenovana pravom srednjoškolskom učiteljicom [4]. No neposredno prije njezina imenovanja pravom učiteljicom je naredbom Odjela za bogoštovlje i nastavu Zemaljske vlade od 26. rujna 1918. u Zagrebu osnovana druga ženska realna gimnazija, tad kao Privremena mala ženska realna gimnazija [50], te je Marija Lukšić rješenjem od 1. listopada 1918. po potrebi službe pridijeljena toj školi. Toj je gimnaziji tijekom sljedećih nekoliko godina više puta mijenjano ime: naredbom Povjereništva za prosvjetu i vjere Kr. hrv.-slav. zemaljske vlade od 23. kolovoza 1920. proglašena je stalnom i preimenovana u Kr. malu žensku realnu gimnaziju u Zagrebu [51]; naredbom Povjereništva za prosvjetu i vjere od 26. srpnja 1921. ime škole promijenjeno je u Kr. II. ženska realna gimnazija u Zagrebu [52],[10] a odlukom Ministarstva prosvjete od 20. ožujka 1925. u Državna druga ženska realna gimnazija u Zagrebu [51]. Marija Lukšić radila je 23 godine u II. ženskoj realnoj gimnaziji u Zagrebu. Dekretom od 4. veljače 1921. imenovana je profesoricom [4], a predavala je matematiku i fiziku te je bila čuvarica zbirke za fiziku. Odlukom od 25. kolovoza 1941. po potrebi službe premještena je u Državnu I. mušku realnu gimnaziju u Sarajevu, no tu očigledno nije stupila u službu jer je već odlukom od 13. rujna 1941. premještena u Državnu IV. mušku realnu gimnaziju u Zagrebu [4]. U IV. muškoj gimnaziji predavala je do 1950., a šk. god. 1948./1949. obnašala je dužnost ravnateljice škole [53]. Nažalost, nismo našli dokument o njezinu umirovljenju, ali vjerojatno je umirovljena 1950. godine. Preminula je 13. prosinca 1979. u Zagrebu [54].

[10] Tom se prilikom škola počela postupno proširivati do potpune gimnazije, a dotadašnja Kr. ženska realna gimnazija u Zagrebu – bivši Privremeni ženski licej – preimenovana je u Kr. I. žensku realnu gimnaziju.

Zaključak

Marija Lukšić prva je žena koju je neki profesor zagrebačkog sveučilišta odabrao za pomoćnicu. Kao asistentica profesora Vladimira Varićaka našla se u uglednom društvu osoba poput Željka Markovića, Stjepana Škreblina ili Milene Verone udane Varićak. No, koliko nam je poznato, nije, poput njih, objavljivala znanstvene radove ni udžbenike – našli smo tek tri njezina objavljena teksta: dva prikaza knjiga [55 – 56] i sjećanja na rad IV. gimnazije u ratnim godinama [57]. Vjerojatno je upravo stoga ostala nezapažena – ne nalazimo je, naime, u spomenicama, enciklopedijama, leksikonima, nego tek uzgred spomenutu u ponekom članku, primjerice [58 – 60]. Čak i danas, kad je STEM u modi a "žena iz STEM-a" posebno popularna tema, ishodište je te temeljite preobrazbe prirodoslovno-matematičke zajednice u tami i pogled nam ne dopire do žena s kojima je početkom XX. stoljeća ta preobrazba u Hrvatskoj počela. Stoga smo ovom prilikom pokušali jednu od njih približiti suvremenicima.

Izvori i literatura

[1] Dekanat Prirodoslovno-matematičkoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

[2] T. Hrenar (ur.), *Spomenica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta: 2006. – 2016.*, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.

[3] Procjena se temelji na *Popisu državnih gimnazija* objavljenom na mrežnim stranicama Ministarstva znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske (https://mzo.hr/sites/default/files/dokumenti/2017/OBRAZOVANJE/Srednje/Gimnazije/popis_drzavnih_gimnazija.pdf,preuzeto04. 02. 2019.) i podatcima objavljenim na mrežnim stranicama gimnazija. U *Popisu* je nabrojeno 65 gimnazija. Na mrežnim stranicama 46 gimnazija postoje popisi nastavnika sa strukama/predmetima.

[4] Hrvatski državni arhiv u Zagrebu, zbirka *Personalni spisi državnih službenika Zemaljske vlade, Pokrajinske uprave, oblasnih uprava, Savske banovine, Banovine Hrvatske i ministarstava Nezavisne Države Hrvatske* (HR-HDA-890), *Personalije prosvjetnih djelatnika*, osobni dosje Marije Lukšić.

[5] *Schematismus für das kaiserliche und königliche Heer und für die kaiserliche und königliche Kriegsmarine*, K. K. Hof- und Staatsdruckerei, Beč, za godine 1904. – 1914.

[6] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 231/1895. i br. 289/1895.

[7] T. Luetić, Prve studentice Mudroslovnog fakulteta kr. Sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu, *Povijesni prilozi*, sv. 22., Zagreb, 2002., str. 167-208.

[8] T. Luetić, Počeci visokoškolskog obrazovanja za žene u Hrvatskoj i usporedba sa stanjem u susjednim zemljama, *Historijski zbornik*, sv. 59., Zagreb, 2006., str. 61-68.

[9] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Imenici redovitih i izvanrednih slušatelja mudroslovnoga fakulteta*, 1895./96. – 1917./18.

[10] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 439/1898. i 509/1898.

[11] Državni arhiv u Zagrebu, fond *II. ženska građanska škola Draškovićeva ulica* (HR-DAZG-153), Personalna dokumentacija, Osobnici, Službenički list Marije Göszl.

[12] Hrvatski državni arhiv u Zagrebu, zbirka *Personalni spisi državnih službenika Zemaljske vlade, Pokrajinske uprave, oblasnih uprava, Savske banovine, Banovine Hrvatske i ministarstava Nezavisne Države Hrvatske* (HR-HDA-890), *Personalije prosvjetnih djelatnika*, osobni dosje Marije Göszl.

[13] Zakonski članak ob ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu od 5. siječnja 1874., *Sbornik zakonah i naredabah valjanih za kraljevine Hrvatsku i Slavoniju*, Zagreb, 1874., Komad III., str. 11-28.

[14] *Akademički propisi za porabu slušalaca u kr. hrv. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu*, III. izdanje, Zagreb, 1898.

[15] I. Ograjšek Gorenjak, *Opasne iluzije – Rodni stereotipi u međuratnoj Jugoslaviji*, Srednja Europa, Zagreb, 2014.

[16] D. Župan, *Mentalni korzet – Spolna politika obrazovanja žena u Banskoj Hrvatskoj (1868-1918)*, Bibliotheca Croatica: Slavonica, Sirmiensia et Baranyensia, knjiga 17., Učiteljski fakultet u Osijeku i Hrvatski institut za povijest – Podružnica za povijest Slavonije, Srijema i Baranje, Osijek, Slavonski Brod, 2013.

[17] Hrvatski državni arhiv u Zagrebu, fond *Filozofski fakultet u Zagrebu. Ispitna komisija za polaganje stručnih ispita za zvanje profesora srednjih škola (1877. – 1945.)* (HR-HDA-502), osobni dosje Marije Lukšić (1916.).

[18] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu od 9. rujna 1.901. br. 14.290., kojom se na osnovi previšnjega riješenja od 29. kolovoza 1.901. određuju uvjeti, pod kojima se ženskinje mogu kao redovne ili izvanredne slušačice upisati u mudroslovni fakultet kr. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb, 1901., str. 179-180.

[19] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 737/1908.

[20] Državni arhiv u Zagrebu, fond *Državna dvorazredna trgovačka škola u Zagrebu* (HR-DAZG-129), Personalna dokumentacija, Matica i sposobnik nastavnika.

[21] Privatna zbirka, Marko Škreb.

[22] *Izvješće Zemaljske više djevojačke škole u Zagrebu*, za školske godine 1904./05. – 1907./08.

[23] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 5. rujna 1892. br. 11.846., kojom se odredjuje ustrojenje privremenoga ženskoga liceja u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1892., str. 306.

[24] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 9. rujna 1892. br. 11.241., kojom se propisuje ustrojni štatut ženskoga liceja u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1892., str. 306-308.

[25] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 12. rujna 1892. br. 11.420., kojom se propisuje naučna osnova za ženski licej u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1892., str. 309-319.

[26] I. Ograjšek Gorenjak, Otvaranje ženskog liceja u Zagrebu, *Povijest u nastavi*, sv. 4., Zagreb, 2006., br. 8. (2.), str. 147-176.

[27] *Izvješće Privremenoga ženskog liceja u Zagrebu*, za školske godine 1908./09. – 1912./13.

[28] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu od 9. rujna 1.901. br. 14.070., kojom se na osnovi previšnjega riješenja od 29. kolovoza 1.901. izdaje odredba glede pristupa ženskinja k polaganju ispita zrelosti u gimnaziji ili realnoj gimnaziji, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1901., str. 178.

[29] *Izvješće Kr. I. realne gimnazije u Zagrebu*, za školsku godinu 1912./13.

[30] Pravilnik o preddiplomskim i diplomskim studijima na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu od 11. rujna 2019., https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/Pravilnik_o_preddiplomskim_i_diplomskim_studijima_na_Prirodoslovno-matematickom_fakultetu_Sveucilista_u_Zagrebu_%28procisceni_tekst%29.pdf, preuzeto 27. 11. 2019.

[31] Red strogih ispita u mudroslovnom fakultetu kr. sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1911., str. 320-323.

[32] Propis o ispitivanju kandidata srednjoškolskoga učiteljstva u Hrvatskoj i Slavoniji, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1913., str. 14-43.

[33] Hrvatski državni arhiv u Zagrebu, fond *Filozofski fakultet u Zagrebu. Ispitna komisija za polaganje stručnih ispita za zvanje profesora srednjih škola* (*1877. – 1945.)* (HR-HDA-502), osobni dosje Irene pl. Catinelli (1913.).

[34] Hrvatski državni arhiv u Zagrebu, fond *Filozofski fakultet u Zagrebu. Ispitna komisija za polaganje stručnih ispita za zvanje profesora srednjih škola (1877. – 1945.)* (HR-HDA-502), osobni dosje Katarine Brozović (1917.).

[35] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 421/1915.

[36] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 447/1915.

[37] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 517/1915.

[38] Arhiv Filozofskoga fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, fond *Spisi dekanata Mudroslovnoga fakulteta*, br. 561/1915.

[39] *Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u zimskom poljeću 1915./1916*., Zagreb, 1915.

[40] *Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u ljetnom poljeću 1915./1916*., Zagreb, 1916.

[41] *Akademičke oblasti, profesori, privatni docenti, učitelji, činovnici itd. u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u naučnoj godini 1916./17. (koncem siječnja 1917.)*, Zagreb, 1917.

[42] *Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u zimskom poljeću 1911./1912*., Zagreb, 1911; isto, *u ljetnom poljeću 1911./1912.*, Zagreb, 1912; isto, *u zimskom poljeću 1912./1913*., Zagreb, 1912.

[43] Državni arhiv u Zagrebu, fond *I. klasična gimnazija u Zagrebu* (HR-DAZG-102), Personalna dokumentacija, Matica i sposobnik nastavnika.

[44] *Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u ljetnom poljeću 1913./1914*., Zagreb, 1914.

[45] *Akademičke oblasti, osoblje i red predavanja u Kr. sveučilištu Franje Josipa I. u Zagrebu u ljetnom poljeću 1914./1915*., Zagreb, 1915.

[46] Zakon kojim se preinačuju, odnosno nadopunjuju njeke ustanove zakonskoga članka sabora kraljevina Hrvatske, Slavonije i Dalmacije od 5. siečnja 1874. ob ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu, *Sbornik zakonah i naredabah valjanih za kraljevine Hrvatsku i Slavoniju*, Zagreb, 1894., komad XVIII., str. 463-473.

[47] Zakon od 12. rujna 1918. o preinačenju zakonskog članka sabora kraljevina Hrvatske, Slavonije i Dalmacije od 5. siječnja 1874. o ustrojstvu sveučilišta Franje Josipa I. u Zagrebu i novele k tome zakonskom članku od 6. listopada 1894., *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1919., str. 73-80.

[48] T. Luetić, T. Vukelja, *Prirodoslovci i matematičari. Postanak domaće akademske prirodoslovno-matematičke zajednice u Hrvatskoj*, Srednja Europa, Zagreb, 2017., str. 229-258.

[49] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 26. studenoga 1.913. br. 24.101, kojom se na osnovi previšnjega rješenja od 22. kolovoza 1.913. kab. br. 2.016 određuje postepeno pretvaranje privremenoga ženskog liceja u Zagrebu u kr. realnu gimnaziju za žensku mladež, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu,* Zagreb, 1913., str. 405-407.

[50] Naredba kr. hrv.-slav.-dalm. zemaljske vlade, odjela za bogoštovlje i nastavu, od 26. rujna 1918. broj 28.259, kojom se određuje otvorenje male ženske realne gimnazije u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu*, Zagreb,1918., str. 298-299.

[51] *Izvješće Druge ženske realne gimnazije u Zagrebu*, za školsku godinu 1929./30.

[52] Naredba povjerenika za prosvjetu i vjere od 26. srpnja 1921. broj 28.709, kojom se određuju nazivi za ženske realne gimnazije u Zagrebu, *Službeni glasnik Kr. hrv. slav. dalm. zemaljske vlade, Odjela za bogoštovje i nastavu, Zagreb*,1921., str. 308.

[53] *Ljetopis IV. gimnazije u Zagrebu 2013./2014*., Zagreb, 2014.

[54] Gradska groblja Zagreb.

[55] M. Lukšić, Abhandlungen über die Reform des mathematischen Unterrichts in Ungarn in Auftrage der mathematischen Reformkommission des Landesvereines der Mittelschulprofessoren. Nach dem ungarischen Original unter Mitwirkung des Herrn M. Balog und J. Rados deutsch herausgegeben von E. Beke und S. Mikola, Leipzig und Berlin, 1911., *Nastavni vjesnik*, sv. 24., Zagreb, 1916., str. 372-387.

[56] M. Lukšić, H. Fehr: Compte rendu de la conférence internationale de l'enseignement mathématique, Paris, 1. – 4. avril 1914., *Nastavni vjesnik*, sv. 25., Zagreb, 1917., br. 8., str. 482-493.

[57] M. Lukšić, B. Perharić, *Matura* šk. god. *1943./44. u IV. muškoj realnoj gimnaziji*, Zagreb, 1999.

[58] I. Vuković, A. Valent, Ž. Hanjš, Prilog istraživanju bio-bibliografije Stjepana Škreblina, *Prirodoslovlje*, sv. 17., Zagreb, 2017., br. 1. – 2., str. 3-26.

[59] T. Šikić, A. Valent, I. Vuković, Prilog istraživanju nastavnog rada Vladimira Varićaka, u: S. Paušek-Baždar, K. Ilakovac (ur.), *Vladimir Varićak [1865. – 1942.] u hrvatskoj i svjetskoj znanosti*, Rasprave i građa za povijest znanosti, knjiga 18, HAZU, Zagreb, 2018., str. 171-197.

[60] M. Randić, Positronium – Hydrogen Like and Unlike, *Croatica Chemica Acta*, sv. 82., 2009., br. 4., str. 791-800.

[61] *Ranglisten des kaiserlich und königlichen Heeres 1916*, Wien, 1916.

[62] *Ranglisten des kaiserlich und königlichen Heeres 1917*, Wien, 1917.

[63] *Ranglisten des kaiserlich und königlichen Heeres 1918*, Wien, 1918.

[64] Državni arhiv u Bjelovaru, fond *Gimnazija Bjelovar* (HR-DABJ-109), Matica i sposobnik za učitelje kr. realne gimnazije u Bjelovaru, knjiga II.

Marija Lukšić, the First Female Assistant at the University of Zagreb

Tihomir Vukelja and Tihana Luetić

Abstract: In the article an account is given of the education and professional career of Marija Lukšić, the first woman in Croatia to pass the licensing examination for secondary school teachers of mathematics and physics (1917) and the first female assistant at the University of Zagreb (1915).

Keywords: scientific community, Marija Lukšić, University of Zagreb, women education

Nedjeljko Perić

Vladimir Muljević – život i djelo

Sažetak: Prof. dr. sc. Vladimir Muljević jedan je od velikana Sveučilišta u Zagrebu. Aktivno je djelovao u kontinuitetu više od 60 godina na Tehničkom fakultetu, Elektrotehničkom fakultetu i Fakultetu elektrotehnike i računarstva. Svojim je nastavnim, istraživačkim i organizacijskim radom utemeljivao teoriju i praksu automatike u Hrvatskoj početkom 1950-ih godina. Njegova nastavno-istraživačka djelatnost obuhvaća tri osnovne grupe: automatizacija (kibernetika, automatska regulacija i električno mjerenje neelektričnih veličina); stručna terminologija iz područja elektrotehnike, automatizacije i mjerenja; povijest tehnike, elektrotehnike i automata. Bio je osnivač i dugogodišnji predstojnik Zavoda za regulacionu i signalnu tehniku (danas Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo) na Tehničkom fakultetu (danas Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu). U svrhu promidžbe šireg područja automatike i njezinih primjena pokrenuo je 1956. godine osnivanje Jugoslavenskog seminara za regulaciju, mjerenje i automatizaciju − JUREMA (danas KoREMA). S istim ciljem pokrenuo je 1960. godine časopis *Automacija* (danas *Automatika*). Nezaobilazna je njegova uloga na području stručne leksikografije, kao priređivača ili autora nekoliko kapitalnih stručnih rječnika. Ukratko, prof. dr. sc. Vladimir Muljević bio je trajni *spiritus movens* mnogih zbivanja na matičnom fakultetu i Sveučilištu u Zagrebu, kao i u širem okruženju.

Ključne riječi: automatizacija, elektrotehnika, kibernetika, mjerenje, povijest tehnike, terminologija

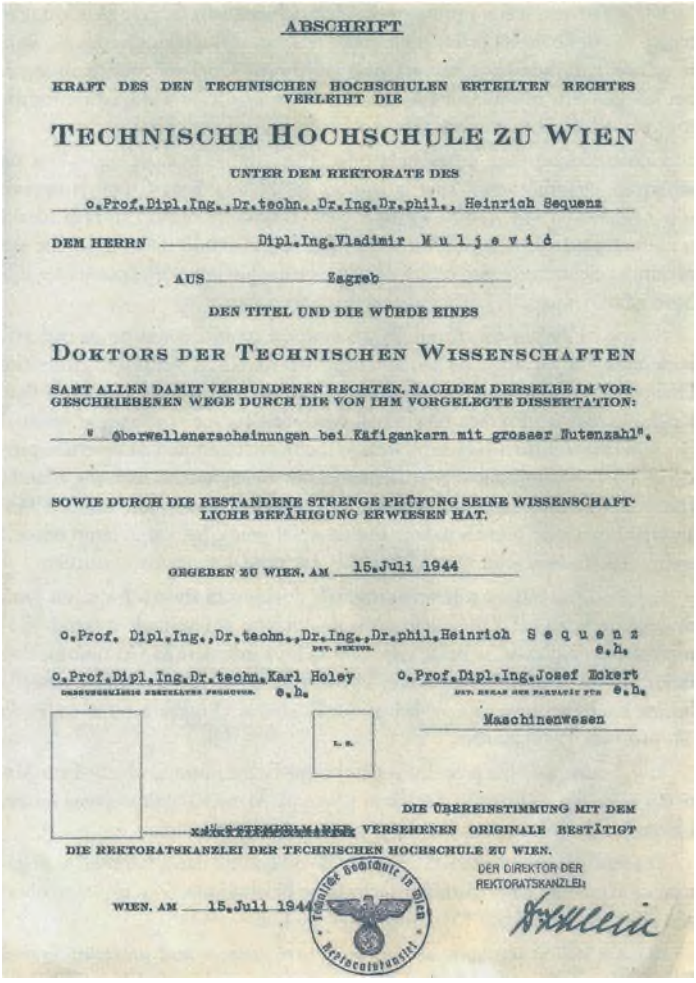
1. Životopis

Školovanje

Vladimir Muljević (14. veljače 1913. – 26. veljače 2007.), rođen je u Zagrebu, gdje je polazio osnovnu školu i realnu gimnaziju i 1932. položio ispit zrelosti. Iste godine upisao je Tehnički fakultet u Zagrebu, gdje je 1939. diplomirao na Elektrotehničkom odsjeku. Nakon apsolutorija na Tehničkom fakultetu, upisao je Filozofski (poslije Prirodoslovno-matematički) fakultet Sveučilišta u Zagrebu, na kojem je pohađao predavanja i završio sve vježbe, testirao osam semestara i polagao predmete iz kemijske i fizikalno-matematičke grupe te pedagogije. Na Tehničkoj visokoj školi u Beču studirao je dva semestra na Odjelu tehničke fizike.



Sl. 1.: Vladimir Muljević (14. veljače 1913. – 26. veljače 2007.)



ABSCHRIFT

KRAFT DES DEN TECHNISCHEN HOCHSCHULEN ERTEILTEN RECHTES VERLEIHT DIE

TECHNISCHE HOCHSCHULE ZU WIEN

UNTER DEM REKTORATE DES

o.Prof.Dipl.Ing.,Dr.techn.,Dr.Ing.Dr.phil., Heinrich Sequenz

DEM HERRN Dipl.Ing.Vladimir M u l j e v i ć

AUS Zagreb

DEN TITEL UND DIE WÜRDE EINES

DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

SAMT ALLEN DAMIT VERBUNDENEN RECHTEN, NACHDEM DERSELBE IM VORGESCHRIEBENEN WEGE DURCH DIE VON IHM VORGELEGTE DISSERTATION:

" Oberwellenerscheinungen bei Käfigankern mit grosser Nutenzahl".

SOWIE DURCH DIE BESTANDENE STRENGE PRÜFUNG SEINE WISSENSCHAFTLICHE BEFÄHIGUNG ERWIESEN HAT.

GEGEBEN ZU WIEN, AM 15.Juli 1944

o.Prof. Dipl.Ing.,Dr.techn.,Dr.Ing.,Dr.phil.Heinrich S e q u e n z
DEK. REKTOR. e.h.

o.Prof.Dipl.Ing.Dr.techn.Karl Holey e.h.
DEKANSTELLVERTRETENDER PRODEKTOR.

o.Prof.Dipl.Ing.Josef Eckert e.h.
DEK. DEKAN DER FAKULTÄT FÜR

Maschinenwesen

L.S.

DIE ÜBEREINSTIMMUNG MIT DEM ~~x.K.STEMPELMARKEN~~ VERSEHENEN ORIGINALE BESTÄTIGT

DIE REKTORATSKANZLEI DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZU WIEN.

WIEN, AM 15.Juli 194

DER DIREKTOR DER REKTORATSKANZLEI:

Sl. 2.: Potvrda o uspješno završenom doktorskom studiju u Beču

Vojni rok služio je 1940. u Jugoslavenskoj ratnoj mornarici. U veljači 1941. izabran je i postavljen za asistenta u Strojarskom laboratoriju Tehničkog fakulteta u Zagrebu. U tom laboratoriju, koji je tad vodio prof. Leopold Sorta, bavio se eksperimentalnim i teorijskim radom na području mjerne tehnike u strojarstvu. U tom je svojstvu sudjelovao u projektiranju i nadzoru gradnje laboratorijske zgrade novog Tehničkog fakulteta u Kačićevoj ulici.

U srpnju 1944. obranio je na Tehničkoj visokoj školi u Beču disertaciju pod naslovom *Oberwellenerscheinungen bei Käfigankern mit grosser Nutenzahl* (*Pojava nadvalova u krletkastim rotorima s velikim brojem utora*) i postigao, kao prvi Hrvat, akademski stupanj doktora tehničkih znanosti. Mentor mu je bio znameniti prof. Dr. techn., Dr. Ing., Dr. Phil. Heinrich Sequez.

Direkcija telefona i telegrafa u Zagrebu

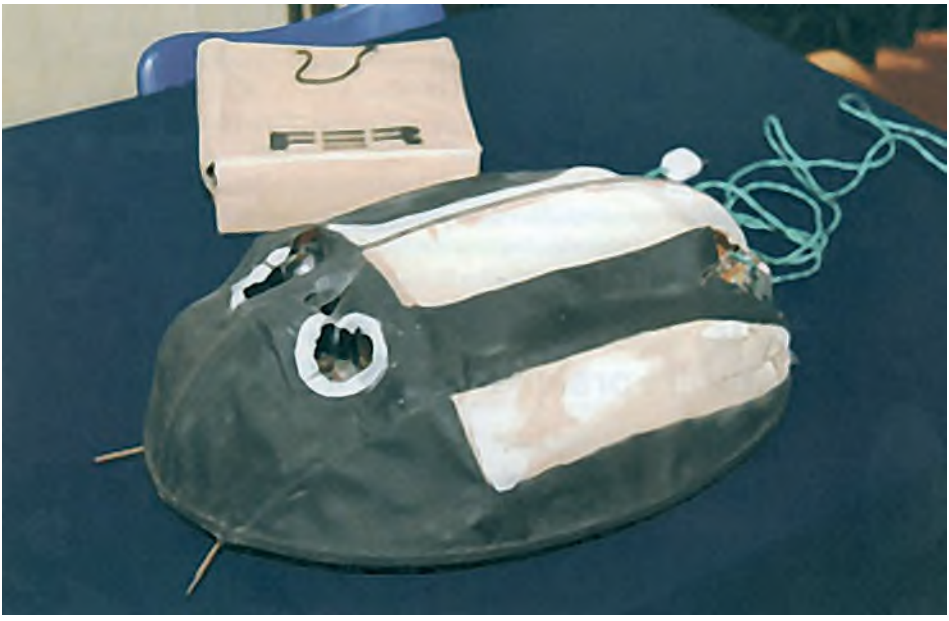
Nakon povratka iz Beča, krajem 1944. godine, prešao je s Tehničkog fakulteta u Zagrebu u Direkciju telegrafa i telefona u Zagrebu. Od prvih dana nakon Drugog svjetskog rata radio je kao glavni referent gradske mreže na uspostavljanju i organiziranju telefonske službe u NR Hrvatskoj, a posebno u gradu Zagrebu i okolici. Tad je izradio projekte za međumjesne tt trase (Zagreb − Velika Gorica, Zagreb − Dugo Selo, Zagreb − Samobor), za mjesne zračne i kabelske mreže (Samobor, Podsused, Velika Gorica, Dugo Selo), zatim za više dijelova gradske mreže u Zagrebu te projekt cjelokupne tt instalacije u zgradi Direkcije pošta u Jurišićevoj ulici. Od 1947. do lipnja 1949. bio je upravnik Gradskog telefona u Zagrebu i rukovodio cjelokupnim telefonskim prometom, tehničkom službom, projektiranjem i izvođenjem svih tehničkih radova na području telefonije u gradu Zagrebu. Prigodom proglašenja Gradskog telefona najboljim PTT kolektivom u zemlji dobiva nagradu Savezne vlade (1947. godine).

Osnivanje Zavoda za kontrolne i signalne uređaje na TF-u

U lipnju 1949. vratio se na Tehnički fakultet (TF) u Zagrebu, nakon što je bio izabran i postavljen za starijeg asistenta u Zavodu za osnove elektrotehnike i električna mjerenja, koji je tad vodio prof. dr. Josip Lončar. Kao asistent profesora Lončara intenzivno se bavio eksperimentalnim radom na području električkih mjerenja, visokovakuumske tehnike i mjerenja visokog vakuuma. Usto je vodio vježbe iz predmeta Osnove elektrotehnike, a pomagao je prof. Lončaru pri izdavanju udžbenika iz osnova elektrotehnike.

Godine 1952. čelnik Elektrotehničkog odsjeka Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prof. ing. Vladimir Žepić upućuje molbu dekanu Fakulteta da se Muljević, stariji asistent, premjesti iz Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja u Zavod za žično-dojavnu tehniku s obzirom na to da pokazuje velik interes za problematiku signalnih i sigurnosnih uređaja. Muljević je predavao kao honorarni nastavnik od akad. godine 1950./1951. predmet Signalni i sigurnosni uređaji. Tako je od 1952. izabran za nastavnika iz predmeta Električki signalni uređaji i upravljanje na daljinu u Zavodu za žično-dojavnu tehniku. Te je godine izabran, a 1953. postavljen za docenta za predmete Signalni i sigurnosni uređaji i Enciklopedija žično-dojavne tehnike.

Vladimir Muljević je osnovao 1954. godine Zavod za kontrolne i signalne uređaje [32], koji 1959. mijenja naziv u Zavod za regulacionu i signalnu tehniku (ZRST). Zavod pod tim imenom djeluje do 1995., kad mijenja naziv u Zavod za automatiku i procesno računarstvo, a 2006. u Zavod za automatiku i računalno



Sl. 3.: Prva mobilna platforma, BUBAMARA, izrađena na Zavodu za regulacionu i signalnu tehniku ranih 1960-ih godina

inženjerstvo. U vrijeme osnivanja ZRST je bio prvi takve vrste u ondašnjoj državi, a i jedan od rijetkih u Europi. Organizacija Zavoda, a također i organizacija nastave iz svih predmeta u Zavodu, provedena je bez ičije stručne pomoći u nastavnom i u znanstvenom pogledu. Muljević je tad, na temelju suradnje s domaćim i stranim tvornicama, dobio besplatno velik dio opreme za zavodski laboratorij i time omogućio izvođenje laboratorijskih vježbi i eksperimentalnih diplomskih radova u Zavodu.

Projekti iz područja signalne i sigurnosne tehnike

Godine 1954. boravio je jedan mjesec u Švicarskoj, Francuskoj, Engleskoj i Nizozemskoj, gdje se u više tvornica upoznaje s uređajima za signalnu, mjernu i regulacijsku tehniku. U tim je vremenima izradio niz projekata iz područja signalne i sigurnosne tehnike, koji su bili i realizirani, kao što su primjerice: Električka i signalna instalacija za kino-kazalište u Kutini, Instalacija slabe struje u velikom stambenom bloku u Križanićevoj ulici (projektant prof. arh. V. Turina), cjelokupna instalacija jake i slabe struje u novogradnji Centar za majku i dijete u Klaićevoj ulici (projektant prof. arh. V. Turina), cjelokupna instalacija slabe struje (telefoni, razglas, vatrodojava, kontrola čuvara, električki satovi i signalizacija) za tvornicu duhana u Sarajevu.

Muljević boravi 1955. tri tjedna u Švedskoj u tvornici L. M. Ericsson Signalbolaget u Stockholmu, te proučava signalnu tehniku i rad željezničkih signalno-sigurnosnih uređaja na švedskim državnim željeznicama.

Osnivanje Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu

Kao čelnik Elektrotehničkog odjela Tehničkog fakulteta (1955./1956.) bio je jedan od dvaju potpisnika prijedloga za pokretanje postupka diobe tog fakulteta, odnosno osnivanja Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Tad je pokrenuo i organizirao anketu o potrebi prostorija za pojedine zavode i provodio akciju za dobivanje novih prostorija. Od početne faze izrade idejnog i izvedbenog projekta za novu zgradu Elektrotehničkog fakulteta pa sve do njezina potpunog završetka, bio je jedan od triju stalnih članova Komisije za izgradnju te zgrade (Vladimir Muljević, Božidar Stefanini, Anton Dolenc). Zajedno s glavnim projektantom arhitektom Božidarom Tušekom, kao član spomenute Komisije obišao je 1959. godine i upoznao se s organizacijom nastave i prostornim rasporedom poznatih sveučilišnih centara odnosno tehničkih visokih škola u Zürichu, Eindhovenu, Delftu, Aachenu i Münchenu. Taj zajednički put projektanta i Vladimira Muljevića bio je iznimno važan za utvrđivanje definitivne koncepcije novogradnje Elektrotehničkog fakulteta. Svojim radom u Komisiji za novogradnju Muljević je pomogao ostvarenju i izgradnji zgrade C (neboder) za njezinu svrhovitu namjenu.

Osnivanje udruge JUREMA

Ujesen 1955., za vrijeme Zagrebačkog velesajma, Muljević je organizirao u velikoj predavaonici Tehničkog fakulteta u Zagrebu zajedno s British Councilom predavanja s demonstracijama o mjernoj i regulacijskoj opremi engleskih tvornica. Ta su predavanja bila jedan od važnih neposrednih poticaja da 1956. dođe do osnivanja Seminara za regulaciju, mjerenje i automatizaciju– JUREMA. Vladimir Muljević bio je jedan od pokretača i osnivača tog seminara, koji je bio među prvim seminarima takve vrste u ondašnjoj državi, a također i u Europi. Od samog početka rada udruge JUREMA rukovodio je svim predavanjima, a zatim i stručnim izložbama. Postavio je i oblikovao strukturu JUREMA-e s gledišta njezine namjene i koristi za naše tehničke kadrove i gospodarstvo. JUREMA je imala važnu ulogu u poticanju interdisciplinarne suradnje tehničkih i drugih fakulteta, kao i povezivanju akademske zajednice i gospodarstva. JUREMA je u svojem djelovanju duljem od 35 godina ostavila značajan trag u promidžbi automatizacije i njezinoj primjeni.

Rad JUREMA-e nastavljen je nakon raspada bivše države kroz udrugu KoREMA (Hrvatska udruga za komunikacije, računarstvo, elektroniku, mjerenja i automatiku), koja je osnovana u siječnju 1992. godine. Muljević je savjetodavno djelovao u KoREMA-i i posebno u njezinu časopisu *Automatika*.

Primjena elektroničkih računala

U nastojanju da upozna tehnologiju i mogućnosti primjene, tad još posve novih i u nas praktički nepoznatih digitalnih elektroničkih računala, Muljević ujesen 1957. boravi tri tjedna u Engleskoj, gdje sudjeluje na tečaju *Cours on digital computers*, koji je za ukupno četrnaest znanstvenih radnika iz sedam zemalja organizirao British Council. Taj se seminar održavao u Londonu, Cambridgeu i Manchesteru, a na njemu su predavali sveučilištni profesori, kao i projektanti iz tvornica koje su tad u Engleskoj razvijale i proizvodile računala. Tom je prigodom upoznao rad sveučilišnih instituta Mathematical Laboratory University of Cambridge i Electrical Engineering Laboratories University of Manchester, te proizvođače elektroničkih računala: Ferranti Ltd., Computer Centre London, English Electric Co., Research Laboratories Stafford, Leo Computers Ltd., Computer Centre London, Power-Samas Accounting Mashines Ltd., Whyteleafe, The British Tabulating Machine Co. Ltd, Computer Centre London, Elliott Brothers Ltd., Computer Centre Borehemwood, Metropolitan Vickers El. Co., Manchester ii, English Electric i Control and Electronic Factory Crewe.

Nastavljajući svoj interes za primjenu digitalnih računala, Muljević je krajem listopada 1963. boravio dva tjedna u Frankfurtu na seminaru za programiranje elektroničkog računala Elliott 803, koji je organizirala tvrtka NCR.

Kao neposredan rezultat tih aktivnosti osnovana je u Zavodu za regulacionu i signalnu tehniku grupa od četiri inženjera koji su kroz više godina proučavali i projektirali osnovne sklopove za digitalna računala i izgradili analogno elektroničko računalo s pripadnim uređajem za napajanje. To je bilo prvo elektroničko analogno računalo izrađeno u Zagrebu. Sve radove financiralo je Izvršno vijeće SRH i Republički fond za naučni rad.

Zalaganjem Vladimira Muljevića dobivena su sredstva za izgradnju velike demonstracijske makete relejskog staničnog željezničko-signalno-sigurnosnog uređaja u Zavodu, na čijoj je izgradnji sudjelovalo desetak diplomanata, stipendista Željezničkog transportnog poduzeća u Zagrebu, i time steklo vrlo dobro stručno i teorijsko znanje za svoj daljnji rad na tom specijalnom području signalno-sigurnosne tehnike.

Muljević je 1958. izabran za izvanrednog profesora za predmete Regulaciona i signalna tehnika, Signalna i telekomandna postrojenja i Automatska regulacija. Za redovitog profesora izabran je 1963. godine.

Nastava

Jedna od neposrednih akcija Vladimira Muljevića, koja je slijedila iz djelatnosti JUREMA-e, bilo je pokretanje i vođenje multidisciplinarnog sveučilišnog poslijediplomskog studija Tehnika i ekonomika automatizacije 1962. godine. U upisanih 12 generacija slušača magistriralo je više od 120 kandidata pa se opravdano može tvrditi da je taj poslijediplomski studij bio uspješan, a ideja i zalaganje njegovih provoditelja korisna za našu zajednicu i privredu. Na tom poslijediplomskom studiju bio je nositelj kolegija: Automatska regulacija, Mjerenje u industriji, Mehanografski strojevi, Automatizacija, Elementi automatizacije broda i Organizacija znanstveno-istraživačkog rada.

Tijekom nastavnog rada na Tehničkom, odnosno Elektrotehničkom fakultetu, osnovao je i predavao sljedeće predmete: Signalni uređaji i upravljanje na daljinu (1950./1951.), Signalno-sigurnosni uređaji (1951./1952.), Enciklopedija žično-dojavne tehnike (1951. − 1953.), Enciklopedija slabe struje (1953. − 1955.), Kontrolni i signalni uređaji i opskrba strujom (1952. − 1957.), Regulaciona i signalna tehnika (1957. − 1967.), Automatska regulacija (izborni predmet) (1957. −1967.), Signalna i telekomandna postrojenja (izborni predmet) (1957. − 1962.), Teorija automatske regulacije I.(1967. − 1979.), Teorija automatske regulacije II. (1965. − 1974.), Automatizacija (1968. −1971.), Automatska regulacija I. (1967. − 1973.), Mjerenje u industriji (izborni predmet) (1968. − 1983.), Elementi automatike (1979. − 1983.) i Elementi automatike i regulacije (Vojna akademija) (1979. − 1983.).

Od samog osnutka Zavoda za regulacionu i signalnu tehniku Muljević je bio na dužnosti predstojnika Zavoda punih 28 godina (do 1982.), u kojem se vremenu Zavod razvijao primjereno uvjetima i okolnostima.

U nastavi diplomske razine (drugog stupnja), uz predavanja na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, održavao je kao honorarni nastavnik i predavanja na Strojarsko– brodograđevnom fakultetu u Zagrebu, gdje je predavao kolegije Industrijska elektronika (1962. − 1965.), Osnovi automatizacije i regulacije (1965./1966.), Automatizacija (1966. − 1970.). Na Visokoj tehničkoj školi u Zagrebu predavao je kolegij Automatizacija (1961. − 1966.), a na Višoj tekstilnoj školi u Zagrebu kolegij Osnovi automatizacije (1962./1963.). Na Elektrotehničkom fakultetu u Banja Luci predavao je kolegij Sistemi automatske regulacije (1974./1975.).

Bio je gostujući profesor na Sveučilištu Rostock (Njemačka), na AinShams University Cairo (Egipat) i na Florida State University − Tallahassee, SAD.

U nastavi poslijediplomske razine (trećeg stupnja), osim predavanja na studiju Tehnika i ekonomika automatizacije, sudjelovao je na više poslijediplomskih studija: Elektronika i Električka mjerenja na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (kolegiji: Teorija servosistema i Električko mjerenje neelektričkih

veličina); Elektronika na Fakultetu elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje u Splitu (kolegij: Sinteza kontrolnih sistema); Bibliotekarstvo, dokumentacije i informacije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u Zagrebu (kolegij: Nekonvencionalne publikacije); poslijediplomski studij iz stomatologije u Zagrebu (kolegij: Tehnička sredstva za elektroničku obradu informacija); poslijediplomski studij na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu (kolegij Automatska regulacija); poslijediplomski studij iz socijalne psihijatrije na Stomatološkom fakultetu u Zagrebu (kolegij: Uvod u organizaciju znanstveno-istraživačkog rada); poslijediplomski studij Istraživanje i unapređivanje dizajna u Zagrebu (kolegij: Uvod u organizaciju istraživanja i prognoziranja tehnološkog razvoja).

Krajem studenog 1964. pa do početka veljače 1965. godine Vladimir Muljević je u organizaciji The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) iz Ženeve sudjelovao na studijskom putovanju u Austriji, SR Njemačkoj, Danskoj, Švedskoj, Nizozemskoj, Engleskoj, Francuskoj, Švicarskoj i Italiji, kad je u 37 gradova tih zemalja posjetio i razgledao 72 institucije za dokumentaristiku i bibliotekarstvo te proučavao primjenu suvremenih automatiziranih tehničkih postupaka i elektroničkih računala u tim strukama. Prikupljeni podaci i stečena iskustva bili su od velike i neposredne koristi za kolegij Nekonvencionalne publikacije, koji je niz godina predavao na poslijediplomskom studiju Bibliotekarstvo, dokumentacije i informacije.

Nakon umirovljenja 1983. godine prof. Muljević bio je i dalje iznimno aktivan. Radom ispunjen život do veljače 2007. i pozitivno usmjerena energija i dalje su krasile ovog hrvatskog svestranog velikana.

2. Dužnosti i funkcije

Tehnički / Elektrotehnički fakultet

Na Tehničkom / Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu Vladimir Muljević je tijekom svojeg neprekidnog dugogodišnjeg rada sudjelovao u gotovo svim njegovim aktivnostima [41].

Godine 1949. na Tehničkom fakultetu organizira i valorizira opsežnu asistentsku anketu, koja je potaknula i počela proces ispravnijeg sređivanja položaja asistenata, njihovih dužnosti i prava te mogućnosti daljnjeg razvoja u znanstvenom i nastavnom pogledu. Godine 1950., kao član Komisije za prostorije analizira tadašnje teško prostorno stanje na Fakultetu. Od 1953. vodi kroz deset godina poslove djelovođe diplomskih ispita na Odjelu slabe struje. Godine 1954. osniva Zavod za kontrolne i signalne uređaje, a 1955./1956., kao čelnik Elektrotehničkog odjela pokreće pitanje rješavanja prostora potrebnog za rad i uspješnije djelovanje. Od 1956. do 1958. član je Personalne komisije Savjeta

Fakulteta, a 1964. godine postaje ponovno član tog Savjeta. Godine 1957. postaje član Komisije za novogradnju Elektrotehničkog fakulteta, a 1958. je, kao i 1952., voditelj i organizator Komisije za prijam studenata odnosno kvalifikacijskog ispita. Od 1957. do 1960. član je Komisije za habilitacije. U akad. god. 1966./1967. i 1967./1968. bio je dekan, a sljedeće dvije godine prodekan Elektrotehničkog fakulteta. Povodom dobivanja zgrade na Savskoj cesti 16 postaje član Komisije za adaptaciju te zgrade (1959.) za potrebe Dekanata i nekih zavoda Fakulteta. Od 1966. do 1968. član je Komisije za pogon i održavanje nove zgrade Fakulteta. Član je Komisije za nastavne planove i programe (1957. − 1977.), Komisije za postdiplomski studij (1969. − 1974.), Komisije za doktorate (1966. − 1968.), te Komisije za specijalizaciju i međunarodne veze, čiji je i predsjednik (1966. − 1978.).

Pridonosio je unapređivanju rada Fakulteta i svojim radom u Komisiji za organizaciju Fakulteta (1966. − 1968.), Komisiji za institut i suradnju s privredom (1966. − 1968.), Komisiji za biblioteku i dokumentacije (1966. − 1970.), Komisiji za godišnji izvještaj, čiji je i predsjednik (1966. − 1968.).

Već 1956. pokrenuo je i uredio na Tehničkom fakultetu ediciju Nastavni programi, u kojoj su na 210 stranica bili otisnuti nastavni planovi i sadržaji svih predmeta osam odjela Fakulteta. Nastavak edicije bila je edicija Red predavanja, koja od 1971. nosi naziv Studij na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu. Pokrenuo ju je 1965. te uređivao sedam godina zajedno s Miroslavom Plohlom, mlađim, i kasnije s Ivom Šimičevićem. Kao dekan, prigodom nabave elektroničkog računala, osniva Komisiju za elektroničko računalo, čiji je član bio od 1968. do 1970. godine.

Interes za stručnu terminologiju pokazuje i sudjelovanjem u radu Komisije za terminologiju (1962. − 1970.) i Komisije za rječnike (1966. − 1970.). Bio je zatim član Komisije za nagrađivanje studenata (1967./1968.) te Odbora za Nagradu *Josip Lončar* od njezina ustanovljenja pa do 1974. godine.

Sveučilište u Zagrebu

Vladimir Muljević bio je na Sveučilištu u Zagrebu član 16 komisija ili radnih tijela. Prije svega, to je Sveučilišni savjet (1966. − 1968.), Kolegij Sveučilišta (1971./1972.), Odbor za narodnu obranu (1968./1969.) i Grupa za investicijsku izgradnju Sveučilišta (1968. − 1970.). Bio je zatim više godina član Odbora za proslavu 300. godišnjice Sveučilišta u Zagrebu te Komisije za program proslave 300. godišnjice Sveučilišta. Pitanjima znanstvenog rada bavio se kao član Komisije za organizaciju znanstvenog rada Sveučilišnog savjeta (1969. − 1973.). Na pitanjima međunarodne suradnje radio je niz godina (1969. − 1979.) kao član odnosno zamjenik predsjednika u Odboru za međunarodnu suradnju. Bio je potpredsjednik Odbora za praćenje nastave i koordinaciju rada

Interuniverzitetskog centra u Dubrovniku. Organizacijom poslijediplomske nastave bavio se u Vijeću voditelja poslijediplomskog studija Sveučilišta, kao predsjednik (1971./1972.), kasnije kao član (do 1980.), zatim kao voditelj poslijediplomskog studija Tehnika i ekonomika automatizacije. Na području informatike djelovao je u Referalnom centru Sveučilišta, kao v. d. direktora (1967. − 1969.) i član Savjeta tog centra, a zatim kao član Inicijativne zajednice za informatiku (1970./1971.), te kao član Elektorske komisije za Fakultet organizacije i informatike u Varaždinu (1974.).

Zajednica jugoslavenskih univerziteta

U okviru Zajednice jugoslavenskih univerziteta sa sjedištem u Beogradu Vladimir Muljević bio je član Organizacijskog odbora seminara Univerzitet danas u Dubrovniku (1969. − 1971.), zatim član Odbora za međunarodne veze (1970. − 1971.), član redakcije časopisa *Univerzitet danas* (1973. − 1976.). U Komisiji za koordinaciju znanstvenog rada bio je u dva navrata predsjednik (1971. −1974) i (1976. −1978.) te član (1974. − 1976.). Kao predsjednik te Komisije, među ostalim, organizirao je i predvodio grupu od 12 prorektora odnosno nastavnika više sveučilišta u Socijalističkoj Federativnoj Republici Jugoslaviji (SFRJ) na znanstvenom putovanju kroz SR Njemačku (dva tjedna 1973.), u svrhu upoznavanja sustava i organizacije tamošnjih znanstvenih institucija i sveučilišta.

Privredne organizacije i institucije

Muljević je surađivao s većim brojem privrednih organizacija i institucija na pitanjima automatizacije. U Saveznoj industrijskoj komori u Beogradu bio je od 1957. do 1960. godine član Komisije za automatizaciju. Komisija je dodjeljivala sredstva za istraživanja i izradu elaborata o uvođenju novih proizvoda i automatizacije te je i ocjenjivala izrađene elaborate i konstrukcije. U Savjetu za područje automatizacije Tvornice *Rade Končar* bio je (1961.) savjetnik, a u Stručnom savjetu Elektrotehničkog instituta Tvornice *Rade Končar* bio je (1962.) tehnički savjetnik. U Zavodu za kalorička mjerenja i regulacije Poduzeća *Braća Kavurić* u Zagrebu bio je (1963. − 1965.) suradnik na pitanjima konstrukcije i ispitivanja mjernih i regulacijskih uređaja. Dio tih pitanja rješavan je i kroz diplomske radove, koje je Muljević vodio u Zavodu za regulacionu i signalnu tehniku. U Institutu za elektroniku i automatizaciju Tvornice Radioindustrija − Zagreb bio je predsjednik Savjeta (1961. − 1963), odnosno njegov član. Sa Zagrebačkim velesajmom surađivao je od 1957. do 1966. na organiziranju stručnih izložaba JUREMA. U združenom poduzeću Hrvatska brodogradnja Jadranbrod u Zagrebu vodio je grupu za kompleksnu automatizaciju broda (1974. − 1975).

Gradska, republička i savezna tijela

Vladimir Muljević imao je više funkcija u gradskim, republičkim i saveznim tijelima. U Skupštini grada Zagreba bio je član Komisije za automatizaciju (1959./1960.), a od 1969. do 1974. bio je predstavnik Sveučilišta u Komisiji za međunarodnu suradnju. U Skupštini zajednice općina Gospić član je Odbora za gradnju te član Komisije za izradu projektnog zadatka Istraživačkog centra *Nikola Tesla* u Gospiću.

Izvršno vijeće Sabora SR Hrvatske imenovalo je Muljevića 1961. godine za člana Komisije za automatizaciju, elektroniku i primjenu izotopa. U Odboru Sabora za spomen obilježavanje ličnosti i djela Nikole Tesle, predsjednik je Komisije za Istraživački centar *Nikola Tesla* u Gospiću (od 1979.).

Pri Savjetu za naučni rad SR Hrvatske član je Komisije za elektrotehniku i elektroprivredu (1961.) u Odboru za matematičko-tehničke znanosti. Također je član Komisije za nagrađivanje, odnosno Nagrade *Nikola Tesla* u Odboru fonda za nagrađivanje naučnih radnika SR Hrvatske (1963.). Član je i Komisije za izdavačku djelatnost (1966. − 1969.). Savjet za naučni rad imenovao ga je za člana Projektnog savjeta Istraživanja na području automatizacije i proizvodnih procesa (1973. − 1977.).

Muljević je bio član Saveznog savjeta za koordinaciju naučnih istraživanja (1963. − 1965.), pri Saveznom izvršnom vijeću u Beogradu. Također je bio član Savjeta za elektromašinstvo (1964.), predsjednik Komisije za informacije i dokumentacije (1966. − 1968.), član Matičarske komisije za makroprojekt Izgradnja i usavršavanje sistema naučnih informacija u SFRJ (1968.), član Potkomisije za školovanje i specijalizaciju i stručno usavršavanje među zemljama u razvoju (1974. − 1976.) te član Komisije za razvoj i tehnologiju (1976. − 1979.).

Ostale dužnosti i funkcije

Od ostalih funkcija vrijedno je istaknuti da je Vladimir Muljević bio dopisni član Instituta za proučavanje i zaštitu uha i respiratornih organa te da je surađivao s Antom Šercerom i Brankom Kesićem na problemima kibernetike (od 1962. godine). Bio je stalni sudski vještak (od 1963.) Višeg privrednog suda NR Hrvatske za industriju metala i mašinogradnju.

Na popularizaciji znanosti radio je kao član savjeta Narodnog sveučilišta grada Zagreba (1963.), te kao član savjeta Tehničkog muzeja u Zagrebu (od 1970.).Na području izdavačke djelatnosti surađivao je kao član Izdavačko-publicističkog savjeta Zavoda za tehničku kulturu u Zagrebu (1963.), kao član izdavačkog savjeta Vijeća Narodne tehnike SR Hrvatske (1965.), kao član Izdavačkog savjeta časopisa *Automatika* (1969. − 2007.), kao član Izdavačkog

savjeta poduzeća Tehnička knjiga− Zagreb (od 1960.) te kao član savjeta Instituta za novinarstvo u Beogradu (1974.− 1976.). U Centru za numerička istraživanja Odjela za matematičke, fizičke i tehničke znanost JAZU (danas HAZU) bio je član Savjetodavnog vijeća (1960. − 1971.).

Bio je pokretač i organizator *Tehničke enciklopedije* Leksikografskog zavoda u Zagrebu i član prvog redakcijskog odbora te jedan od utemeljitelja Tehničkog muzeja u Zagrebu (danas Tehnički muzej *Nikola Tesla*). Jedan je od pokretača i prvi predsjednik Zajednice diplomiranih inženjera Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu *Alma Matris Alumni Croatiae ETF Zagreb* (AMAC).

3. Nastavni, znanstveni, stručni i popularizacijski rad

Nastavna, znanstvena i stručna djelatnost Vladimira Muljevića obuhvaća tri osnovne grupe. To su: 1) automatizacija (kibernetika, automatska regulacija i električno mjerenje neelektričnih veličina); 2) stručna terminologija iz područja elektrotehnike, automatizacije i mjerenja; 3) povijest tehnike, elektrotehnike i automatizacije.

Muljević se bavio eksperimentalnim radom na području električnih mjerenja neelektričnih veličina, tehnike i mjerenja visokih vakuuma. Za brojnih studijskih putovanja i boravaka u inozemstvu proučavao je sustave automatizacije, signalizacije i računalne tehnike i informatike. Objavio je oko 450 znanstvenih, stručnih i popularno-stručnih radova, više knjiga i kapitalnih tehničkih rječnika. Osim toga, sastavio je, objavio ili uredio nekoliko rječnika iz područja mjerenja, automatske regulacije i automatizacije. Uz mnogobrojne objavljene znanstvene radove i stručne članke napisao je i desetak udžbenika i sveučilišnih skripata [37, str. 36-43]. Znatno je svojim utjecajem pridonio razvitku Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu. Svoju osobnu, fakultetsku i zavodsku djelatnost vrlo uspješno je provodio kroz suradnju s mnogim inozemnim i domaćim tvrtkama i ustanovama, najčešće kao član uprave ili aktivni suradnik tih ustanova. Proveo je tako mnoge mjesece na stručnim boravcima u inozemstvu i u zemlji, pri čemu nije samo promatrač i posjetitelj nego redovito učitelj i savjetnik.

Rad na području automatizacije

Vladimir Muljević bio je pionir u publiciranju radova iz područja automatizacije 1950-tih i 1960-ih godina. Ulagao je velike napore u sustavno i pregledno prikazivanje pojmova, uloge, mogućnosti i svrhe automatizacije s posebnim osvrtom na odnos mehanizacije i automatizacije, na razine automatizacije, zatim na ulogu računala u automatizaciji te na ekonomske, socijalne i

psihološke aspekte automatizacije. Zanimala ga je i međusobna povezanost čovjeka i automatizacije, baveći se pitanjima: odnos čovjek − tehnika, udio čovjeka i stroja u tehnološkom procesu, utjecaj tehnike i automatizacije na čovjeka, automatizacija i odnos čovjeka u radnoj zajednici, kriteriji za automatizaciju, pitanja obrazovanja i automatizacije, problem slobodnih aktivnosti [1]. Piše i o automatizaciji i modernoj organizaciji rada. U krajnjoj liniji, organizirao je i poslijediplomski sveučilišni studij 1962. godine kako bi se automatizacija znanstveno istraživala i sustavno uvodila u gospodarstvo. U tim vremenima bavi se ulogom kibernetike u sintezi znanosti [8, 10], što podrazumijeva i ulogu matematike u kibernetici, teorijsku i primijenjenu kibernetiku, pitanja praktičke kibernetike te probleme samoorganizirajućih sustava u sklopu egzaktnih i humanističkih znanosti.

Muljević je bio začetnik i organizator Internacionalnog simpozija o kibernetici u suvremenoj znanosti i društvu, u okviru JUREMA-e, koji se kroz šest godina (1970. − 1976.) održavao u Zagrebu. Na tim su simpozijima sudjelovali kao predavači najistaknutiji znanstvenici iz mnogih zemalja. U svojim promišljanjima razmatra odnos kibernetike i etike, naglašavajući da je u suvremenom svijetu eksplozivnog tehnološkog razvoja i dominacije tehnike nad svim oblicima ljudskog života potrebno isticati ulogu etike [9, 22]. S tim u vezi razmatra se etika kao filozofska disciplina, nadalje, razmatraju se moguće negativne posljedice tehničkog napretka te konačno etika u istraživanju. U kontekstu automatizacije proučava i procesna računala i automate te naglašava značaj informatologije [15, 23, 25]. Razmatra aspekte informatizacije proizvodnih i radnih procesa u kontekstu treće industrijske revolucije [16] te o razvoju i značaju elektroničkih računala [3].

Časopis *Automacija / Automatika*

Nastojeći da o stanju, napretku i primjeni automatizacije budu kontinuirano informirani naši stručnjaci te da participiraju u njezinu razvoju, Muljević uz potporu nakladničkog poduzeća Tehnička knjiga iz Zagrebu pokreće 1960. godine izdavanje prvog našeg stručnog časopisa iz područja automatske regulacije, mjerenja i automacije – *Automacija*, čiji je bio i glavni urednik. Časopis je izlazio do 1962. godine, kad se, u skladu s tadašnjim tendencijama integracije, sjedinio s časopisom *Avtomatika* koji je tad izlazio u Ljubljani te s časopisom *Automatika i elektronika*, koji je izlazio u Beogradu [40].

Električko mjerenje neelektričkih veličina područje je koje je Muljević razvio i uveo u nastavu na ETF-u u Zagrebu. Cjelovito ga je prikazao u [6], gdje je sustavno, znanstveno i monografski predstavljeno područje električkog mjerenja, a obrađeni su mnogi principi aktivnih i pasivnih mjernih

pretvarača te postupci za mjerenje mehaničkih, kaloričkih, optičkih i kemijskih veličina.

Stručno nazivlje

Vladimir Muljević pridavao je veliku pažnju i brigu izradi hrvatske stručne terminologije, posebno i u svijetu novog područja automatizacije i automatske regulacije. Objavio je, počevši od 1960-ih, niz radova na temu stručne terminologije [41, 42]. Tako je imao stalnu rubriku u časopisu *Automatika* (1963. − 1966.) pod nazivom *Tehnička riječ*, u kojoj je obradio i predložio 500 novih stručnih izraza (na pet jezika) iz područja mjerenja, regulacije i automatizacije [40]. Mnogi od tih izraza ušli su u našu suvremenu stručnu terminologiju ili su poslužili kao osnova za stvaranje novih termina. Surađivao je i s Vladimirom Dabcem na izradi njemačko-hrvatsko-srpskog *Tehničkog rječnika* [7]. Često je u svojim terminološkim istraživanjima zalazio u dublju prošlost. Tako je u radovima Razvoj hrvatske terminologije iz nauke o elektricitetu [12, 14] prikazao dug razvojni put naše stručne terminologije, od Fausta Vrančića, preko Ivana Belostenca, Bogoslava Šuleka do Josipa Lončara i Vladimira Dabca.

Vrijedno je istaknuti i prijedlog *Englesko-hrvatsko-srpskog rječnika* iz područja elektroničkih računala. Izradio ga je sa suradnicima, a sadrži oko 16 000 riječi. Izrađen je kao rukopis za tvrtku IBM u Beču [5]. Bio je to pionirski rad jer u doba njegove izrade (1968./1969.) nisu u nas postojali gotovo nikakvi uzori za termine iz tog područja. Godine 1984. poduzeće Tehnička knjiga− Zagreb izdalo mu je *Rječnik Automatizacije*[17]. Zanimala ga je i stručna elektrotehnička terminologija u pomorstvu [11], gdje razmatra nastanak stručnih termina kroz prošlost, od Jakova Mikalje, Pavla Rittera Vitezovića, Ardelija Della Belle, Andrije Jambrešića i Gabrijela Patačića pa do Bogoslava Šuleka i nekih naših novih autora.

Kao kuriozitet, bavio se i tehničkom terminologijom u sjevernoj Hrvatskoj u XVIII. stoljeću [13], gdje je prikazao njezino stanje u to doba i na tom prostoru. Također je analizirao djelo *Nacsin laghly velikih lagyah, i uz vodu i niz vodu, putovanya*, koje je 1801. objavio Marko Antun Horvatović. Time je Muljević upozorio našu javnost na to gotovo nepoznato djelo o riječnim brodovima, pisano na hrvatskom jeziku.

Radovi o stručnoj terminologiji od 1960-ih do 1990-ih bili su podloga za kapitalna opsežna rječnička djela u izdanju poduzeća Školska knjiga – Zagreb [20, 31, 34]. To je *Njemačko-hrvatski elektrotehnički rječnik* (1235 str.), objavljen 1996.; *Hrvatsko-njemački elektrotehnički rječnik* (1127 str.); objavljen 2000., i *Englesko-hrvatski elektrotehnički rječnik* (956 str.), objavljen 2004. godine.



Sl. 4.: Lađe Marka Antuna Horvatovića



Sl. 5.: *Njemačko-hrvatski elektrotehnički rječnik*



Sl. 6.: *Hrvatsko-njemački elektrotehnički rječnik*



Sl. 7.: *Englesko-hrvatski elektrotehnički rječnik*

Povijest tehnike

Neprocjenjiv je doprinos Vladimira Muljevića osvjetljavanju povijesti tehnike, posebno elektrotehnike, te popularizaciji struke radovima nastalim od 1960-ih pa do kraja života. Istinita je tvrdnja da je svojim istraživačkim radovima spasio od zaborava mnoge hrvatske velikane i zaslužnike koji su djelovali u znanosti, kulturi i tehnici u zadnjih nekoliko stoljeća. Time je upućena poruka da ne smijemo zanemarivati nacionalne znanstveno-kulturne vrijednosti kao ni njihove protagoniste.

Radove o tome objavljivao je u zbornicima radova brojnih simpozija (najviše u zbornicima JUREMA-e i ETAN-a u pomorstvu), časopisima (posebno *Elektrotehnika*), izdanjima HAZU-a te u posebnim knjižicama koje je izdavala Hrvatska zajednica tehničke kulture ili Matica hrvatska. Tako je u časopisu *Elektrotehnika* inicirao rubriku Iz naše elektrotehničke prošlosti, u kojoj je



Sl. 8.: Korična stranica djela *Machinae novae*

objavljivao radove o znanstvenicima koji su u prošlosti pridonosili razvoju tehnike u nas, ali i u svijetu. Tu nalazimo radove o Martinu Sekuliću (profesoru Nikole Tesle, Viša realka u Rakovcu/Karlovcu), Miroslavu Plohlu st., Otonu Kučeri, Nikoli Tesli, Josipu F. Dominu, Faustu Vrančiću, Stanku Pliveliću, Ivanu Šahu, Ferdinandu Kovačeviću i Bogoslavu Šuleku. Posebnu pažnju posvetio je Muljević istraživanju rada našeg prvog konstruktora Fausta Vrančića, pa je o njegovu djelu *Machinae novae* pisao u časopisu *Arhitektura*. Preveo je i dio tog Vrančićeva djela na hrvatski jezik − *Tumačenje strojeva koje smo izumili.* Muljević je objavio i rad pod naslovom Tehnička terminologija u *Machinae novae* i *Dictionaru* Fausta Vrančića, u *Zborniku radova sa znanstvenog skupa 'Obitelj Vrančić u hrvatskoj književnosti i znanosti'* (Šibenik, 1995.), koji je 2001. objavila Gradska knjižnica *Juraj Šižgorić* u Šibeniku.

Svoja istraživanja o tehničkom razvoju u nas, odnosno, o pojedinim našim konstruktorima, tehničarima i inženjerima nastavlja u radovima objavljenim na simpozijima Hrvatskog prirodoslovnog društva: Požeški graditelji, konstruktori i inženjeri; Danilo Medaković i Martin Sekulić; Neznani i znani graditelji i inženjeri Like; Računi, diktati i članci napisani od Stjepana Dadića iz 1833. godine. Pisao je i o Ruđeru Boškoviću [4] i inspirirao se njegovim intelektom, kritičnošću, dalekovidnošću i intuicijom. O Ferdinandu Konšćaku, misionaru i istraživaču Kalifornije u XVIII. stoljeću, objavio je rad 1990. godine [18, 27].

Mala tehnička knjižnica HZTK

U nizu Mala tehnička knjižnica Hrvatske zajednice tehničke kulture (HZTK) Muljević je objavio šest knjiga (monografija) koje osvjetljavaju hrvatske velikane iz tehničke struke kako slijedi.

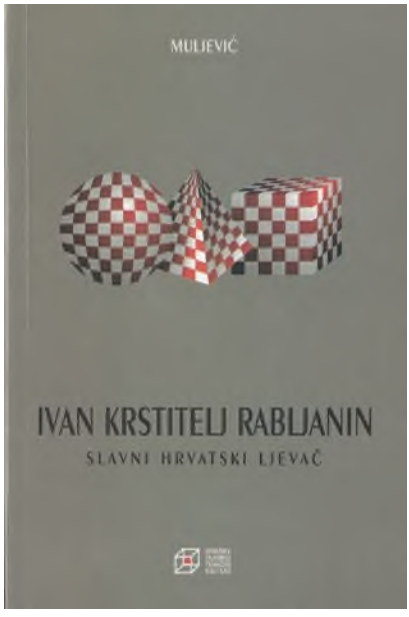
U knjizi *Elektrotehnika – Kronologija razvitka u Hrvatskoj* [29] ukratko je opisao razvitak elektrotehnike u Hrvatskoj, podijelivši sadržaj knjige na deset poglavlja, oslanjajući se u prvom redu na kronološke podatke i zbivanja te na podjelu elektrotehnike na njezine osnovne struke i područja.

U knjizi *Ivan Krstitelj Rabljanin – Slavni hrvatski ljevač* [28] opisao je slavnog hrvatskog ljevača topova i crkvenih zvona za potrebe Dubrovačke Republike u XVI. stoljeću. Ta knjiga pregledno prikazuje radove Ivana Krstitelja Rabljanina na području metalurgije, odnosno ljevačke tehnike te ističe njegove organizacijske i trgovačke sposobnosti.

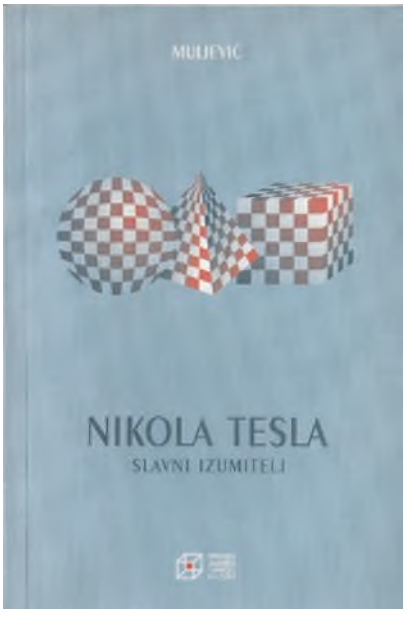
O Nikoli Tesli pisali su mnogi na različite načine i iz različitih kutova. U knjizi *Nikola Tesla – Slavni izumitelj* [30] prikazao je Teslin životni put i rad od Smiljana, preko Gospića, Karlovca, Graza, Praga, Budimpešte, Pariza do New Yorka, sve oplemenjeno epohalnim izumima bez kojih bi današnji svijet izgledao drukčije.



Sl. 9.: Korična stranica knjige *Elektrotehnika – Kronologija razvitka u Hrvatskoj*



Sl. 10.: Korična stranica knjige *Ivan Krstitelj Rabljanin – Slavni hrvatski ljevač*



Sl. 11.: Korična stranica knjige *Nikola Tesla – Slavni izumitelj*

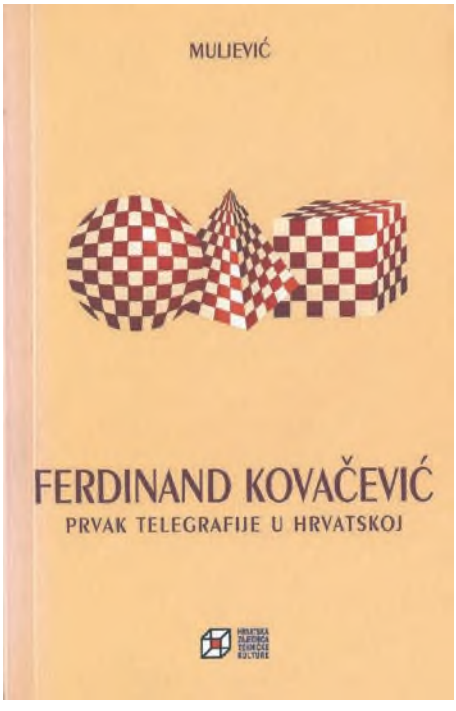


Sl. 12.: Korična stranica knjige *Josip Lončar – Velikan hrvatske elektrotehnike*

Kao prvi stalni asistent i dugogodišnji suradnik Josipa Lončara, Muljević je bio sudionik nastavnih procesa bazične elektrotehničke struke – osnova elektrotehnike i električkih mjerenja. Stoga knjiga *Josip Lončar – Velikan hrvatske elektrotehnike* [33] ima posebnu vrijednost izravnog svjedočenja te neizbježnih osobnih crta.

U knjizi *Ferdinand Kovačević – Prvak telegrafije u Hrvatskoj* [35], spominje da je Ferdinand Kovačević: "(…) prvi hrvatski stručnjak za telegrafiju te istaknuta ličnost na tom tada novom tehničkom polju u Europi, pa i u svijetu". Uz niz članaka o telegrafiji, Ferdinand Kovačević objavio je i četiri knjige, od toga tri na njemačkom, a jednu na hrvatskom jeziku. Knjige se bave teorijom, a i praktičnim pitanjima, tad nove elektrotehničke grane.

Muljević se bavio niz godina zanimljivim životom i inventivnošću Fausta Vrančića kao inženjera, znanstvenika i mislioca renesanse, posebno djelom *Machinae novae*. U knjizi *Faust Vrančić – Prvi hrvatski izumitelj* [39] analizira Vrančićeve konstrukcije strojeva s ljudskim i životinjskim pogonom, zatim pogonom na vjetar i vodu, u mnogo varijanata koje je Vrančić predložio i opisao. O svim tim konstrukcijama Muljević daje kritički osvrt.



Sl. 13.: Korična stranica knjige *Ferdinand Kovačević – Prvak telegrafije u Hrvatskoj*



Sl. 14.: Korična stranica knjige *Faust Vrančić – Prvi hrvatski izumitelj*

Hrvatska zajednica tehničke kulture objavila je 1998. i vrijednu monografiju pod naslovom *Telegrafija − kronologija razvitka u svijetu i u Hrvatskoj* [26], u kojoj je istražio kronologiju razvitka telegrafije od optičkog i elektromagnetskog iglenog telegrafa, preko prvih podmorskih kabela Engleska − Amerika, do prvih koaksijalnih kabela i svjetlosnih vlakana.

Popularni članci, predavanja, emisije i izložbe

Muljević je popularizirao i promicao znanost i struku na brojne načine: pisanjem popularnih članaka za mnoge časopise i skupove, mnogim predavanjima, radijskim i televizijskim emisijama, izložbama… Tako je 1973. u Tehničkom muzeju u Zagrebu (danas Tehnički muzej *Nikola Tesla*), razradio koncept i stručno osmislio izložbu *Automati kroz vijekove* te izložbu *Faust Vrančić.* Od 1951. do 2003. održao je više od 150 javnih popularnih i popularno-stručnih predavanja u Hrvatskoj i inozemstvu, pokrivajući vrlo širok spektar tema kao što su: Automatizacija – sreća ili propast čovječanstva, Što je automatizacija i što se od nje očekuje, Automatizacija i ekonomika, Automati kroz stoljeća, Roboti – strojevi koji misle, Elektronički računski strojevi i njihova primjena,



Sl. 15.: Predavanje Vladimira Muljevića na ETF-u Osijeku (2001.)



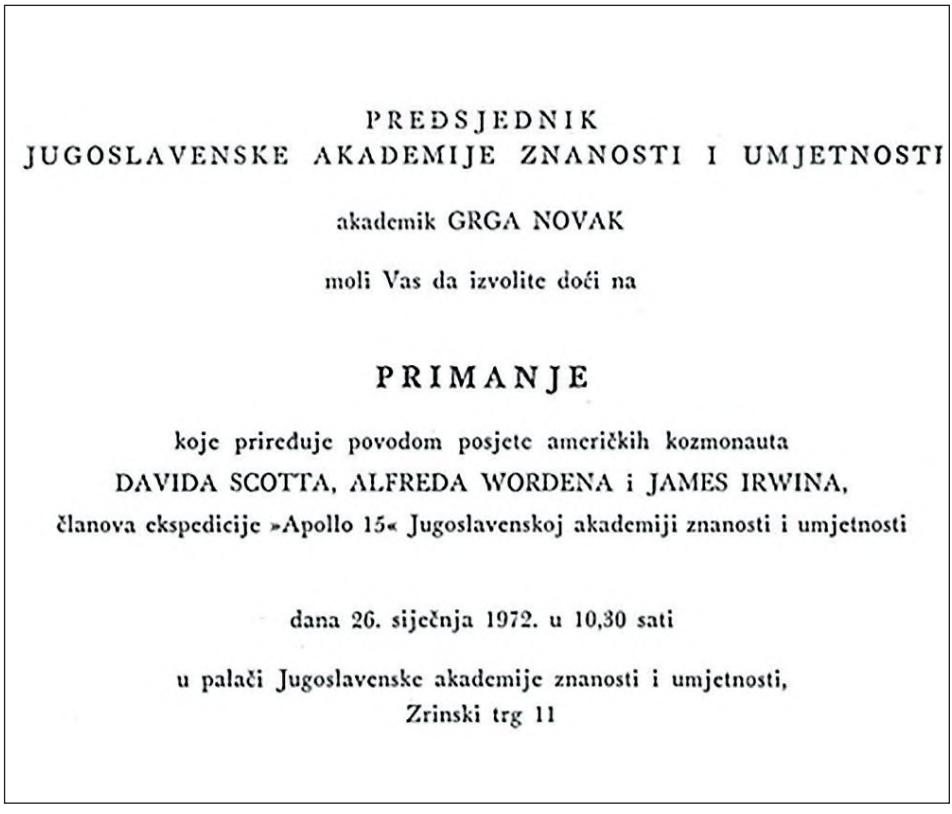
Sl. 16.: Vladimir Muljević s društvom nakon predavanja na ETF-u u Osijeku, Kutjevački podrum (2001.)



Sl. 17.: Vladimir Muljević drži predavanje u Tehničkom muzeju u Zagrebu na Festivalu znanosti (2003.)

Strojevi za prevođenje, Tehnika, automatizacija i kultura, Sličnost automatske regulacije u tehničkim i biološkim sustavima, Tehnika i biologija, Razgovori o bionici, Mjere i mjerenja u Dubrovačkoj Republici te Tehnologija i arhitektura islama, Turski mostovi, Arhitektura u Bosanskom pašaluku… Piše i o Franji Hanamanu, jednom od izumitelja volframove niti za žarulje [24]. Više popularno-stručnih radova Vladimira Muljevića može se naći u bazi CROSBI [43] za razdoblje 1996. − 2006. objavljenih u *Hrvatskom glasniku intelektualnog vlasništva*, *Hrvatskom patentnom glasniku* i *Encyclopaedia moderna.* Njegov je opus popularno-stručnih radova puno širi od tog popisa. Posebno je bio angažiran oko organizacije nastave i znanstvenog rada te organiziranja simpozija.

Manje je poznato da je Vladimir Muljević 1960-ih i 1970-ih pratio svemirska istraživanja i letove na Mjesec te sudjelovao u radijskim i televizijskim emisijama u kojima ih je komentirao. Tijekom 1970. susreo se s američkim astronautima, članovima ekspedicije Apollo 15.



PREDSJEDNIK
JUGOSLAVENSKE AKADEMIJE ZNANOSTI I UMJETNOSTI

akademik GRGA NOVAK

moli Vas da izvolite doći na

PRIMANJE

koje priređuje povodom posjete američkih kozmonauta
DAVIDA SCOTTA, ALFREDA WORDENA i JAMES IRWINA,
članova ekspedicije »Apollo 15« Jugoslavenskoj akademiji znanosti i umjetnosti

dana 26. siječnja 1972. u 10,30 sati

u palači Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti,
Zrinski trg 11

Sl. 18: Primanje u JAZU-u



Slika 19.: U društvu kolega i astronauta (slijeva nadesno): D. Scott, M. Karšulin, J. Irwin, A. Worden, J. Kotnik, V. Muljević, L. Randić, Kučert)

Stručna i znanstvena društva

Vladimir Muljević bio je član 14 domaćih i četiriju inozemnih stručnih društava iz područja svoje struke. Dubok je trag ostavio u JUREMA-i kao njezin osnivač i dugogodišnji predsjednik. Niz godina objavljivao je radove u zbornicima *Elektronika u pomorstvu – ELMAR*. Bio je vrlo aktivan i u Hrvatskom prirodoslovnom društvu, čiji je predsjednik bio 1975./1976. godine.

Nagrade i priznanja

Muljević je za svoj vrlo plodan i uspješan rad primio pedesetak priznanja i nagrada. Ukazom predsjednika Socijalističke Federativne Republike Jugoslavije Josipa Broza Tita odlikovan je 1965. godine Ordenom rada sa zlatnim vijencem "za zasluge stečene dugogodišnjim radom na polju nauke, kulture i prosvjete i za postignute uspjehe na uzdizanju stručnih i naučnih kadrova". Znanstveno-nastavno vijeće Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu dodijelilo mu je 1980. godine Zlatnu plaketu *Josip Lončar* za "dugogodišnji i predan i uspješan rad na podizanju ugleda Elektrotehničkog fakulteta u okviru



Sl. 20.: Vladimir Muljević drži predavanje na konferenciji ELMAR (1998.)



Sl. 21.: Vladimir Muljević na konferenciji ELMAR u odabranom društvu (1998.)



Sl. 22.: Vladimir Muljević na uručenju počasnog doktorata Sveučilišta u Rostocku (1985.)

HERRN PROF. EM. DR. TECHN. ING.

VLADIMIR MULJEVIĆ

DIE WÜRDE EINES

DOCTOR HONORIS CAUSA

DAMIT WERDEN SEINE VERDIENSTE AUF DEM GEBIET DER TECHNISCHEN KYBERNETIK UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK ALS EINEM DER JÜNGSTEN ZWEIGE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN GEWÜRDIGT.
ALS MITGLIED UND PRÄSIDENT VIELER WISSENSCHAFTLICHER VEREINIGUNGEN NAHM HERR PROF. MULJEVIĆ EINFLUSS AUF DIE ENTWICKLUNGSLINIEN SEINES FACHGEBIETES.
DURCH EINE VIELZAHL VON VERÖFFTENTLICHUNGEN UND EINE GEZIELTE FÖRDERUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN NACHWUCHSES ERWARB ER SICH NATIONALE UND INTERNATIONALE ANERKENNUNG.

UNIVERSITÄT ROSTOCK, 12. März 1985.

Sl. 23.:Tekst diplome počasnog doktorata Sveučilišta u Rostocku dodijeljene Vladimiru Muljeviću (1985.)

Sveučilišta u Zagrebu". Bio je član triju inozemnih stručnih društava. Bio je počasni član Hrvatske akademije tehničkih znanosti u Zagrebu. Sveučilište u Rostocku (*Wilhelm Pieck Universität Rostock)* dodijelilo mu je 1985. godine počasni doktorat (dr. h. c.).

Godine 1988. dobio je Republičku nagradu *Fran Tućan*, 1994. godine izabran je u visoko članstvo ugledne američke organizacije *The Institute of Electrical and Electronics Engineers − IEEE* (New York) i dobio titulu *Fellow*, a 1996. primio je Državnu nagradu tehničke kulture Faust Vrančić za životno djelo. Hrvatska zajednica tehničke kulture dodijelila mu je 1999. godine Nagradu za životno djelo.

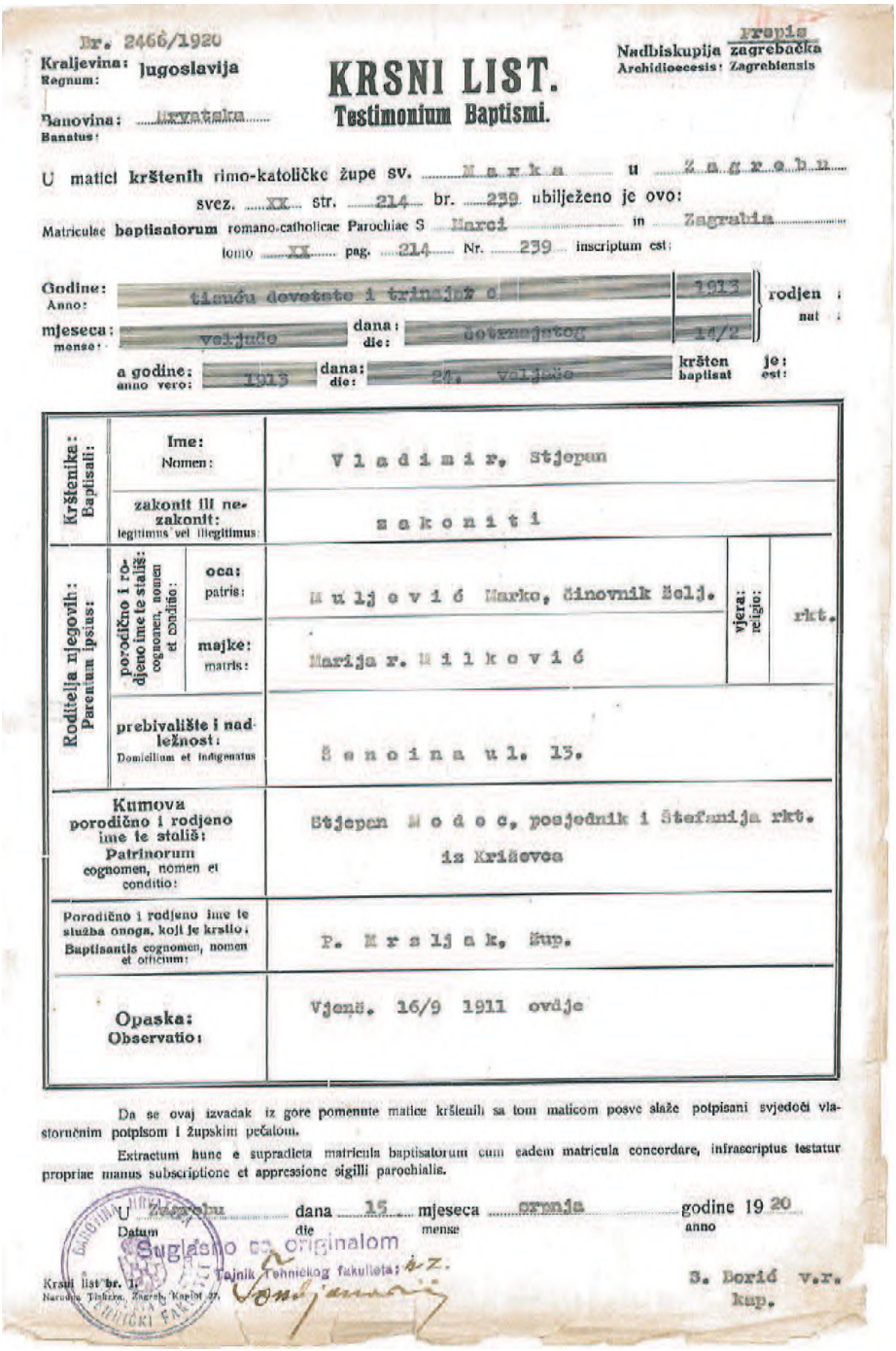
Proslava 85. rođendana

Na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu održana je 21. siječnja 1999. svečanost povodom 85. godina života i 55. godina znanstvenog rada sveučilišnog prof. emer. dr. sc. Vladimira Muljevića, prvog Hrvata koji je stekao doktorat elektrotehničkih znanosti. Kao djelomičnu materijalnu potvrdu svestranosti profesora Muljevića, sudionici svečanosti mogli su razgledati izložbu njegovih knjiga – od doktorske disertacije preko impozantnog *Njemačko-hrvatskog elektrotehničkog rječnika* do najnovijih izdanja Hrvatske zajednice tehničke kulture u kojima je taj erudit objavljivao rezultate dugotrajnih istraživanja o najznačajnijim hrvatskim tehničkim znanstvenicima i o razvitku tehnike u Hrvata.

4. Kazivanja Vladimira Muljevića

Obitelj

Iz privatnih zapisa Vladimira Muljevića saznajemo da mu je prapradjed bio Matija (Andrija) Muljević. Njegov pradjed Ivan Muljević (8. svibnja 1803. – 5. travnja 1875.) bio je učitelj u Požegi. Zanimljivo je da su brojni potomci Ivana Muljevića sami, odnosno ženidbama i udajama proširena uža rodbina, pripadali učiteljskom zvanju. O životu i radu Ivana Muljevića, Vladimir je napisao članak [21]. Vladimirov otac Marko (8. travnja 1887. − 13. listopada 1964.), rođen je u Požegi. Marko je nakon mature otišao u Peštu na usavršavanje na željeznici, a poslije toga bio je činovnik na željeznici. Vladimir je rođen u Zagrebu 14. veljače 1913. godine. Zanimljivo je da mu je drugo ime bilo Stjepan.



Br. 2466/1920

Kraljevina: Jugoslavija
Regnum:

Banovina: Hrvatska
Banatus:

KRSNI LIST.
Testimonium Baptismi.

Prepis

Nadbiskupija zagrebačka
Archidioecesis: Zagrebiensis

U matici krštenih rimo-katoličke župe sv. Marka u Zagrebu
svez. XX str. 214 br. 239 ubilježeno je ovo:
Matriculae baptisatorum romano-catholicae Parochiae S Marci in Zagrabia
tomo XX pag. 214 Nr. 239 inscriptum est:

Godine: Anno: tisuću devetsto i trinajste
rodjen: natus: 1913
mjeseca: mense: veljače dana: die: devetnajstog 19/2
a godine: anno vero: 1913 dana: die: 24. veljače krštен baptisat je: est:

Krštenika: Baptisati:	Ime: Nomen:	Vladimir, Stjepan			
	zakonit ili nezakonit: legitimus vel illegitimus:	zakoniti			
Roditelja njegovih: Parentum ipsius:	porodično i rodjeno ime te stališ: cognomen, nomen et conditio: otca: patris:	Muljević Marko, činovnik Selj.	vjera: religio:	rkt.	
	majke: matris:	Marija r. Milković			
	prebivalište i nadležnost: Domicilium et indigenatus	Senoina ul. 13.			
Kumova porodično i rodjeno ime te stališ: Patrinorum cognomen, nomen et conditio:		Stjepan Modec, posjednik i Stefanija rkt. iz Križevca			
Porodično i rodjeno ime te služba onoga, koji je krstio: Baptisantis cognomen, nomen et officium:		P. Krsljak, Kup.			
Opaska: Observatio:		Vjenč. 16/9 1911 ovdje			

Da se ovaj izvadak iz gore pomenute matice krštenih sa tom maticom posve slaže potpisani svjedoči vlastoručnim potpisom i župskim pečatom.

Extractum hunc e supradicta matricula baptisatorum cum eadem matricula concordare, infrascriptus testatur propriae manus subscriptione et appressione sigilli parochialis.

U Zagrebu dana 15 mjeseca ožujka godine 1920
Datum die mense anno

Sugledano sa originalom
Tajnik Tehničkog fakulteta: v.z.

Krsni list br. 1.
Narodna Tiskara, Zagreb, Kaptol 27.

S. Borić v.r.
kap.

Sl. 24.: Krsni list Vladimira Muljevića



Sl. 25.: Roditelji Marija i Marko sa sinom Vladimirom (u dobi oko jedne godine)



Sl. 26.: Majka Marija sa sinom Vladimirom u predškolskoj dobi

Pučka škola i gimnazija

Školovanje je počeo u pučkoj školi u Zagrebu 1920. godine. Prije toga otac Marko bio je željeznički činovnik u Srijemskim Karlovcima, gdje je Vladimir imao priliku vidjeti vlakove, lokomotive, brzojav… što mu se sve usjeklo u sjećanje. U pučkoj školi (vježbaonica u Medulićevoj ulici) imao je izvanrednog učitelja Dušana Židovca. Paralelno s nastavom u pučkoj školi pohađao je i nižu muzičku školu (klavir).

Nakon završene četverogodišnje pučke škole upisao je Prvu realnu gimnaziju, koja je bila smještena u zgradi gdje je danas Muzej Mimara. Desna strana zgrade, gledano frontalno, bila je namijenjena kabinetima (fizika, prirodoslovni i kemijski). Prema njegovim riječima imali su izvanredne profesore, primjerice profesora Lukšića, koji je bio jako dobar eksperimentator. Pokazivao im je cijeli niz eksperimenata, a jedan od njih bio je i s Teslinim visokofrekvencijskim strujama. Kad je profesor Lukšić rekao učenicima da je Tesla rođen u Smiljanu, dječarac Vladimir pitao je svoju baku, koja je rođena u Smiljanu, je li čula za Nikolu Teslu, a ona mu kaže: “Kako nisam čula, pa ja sam s Teslom išla u školu.” I to su moguće bile neke inspiracije koje su Vladimira Muljevića



Sl. 27.: Vladimir kao pučkoškolac

usmjerile na studij elektrotehnike. Opet prema kazivanju, 'Tesla' je nadimak, a obitelj Tesla prije se zvala Draganić.

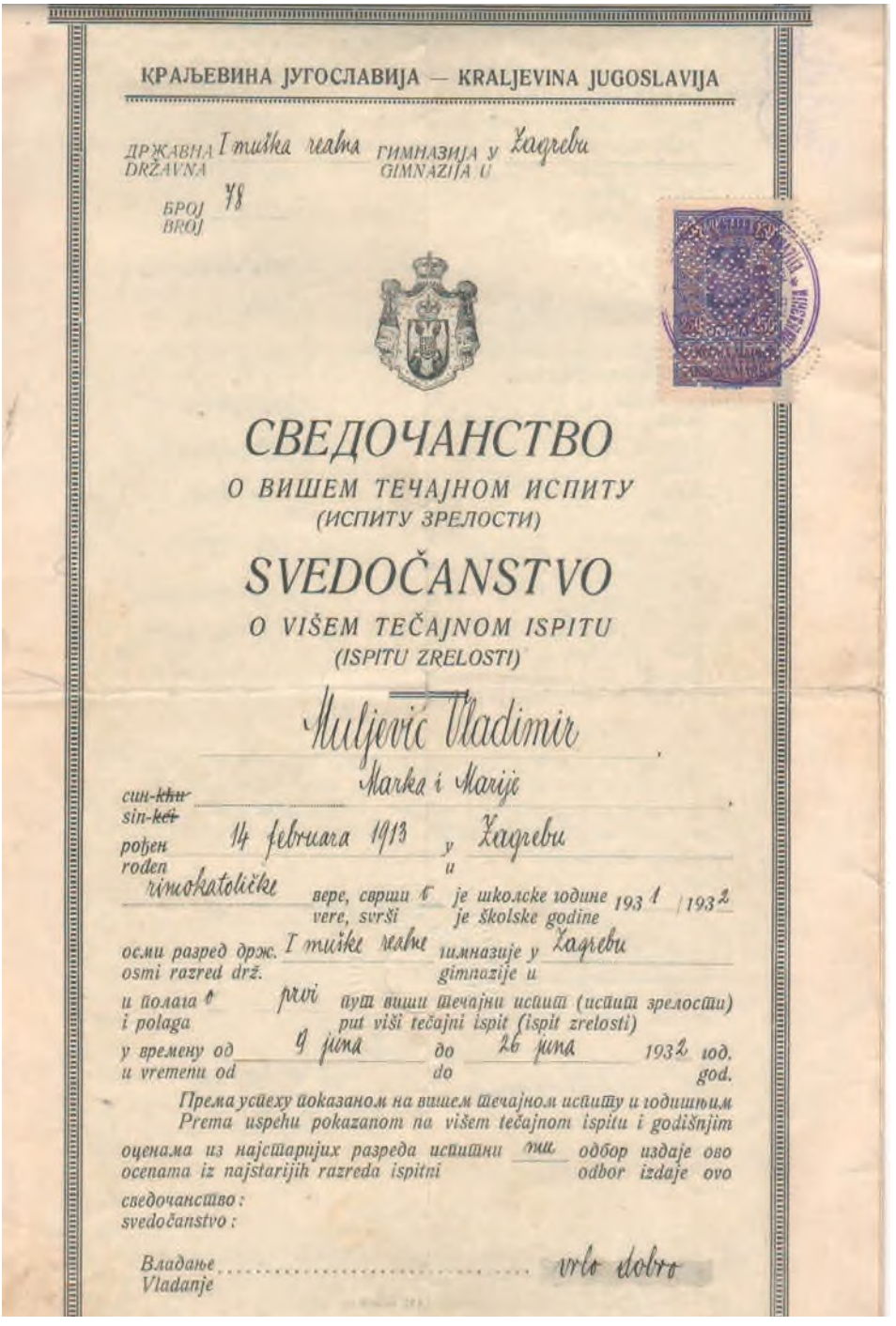
Zanimljivo je i Vladimirovo kazivanje o ondašnjem odgoju mladih:

> "Mi smo išli u plesne škole. U plesnoj školi su nas učili kako se moramo ponašati, koga moramo pozdraviti, a u te plesne škole dolazile su i mame tih djevojaka i pazile su kako se one ponašaju i kako se mi ponašamo."

Nakon završene (osmogodišnje) realne gimnazije upisao je 1932. godine Tehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Studij

U to su vrijeme studenti Tehničkog fakulteta imali tijekom studija šestomjesečnu praksu. Prvu je praksu imao 1932. godine u Ljevaonici željeza u Zagrebu, a drugu 1933. na brodu (u strojarnici), koji je plovio na Kanarske otoke i u sjevernu Afriku. Sljedeća praksa bila je u zagrebačkoj Munjari, potom na



КРАЉЕВИНА ЈУГОСЛАВИЈА — KRALJEVINA JUGOSLAVIJA

ДРЖАВНА / DRŽAVNA I muška realna ГИМНАЗИЈА у / GIMNAZIJA U Zagrebu

БРОЈ / BROJ 78

СВЕДОЧАНСТВО

О ВИШЕМ ТЕЧАЈНОМ ИСПИТУ
(ИСПИТУ ЗРЕЛОСТИ)

SVEDOČANSTVO

O VIŠEM TEČAJNOM ISPITU
(ISPITU ZRELOSTI)

Muljević Vladimir

син-~~кћи~~ / sin-~~ker~~ Marka i Marije

рођен / rođen 14 februara 1913 у / u Zagrebu

римокатоличке вере, свршио / vere, svršio је школске године / je školske godine 1931/32

осми разред држ. / osmi razred drž. I muške realne гимназије у / gimnazije u Zagrebu

и полаго / i polago први пут виши течајни испит (испит зрелости) / prvi put viši tečajni ispit (ispit zrelosti)

у времену од / u vremenu od 9 juna до / do 26 juna 1932 год. / god.

Према успеху показаном на вишем течајном испиту и годишњим / Prema uspehu pokazanom na višem tečajnom ispitu i godišnjim оценама из најстаријих разреда испитни ~~ми~~ одбор издаје ово / ocenama iz najstarijih razreda ispitni odbor izdaje ovo

сведочанство: / svedočanstvo:

Владање / Vladanje ..... vrlo dobro

Sl. 28.: Svjedodžba zrelosti (1932.)


Slika posjednika:

Vlastoručni potpis:
Vlado Muljević

SVEUČILIŠTE KRALJEVINE JUGOSLAVIJE U ZAGREBU
TEHNIČKI FAKULTET
Br. 14/32 Zag Matični broj 10.430

INDEKS
PREDAVANJA

Gosp. Vlado Muljević
Roden u Zagrebu 14 februara godine 1913.
Viši tečajni ispit položio u Zagrebu

UPISAN
U TEHNIČKOM FAKULTETU
SVEUČILIŠTA KRALJEVINE JUGOSLAVIJE U ZAGREBU
kao redovan slušač elektrojačko ina. otsjeka
dne 26 septembra 1932

dekan

VI. izdanje 1931.

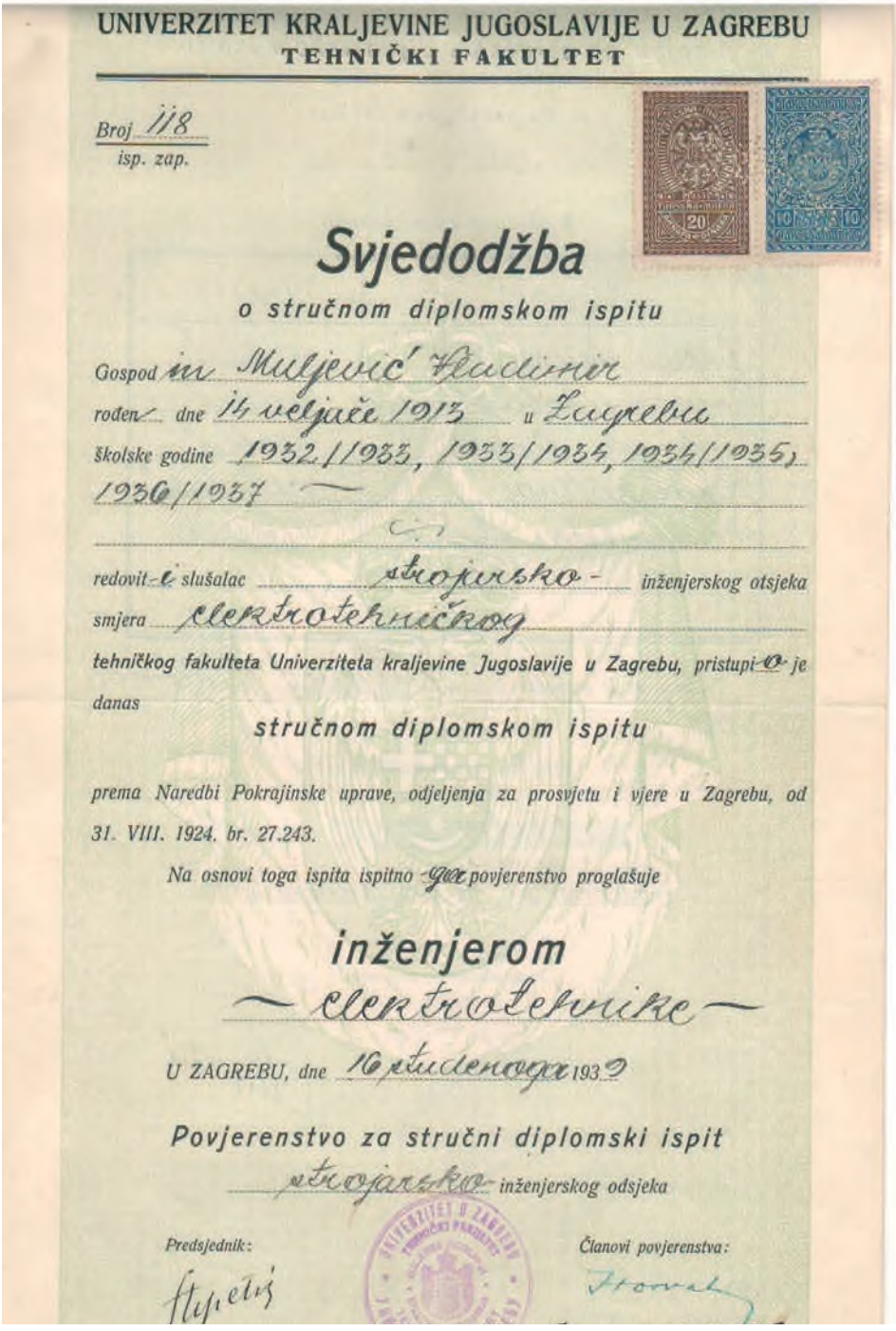
Sl. 29.: Prva stranica indeksa Vladimira Muljevića – Tehnički fakultet

Radiostanici Zagreb te u Siemensu u Zagrebu. Cijelo vrijeme studija na neki ga je način usmjeravao profesor Miroslav Plohl, stariji.

Muljević je apsolvirao 1937. godine i nakon toga upisao Filozofski fakultet, gdje je studirao fiziku te je apsolvirao nakon rata. Na Tehničkom fakultetu diplomirao je 1939. kod profesora Jure Horvata, s diplomskim radom pod naslovom *Transformatorska stanica*. Nakon toga bio je kraće vrijeme asistent profesora Frana Bošnjakovića.

Vojni rok

Godine 1940. odlazi na odsluženje vojnog roka, u mornaricu. Prva tri mjeseca odslužio je u Šibeniku (Mandalina) zajedno s Hrvojem Požarom s kojim je kasnije niz godina radio i prijateljevao. Preostali dio vojnog roka proveo je na brodu *Zmaj* te u Kumboru, Boka kotorska, gdje je položio i oficirski ispit.



UNIVERZITET KRALJEVINE JUGOSLAVIJE U ZAGREBU
TEHNIČKI FAKULTET

Broj 118
isp. zap.

Svjedodžba
o stručnom diplomskom ispitu

Gospod in. Muljević Vladimir
rođen dne 14 veljače 1913 u Zagrebu
školske godine 1932./1933., 1933./1934., 1934./1935., 1936./1937.
redovit slušalac strojarsko- inženjerskog otsjeka
smjera elektrotehničnog
tehničkog fakulteta Univerziteta kraljevine Jugoslavije u Zagrebu, pristupio je danas

stručnom diplomskom ispitu

prema Naredbi Pokrajinske uprave, odjeljenja za prosvjetu i vjere u Zagrebu, od 31. VIII. 1924. br. 27.243.

Na osnovi toga ispita ispitno povjerenstvo proglašuje

inženjerom
elektrotehnike

U ZAGREBU, dne 16 studenoga 1937

Povjerenstvo za stručni diplomski ispit
strojarsko- inženjerskog odsjeka

Predsjednik: Članovi povjerenstva:

Sl. 30.: Svjedodžba o stručnom diplomskom ispitu Vladimira Muljevića



Sl. 31.: Prva stranica indeksa Vladimira Muljevića – Filozofski fakultet

Doktorat

Nakon odsluženja vojnog roka zaposlio se 1941. na godinu i pol kao asistent profesora Leopolda Sorte u Strojarskom laboratoriju Tehničkog fakulteta. Znanstvena znatiželja odvela ga je u ožujku 1942., odmah nakon što se oženio Olgom (r. Vraniczany), na Visoku tehničku školu u Beč, gdje se istraživački bavio asinkronim motorima i gdje je 1944. godine doktorirao pod mentorstvom profesora Henricha Sequenza. Preduvjeti za upis na doktorat na Visokoj tehničkoj školi u Beču bili su položen ispit iz njemačkog jezika te položeno pet diferencijalnih ispita za priznavanje zagrebačke inženjerske diplome.

Prema riječima Vladimira Muljevića, profesor Sequenz bio je izvanredan čovjek, trostruki doktor – doktor tehnike, doktor filozofije i doktor inženjer.



Sl. 32.: Prvi dani Vladimira Muljevića u Beču (1942.)

Gradnja Elektrotehničkog fakulteta

Po povratku u Zagreb zaposlio se 1. prosinca 1944. godine u PTT-u Zagreb, uz preporuku inženjera Mladena Hegedušića. U PTT-u je ostao četiri godine, a na poziv legendarnog profesora Josipa Lončara vraća se 1949. na Tehnički fakultet.

U to doba bili su veliki prostorni problemi oko odvijanja nastavnih procesa na Tehničkom fakultetu. Nužno je bilo graditi novu zgradu. Kao što je spomenuto, u Komisiju za gradnju zgrade imenovani su prof. Vladimir Muljević, prof. Božidar Stefanini i prof. Anton Dolenc. Godine 1959. prof. Muljević i arhitekt Božidar Tušek (kasnije projektant zgrade ETF-a) odlaze na studijsko putovanje u Europu da "istraže kako izgledaju zgrade u kojima se održava nastava". Najprije je postojala ideja da se napravi golemi *auditorium maximum* za tisuću ljudi, čemu se Muljević protivio, a potom je i arhitekt Tušek shvatio da je takav prijedlog besmislen. Muljević kaže da je utrošio tri do četiri godine na izgradnju zgrade.

JUREMA

Uz ime Vladimira Muljevića vezano je osnivanje JUREMA-e (danas KoREMA). Od samih početaka rada JUREMA-e 1956. godine na njezine su skupove dolazili mnogi ugledni svjetski znanstvenici. To je nedvojbeno pridonosilo i kvaliteti nastave automatike koja se tih godina počinje sustavno profilirati. Preko JUREMA-e "nabavili smo cijeli niz aparatura koje su nam služile za eksperimentalne vježbe u laboratorijima". Sličan je pozitivni utjecaj imao i sveučilišni poslijediplomski studij Tehnika i ekonomika automatizacije.

Zanimljiva su bila Muljevićeva izlaganja o automatizaciji i digitalnim računalima. Treba imati u vidu da se početkom druge polovine prošlog stoljeća pojavljuje pojam automatizacije, nešto kasnije pojam informatizacije što su polazišta za treću industrijsku revoluciju (što se kao naziv pojavilo u zadnje vrijeme). Muljević kazuje:

> "Jedan od mojih prvih referata u inozemstvu bio je u Milanu (1956. godine), a odnosio se na automatizaciju. Drugi referat kojeg sam držao u Parizu, također 1956. godine, odnosio se na ulogu automatizacije u znanosti. Zatim je bio referat u Numuru u Belgiji, također o potrebi nastave o automatizaciji. Slične stvari sam govorio, dakako, i na Fakultetu strojarstva i brodogradnje i drugdje. U našoj Tehničkoj enciklopediji izašao je jedan članak o automatizaciji, kojeg smo zajedno napisali prof. Rikard Podhorsky i ja."

Vladimir Muljević o računalima navodi:

> "Ja sam se počeo baviti računalima 1957. godine kad sam dobio od British Councila jednomjesečnu stipendiju – kurs o digitalnim računalima u Engleskoj. Tada smo obišli gotovo cijelu Englesku. Naime, treba znati da su u to doba Englezi bili prvi u gradnji računala i glavni proizvođači računala. I tu sam, u to vrijeme, održao tri predavanja na BBC-u, o računalima, automatizaciji i nastavi na engleskim sveučilištima. … U izvjesnom smislu sam kao dekan 'nametnuo' nekim ljudima da se bave računalima (prof. Alfred Žepić, prof. Stanko Turk)."

Studentsko proljeće 1971.

Vladimir Muljević imao je istančan osjećaj prostora i vremena u kojem je živio. Tako je to bilo, ili posebno je to bilo, za vrijeme studentskog proljeća 1971. godine. U to vrijeme bio sam student ETF-a u Zagrebu i profesora



hrvatsko sveučilište

Izdaje Sveučilište u Zagrebu
Izdavački savjet
OSIJEK
Vladimir Leko,
RIJEKA
Josip Barić, Boris Prikril,
SPLIT
Milojko Čišić, Ivo Petrinović,
ZADAR
Dalibor Brozović, Stijepo Obad,
ZAGREB
Josip Andreis, Ivan Babić, Juraj Božićević, Slavko Cvetnić, Vladimir Devidé, Vladimir Filipović, Grgo Gamulin, Mirjana Gross, Jure Juras, Vladimir Muljević, Davor Rodin, Drago Rosandić, Anđelko Runjić, Miroslav Šicel, Bogdan Tomašić, Zoran Trputec i Miroslav Vaupotić

Glavni i odgovorni urednik
Vladimir Muljević
Uredništvo
Ivan Babić, Grgo Gamulin, Jure Juras, Davor Rodin
Urednik
Petar Požar
Grafički urednik
Mihajlo Arsovski
Lektor
Vesna Brabec
Tajnik uredništva
Miroslav Markušić
Suradnik
Martin Kaminski

TISAK
NIP »Vjesnik«, Zagreb, Lj. Gerovac 2

List izlazi svakog četvrtka u toku školske godine — Adresa redakcije: Zagreb, Trg maršala Tita 3, III kat — Telefon: 04137502 — Rukopisi se ne vraćaju — Poštarina plaćena u gotovu Cijena jednom primjerku 1 dinar — Godišnja pretplata 35 dinara — Za inozemstvo cijena pretplate je dvostruka — Uplata preko tekućeg računa broj 301-3-2387 s naznakom »za Hrvatsko sveučilište«

Sl. 33.: Sken impresuma *Hrvatskog sveučilišta*

Muljevića, i na određeni način sudionik ondašnjih događanja. Željeli smo promjene, željeli smo da se u Hrvatskoj počne stvarati vlastita vrijednost za njezin daljnji suvereni razvoj. Muljević je bio glavni i odgovorni urednik tjednika *Hrvatsko sveučilište*, koji je donosio razne priloge od interesa za akademski, gospodarski i politički život građana Hrvatske. I Muljević kaže:

> "Mene je tadašnji rektor prof. Ivan Supek u izvjesnom smislu zadužio da ja moram postati glavni urednik časopisa *Hrvatsko sveučilište*. Ja sam kroz godinu dana bio glavni urednik (izašlo je oko 34 broja). Na kraju, političkom represijom okončano je izlaženje tog časopisa."

Sjeme tad posijano ipak je niklo dvadesetak godina kasnije. U uvodniku prvog broja (18. ožujka 1971.) ističe se uloga tjednika *Hrvatsko sveučilište*:

> "Kao što je znanost univerzalna, kritična i radoznala, bez dogmi i predrasuda, uvijek otvorena prema novom, takav mora biti i sveučilišni list."

I dalje:

> "Pri izlasku na svjetlo dana ponajprije želimo novom listu da širi onu univerzalnost, znatiželju i rodoljublje koje je ta zajednica profesora i studenata pronosila kroz tri teška stoljeća za dobro svog naroda i cijelog svijeta."

Klub dekana

Muljević je imao plemenitu osobinu za povezivanje ljudi i druženja pa je na tom tragu nastao i Klub dekana FER-a. Klub dekana FER-a neformalna je udruga koju nominalno čine živući dekani Fakulteta elektrotehnike i računarstva, odnosno Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, kako se ta ustanova nazivala od osnutka 26. travnja 1956. do preimenovanja 12. srpnja 1994. godine. Osnovan je 'spontano' 1981. godine za vrijeme mandata dekana Berislava Jurkovića. Nema pisanih tragova o tome tko je bio inicijator osnivanja Kluba, ali velika zasluga za njegovu "održivost" pripada profesoru Muljeviću [38]. Tako navodi Vladimir Naglić:

> "Usuđujem se tvrditi da je sva sreća što smo uopće imali Vladimira Muljevića. Bojim se da bi bez njega tradicija sastajanja dekana našeg fakulteta, po mnogome jedinstvena na zagrebačkom Sveučilištu, već odavno



Sl. 34.: Prvi sastav Kluba dekana ETF-a (1981.)

pala u zaborav! Poznavao sam i cijenio njegov urođeni smisao za protokol, povijest i tradiciju, a posebno za formu, pa i 'izvanjski spektakl' kojim se, priznavali to ili ne, dodatno izražava dostojanstvo i važnost neke institucije. Zato me uopće ne bi začudilo da je sjeme ideje tog ležerno-ugostiteljskog sastajanja dekana možda i 'posijano iz njegove torbe'."

Za života je bilježio događanja vezana uz Klub dekana u svoju "zelenu" i plavu "knjigu". To odražava njegov širokogrudni karakter – graditelja i nadograditelja vrijednih odnosa među ljudima, poticatelja svega dobrog što okuplja i povezuje ljude.

Hobiji

Muljević je imao brojne hobije. Kao dijete (u nekim dokumentima iz mladosti nosi ime Vlado), bio je u Hrvatskom sokolu, bio je skaut, bavio se lakom atletikom u Društvu *Concordia*. Bavio se i klizanjem, skijanjem, plivanjem, planinarenjem, ronjenjem… Volio je more! Bio je ljubitelj glazbe i više od 55 godina pretplaćen na koncerte Zagrebačke filharmonije. Hobiji su mu bili filatelija, numizmatika te fotografiranje. Imao je vlastitu zbirku s oko 12 000



Sl. 35.: Vladimir Muljević u lučici Portoć na Lokrumu čeka brod

fotografija. Volio je putovati, posjećivati stare gradove i arheološka nalazišta. Posebno je volio Dubrovnik, njegov Stari grad u kojem je ljetovao niz godina. Omiljeno mu je mjesto za odmor bio otok Lokrum kod Dubrovnika.

Zanimljivo je da je imao velike simpatije prema Indijancima. Govorio je:

> "Kad sam bio u Americi, onda sam se i upoznao s nekim Indijancima. Pisao sam i tzv. Croatan Indijancima. Postoji, naime, jedna grupa Indijanaca koji se zovu Croatan Indijanci, a zašto se zovu Croatan Indijanci, to je veliko i sporno pitanje. Posjetio sam to područje gdje se oni nalaze."

Amaterski se bavio slikarstvom i kiparstvom. Često je izlagao na božićnim izložbama na ETF-u / FER-u zajedno s drugim amaterima umjetnicima Fakulteta. Ta ga je umjetnička nit vezala s mnogim poznatim likovnim umjetnicima s kojima je prijateljevao, kao što su Kosta Angeli Radovani, Miljenko Stančić, Cata Dujšin-Riba…

Skupljao je raznovrsne predmete: kamenje zanimljivih oblika, krhotine, figurice kornjača, stare i nove knjige.

Za sebe je govorio da nije jako pobožan, ali da je rimokatolik. Prema njegovu kazivanju, vrlo dobro je poznavao kardinale Franju Šepera i Franju Kuharića. Sprijateljio se sa šibenskim biskupom Srećkom Badurinom kad je pisao o Faustu Vrančiću. U dobrim je odnosima bio i s franjevcima u Požegi, kojima je poklonio svoju biblioteku od četiri-pet tisuća knjiga. Volio je Požegu – rodni grad svojeg oca Marka. Redovito je posjećivao, pisao i predavao o njezinoj prošlosti. U znak zahvalnosti i poštovanja, Vladimir Muljević je 2002. godine proglašen počasnim građaninom Požege.

Supruga i djeca

Vladimir Muljević oženio se Olgom Vranyzcany 28. ožujka 1942. godine. Imali su dvoje djece: Marijanu – akademsku slikaricu, i Renatu (nosi majčino djevojačko prezime Vranyczany) – kiparicu, udanu za Mirka Azinovića. Muljevićevi unuci su: Emil Azinović – diplomirani ekonomist, i Eva Azinović-Andrić – akademska slikarica.

Lončarov savjet

I za kraj ovih kazivanja. Muljević je iznimno cijenio profesora Josipa Lončara – doajena elektrotehnike u Hrvata. Valja zabilježiti jedan savjet koji je profesor Lončar svojedobno dao svojem asistentu:

> "Vlado, treba zavoljeti posao koji radiš. Ako ne voliš posao koji radiš, onda nemoj radije raditi."

A Vlado je volio posao koji je radio i nadahnjivao je svojim entuzijazmom i energijom sve one koji su bili u njegovu okruženju. I tako do zadnjeg dana života.

Proslava 94. rođendana

Zavod za automatiku i računalno inženjerstvo FER-a organizirao je 14. veljače 2007. proslavu povodom 94. rođendana profesora Vladimira Muljevića. Profesor je održao govor, a njegovi su govori uvijek bili zanimljivi. Tad je kroz humor "najavio" da više neće govoriti na svojim rođendanima. Umro je u rano jutro 26. veljače 2007. Bio je ponedjeljak. A u petak 23. veljače bio je na radnom mjestu na Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo FER-a. Razgovarali smo o jednom planu za ponedjeljak. Sudbina je htjela drukčije.



Sl. 36.: Druženje za 90. rođendan Vladimira Muljevića u Zajednici tehničke kulture Hrvatske



Sl. 37.: Druženje za 90. rođendan Vladimira Muljevića u Zavodu za automatiku i računalno inženjerstvo FER-a

Zaključno

Ovim sam radom želio osvijetliti barem dio duhovno bogatog života i ostvarenih prinosa razvoju visokog školstva i znanstveno-stručne djelatnosti prof. dr. Vladimira Muljevića. Rad je kronološki usmjeren, s mnoštvom podataka o djelovanju profesora Muljevića tijekom njegova dugog i sadržajnog života. Moguće je da su učinjeni pritom određeni propusti, pogreške i previdi, ali nadam se da mi se to neće uzeti za zlo, vjerujući da će ovaj rad motivirati povjesničare tehnike za daljnja istraživanja.



Sl. 38.: Djelatnici Zavoda za automatiku i računalno inženjerstvo s profesorom (Spomenica, str. 100)

Prof. dr. sc. Vladimir Muljević imao je pionirsku ulogu u strukturiranju automatike i automatizacije u Hrvatskoj u znanstveno-stručnom i obrazovnom smislu, kao i u primjeni automatizacije u proizvodnim i radnim procesima. Svoju je društvenu aktivnost usmjeravao na razne načine u krčenje putova primjene znanosti za boljitak društva. U poznijim godinama bio je iznimno plodan u istraživanju povijesti tehnike te je tako otrgnuo od zaborava mnoge hrvatske velikane. Bio je nadaren za leksikografski rad te je uz uloženu golemu energiju priredio kapitalna rječnička djela.

Prof. dr. sc. Vladimir Muljević bio je radom ispunjen doslovno do zadnjeg dana života, šireći pozitivnu energiju i entuzijazam na sve koji su imali privilegiju raditi s njim i koji su se obogaćivali rezultatima njegova rada.

Zahvala

Zahvaljujem kćeri Vladimira Muljevića, gospođi Marijani Muljević, akademskoj slikarici, na toplim razgovorima i stavljanju na raspolaganje obiteljske dokumentacije. Također zahvaljujem prof. dr. sc. Vladimiru Nagliću, dugogodišnjem tajniku Udruge dekana FER-a, dobrom poznavatelju života i rada Vladimira Muljevića.

Literatura

[1] V. Muljević: Kadrovi za automatizaciju i njihova izobrazba, *Zbornik referata Savjetovanja savezne industrijske komore 'Automatizacija u industriji'*, Beograd, 1958., str. 259-279.

[2] V. Muljević, R. Podhorsky: Automatizacija, *Tehnička enciklopedija*, I svezak, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1963., str. 491-494.

[3] V. Muljević: *Razvoj i značenje elektroničkih računala*, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1968.

[4] V. Muljević: *Ruđer Bošković* (*1711. – 1787.*), rukopis, 1968., 4 str.

[5] V. Muljević, B. Stefanini, S. Turk, V. Žepić: *Englesko-hrvatsko-srpski rječnik iz područja elektroničkih računala*, oko 16.000 riječi, rukopis za tvrtku IBM – Wien, 1968./69.

[6] V. Muljević: Električna mjerenja neelektričnih veličina, *Tehnička enciklopedija*, svezak III., Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb, 1969., str. 638-670.

[7] V. Dabac: *Tehnički hrvatskosrpsko-njemački rječnik*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1969.

[8] V. Muljević: Uloga kibernetike u sintezi znanosti, *Zbornik JUREMA 1970., Simpozij 'Kibernetika u suvremenoj znanosti i društvu'*, Zagreb, 1970., str. 11-38.

[9] V. Muljević: Kibernetika i etika, *Zbornik JUREMA 1971, Simpozij 'Kibernetika u suvremenoj znanosti i društvu'*, Zagreb, 1971., Svezak II., str. 6.

[10] V. Muljević: Kibernetika i prirodne znanosti, *Zbornik radova, Simpozij 'Prirodne znanosti i njihovo značenje u suvremenom društvu'*, Zagreb, 1975.

[11] V. Muljević: Razvoj hrvatske terminologije za ETAN u pomorstvu, *Zbornik radova*, *18. ETAN u pomorstvu*, Zadar, 1976., str. 23-35.

[12] V. Muljević: Razvoj hrvatske terminologije iz nauke o elektricitetu, *Zbornik radova II. simpozija iz povijesti znanosti 'Prirodne znanosti u Hrvatskoj u 19. stoljeću'*, Zagreb, 1977., 11 stranica.

[13] V. Muljević: Tehnička terminologija u sjevernoj Hrvatskoj u XVIII. stoljeću, *Zbornik radova I. simpozija iz povijesti znanosti*, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb, 1978., str. 61-68.

[14] V. Muljević: Razvoj hrvatske terminologije iz nauke o elektricitetu i elektrotehnike, *Zbornik radova II. simpozija iz povijesti znanosti*, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb, 1980., str. 259-266.

[15] V. Muljević: Božo Težak utemeljitelj Referalnog centra u Zagrebu, *Informatologia Yugoslavica*, 12 (1980), sv. 3-4, str. 35-41.

[16] V. Muljević: U susret trećoj informacijskoj revoluciji, *Informatologia Yugoslavica*, 13 (1981), sv. 1-4, str. 1-11.

[17] V. Muljević: *Rječnik automatizacije*, 12.700 riječi, Tehnička knjiga, Zagreb, 1984.

[18] V. Muljević: Ferdinand Konšćak − Misionar i istraživač Kalifornije u 18. stoljeću, *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU*, Varaždin, 1990. – 1991., sv. 4/5, str. 9-51.

[19] Vladimir Muljević: Hrvatski znanstvenici Antun i Faust Vrančić, *Encyclopedia moderna*, br.2 (42), 1993., str. 122-136.

[20] V. Muljević: *Njemačko-hrvatski elektrotehnički rječnik*, Školska knjiga, Zagreb, 1996.

[21] V. Muljević: Požeški učitelj Ivan Muljević (1803. – 1875.), *Zlatna dolina*, vol. 3(1997), br. 3, str. 131-139.

[22] V. Muljević: Znanstvena etika, *Simpozij Znanost i etika*, Klub hrvatskih humbodltovaca, Zagreb, 1997.

[23] V. Muljević: Božo Težak velikan informatologije, Zbornik radova, IZUM − Institut informacijskih znanosti Maribor, 1997., str. 1-12.

[24] V. Muljević: Franjo Hanaman, jedan od izumitelja volframove niti za žarulje, *Hrvatski glasnik intelektualnog vlasništva*, 4(1997), str. 1099.-1101.

[25] V. Muljević: Božo Težak vrhunski kemičar i informatolog, *Encyclopaedia moderna*, XVIII (1998) 98, str. 42-45.

[26] V. Muljević: *Telegrafija − kronologija razvitka u svijetu i u Hrvatskoj,* Hrvatska zajednica tehničke kulture, 1998.

[27] V. Muljević: Ferdinand Konščak, *Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU*, Varaždin, 1998., str. 409-442.

[28] V. Muljević: *Ivan Krstitelj Rabljanin – Slavni hrvatski ljevač*, Hrvatska zajednica tehničke kulture, 1999.

[29] V. Muljević: *Elektrotehnika – kronologija razvitka u Hrvatskoj*, Hrvatska zajednica tehničke kulture, 1999.

[30] V. Muljević: *Nikola Tesla – Slavni izumitelj,* Hrvatska zajednica tehničke kulture, 2000.

[31] V. Muljević: *Hrvatsko-njemački elektrotehnički rječnik,* Školska knjiga, Zagreb, 2000.

[32] *Naših pola stoljeća* (*1954. – 2004.*), Spomenica Zavoda za automatiku i procesno računarstvo Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Graphis, Zagreb, 2004.

[33] V. Muljević: *Josip Lončar – Velikan hrvatske elektrotehnike*, Hrvatska zajednica tehničke kulture, 2004.

[34] V. Muljević: *Englesko-hrvatski elektrotehnički rječnik*, Školska knjiga, Zagreb, 2004.

[35] V. Muljević: *Ferdinand Kovačević – Prvak telegrafije u Hrvatskoj*, Hrvatska zajednica tehničke kulture, 2005.

[36] V. Muljević: *Oberwellenerscheinungen bei Käfigankern mit grosser Nutenzahl*, doktorska disertacija (pretisak), Tehnički muzej u suradnji s Hrvatskom zajednicom tehničke kulture i Maticom hrvatskom, 2006.

[37] *Prilozi pretisku doktorske disertacije V. Muljevića*, Tehnički muzej u suradnji s Hrvatskom zajednicom tehničke kulture i Maticom hrvatskom, 2006.

[38] V. Naglić: *30 godina Kluba dekana FER-a*, Element, 2011.

[39] V. Muljević: *Faust Vrančić – Prvi hrvatski izumitelj*, II. izdanje, Hrvatska zajednica tehničke kulture, 2013.

[40] N. Perić: Časopis *Automatika* – doprinosi razvoju znanosti i gospodarstva, Simpozij Povijest i filozofija tehnike 2018, Zagreb, str. 572-600

[41] Arhiv Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu
[42] Državni arhiv
[43] https://www.bib.irb.hr/pregled/profil/6865

Vladimir Muljević – life and work

Nedjeljko Perić

Abstract: Professor Vladimir Muljević is one of the greats of the University of Zagreb, who has been active in the Faculty of Engineering, Faculty of Electrical Engineering and Faculty of Electrical Engineering and Computing for more than 60 years. With his teaching, research and organizational work, he founded the theory and practice of automatic control in Croatia in the early 1950s. His research activity includes three basic groups: automation (cybernetics, automatic control and electrical measurement of non-electrical quantities); professional terminology in the field of electrical engineering, automation and measurement; history of engineering, electrical engineering and automata. He was the founder and long-time head of the Department of Control and Signal Engineering (today the Department of Control and Computer Engineering) at the Faculty of Engineering (today the Faculty of Electrical Engineering and Computing, University of Zagreb). In order to promote the wider field of automation and its application he initiated in 1956 the establishment of the Yugoslav Seminar on the Regulation, Measurement and Automation − JUREMA (today KoREMA). With the same aim he started in 1960 the journal Automation (today Automatika). His role in the field of professional lexicography, as an editor or author of several capital professional dictionaries, is unavoidable. In short, professor Vladimir Muljević has been a permanent *spiritus movens* of the many developments at his home Faculty and the University of Zagreb, as well as in the wider community.

Keywords: automation, electrical engineering, cybernetics, measurement, history of engineering, terminology

Snježana Paušek-Baždar

Đuro Baglivi i njegov nauk o genezi minerala

Sažetak: Đuro Baglivi objavio je 1705. i 1707. djelo *Dissertatio varii argumenti...* Ono se, uz njegova glavna djela *De praxi medica* i *De fibra motorice et morbosa* nalazi i u prvom posmrtnom izdanju njegovih sabranih djela *Opera omnia* (1710.). U njemu se nalaze poglavlja mineraloškog sadržaja: *O rastu stijena* i *O rastu stijena i analogiji između gibanja mora i cirkulacije krvi*. U njima je Baglivi prihvatio renesansno shvaćanje o soli kao temelju čvrstoće anorganskih tvari i uveo dva principa u nastajanju stijena i minerala. Prvi je princip slanosti (*principium salium*), a drugi smolasti princip (*principium bituminosum*). U okviru toga prihvatio je i suvremenu korpuskularnu teoriju o česticama (*particulae*) koje se smolastim principom vežu uz jezgre minerala. Polazeći od udaljene analogije, uspostavio je sličnost između cirkulacije krvi u organizmu čovjeka s cirkulacijom morske vode u unutrašnjosti Zemlje. Taloženje obične i gorke soli iz morske vode u unutrašnjosti Zemlje slično je procjeđivanju krvi kroz pluća i kroz žlijezde u čovječjem tijelu. Zaključio je da te dvije pojave imaju isti mehanički učinak. Tako, uz Aristotela, Baglivi ima mjesto u povijesti teorija o nastanku minerala, posebno onih hidrogenog i organogenog podrijetla.

Ključne riječi: analogija između gibanja mora i cirkulacije krvi, Đuro Baglivi, povijest mineralogije, princip slanosti, smolasti princip

Životni put Đure Baglivija

Đuro Baglivi (Dubrovnik, 1668. – Rim, 1707.), bio je najpoznatiji hrvatski liječnik, prirodoslovac i erudit u prošlosti. Rođen je godinu nakon velikog dubrovačkog potresa. Otac mu je bio Vlaho Armen (Armeno, prema djedu koji je

iz Armenije došao u Dubrovnik), a majka Anica Vuković (de Lupis). Po rođenju njegova brata Jakova 1670. umrla mu je majka, a uskoro potom i otac. Posredstvom strica, kanonika Andrije, daljnju skrb o njemu i njegovu mlađem bratu preuzeli su isusovci. Tako je Đuro osnovnu humanističku naobrazbu stekao u Isusovačkom kolegiju u Dubrovniku kod Rafe Tudiševića i Ardelija della Belle. U četrnaestoj godini Đuro odlazi u grad Lecce na jugu Italije, gdje ga je posredstvom isusovaca posinio ugledni mjesni liječnik Pier Angelo Baglivi. Njegovo prezime Đuro je nosio sve do kraja svojeg kratkog života.

Đuro Baglivi odslušao je studij medicine u Napulju, a diplomirao je na visokoj medicinskoj školi u Salernu (1668.). Nakon toga vraća se kod poočima u Lecce, a već sljedeće 1669. dolazi u Dubrovnik i putuje Dalmacijom, koju je uz Dubrovnik uvijek isticao kao sredinu iz koje je potekao, a potom se vraća se u Italiju.

Baglivijeve odlike, talent i radinost uočio je 1691. u Bologni najslavniji liječnik tog doba Marcelo Malpighi, te mu je povjerio službu osobnog tajnika i asistenta, pa se Đuro pod njegovim vodstvom usavršavao jednu godinu u Bolonji, posebno na eksperimentalnim istraživanjima građe mišićnih i živčanih vlakana ljudi i životinja. Po Malpighijevu odlasku u Rim 1692. godine, Đuro mu se pridružio i nastavio istraživanja. Vrhunac njegove liječničke prakse bio je kad je izabran za osobnog liječnika dvaju papa: Inocenta XII., a potom i Klementa XI., a vrhunac akademske karijere kad je izabran za profesora anatomije i teorijske medicine na Sveučilištu La Sapienza u Rimu, gdje se pročuo kao izvrstan predavač i kliničar.

Svjetsku slavu Bagliviju su donijela djela *De praxi medica ad priscam observandi rationem revocanda libri duo* (Rim, 1696.), a posebno *De fibra motorice et morbosa* (*O zdravom i bolesnom motoričkom vlaknu*), Perugia 1700., Rim, 1702. Lyon, 1703. U prvom djelu zastupa novi pogled na građu i funkciju ljudskog organizma. Potaknut naprednim, novim idejama u prirodnim znanostima, posebno Galileijevim shvaćanjem mehanike i Descartesovom prirodnom filozofijom, Baglivi ustraje na mehaničkom tumačenju životnih procesa i "novoj medicini".

Taj pravac u razvitku znanosti nazivamo ijatrofizikom, jer se fizikalna i kemijska istraživanja koriste u medicini. U djelu *De praxi medica*, Baglivi je naglasio da ljudsko tijelo nije ništa drugo nego kompleks matematički objašnjivih kemijsko-mehaničkih gibanja te da je ono podvrgnuto broju, težini i dužini te trpi sve posljedice koje iz toga proizlaze. To djelo imalo je velik odjek u svijetu, a Baglivi je stekao pohvale istaknutih liječnika i brojne korespondente. U njemu se Baglivi također pohvalno izrazio u komentarima klasičnog djela "statičke medicine" istarskog liječnika Santorija Santorija iz 1614., pa ga je predstavio kao "istinsku medicinu", kojoj je i sam sklon.

U svojem drugom djelu, *O zdravom i bolesnom motoričkom vlaknu*, Baglivi je također dao novi pogled na medicinske probleme. Eksperimentalnim i mikroskopskim istraživanjem došao je do zaključka da su temeljni elementi ljudskog i životinjskog tijela vlakna (*fibre*). Oni su nosioci životnih funkcija i poticatelji bolesti. Sastavljeni su od atoma i imaju prirođeno svojstvo podražljivosti i aktivne kontrakcije pa većina bolesti potječe od njih. Naime, Baglivi dijeli vlakna na mesna i opnasta. Od mesnih ili mišićnih vlakana načinjeni su mišići, tetive i kosti, a od opnastih, koja su produžetak moždanih ovojnica, žile, žlijezde, osjetni, utrobni organi i drugo. Mišići su pak omotani u opnu koja počinje u živcu, pa tim putem mozak utječe na mišiće. Stoga svaki patološki proces potječe iz pogrešnog tonusa u elastičnosti ili građi čvrstih dijelova tijela ili u narušenoj ravnoteži čvrstih i tekućih dijelova tijela. Ljudsko tijelo smatrao je nekom vrstom stroja kojim upravlja duša sa središtem u mozgu blizu moždane ovojnice, ali i njezina se narav mora promatrati u vezi s ravnotežom i zakonima statike.

Djelo o motoričkim tkivima Baglivi je najprije objavio u Perugii 1700. u obliku pisma Alessandru Pascoliju s kojim je neko vrijeme radio, a potom ga je objavio u Rimu 1702. i Lyonu 1703. Kako je ono imalo velik odjek u svijetu, to ga je ohrabrilo da objavi svoja sabrana djela *Opera omnia medico-practica et anatomica* u Lyonu 1704., a njihovo potpuno izdanje je iz 1710. Ona su do 1842. doživjela sedam objavljivanja diljem Europe. Prevedena su na engleski, francuski, njemački i talijanski jezik. Primjerak svojih sabranih djela (Lyon 1704.) s vlastoručnim potpisom Baglivi je poslao u Dubrovnik svojem prvom učitelju opatu Rafi Tudiševiću. Posveta je potpisana u Rimu 10. lipnja 1705., a na njoj je Baglivi naveo i svoje prvo prezime Georgius Armenius Baglivi.

Sačuvana je i Baglivijeva korespondencija, a njezin dio (173 pisma), objavljen je 1974. godine. Dopisivao se s najuglednijim liječnicima i intelektualcima pa su na temelju tih pisama njegovi biografi istaknuli činjenicu da je kao erudit i polihistor bio jedan od vodećih intelektualaca svojeg doba. Imenovan je članom najuglednijih europskih društava i akademija: engleske *Royal Society*, njemačke *Accademia Caesareo Leopoldina Naturae Curiosorum*, talijanske *Accademia dei Fisiocratici*. Umro je u Rimu u trideset devetoj godini života, a pokopan je u samom njegovu središtu, u crkvi sv. Marcela. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti postavila mu je 1995. dvojezičnu spomen-ploču, a iste mu je godine u predvorju Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu postavljena brončana bista na mramornom postolju. Medicinski fakultet objavio je s kućom *Prometej* reprint izdanje njegova djela *O zdravom i bolesnom motoričkom vlaknu* (prijevod: prof. dr. sc. Niko Zurak).

Održana su dva velika međunarodna skupa o Baglivijevu životu i radu: u Rimu (1999.) i Dubrovniku, povodom 300. obljetnice smrti (2007.). Ugledni

povjesničari medicine smatraju da naše spoznaje o Baglivijevu doprinosu medicinskoj znanosti i prirodoslovlju još nisu konačne.

Baglivijev nauk o genezi minerala

Prve sistematske studije minerala i stijena javile su se u Europi tek u razdoblju nakon renesanse, kad se zahvaljujući pojavi mikroskopa počinju proučavati stijene i minerali. Počevši od 1704., *Opera omnia* Đure Baglivija redovito su uz dva njegova navedena glavna djela sadržavala i raspravu *Dissertatio quinta* (*Peta rasprava*). Ta rasprava obrađivala je tri prirodnofilozofijske teme, koje su bile istaknute zasebnim naslovima *De morborum et naturae analogismo* (*O analogizmu između bolesti i prirode*), *De vegetatione lapidum* (*O rastu stijena*) i *De terrae motu Romano et urbium adiacentium anno 1703.* (*O potresu u Rimu i obližnjim gradovima 1703. godine*). U prvom dijelu te pete rasprave Baglivi je proučavao analogiju između prirode i bolesti, nastojeći s jedne strane pridonijeti boljem razumijevanju bolesti, a s druge strane propitivao je temelje medicine. Drugi je dio pete rasprave mineraloško-kemijska rasprava, a težište je trećeg dijela pete rasprave na seizmologiji i numizmatici. U njoj je, među ostalim, opisao rimski potres iz 1703. godine.

Baglivi objavljivanjem rasprave *Dissertatio quinta* nije iscrpio tematiku prirodoslovlja. Sredinom 1705. dovršio je raspravu *Dissertatio varii argumenti* (*Rasprava raznovrsna sadržaja*), koja je objavljena u godini njegova preminuća (1707.). Također je podijeljena na tri dijela sa zasebnim naslovima, od kojih je za našu temu važan treći dio naslova *De vegetatione lapidum et analogismo circulationis maris ad circulationem sanguinis* (*O rastu stijena i analogiji između gibanja mora i cirkulacije krvi*). Počevši od 1710., kad je objavljeno prvo posmrtno izdanje, *Opera omnia* Đure Baglivija sadržavala je te dvije prirodoslovne rasprave iz 1704. i 1705., pa je tako zabilježen razvoj Baglivijevih gledišta o mineralogiji.

Baglivi je već u glavnom djelu *De praxi medica* iz 1696. upozorio da je nužno poznavati prirodne zakone koji su temelj našem promišljanju:

> "(...) Tjelesnim, materijalnim pojavama upravlja jedan čudesan, vječni i trajni zakon. Stoga, ako mi zaista želimo služiti čovječanstvu, a ne da mu se nadređujemo, mi moramo nužno imati na umu zakone prirode, na temelju kojih ćemo promišljati i usmjeravati naša promatranja i predano ih poštovati..."[1]

[1] M. D. Grmek, *Hrvatska medicinska bibliografija*, JAZU, knjiga 1, Zagreb 1955., str. 32.

Za razliku od renesansnog shvaćanja, gdje je pojam platonističkog, novoplatonističkog i hermetističkog savršenstva prirode bio određen jedinstvom njezinih suprotnosti, misao novovjekovne znanosti u određivanju je pojma sličnosti među prirodnim pojavama. Dapače, istaknute su teze o tome da se priroda raduje prirodi, da je priroda nalik na prirodu i da priroda oponaša prirodu. Traže se analogije između različitih prirodnih pojava. Jedna od najznačajnijih analogija, čije je značenje preobrazilo svijet, svakako je ona znamenitog Isaaca Newtona, koji je već 1666., razmišljajući o uzrocima koji čine da se Mjesec kreće oko Zemlje, došao do zaključka da ista sila koja prouzročuje padanje tijela na Zemlju drži i Mjesec na njegovu putu. Tu silu gravitacije i teoriju gravitacije, koja je potvrđena i za sustave izvan Sunčeva, objavio je tek 19 godina kasnije, 1685. u spisu *Tractationes de Motu* (*Rasprava o gibanju*).

Baglivi je pak u svojoj teoriji o postanku minerala pošao od prilično udaljene analogije, usporedivši cirkulaciju krvi u živim organizmima koja hrani organizam s cirkulacijom morske vode u unutrašnjosti Zemlje, koja na poseban način "hrani" tvari u unutrašnjosti Zemlje i tako stvara stijenje i minerale, a potom u vidu rijeka izvire iz zemlje i ulijeva se kao neslana voda u more.

Mineral je prirodni homogeni sastojak Zemljine kore. Riječ je o elementu ili kemijskom spoju koji je nastao geološkim procesima. Pod mineralom se podrazumijeva i svaki vrijedan materijal koji se vadi iz zemlje. Najčešći minerali litosfere su silikatni minerali, karbonati i hidrokarbonati, oksidi i hidroksidi. Danas je poznato oko četiri tisuće minerala, a javljaju se u tri agregatna stanja: plinovitom, tekućem i krutom. Kruto stanje čine amorfne i kristalizirane tvari. Prema unutarnjoj građi dijele se na pravilne (kristalizirane) i nepravilne (amorfne). Njih čine elementi ili spojevi dvaju ili više elemenata. Elementarni minerali su metali (zlato, bakar i živa) i nemetali (dijamant, grafit i sumpor). Neki minerali nastaju kristalizacijom iz magme (*pirogeni*), neki iz vodenih otopina (*hidrogeni*), a ako je pritom sudjelovala živa tvar to su *organogeni* minerali. Oni koji su nastali iz toplih termalnih voda su *hidrotermalni*, iz plinova i para *pneumalitski*, a oni nastali preobrazbom iz drugih minerala *metamorfni*. Neki minerali mogu biti i fluorescentni.

U drugom dijelu svoje *Pete rasprave*: *O rastu stijena* iz 1704. Baglivi navodi da će na temelju "djelovanja prirode kroz sličnosti" izlagati o "profinjenom predmetu", o nastanku stijena: "tim više što u stoljeću bogatim istraživanjima gotovo nitko nije obratio pažnju na nastanak, hranjenje i rast kamenja"[2]odnosno minerala i stijena.

Promatranje prozirne zelene plazme od koje su bili izrađeni kipići i stolići kraj poznatih Ostijskih vrata u gradiću Ostiji na ušću rijeke Tibera blizu Rima, potaknulo je Baglivija na razmišljanje o nastanku minerala. Ustanovio je da je

[2]Đ. Baglivi, *Dissertatio varii argumenti... De vegetatione lapidum*, II. izdanje, 1707., str. 23.

plazma građena od četiri draga kamena: smaragda, ametista, oniksa i ahata. Smaragd je berilijev aluminosilikat jasno zelene boje, ametist vrsta ljubičasto-prozirnog kamena, oniks sitnozrnati kremeni agregat slojevite građe u kojoj se mliječno-bijeli slojevi izmjenjuju s obojenim slojevima, a ahat je slične slojevite građe, bijel ili raznobojan. Danas znamo da je Baglivijeva zelena plazma bio metamorfni mineral, nastao preobrazbom iz navedenog kamenja.

Baglivi je smatrao da je svaki kamen u Zemljinoj unutrašnjosti nastao iz jezgre koja je prvobitno bila "nježna i meka" pa se stoga mogla razvijati i rasti. Ta jezgra u sebi sadržava slano počelo (*principium salium*), koje je temelj njezina očvršćivanja. Nekadašnju mekoću minerala, kaže Baglivi, potvrđuje i njihova boja koja nije jednolika, nego se mijenja sa zrakama Sunca, a to znači da u sebi sadrži različite prirode koje su se ukomponirale u mineral, u razdoblju dok on još nije otvrdnuo.

Sol kao počelo koje daje tjelesnost i čvrstoću bilo je prisutno i u renesansnim teorijama. Baglivi upozorava da sol ima najveću moć u očvršćivanju tijela i da svi znanstvenici smatraju da je sol početak zgrušavanja. Tvari koje ne sadrže sol ne mogu se zgusnuti ni petrificirati, okameniti. Zato se sol nalazi u središtu Zemlje i njezin je zadatak da udružuje zemlju s vodom i tako stvara minerale: "Naime, zemlja zadržava sol da se ne povrati u vodu, sol skuplja tjelešca u vodi da se ne raspadnu u sitnu prašinu." Slano počelo nalazi se u vodi koja dolazi u unutrašnjost Zemlje pa je voda jedna od sastavina minerala.

Danas znamo da je niz minerala nastao hidrogenim putem i da sadrži kristaliziranu vodu. Pretpostavivši da je voda nositeljica slanog počela, Baglivi je zaključio da je riječ o morskoj vodi. On podrobno opisuje kruženje voda u unutrašnjosti Zemlje, proširujući svoje tumačenje o genezi kamenja na drago kamenje, minerale, metale i druge podzemne tvari.

To ga je dovelo do toga da počne istraživati 'analogiju između kruženja voda u utrobi Zemlje i optoka krvi kroz utrobu mikrosvijeta'.[3] Obrazloženje po sličnosti smatrao je važnim pomagalom u proučavanju morskog i krvnog optoka. Taloženje soli u unutrašnjosti Zemlje bilo mu je slično procjeđivanju krvi kroz pluća i cjedila različitih žlijezda u čovjekovu tijelu. Premda je riječ o udaljenoj analogiji, obje pojave u temelju imaju isti mehanički princip. Tu analogiju Baglivi je potkrijepio prisutnošću topline u čovjekovu tijelu, ali isto tako i u Zemljinu podzemlju. Osim toga, prema svojim statičko-medicinskim gledištima pridonio je svojem 'sustavu o čvrsninama' (*systema nostrum de solidis*) prema kojem u ljudskom organizmu sila i energija čvrstih tijela nadmašuje silu i energiju tekućih tijela. Baglivi upozorava da je priroda jednostavna, očita i

[3] Đ. Baglivi, *Dissertatio varii argumenti...* Lugduni Batavorum, 1707., str. 52.

GEORGII BAGLIVI

PHILOSOPHI, ET MEDICI,

DISSERTATIO

VARII ARGUMENTI,

Potiſſimum vero de Progreſſione Romani terræmotus ab anno MDCCIII ad annum MDCCV. De Syſtemate, & uſu motus Solidorum in corpore animato. De Vegetatione lapidum, & analogiſmo circulationis maris ad circulationem ſanguinis.

Ad

PETRUM HOTTON

Medicum Doctiſſimum.



LUGDUNI BATAVORUM,
Apud FREDERICUM HAARING;
M. DCC. VII.

Sl. 1.: Naslovnica prvog izdanja Baglivijeve rasprave *Dissertatio varii argumenti* (Lugduni Batavorum, 1707), u kojoj, među ostalim, govori o analogizmu morskog i krvnog optoka

susretljiva te je formirala cirkulaciju voda na površini i u njezinu podzemlju upravo na temelju sličnosti s ljudskim tijelom.[4]

Kako zrak i voda imaju težinu, tako gornji morski slojevi potiskuju donje, pa oni prolaze kroz unutrašnjost Zemlje i cirkuliraju. U tom cirkuliranju ostavljaju sol, "slanost u porama kamenja", pa morska voda postaje slatka, izvire nad zemljom te se rijekama ponovno ulijeva u more. Morsku vodu podzemlja, koja miješanjem sa zemljom i metalima izgrađuje minerale, Baglivi često naziva i 'kamenom vodom' (*succus lapidificus*). To su one vode koje ne mogu doći na površinu i ostaju u podzemlju te služe za rast minerala i kristala. Tako on kaže:

> "(...) potrebno je da žestinu uma upravimo na novi zajednički uzrok koji pruža izvor rijeka, hranjenje i rast stijena, koji se pojavljuje u neprekidnom pokretu i cirkulaciji u podzemlju te rađa pojave vrijedne divljenja. Ako kažem da je to more, vjerojatno se neću daleko udaljiti od istine. Cirkulacijom kroz podzemlje odlaže sol i gorčinu, pa se mijenja u jednostavnu slatku vodu. Stoga se more ne prelijeva."[5]

On također smatra da je moguće postojanje i kamenog zraka (*aer lapidificum*), zraka koji je ispunjen solju, pa također može stvarati kamenje i minerale te zaključuje:

> "Iz vode nastaje zrak, iz zraka vatra. Zašto onda zemlja ne može nastati iz vode, ili voda iz zemlje? Sve se mijenja u nešto drugo, ali ponajviše u vodu."

Pritom navodi da ne postoji više vrsta soli, nego jedna jedina, a to je morska, "bilo da se nalazi u vodi ili zraku", te da su kemičari dokazali da se u morskoj vodi ne nalazi samo obična sol nego i gorke soli. Baglivi argumente za tvrdnju o tome da stijene i minerali nastaju djelovanjem slane vode nalazi u tekstovima poznatog flamanskog plemića i doktora medicine Jana Baptista van Helmonta i kaže:

> "Svi kemičari, zajedno s van Helmontom u *Mixtionis segmentum* misle da stijene rastu iz počela u slanoj vodi. Pri tome iz vode zaražene nebeskim i zemaljskim djelićima nastaju minerali različitih boja te različite čvrstoće i težine."

[4] Đ. Baglivi, *Disertatio varii argumenti*...Caput III, Analogismus circulationis maris per viscera terrae ad Circulationem sangiunis per viscera microcosmi, str. 109-122.

[5] Isto, str. 115.

Baglivi je također upozorio da je van Helmont prvi pokazao da stalaktiti nisu okamenjene biljke, nego da je riječ o vodi zasićenoj vapnencem. Nazvao ih je imenom *lapis aquam stillans* (kamen koji kapa).[6] Danas znamo da se sol često nalazi u zemlji izmiješana s mineralima i stijenama i iz takvih slojeva dobiva se izluživanjem s pomoću vode. Također se kao 'kamena sol' nalazi u golemim podzemnim naslagama (Wieliczka u Poljskoj, Stassfurt u Njemačkoj), iznad kojih se pojavljuju naslage slane vode.

Baglivijevo prihvaćanje korpuskularne teorije

U Baglivijevo doba bilo je rašireno mišljenje da se minerali "hrane" i rastu poput živih organizama, unutarnjim primanjem hrane. Baglivi je bio skeptičan prema tom tumačenju:

> "Budući da smo tako raspravljali, preostaje nam da sad istražimo hrane li se stijene i razvijaju putem hrane koju unutar sebe primaju, ili pak preko dijelova sastavljenih jedan na drugoga, poput nekog oblaganja, što je teško odrediti."

Međutim, nakon daljnjih opažanja Baglivi je prihvatio korpuskularnu teoriju:

> "Ali, iznijet ću ovdje i svoje mišljenje: Uzrok za koji se kaže da nastaje preko usporednog položaja tvari u kamenju, nastaje putem prianjanja čestica uz druge čestice s kojima srastaju."

S obzirom na to da minerali, za razliku od biljaka i životinja, nemaju hranidbene kanale, Baglivi kaže da čestice (*particulae*) ulaze u njih mehaničkim načinom "preko pukotina i njihovih mračnih tokova".

Ranu verziju korpuskularne teorije ustanovio je sredinom XVIII. stoljeća Daniel Sinnert, profesor medicine na Sveučilištu u Wittenbergu. On je utjecao na liječnike koji su se bavili medicinsko-biološkim i medicinsko-mineraloškim temama. Napuštajući helmontizam, on je na temelju laboratorijskog istraživanja odvajanja srebra iz legure sa zlatom pokazao da srebro ostaje u obliku sitnih čestica, korpuskula, koje se razlikuju po obliku, veličini, težini, gibanju i razmještaju te je uveo teoriju korpuskularizma. Upravo je nastanak i rast minerala kao konačan učinak skupljanja nevidljivih djelića bio jedan od dokaza u prilog

[6] Jan Baptist van Helmont (1580. – 1644.), belgijski kemičar i filozof, sljedbenik Paracelsusa. Njegovo djelo *Ortus medicinae* objavio je posmrtno sin Francis Mercurius, Amsterdam, 1648. Vidi: Drago Grdenić, *Povijest kemije*, 2001., str. 370-373.

korpuskularne teorije. Baglivi se pak u svojem nauku pozvao na djelo *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus* (*Preliminarna rasprava o čvrstom tijelu prirodno sadržanom u krutini*), Firenca, 1669., Nielsa Stensena (1638. – 1686.) danskog profesora, anatoma, geologa i suvremenika, koji je upozorio da kristali minerala rastu dodavanjem materije izvana, a ne asimilacijom iznutra kao što to čine živi organizmi. Polazeći od Stensenove tvrdnje Baglivi izlaže svoj zaključak:

> "Tijelo raste dok se u njegovim djelićima smještaju novi djelići izlučeni iz vanjske tekućine, ili kad se umiješa unutrašnja tekućina jedna ili više njih. Ti djeličići izravno se iz vanjske tekućine smještaju na čvrsto tijelo u koje padaju okomito zbog vlastite težine. Pri tome se čestice mogu postavljati iz raznih pravaca i oblagati mineral bilo istorodnim selenit selenitom, markizit markizitom, bilo različitim česticama, pa nastaju različiti oblici minerala: vlaknasti, granasti, drvenasti, prizmasti."[7]

Kako je Baglivi pretpostavio da je svaki mineral nastao iz jezgre koja je u sebi sadržavala slano počelo (*principium salium*), on uvodi još jedno − smolasto počelo (*principium bituminosum*), koje zajedno sa slanim počelom prouzročuje i održava čvrstoću zgrušavanjem i "lijepljenjem" korpuskula unutar minerala. Tako Baglivi za "zelenu plazmu" s Ostijskih vrata kaže:

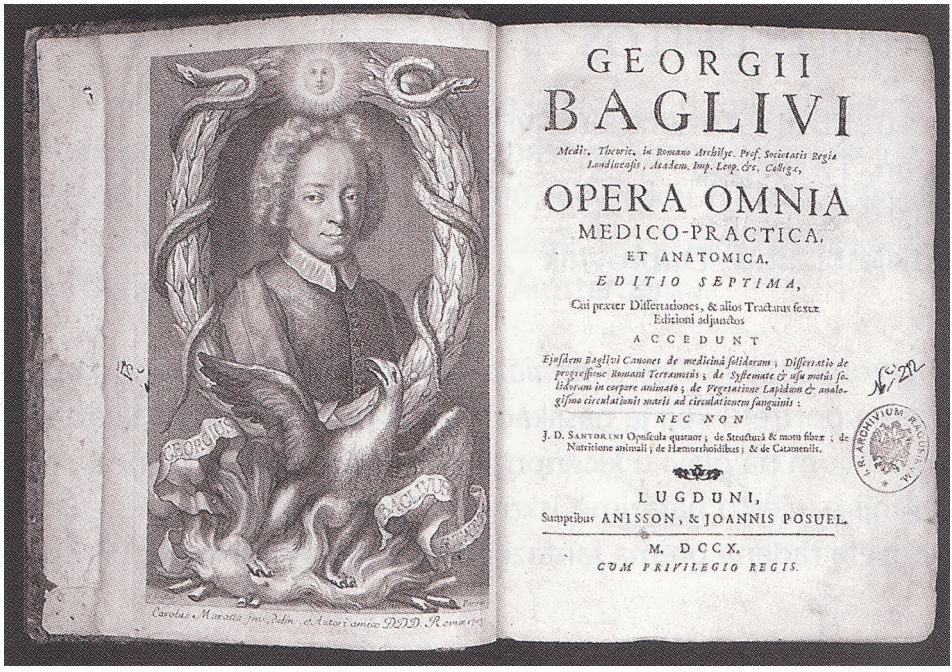
> "Oni su u svojim jezgrama nepostojani i meki i stoga događa se kada se nađu zajedno čine tvorevine, odnosno ovakve plazme, a čije primjerke čuvam kod sebe, jer se njihovo slano počelo zgrušava sa smolastim počelom."

Na primjeru alabastra, koji je promatrao u picejskim planinama, zaključio je da upravo smolasto ljepilo prouzročuje masni sjaj na njegovu prijelomu.[8] Već od XVI. stoljeća kemijsko i svako drugo povezivanje određivalo se pojmom ljepila ili smole.

Baglivi se također zainteresirao za organske minerale, odnosno biogene tvari kod kojih su geološki procesi dio geneze. Petrifikacija, okamenjivanje, proces je u kojem se svaka molekula organske tvari zamjenjuje molekulom anorganske ili pak anorganska tvar potpuno infiltrira organski ostatak − biljni ili životinjski. Naime, živi organizmi proizvode nešto što ima svojstva minerala, ali proizvodi su živih bića i čovjeka (kosti, ljušture školjkaša, fosfor u zubima itd.) i ne smatraju

[7] De vegetatione lapidum & analogismo circulationis maris ad circulationem sanguinis, Lugduni Batavorum 1707., str. 58-59.

[8] Đ. Baglivi: De vegetatione lapidum... treće poglavlje rasprave *Dissertatio varii argumenti*, str. 114-116.



Sl. 2.: Prvo potpuno izdanje Baglivijevih djela pod naslovom *Opera omnia medico-practica et economica*. Editio septima... (Lyon, 1710) s portretom, koje sadrži i rasprave o genezi minerala i analogizmu morskog i krvnog optoka (slika 18. Baglivi, možda zaokrenuti za 90°)

se mineralima. No, ipak postoji iznimka kad na takve tvari naknadno djeluje neka geološka sila te se oni prirodno izmijene pa ih se smatra mineralima. Baglivi je smatrao da 'kamena voda' na svojem putu u podzemlju može naići na ostatke živih organizama, pa ih sa 'smolastim počelom' mineralizira i okamenjuje.

Zanimljivo je istaknuti da je Baglivi u tekstovima spomenuo i tri hrvatska autora. Uz istarskog liječnika Santorija Santorija i njegova djela o statičkoj medicini, Baglivi u izlaganju svojeg nauka o nastanku minerala spominje istarskog alkemičara Petra Bona iz XIV. stoljeća i znamenitog prirodnog filozofa Cresanina Franu Petrića iz XVI. stoljeća. Pozivajući se na djelo sv. Augustina *O Trojstvu*, Baglivi navodi da je svim stvarima svijeta dana neka 'plastična sila' koja u njima stvara nevidljivi nagon da se umnožavaju. Ona je osobito izražena u kamenju, mineralima i metalima. No, Baglivi iznosi i drugu mogućnost i to služeći se djelom *Novi dragocjeni biser* (1330.) Petra Bona iz Pule, te kaže da bi ta sila mogla proisteći i iz sjemenja svih stvari svijeta. Franu Petrića Baglivi spominje kad govori o analogiji između svijeta i čovjekova tijela, a u vezi s podrijetlom topline u Zemljinoj unutrašnjosti. To je pitanje upravo ono kojim Frano Petrić zaključuje svoju prirodnofilozofsku sintezu djela *Nova de universis philosophia* (1591.).

Baglivi se predstavljao kao filozof i liječnik (*philosophus et medicus*), pa se prihvaćanjem korpuskularne prirodne filozofije svojeg doba svrstao među one znanstvenike koji su pridonijeli novim pogledima i revoluciji u znanosti.

Kao što je Aristotelov nauk ušao u razvitak suvremene mineralogije kao dio teorije o pneumolitskom i hidrotermalnom postanku minerala, tako bi Baglivijev nauk trebao ući u povijest teorije o njihovu hidrogenom i organogenom postanku.

Literatura

Atom, Humour, Corpuscular Theory, u *Dictionary of the History of Science*, Macmillian Press Ltd., New York 1981. i 1983.

Baglivi Đuro: *Dissertatio varii argumenti potissimum vero de progressione Romani terraemotus ab anno MDCCIII ad annum MDCCV. De systemate, et usu motus solidorum in corpore animato. De vegetatione lapidum, et analogismo circulationis sanguinis*. Ad Petrum Hotton medicum doctissimum in Academia Leidensi. Lugduni Batavorum 1705. II. izdanje Lugduni Batavorum, Apud Fredericum Haaring, 1707. Povijesni arhiv, Dubrovnik.

Baglivi Đuro: *Opera omnia medico practica et anatomica*. Editio septima..., Lugduni, Sumpt., Anisson et Posuel, 1710., sadrži Baglivijev portret. Povijesni arhiv, Dubrovnik.

Grdenić Drago: *Povijest kemije*, Novi Liber i Školska knjiga, Zagreb 2001.

Grmek Mirko Dražen: *Hrvatska medicinska bibliografija*, Knjiga 1, JAZU, Zagreb 1955.

Grmek Mirko Dražen: Životni put dubrovačkog liječnika Đure Baglivija, *Liječnički vjesnik* 79, Zagreb 1957.

Grmek Mirko Dražen: Baglivi Georgius, u *Dictionary of Scientific Biography*, sv. 1, Scribner's Sons, New York 1970.

Grmek Mirko Dražen, Cinino G., Sanzo U., Sava G. (ur.): *Il nucleo filosofico della scienza*, Lecce, 1992.

Grmek Mirko Dražen: Život, djela i povijesno značenje Gjure Baglivija, u Đuro Baglivi, *De fibra motorice et morbosa* (prijevod Niko Zurak), Zagreb, Prometej, Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 1997.

Hrvatski biografski leksikon: Leksikografski zavod Miroslav Krleža, sv. 1, Zagreb 1983.

Martinović Ivica: Dva pristupa Đura Armena Baglivija Petrićevu djelu početkom 18. stoljeća, *Frane Petrić*–o 400. obljetnici smrti hrvatskog renesansnog filozofa, *Dubrovnik* (ur. I. Martinović), Matica hrvatska, 1-3, Dubrovnik 1997., str. 217-223.

Martinović Ivica, Đuro Armeno Baglivi: Petrić i analogizam između morskog i krvnog optoka, *Frane Petrić*–o 400. obljetnici smrti hrvatskog renesansnog filozofa, *Dubrovnik* (ur. I. Martinović), Matica hrvatska, 1-3, Dubrovnik 1997., str. 367-369.

Selak Nikola: Život i djela Gjura Armena Baglivija, Dubrovčanina, profesora anatomije i teoretičke medicine na rimskom arhiliceju "Sapienza", *Rad JAZU*, sv. 107, Zagreb 1891.

Gjuro Baglivi and his doctrine on the genesis of minerals

Snježana Paušek-Baždar

Abstract: In 1705 and 1707, Gjuro Baglivi published *Dissertatio varii argumenti ...* This work, along with his major works *De praxi medica* and *De fibra motorice et morbosa*, was also printed in the first posthumous edition of his collected works *Opera omnia* (1710). It contains chapters of mineral content: On the growth of rocks and on the growth of rocks and the analogy between the movement of the sea and blood circulation. In them, Baglivi accepted the Renaissance conception of salt as the basis of the strength of inorganic substances and introduced two principles in the formation of rocks and minerals. The first is the principle of salinity (*principium salium*), and the second is the resinous principle (*principium bituminosum*). Within this, he also accepted the modern corpuscular theory of particles (*particulae*) that bind to mineral nuclei by a resinous principle. Starting from a distant analogy, he established a similarity between the circulation of blood in the human body with the circulation of sea water in the interior of the Earth. The deposition of common and bitter salt from seawater in the interior of the Earth is similar to the seepage of blood through the lungs and through the glands in the human body. He concluded that these two phenomena had the same mechanical effect. Thus, along with Aristotle, Baglivi has a place in the history of theories about the formation of minerals, especially those of hydrogen and organogenic origin.

Keywords: analogy between sea movement and blood circulation, Gjuro Baglivi, history of mineralogy, resinous principle, salinity principle

Želimir Volf

Sjećanje na Josipa Mosera

Sažetak: Autor iznosi osobna sjećanja na Josipa Mosera. Prvi susret s Josipom autor je imao tijekom studija elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu, a potom opisuje susret s njim, nakon 39 godina, na fakultetu na kojem su zajedno diplomirali. Najveći dio autorovih sjećanja odnosi se na zajedničke aktivnosti vezane uz rad u EDZ-u, posebice na simpozijima i putovanjima u organizaciji EDZ-a (Šibenik, Kornati, Budimpešta). Autor daje komentar Izborne godišnje skupštine EDZ-a 2017. godine. Sjećanja nakon 2017. opisana su u cjelinama: Ljetovanje na Braču, Oporavak u sestre Mace domu i Ispraćaj.

Ključne riječi: Josip Moser, Elektrotehničko društvo Zagreb, EDZ

Uvod

S Josipom Moserom oprostio sam se, kao uostalom i njegova obitelj, prijatelji i kolege, 10. rujna 2020. na Krematoriju, na zagrebačkom Mirogoju, slika 8. Otišao je k Bogu moj kolega po struci, dobar prijatelj i dobrotvor. O njegovu su životu i radu na ispraćaju govorila četiri govornika. U nastavku želim 'na papir' staviti osobna sjećanja vezana uz Josipa Mosera.

Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Zajedno smo diplomirali na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (ETF) u siječnju 1965. godine. Jedini materijalni dokaz iz tog razdoblja naveden je u [1], tj. podatak koji ondje stoji je redom: broj indeksa, ime, prezime, datum i mjesto rođenja:


5698 Josip MOSER 1. 3. 1942. Dubrovnik

Ne mogu reći da ga se sjećam iz studentskog razdoblja. Pitam se što je uzrok? Prvi razlog je to što se Josip uključio na studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (ETF) relativno kasno, ujesen 1963. godine. Naime, on je Skoplju završio prve tri godine studija elektrotehnike, a nakon potresa u ljeto 1963. doselio je u Zagreb. S odličnim je ocjenama položio razliku ispita koje mu je ETF postavio kao uvjet prijelaza. Josip se opredijelio za smjer 'jake struje', što se pokazalo kao drugi razlog zbog čega se ne mogu njega sjetiti iz tih studentskih dana. Ipak, kad malo promislim, temeljni je razlog bila njegova samozatajnost. Bio je tih, miran i dobar student. Implicitni je dokaz toga njegova prisutnost na apsolventskoj ekskurziji studenata ETF-a u srpnju 1964. godine. Od oko 200 upisanih studenata 1960. godine, samo je njih 80-tak imalo tu privilegiju. Kao drugi implicitni "dokaz" navodim da je Josip odmah nakon diplomiranja postao asistent prof. Hrvoju Požaru. S obzirom na to da mu prof. Požar nije bio član obitelji i da Josip nije bio član SKJ, morao je biti dobar da bi to postigao.

Susret nakon 39 godina

Nakon studija naši su se životni putovi razišli. Josipa sam ponovno susreo tek u prigodi Dana FER-a, slika 1., koji je održan 19. studenog 2004. godine, osam dana nakon mojeg odlaska u starosnu mirovinu. Na domjenku smo izmijenili nekoliko riječi, a potom i e-poruke. U e-poruci od 7. prosinca 2004. godine Josip mi, među ostalim, piše:

> "Znam da sada, u prvom trenutku užitka u prvim umirovljeničkim danima nećeš imati vremena. Tako je to 'umirovljenici' posebno ako su mladi, nemaju vremena. Zato Te molim da ovu moju ponudu sačuvaš i pročitaš za tri, šest ili dvanaest mjeseci, možda Ti onda bude interesantna. Naime, smatram da svoja radna iskustva ne smiješ posuti pepelom zaborava pa Ti predlažem da za EDZ pripremiš (sam ili s kojim kolegom) neki interesantni seminar iz svojeg područja interesa i specijalističkog znanja. Malo radne masaže neće Ti škoditi, a i kakav honorarčić ne bi bio loš. Ukratko, u svako vrijeme sam spreman o tome razgovarati s Tobom."

Rad u Elektrotehničkom društvu Zagreb (EDZ)

Bio sam zainteresiran za Josipovu ponudu, jer moja mirovina, iako prema hrvatskim mjerilima nije bila mala, pokrivala je otprilike 2/3 osnovnih troškova moje obitelji. Bio sam aktivan u EDZ-u (predavanja na Pripremnim seminarima



Sl. 1.: Na Danu FER-a

za polaganje stručnih ispita iz elektrotehničke struke), ali sam na Josipovu inicijativu uključen u rad Upravnog odbora EDZ-a (UO). To mi je otvorilo mogućnost rada na dvije dodatne razine: kreiranje baze podataka za uredsko poslovanje EDZ-a i sudjelovanje na seminarima i simpozijima koje je EDZ organizirao. Mogu reći da me Josip doslovno spasio od financijskog bankrota na obiteljskoj razini. Kad iz dalje povijesne perspektive razmišljam, dolazim do uvjerenja da je Josip bio ona produžena Božja ruka '…koja je otvorila prozor, kada su mi se sva ostala vrata zatvorila'.

EDZ je tijekom cijele svoje povijesti organizirao stručna predavanja, seminare i simpozije i stručne ekskurzije, što je uostalom, prema njegovu Statutu, i bila njegova djelatnost. Međutim 'zlatno doba' EDZ-a počelo je stupanjem na snagu novog Pravilnika o stručnom ispitu te upotpunjavanju i usavršavanju znanja osoba, koje obavljaju poslove graditeljstva ("Narodne novine", broj 82 od 6. srpnja 2005.) Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja. Prema tom Pravilniku, inženjeri koji su imali ovlaštenja za projektiranje / nadzor u građevinskoj djelatnosti imali su obvezu pohađati predavanja, odnosno sudjelovati u odabranim obrazovnim djelatnostima određen broj sati godišnje. Temeljna svrha tog Pravilnika bilo je nastojanje da se 'odgovorne' osobe u građevinskoj djelatnosti upoznaju s tekućim stanjem zakonske regulative. Kreator poslovne politike EDZ-a bio je Upravni odbor, a glavni su 'pokretači', u pravilu, bili ili predsjednik i dopredsjednik EDZ-a, u osobama dr. Nevena Srba i Josipa Mosera, koji su se smjenjivali na tim funkcijama u četverogodišnjim intervalima.

Kad pišem o 'zlatnom dobu' EDZ-a ne mogu ne spomenuti odaziv sudionika Elektro-inženjerskog simpozija održanog u Šibeniku 2007. godine, kad je EDZ imao više od 520 prijavljenih sudionika s kotizacijom, ne računajući predavače i osoblje za podršku u organizaciji. Razglednica (kolaž od četiri fotografije) s tog simpozija prikazana je na slici 2.



Sl. 2.: Elektroinženjerski simpozij

Zašto pišem o tom ‘zlatnom dobu’ EDZ-a u kontekstu naslova ovog članka? Zato jer sam u tom vremenu, sudjelujući u radu EDZ-ovih simpozija, imao više prigoda za druženje s Josipom izvan formalnih poslovnih okvira i kroz to sam se mogao bolje upoznati i s njim i s njegovom životnom suputnicom – suprugom Anom. Izvan nastavnog dijela (izvan predavanja i sastanaka), u tom ‘zlatnom dobu’ redovito su bili organizirani i društveni susreti sudionika, poput ‘koktela dobrodošlice’, ili susreti u foajeu hotela, a posebice prilikom stručnih izleta ili ekskurzija.

Crtice iz Josipove prošlosti

Nakon održanog simpozija 2006. godine, EDZ je za sudionike organizirao posjet Kornatima u šibenskom arhipelagu, unajmljenim brdom kako to pokazuje razglednica − slika 3.Vožnja do Kornata trajala je više od sata. Tu sam prvi put



Sl. 3.: EDZ, izlet na Kornate

čuo Josipa kako nekolicini sudionika, koji su ga pozorno slušali, govori o svojoj prošlosti. Izdvajam, prema sjećanju, neke crtice iz tog njegova 'monologa'.

(1) Obitelj Moser (dva brata), podrijetlom iz Austrije, doselila se u Osijek i osnovala ondje pivovaru.

(2) Josip Moser rođen je u Dubrovniku 1. ožujka 1942. godine. Krstio ga je potajno svećenik, član dalje Moserove obitelji, samo dan nakon rođenja, kako bi izbjegli tadašnje zakone talijanskih okupacijskih vlasti koji su se odnosili na davanje imena novorođenoj djeci.

(3) Josipov otac, također Josip Moser, bio je profesor fizike koji je doktorsku disertaciju iz optike obranio u Njemačkoj 1943. (?). godine.

(4) Profesor Josip Moser je nakon "oslobođenja" (1949.), 'po sili zakona' (dekretom iz Beograda) premješten iz Zagreba u Skoplje. Zahvaljujući Krsti Crvenkovskom, čelnom čovjeku CK KPJ iz Makedonije, mala intelektualna zajednica iz Hrvatske uživala je topao prijem i vrlo povoljne uvjete života i rada u Skoplju, a među inima i obitelj Moser.

(5) Josip je u Skoplju završio osnovnu i srednju školu (gimnaziju). U tom je razdoblju upoznao i Lovru pl. Matačića. Jednom prigodom Matačić je pokucao na vrata stana obitelji Moser u Skoplju i rekao otprilike ovo: "Moram

pripremiti izvedbu jedne opere pa bih uz klavir želio proći kroz partituru. Klavir je u operi na 'štimanju' (ugađanju), a jedini u Skoplju osim onog u kazalištu nalazi se kod vas…" Nakon obavljenog posla pita Matačić Josipa: "Mali, da li Ti sviraš klavir? " Nakon Josipova niječnog odgovora, Matačić ga pozove: "Dođi i sjedni do mene. Pokušaj ponoviti ono što ću ja odsvirati …" Nakon kratkog testa Matačić zaključi: "Ti se moraš odmah uključiti u glazbenu školu …", što je Josip i učinio.

(6) Josipova duhovnost potječe iz njegove mladosti. Sjećam se da je spominjao kako je tijekom boravka u Skoplju redovito ministrirao na jutarnjoj sv. misi u lokalnoj rimokatoličkoj crkvi.

(7) Josipovo poznavanje jezika imalo je korijene, osim u prirodnim predispozicijama, i u okolnostima iz mladosti. Osim materinskog jezika (hrvatski), tijekom boravka u Dubrovniku ovladao je talijanskim jezikom. Njemački jezik mu je bio u genezi, tj. svi su ga 'Moserovi' znali. Makedonski je naučio i tečno govorio tijekom boravka u Skoplju. Osnove francuskog naučio je od profesorice tog jezika koja je stanovala u istoj zgradi kao i Moserovi, samo dva kata ispod njih. Ona je predavala francuski u školi, ali Josipu je davala i privatne satove kod kuće. Latinski je kao i svi učenici gimnazije naučio u školi.

(8) Josipovo poznavanje jezika, uz njegove druge kvalitete (podrijetlo iz Dubrovnika − diplomacija) omogućilo mu je, u zadnjim godinama zaposlenja, obnašati u HEP-u funkciju ekvivalentnu ministru vanjskih poslova u državnoj hijerarhiji. Jedna od zasluga koje Josip sebi pripisuje začetak je stvaranja 400 kV prstena između susjednih država (Austrije, Mađarske, Slovenije i Hrvatske). Rezultat je izgrađena 400 kV rasklopna i transformatorska stanica u Žerjavincu kod Zagreba.

Naravno, ovo je samo mali isječak sjećanja na Josipova kazivanja o njegovoj prošlosti. Josip je volio pripovijedati i to je činio vrlo rado, uvjerljivo i dobro.

Posjet Budimpešti

Među uspomenama na Josipa koje nosim u sjećanju bio je i trodnevni izlet / posjet Budimpešti u organizaciji EDZ-a u prosincu 2008. godine, slika 4., koju prilažem kao razglednicu. Detaljan opis boravka u Budimpešti izlazi iz okvira ovog članka. Navodim samo tri detalja:

(1) Tijekom obilaska, negdje u blizini dvorca Vajdahunyad u Budimpešti, zaustavili smo se na trenutak na mjestu za koje je Josip tvrdio da se baš tu Nikola Tesla 'dosjetio' (izumio) trofazni sustav električne struje. Pali su prijedlozi da se o EDZ-ovu trošku tu podigne spomen-ploča tom velikom Teslinu otkriću, ali realizacija je, nažalost, izostala.



Sl.4.: EDZ, posjet Budimpešti

(2) Dio sudionika posjeta odvojio se i posjetio Tehnički muzej. Jedna od fotografija na slici 4., upravo to prikazuje.

(3) Josipovu sam duhovnost otkrio zadnjeg dana boravka u Budimpešti. Dojmilo me se to što je u nedjelju 14. prosinca 2008. sa suprugom Anom prisustvovao sv. misi u crkvi. Josip je bio jedan od mojih malobrojnih prijatelja za koje sam znao da prakticiraju vjeru.

Josipov 'opus' rada u EDZ-u

Cjelokupni Josipov 'opus' rada u EDZ-u mogao bi se podijeliti u nekoliko dijelova.

(1) Rad u Upravnom odboru EDZ-a (UO). Kao predsjednik EDZ-a pojavljuje se prvi put u mandatu od 1996. do 2009. godine [2]. Otad se na čelnom mjestu naizmjenično izmjenjivao s dr. Nevenom Srbom sve do jeseni 2019. godine. Biti čelni čovjek UO-a ne znači samo biti prvi od jednakih nego mnogo

više od toga. Autor ovog članka u svojem je drugom mandatu od jeseni 2005. do prosinca 2017. bio aktivan član i svjedok rada UO-a. U slobodi, koju uzimam, uspoređujem UO, pa i cijeli EDZ, ako ne s galijom, a onda s leutom, koji osim jedara ima i 10-12 pari vesala. Predsjednik UO-a ne samo da drži kormilo broda nego i 'udara u bubanj' dajući ritam veslačima, prisiljen je povremeno uzeti veslo i sam primjerom 'pokazati kako se to radi', te zamijeniti umorne ili nezainteresirane ili opstruktivne veslače. Ako pak nema vjetra, onda predsjednik UO-a 'u očaju' puše u jedra kako bi se leut ipak kretao po nemirnom moru naše elektrotehničke struke. Josip je to radio 24 godine! S jedne strane ja mu se divim na strpljivosti i uljuđenosti s kojom je obavljao tu zadaću. Najvećim je dijelom to radio na svoju štetu, odnosno na štetu zdravlja i privatnog života.

(2) Prilikom prikupljanja građe za proslavu 60-te obljetnice postojanja EDZ-a, koja se trebala obilježiti 2013. godine, Josip je sastavio popis svih referata i autora na simpozijima koje je EDZ dotad organizirao. Taj se popis trebao objaviti u monografiji, koja nije tiskana. Iz tog Josipova popisa [3] izdvojio sam referate u kojima se on pojavljuje kao autor. Prema tom popisu, Josip je do 2013. objavio 21 referat / članak. Ako se tom broju pridodaju referati koje je objavio nakon 2013. godine, tad je ukupan broj njegovih objavljenih referata 29, prema mojoj procjeni.

(3) Od jeseni 2005. stavljena je u funkciju EDZ-ova baza podataka, koju je izradio autor ovog članka. Iz podataka koji se iz te baze mogu iščitati proizlazi da su od travnja 2005. pa do rujna 2019. bile 923 različite aktivnosti EDZ-a. U velikom dijelu tih aktivnosti Josip je bio i voditelj i predavač. Kao voditelj seminara, ne računajući simpozije, Josip se kao organizator javlja u 73 slučaja. O broju seminara na kojima je sudjelovao samo kao predavač u EDZ-ovoj bazi nažalost nema podataka.

(4) Josip je objavio i više knjiga [4], među kojima je i *Petojezični elektroenergetski rječnik*. Marljivo je radio na pripremi jednog višejezičnog elektroenergetskog pojmovnika. Ne bih to znao da nisam zajedno s njim rješavao neke njegove praktične informatičke nedoumice.

Sve u svemu, Josip je imao bogat stručni, znanstveni i društveni opus, toliko velik, da sam se pitao kako on to uspijeva ostvariti u danu koji ima samo 24 sata. To je imalo i svoju 'cijenu'. Neki kolege zamjeraju Josipu da svoje pisane materijale nije dovoljno 'doradio' prije objavljivanja. Oni, koji su ikad napisali stručni članak, da ne kažem knjigu, znaju koliko vremena treba da se već napisani rad 'finišira', tj. dovede u stanje da bude besprijekoran u sadržaju i formi. Ne da to Josip nije znao ili htio učiniti, on to poneki put jednostavno 'nije stigao' učiniti.

(5) U nekim je područjima tehnike, posebice informatici, Josip malo zaostajao za prosjekom inženjera njegove dobi. Problem se, po meni, manifestirao na dvije razine: svijest i potreba da se olovka i papir zamijene osobnim

računalom, u cilju svladavanja osnovnih tehnika pisanja, računanja, prezentiranja, komuniciranja i arhiviranja vlastitih informacija uz pomoć osobnog računala. Ja sam bio sretan da sam Josipu mogao pomoći u svojstvu 'savjetnika' za informatiku. Međutim, kad je bila riječ o predavanjima, i bez odgovarajuće pripremljenih prezentacija (*PowerPoint*), Josip bi govorom, poznavanjem predmeta o kojem je govorio, osvojio auditorij svojim nastupom! Poneki sam put krišom motrio auditorij kako prati Josipova izlaganja. Izraz na licima slušatelja bio je nalik na izraz djece koja slušaju… priče!

Posljedice nedostatka znanja iz informatike očituju se i u spoznaji o tome kako danas ljudi koriste pristup informacijama. Grubo zvuči, ali činjenica je da veliku većinu informacija koje su ljudi nekad tražili u enciklopedijama, atlasima, stručnim tehničkim publikacijama danas traže i nalaze na internetu. Ta je činjenica, posebice s komercijalne strane, uvelike suzila populaciju koja danas traži, oslanja se i spremna je platiti (kupiti) pisani tekst / informaciju otisnutu na papiru. Bilo mi je stoga žao vremena koje je Josip ulagao u pisanje višejezičnog elektroenergetskog pojmovnika. Nisam mu to nikad eksplicitno rekao, iz osobnog poštovanja, te što smatram da je nepošteno, neetično uzimati nekomu nadu i volju.

(6) Izvan EDZ-a bio je aktivan član Društva Dubrovčana u Zagrebu, Matice slovačke Zagreb, …

Izborna skupština EDZ-a 2017.

Jedan je od događaja u EDZ-ovu kalendaru održavanje Godišnje skupštine. To je prigoda da UO podnese članstvu izvještaj o radu EDZ-a za proteklu godinu i da se iznesu prijedlozi za rad u idućoj godini, uz, naravno, raspravu i prijedloge prisutnih članova. U žargonu među članovima UO-a, godišnje skupštine EDZ-a dijelili smo na 'redovne' i 'izborne'. Izborne godišnje skupštine razlikovale su se od redovnih po tome što su se tijekom izbornih godišnjih skupština, koje su se održavale svake četiri godine, birali članovi UO-a, predsjednik, dopredsjednik i tajnik EDZ-a. Zadnjih nekoliko izbornih godišnjih skupština bila je organizirana i podjela nagrada zaslužnim pojedincima i organizacijama za doprinos u radu i ostvarenju ciljeva EDZ-a.

Zadnja, peta Izborna godišnja skupština, kojoj sam nazočio održana je 14. prosinca 2017., a prikazana je kao razglednica – kolaž na slici 5. Tom je prigodom UO izglasao osebujan način kandidiranja za pojedine funkcije u upravnim tijelima EDZ-a. Svatko tko je želio obnašati neku funkciju u EDZ-u mogao se samostalno prijaviti ili je mogao nekoga kandidirati za jednu (ili više) upravnih funkcija. Uoči te skupštine razgovarao sam s Josipom o kandidiranju za idući četverogodišnji mandat. Imali smo suprotna stanovišta. Josip me nagovarao da



Sl. 5.: EDZ, 5. izborna godišnja skupština

nastavim (tj. da se kandidiram) za nastavak rada u UO-u u idućem četverogodišnjem razdoblju, dok sam ja njega nagovarao da se povuče iz upravnih funkcija EDZ-a. Svoje stanovište argumentirao sam sljedećim: Nakon 12 godina rada u UO-u, sa svojih (tad) 76 godina života, jednom 'treba povući crtu' u životu i dostojanstveno se povući s funkcija za koje sam osjećao da ih neću moći obavljati na dosadašnjoj razini. Smatrao sam i uvjeravao Josipa, da vrijeme, koje nam još Bog daje na ovom svijetu, treba iskoristiti na bolji način od 'ispravljanja krive Drine' i ostvarivanja materijalnog dobitka, radeći u upravnim tijelima EDZ-a. Moram, nažalost, konstatirati da je svaki od nas ostao pri svojoj oduci glede nastavka rada u EDZ-u.

Ljetovanje na Braču

Nastavio sam surađivati i družiti se s Josipom i nakon što smo bitno suzili suradnju u EDZ-u. I nadalje sam mu bio savjetnik za informatiku. U znak zahvalnosti za tu pomoć uživao sam gostoprimstvo tijekom ljeta 2019. u njegovu apartmanu u Bolu na otoku Braču. Nekoliko fotografija na razglednici, slika 6., prikazuje neke scene s tog ljetovanja.

Tijekom druženja s Josipom i Anom za vrijeme ljetovanja shvatio sam tajnu Josipove uspješnosti. Bio sam svjedokom Josipove marljivosti i predanosti zadacima koje je sam sebi postavio. Svaki slobodni trenutak utrošio je radeći na svojem osobnom računalu. Dok sam ja još spavao, Josip je svakog jutra, još za rana, u jednom kutku svoje sobe marljivo radio, slika 6. U radu je imao podršku svoje životne suputnice Ane Kaštelan Moser. Tu je do izražaja došla ona maksima: Iza



Sl. 6.: Obitelj Moser na ljetovanju u Bolu na Braču

svakog uspješnog muškarca stoji dobra i požrtvovna žena. Tijekom nekoliko dana koje sam proveo u njihovu društvu u Bolu pokušao sam dati ‘svoj doprinos’ u obavljanju zajedničkih kućanskih poslova – ali mi to nisu dopustili.

Mnogo smo razgovarali, bolje rečeno, Josip je govorio, a ja sam ga slušao, o mnogim temama. Shvatio sam da je povijest jedno područje koje mu posebno drago i povremeno sam se pitao je li izabrao pravi životni poziv − elektrotehniku. Dok smo šetali Bolom gotovo o svakoj kući ili mjestu on je znao nešto iz povijesti.

Ono što smatram da odskače od prosjeka osoba naše profesije njihova je (Anina i Josipova) religioznost. Svake smo večeri za mojeg boravka u Bolu Ana i Josip i ja odlazili na svetu misu, slika 6. Zašto spominjem religioznost? Zato jer smatram da je prakticiranje vjere barem toliko važna odrednica neke osobe kao i postignuće akademske titule, znanstvenog statusa ili dodjele odlikovanja.

Oporavak u Sestre Mace domu

Za nas obojicu druga polovina 2019. godine bila je iznimno teška. Krajem kolovoza stradao sam u prometnoj nesreći, a Josip se tijekom studenog iznenada



Sl. 7.: Boravak Josipa Mosera u Sestre Mace domu



Sl. 8.: Ispraćaj Josipa Mosera na zagrebačkom Mirogoju

razbolio i također završio u bolnici. Obojica smo se s više ili manje uspjeha oporavljali, da bismo se zajedno, igrom sudbine, našli na oporavku u Sestre Mace domu u Pojatnom kraj Zaprešića. Josip je tamo stigao 2. travnja 2020. Zajedno smo boravili do mojeg odlaska iz tog doma krajem svibnja 2020. Uspomene iz Josipova boravka u spomenutoj instituciji prikazane su na slici 7.

Tijekom gotovo dva mjeseca imali smo prigodu družiti se. To druženje ostvarivali smo u prosjeku tri puta dnevno. Ujutro bih mu nakon doručka dostavljao primjerak *Jutarnjeg lista*, koji sam dobivao gratis, ljubaznošću jednog zaposlenika Doma. Josip bi odmah izdvajao stranicu enigmatike za kasniju razbibrigu. U vrijeme ručka susretali bismo se u prostoru za blagovanje i odmor na prvom katu, gdje su bile i naše sobe. Štićenici doma bi 'došepesali' ili bi ih sestre dovezle do njihovih standardnih pozicija u toj blagovaonici prije ručka.

Tu bismo nastavili čekati poput gladnih ptića u gnijezdu da se pojave sestre s hranom.Vrijeme čekanja na ručak koristili smo za razgovor, a među inim temama bila su i Josipova sjećanja. Nakon poslijepodnevnog odmora ponovno bih obišao Josipa pa bismo nastavili razgovor uz neuobičajeno dobru kavu iz automata. Nažalost, i ta nam je radost ubrzo uskraćena jer su Josipu ustanovili povišenu razinu šećera u krvi. Nastavili smo razgovarati i družiti se, ali bez kave.

Od jednog zaposlenika čuo sam da je Josip pričuvni časnik Hrvatske vojske. Stoga sam pitao Josipa: "Josipe, o kakvoj ti vojnoj službi govoriš?" Nato je on počeo priču o svojim ratnim događajima i uspomenama iz Domovinskog rata, a i izobrazbi u bivšoj JNA prije toga. O odlikovanju koje je primio iz ruke predsjednika dr. Franje Tuđmana. Slušam ga i ne mogu vjerovati da tijekom naše poslovne suradnje od 2005. pa do 2020. nikad od njega nisam čuo o tom dijelu njegova života. Ne samo da je bio samozatajan, čovjek bi rekao da je bio misteriozan, poput Jamesa Bonda, da je živio 'dvostrukim životom'. Bilo kako bilo, Josip je imao čin pričuvnog pukovnika Hrvatske vojske. Začuđen, pitam ja Josipa: "Zašto nikad nisi objavio svoje uspomene iz Domovinskog rata?" i nastavljam: "Josipe, ti pišeš komentare zakona, pravilnika, koje svaki malo bolje poučeni inženjer može napisati, a zanemaruješ tako značajne podatke o sebi i svojoj obitelji." Josip šuti i konačno kaže: "Sve to ja znam i čim se malo oporavim planiram i to napisati. Ja ću smanjiti moje funkcije i obveze prema EDZ-u i posvetit ću se tim temama."

Međutim, sve se ove njegove dobre namjere nisu obistinile jer ga je smrt pretekla. Umro je u Sestre Mace domu u Pojatnom 6. rujna 2020., negdje između 18: 30 i 19: 30 sati. Prema kazivanjima njegove supruge Ane, u 18 sati telefonski su razgovarali i izmijenili vrlo nježne riječi ljubavi, da bi on na kraju tog telefonskog razgovora rekao: "…Sada ću se ja malo odmoriti, a poslije ću pojesti dio večere, a mi ćemo se sutra izjutra opet čuti." Kad ga je sestra u večernjoj smjeni obišla, ustanovila je da Josip više ne diše. Otišao je s ovog svijeta tiho i zatajno, prema svemu sudeći bez boli i patnje.

Ispraćaj

S Josipom Moserom oprostio sam se, kao uostalom i njegova obitelj, prijatelji i kolege, 10. rujna 2020. na Krematoriju na zagrebačkom Mirogoju, kako to prikazuje razglednica na slici 8. Ispraćaju je nazočio velik broj Josipovih prijatelja, kolega i poznanika usprkos ograničenjima vezanim uz pandemiju koronavirusa. Napustio nas je vrstan stručnjak široke naobrazbe, gospodin (gospar) po ponašanju, ali prije svega uzoran suprug i DOBAR čovjek.

Prilog 1.: Knjige

1. Josip Moser: *Pregled razvoja elektroprivredne djelatnosti u Hrvatskoj* 1875. − 2000., Kigen, Zagreb, 2003., 168 str.
2. Josip Moser: *Elektroenergetički pojmovnik*, Inačica, Zagreb, 1997., 154 str.
3. Josip Moser, Ernest Mihalek: *Korištenje električne energije u kućanstvu*, *Graphis*, Zagreb, 2001.
4. Josip Moser: *Petojezični elektroenergetski rječnik − hrvatski, engleski, francuski, njemački, talijanski: nadzemni vodovi, kabelski vodovi, proizvodnja, prijenos i distribucija električne energije*, *Kigen*, Zagreb, 2005., 265 str.
5. Josip Moser: *Šibensko munjivo: crtice o izgradnji i korištenju prvog cjelovitog elektroprivrednog sustava u Hrvatskoj*, Gradska knjižnica *Juraj Šižgorić*, 1998.
6. *30. godina planinarskog društva PTT Sljeme Zagreb*, glavni i odgovorni urednik Josip Moser, Zagreb, 1980.
7. *Povijest i filozofija tehnike: radovi EDZ sekcije 2012. − 2016. godine*, urednici: Zvonko Benčić, Josip Moser, *Kiklos − krug knjige*, Zagreb, 2017.
8. *Povijest i filozofija tehnike: radovi EDZ sekcije 2017. godine*, urednici: Zvonko Benčić, Josip Moser, *Kiklos − krug knjige*, Zagreb, 2017.
9. *Pedeset godina djelovanja CIGRÉ u Hrvatskoj 1951. – 2001.; Deset godina Hrvatskog komiteta CIGRÉ 1991. – 2001.*, glavni urednik Josip Moser, CIGRÉ, Zagreb, 2001., 180 str.

Prilog 2.: Referati na na skupovima u organizaciji EDZ-a (1982. − 2013.)

1. Josip Moser: Bibliografija prof. Josipa Lončara, EIS 2007., EDZ Zagreb.
2. Josip Moser: Josip Lončar − pionir RTV tehnike u Hrvatskoj, EIS 2008, EDZ Zagreb.
3. Josip Moser: Komentar važećih zakona vezanih uz izgradnju elektroenergetskih objekata, uz mrežna pravila i opće uvjete opskrbe električne energije, PIP 2009, EDZ Zagreb.
4. Josip Moser: Josip Lončar − život i rad, EI 2006,HEP Zagreb.
5. Josip Moser: Josip Lončar − bibliografija, prilog analizi djelovanja prvog profesora elektrotehnike u Hrvatskoj, EIS 2010, EDZ Zagreb.
6. Josip Moser: Odnosi kupaca i proizvođača, prijenosnika, distributera i posrednika prema Zakonu o energiji, Zakonu o tržištu električne energije i općim uvjetima isporuke električne energije, EIS 2010, EDZ Zagreb.
7. Josip Moser: Planiranje i projektiranje srednjonaponskih i visokonaponskih postrojenja, PIP 2010, EDZ Zagreb.
8. Josip Moser: Potreba i problemi kod izrade pojmovnika elektrotehničkog nazivlja u RH, PIP 2010, EDZ Zagreb.

9. Josip Moser: 300 godina od rođenja Ruđera Josipa Boškovića, EIS 2011, EDZ Zagreb.
10. Josip Moser: Održavanje elektroenergetskih postrojenja kao faktor produženja životne dobi, EIS 2011, EDZ Zagreb.
11. Josip Moser: Norma o kvaliteti električne energije en 50160 i njen utjecaj na projektiranje i planiranje distributivnih mreža, PIP 2011, EDZ Zagreb.
12. Josip Moser: Zaštitna oprema i alati pri radu pod naponom, SIZ 2012, EDZ Zagreb.
13. Josip Moser: Hrvatska pred novom elektrifikacijom do 2030. godine, EIS 2012, EDZ Zagreb.
14. Josip Moser: Obnovljivi izvori energije i njihov utjecaj na okoliš, EIS 2012, EDZ Zagreb.
15. Josip Moser: Neke okrugle godišnjice istaknutih ljudi iz područja elektrotehnike, EIS 2012, EDZ Zagreb.
16. Josip Moser: Principi srednjoročnog i dugoročnog planiranja električnih mreža, PIP 2012, EDZ Zagreb.
17. Josip Moser: Tehnologija radova pod naponom kao element zaštite i sigurnosti na radu kod održavanja električnih postrojenja, SIZ 2013, EDZ Zagreb.
18. Josip Moser: Razvoj elektrotehnike u Hrvatskoj od osnutka Društva arhitekata i inženjera 1878. do osnutka Elektrotehničkog društva Zagreb 1953. – povodom 60-te obljetnice EDZ-a, EIS 2013, EDZ Zagreb.
19. Josip Moser: Perspektivni konzum u RH 20-30 godišnjem razdoblju EIS 2013, EDZ Zagreb.
20. Josip Moser: Potjera za Teslinim "nestalim rukopisima", Je li Tesla pronašao "zrake smrti", EIS 2013, EDZ Zagreb.
21. Josip Moser: Srednjeročno i dugoročno planiranje srednjonaponske mreže naselja i ruralnog područja, PIP 2013, EDZ Zagreb.

Kratice

EDZ	Elektrotehničko društvo Zagreb
EIS	Međunarodni Elektroinženjerski simpozij "Dani Josipa Lončara"
PIP	Međunarodni simpozij "Planiranje i projektiranje"
SIZ	Savjetovanje "Sigurnost i zdravlje pri radu"

Remembrance on Josip Moser

Želimir Volf

Abstract: The author writes his personal remembrances on Josip Moser. Author's first encounter with Josip was during the studies on the Electrotechnical faculty of Zagreb, and 39 years later after reunion on the same electrotechnical faculty, where they graduated. The majority of author's remembrances refers to common working activities in the Electrotechnical society of Zagreb (EDZ), particularly on symposiums, as well as excursions organized by EDZ (Šibenik, Kornati, Budapest). Author gives his commentary on EDZ's annual election assembly of 2017. Remembrances after 2017 are described in chapters Summer in Brač, Recovering in Sestre Mace dom and Departure

Keywords: Josip Moser, Electrotechnical Society Zagreb, EDZ

Darko Žubrinić, Zvonko Benčić

Matematičari koji su diplomirali na tehničkim fakultetima

Sažetak: Članak daje uvid u imena četrnaest matematičara koji su diplomirali na tehničkim fakultetima. Uvrstili smo one koji su u najširem smislu vezani uz Hrvatsku.

Ključne riječi: Hrvatska, matematičari, tehnički studiji

Uvod

U članku ćemo se osvrnuti na četrnaest matematičara koji su diplomirali na tehničkim fakultetima. Uvrstili smo one koji su u najširem smislu vezani uz Hrvatsku, bilo mjestom diplomiranja, mjestom doktoriranja ili mjestom prebivanja. Pod matematičarem podrazumijevamo osobu koja je doktorirala u području matematičkih znanosti. Dodali smo i dvije osobe koje nisu doktorirale u području matematike, nego u području elektrotehnike, ali čiji su doktorati i naknadni rad imali izrazite interakcije s matematikom.[1]

Bilo bi zanimljivo doznati imena osoba koje su diplomirale na tehničkim fakultetima, a doktorirale u području fizike. Čini se da je njihov broj puno manji.[2]

[1] To su profesori Miroslav Šare i Mario Essert.

[2] Spomenimo prof. Tomislava Petkovića s FER-a, koji je diplomirao na ETF-u, a doktorirao u području fizike. Možemo spomenuti i prof. Zvonka Benčića, koji je diplomirao na ETF-u, a magistrirao u području fizike (i doktorirao u području elektrotehnike). Od prof. Lahorije Bistričić doznali smo za mladog fizičara dr. Ivicu Skokića, koji je završio studij na FERIT-u Osijeku. Možemo također dodati i imena prof. Vatroslava Lopašića i dr. Emila Grgina, koji su diplomirali matematiku, a doktorirali u području fizike. Sve spomenute osobe diplomirale su i doktorirale na Sveučilištu u Zagrebu, osim Emila Grgina, koji je doktorirao u SAD-u.

Među matematičarima koji su diplomirali fiziku su profesori Hrvoje Kraljević, Dragan Miličić, Mirko Primc i Martin Lazar.[3]

David Segen (1859. – 1928.)



Sl. 1.: David Segen, prvi doktor matematičkih znanosti u Hrvatskoj (fotografija iz [5])

Završio je Visoku tehničku školu u Beču, a za vrijeme studija od 1876. do 1879. dobivao hrvatsku studentsku stipendiju. Doktorirao je 1889. pod mentorstvom Karela Zahradnika (podrijetlom Čeha) s temom *O asteroidi*, koja spada u teoriju ravninskih krivulja. Bio je to prvi doktorat matematičkih znanosti na Sveučilištu u Zagrebu. Godine 1894. postao je dopisni član JAZU (danas HAZU).[4] O Segenovu matematičkom radu vidi članak [12], kao i monografiju [5].

Đuro Švarc (1901. − 1980.)



Sl. 2.: Prof. Đuro Švarc

Studirao je na Odjelu za strojarstvo (u Pododjelu za elektrotehniku) Visoke tehničke škole u Beču u razdoblju akad. god. 1919./1920. – akad. god. 1922./1923. Godine 1925. položio je II. državni ispit iz elektrotehnike i stekao pravo na titulu inženjera.[5] Doktorirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu 1961. s disertacijom *Odnosi fizikalnih veličina dvaju kombinirano vezanih neprigušenih električnih titrajnih sistema bez narinutog napona, kod kontinuirane promjene diferencije faktora vezanja, uz nepromijenjena razvezana stanja*. U peteročlanoj doktorskoj komisiji bila su tri matematičara: prof. Danilo Blanuša, prof. Dimitrije Ugrin-Šparac i doc. Petar Javor (uz profesore Vatroslava Lopašića i Vladimira Matkovića). Prema tadašnjoj

[3] Martin Lazar paralelno je završio dva studija: studij fizike (točnije, geofizike: meteorologije i oceanografije) i studij matematike.

[4] U njegovu radu [16] možemo vidjeti neke osobitosti ondašnjeg hrvatskog pravopisa i terminologije: iztraživanja, positivan, Cartesijeve, coordinate, jednačba, siek (presjek), olina (broj), envelopa, uvieke (uvjek), dotično (to jest), općenito, theorija, factori, kadkad, razprava, množitba, djelitba, abscissa itd. Stanovao je u Jurišićevoj ulici br. 5.

[5] Uočite da na Višoj tehničkoj školi u Beču studij nije završavao diplomskim ispitom.

klasifikaciji stekao je zvanje "dr. tehničkih nauka u području Primijenjene matematike".[6] Njegov udžbenik *Električni titrajni krugovi*, I. dio (1959.) bio je jedan od prvih četiri odnosno pet monografskih djela iz područja elektrotehnike zagrebačkog sveučilišta. Radio je na željeznici u Zagrebu (1927. − 1929.; 1931. – 1947. s prekidom tijekom Drugog svjetskog rata), u elektroprivredi Argentine u Buenos Airesu (1929. – 1931.) i na Tehničkom / Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu (1947. – 1971.). Bio je zatočen u Jasenovcu nešto manje od jedne godine (1941./1942.). Umro je od posljedica prometne nesreće u Zagrebu.

Danilo Blanuša (1903. – 1907.)



Sl. 3.: Akad. Danilo Blanuša kao dekan ETF-a (danas FER-a)

Studij elektrotehnike počeo je na Visokoj tehničkoj školi u Zagrebu (1921./1922.), a nastavio i diplomirao 1934. na Tehničkom fakultetu u Beču. Doktorirao je 1943. na Sveučilištu u Zagrebu u području matematičkih znanosti s radom *Jedna vrst integralnih teorema Besselovih funkcija*, pod mentorstvom prof. Željka Markovića. Bio je predstojnik Zavoda za primijenjenu matematiku na Tehničkom fakultetu i kasnije (od 1956.) na ETF-u u dugom razdoblju od 1949. do 1975. godine. Redovitim članom JAZU (danas HAZU) postao je 1958. Dekan ETF-a bio je akad. god. 1957./1958. O prof. Danilu Blanuši već je mnogo pisano u raznim prigodama, v. [7].

Njegovi su glavni znanstveni doprinosi u tri područja: 1. izometričko smještavanje hiperboličkih prostora u euklidske prostore; 2. teorija relativnosti i relativistička termodinamika; 3. teorija grafova.

Citiramo tekst iz njegova predsjedničkog govora održanog u Zagrebu na V. redovitoj godišnjoj skupštini Društva matematičara i fizičara Hrvatske 1954. godine, objavljenog u [3][7], a koji se lijepo uklapa u temu *Povijesti i filozofije tehnike*:

> "Što je dalje napredovao razvoj likovnih umjetnosti, arhitekture, glazbe i matematike to su raznorodnije postale te manifestacije ljudske kulture i to teže je proniknuti u analogije, koje se kriju u njihovim estetskim ostvarenjima. Niti se može brojevima izraziti ljepota Bachove fuge, niti se može odsvirati Gaussova teorija diobe kružnice. Ipak se

[6] Prema čl. 92. Statuta Elektrotehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu objavljenom u studenom 1959. godine: "Na Elektrotehničkom fakultetu može se steći doktorat nauka iz sljedećih disciplina: elektrostrojarstva, elektroenergetike, komunikacione tehnike, elektronike, primijenjene matematike, tehničke fizike."

[7] Taj odlomak navodimo prema članku [4].

ponekad povezuju različita umjetnička djela. Jedan je znameniti dirigent usporedio Brucknerovu glazbu s veličanstvenom gotikom kölnske katedrale. Je li onda nedopušteno reći, da Gaussova rasprava *Disquisitiones generales circa superficies curvas*, taj biser matematičke literature, po svojoj skladnosti i cjelovitosti, po ljepoti dokaznih postupaka, po dosljednosti provedbe temeljnih ideja i po stvaralačkoj snazi podsjeća na Beethovenovu glazbu? Ili, da se moderna topologija sa svojim bizarnim geometrijskim tvorbama i jedva prozirnom logičkom strukturom, koja izvire što iz algebre, što iz teorije skupova, doima kao arhitektonika indijskoga hrama s čudnim spletom linija i sa skulpturama, koje obavija atmosfera misterija i straha? A teorija brojeva da je poput visoke kristalne palače, na kojoj se savršenom harmonijom slažu arhitektonski oblici, a vrhovi joj izmiču oku u nedoglednoj visini?

Matematika je zacijelo najegzaktnija nauka i svijetlo oružje u našoj borbi za vlast nad prirodnim silama. No ona je povrh toga i uzvišena umjetnost. Ako je glazba umjetnost tonova, matematika je umjetnost oštroumlja. Ona je glazba ljudske misli."

Na poticaj prof. Blanuše postavljena je iznad ulaznih vrata Zavoda za primijenjenu matematiku FER-a mramorna ploča s uklesanim natpisom na starogrčkom jeziku, kakav je bio na Platonovoj akademiji: *Medeis ageometretos eisito*[8] (Neka ne ulazi nitko tko ne poznaje geometriju). Hrvatsko matematičko društvo na prijedlog prof. Ivana Ivanšića uzelo je tzv. Blanušin graf kao svoj zaštitni znak. Također na inicijativu prof. Ivanšića, taj je graf objavljen 2000. i na poštanskim markama (povodom Međunarodnog matematičkog kongresa), a dizajnirao ih je Boris Ljubičić.

Miroslav Šare (1918. – 2005.)



Sl. 4.: Prof. Miroslav Šare

Maturirao je 1937. u Šibeniku, a diplomirao 1951. na Elektrotehničkom odsjeku Tehničkog fakulteta u Zagrebu. Službuje neprekinuto od 1946. do umirovljenja 1982. na Zavodu za elektronička mjerenja i sisteme ETF-a (današnji Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija FER-a), koji se njegovim samozatajnim radom tijekom vremena razvio iz Zavoda za žično-dojavnu tehniku ranijeg Tehničkog fakulteta u Zagrebu.

[8] *ἀγεωμέτρητοςμηδεὶς εἰσίτω*

U proljeće 1957. otkrio je u teoriji linearnih električnih mreža mogućnost karakteriziranja strukture CRL-dvopola riječima oblikovanim troelementnom abecedom, uviđajući pritom u serijskom i paralelnom spajanju dvopola algebarske operacije. Nakon trinaestogodišnjeg rada, prikazao je u monografiji *m-Brojevi* aksiomatsku karakterizaciju otkrivene algebarske strukture, nazvanu 'm-struktura', te njezinu primjenu u teoriji LRC-mreža. Tezu da su tom knjigom začete nove discipline teorije električnih mreža, koje je opravdano nazvati algebra, topologija i logika električkih mreža, obranio je doktorskom disertacijom 1973. godine na ETF-u u Zagrebu. Članovi povjerenstva bili su Danilo Blanuša, Vladimir Devidé, Hrvoje Babić, Stanko Turk i Petar Javor.[9] Za docenta je izabran 1968., za izvanrednog profesora 1973., a u tom je zvanju i umirovljen. U dodiplomskoj nastavi utemeljio je i predavao predmet Elektronička mjerna tehnika i izborni predmet Diskretne matematičke strukture. Na poslijediplomskoj nastavi predavao je predmete: Grafovi i mreže, Topološka analiza i sinteza električkih mreža i Teorija automata.

Nerazumijevanje i neprihvaćanje m-teorije u akademskoj sredini nije ga spriječilo u daljnjim istraživanjima. Unatoč neprilikama (rat, deložacija, bolest i starost), Šare je uspio generalizirati spomenutu dvogeneratorsku m-strukturu u strukturu s bilo kojim brojem generatora. Taj je rad objavljen u prosincu 2000. kao monografija pod naslovom *Jorbologija*[10] u nakladi zagrebačkog poduzeća Element. 'm-teorija' Miroslava Šare doživjela je potvrdu kroz IGPL[11] (Oxford University Press) časopis 2017., svjetski UNILOG[12] kongres 2018. i domaće konferencije, a razvija se i dalje u Zagrebu (Essert, Žilić, Benić) i Osijeku (Kuzmanović, Ivičić, Jelić).

Dominik Palman (1924. – 2006.)



Sl. 5.: Prof. Dominik Palman

Pohađao je senjsku gimnaziju, gdje mu je predavao Vladimir Benčić, otac prof. Zvonka Benčića. Maturirao je ratne 1942. godine. Studij elektrotehnike na Tehničkom fakultetu upisao je zbog teških životnih prilika tek 1947. Diplomirao je 1951. radom *Grafičke metode za mehanički proračun vodiča* pod vodstvom profesora Božidara Stefaninija na smjeru Jaka struja. Godine 1958. doktorirao je matematiku s disertacijom *Potpuno cirkularne krivulje trećeg reda u hiperboličkoj ravnini*, pod mentorstvom akademika

[9] Kao što vidimo, prvi, drugi i peti član povjerenstva bili su matematičari.

[10] **Jorb**, inverzija od *broj*.

[11] **IGPL**, Interest Group in Pure and Applied Logics; v.[6]

[12] **UNILOG**, Universal Logic; v. https://uni-log.org

Vilka Ničea. Iz članka [18] doznajemo da je bio vrstan slikar amater, fotograf, jedriličar, poznavatelj klasične glazbe i povijesti te uvijek vezan za rodni Senj.

Bogdan Zelenko (1925. – 2013.)





Sl. 6.: Lijevo: Prof. Bogdan Zelenko, desno: prof. Zelenko i akad. Devidé u Zagrebu (foto: dr. sc. Željko Hanjš)

Maturirao je 1943. u Zagrebu, a 1952. diplomirao elektrotehniku na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Doktorat matematičkih znanosti stekao je 1959. na PMF-u u Zagrebu. Bavio se algebrom (teorijom grupa i grupoida), diofantskim jednadžbama, te numeričkim metodama primjenom računala. Od 1954. radio je kao projektant u Birou za projektiranje "Klimatizacija". Od 1955. do 1960. bio je asistent na Tehničkom fakultetu (od 1956. na Tehnološkom fakultetu). Od 1960. do 1979. radio je u Elektrotehničkom institutu poduzeća *Rade Končar*, kao šef Odjela za teoriju automatske regulacije, potom kao šef Odjela za računsku tehniku, a od 1977. kao savjetnik. Od 1979. do 1987. radi kao izvanredni profesor na Građevinskom fakultetu, gdje predaje kolegije Matematika i Elektronička obrada podataka. Od 1987. do 1989. opet je na Elektrotehničkom institutu poduzeća *Rade Končar*, u Zavodu za računsku tehniku, a bavi se znanstvenim istraživanjima i razvojem. U razdoblju 1989. – 1999. dekan je Više tehničke škole u Zagrebu. Bio je suradnik Instituta *Ruđer Bošković* od 1963. do 1972. Predavao je matematiku i računalne predmete na brojnim poslijediplomskim studijima: Interfakultetski studij Tehnika i ekonomika automatizacije, ETF, Građevinski fakultet, PMF i RGN. Jedno vrijeme vodio je Seminar za numeričku matematiku i računske strojeve, u sklopu nekadašnjeg Instituta za matematiku Sveučilišta u Zagrebu. Bavio se i popularizacijom znanosti. U koautorstvu s Vladimirom Devidéom objavio je zbirku *Zadaci iz matematike I* (Sveučilište u Zagrebu: I. izd. 1946.,198 str.; II. izd. 1948., 208 str.); v. [16]. Te su zbirke pratile knjige Željka Markovića *Uvod u višu analizu I i II.*

Vladimir Devidé (1925. – 2010.)




Sl. 7.: Lijevo: Akad. Vladimir Devidé, desno: akad. Devidé i prof. Zelenko (foto: dr. sc. Željko Hanjš)

Diplomirao je 1951. na Građevinskom odsjeku tadašnjeg Tehničkog fakulteta. Doktorsku disertaciju *Jedna klasa grupoida* obranio je 1956. na Matematičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu. Znanstveno se bavio matematičkom logikom i zasnivanjem matematike, teorijom skupova, algebrom i geometrijom u euklidskim prostorima. Ima najveće zasluge za pokretanje znanstvenog rada iz matematičke logike u Hrvatskoj. Redoviti član HAZU postao je 1990. u Razredu za matematičke, fizičke i kemijske znanosti. Popularizirao je japansku kulturu, povijest i umjetnost. Za opširniji uvid v. [13].

Ivan Ivanšić (1931. – 2020.)



Sl. 8.: Prof. Ivan Ivanšić

Studirao je elektrotehniku na Tehničkom fakultetu u Zagrebu (odsjek Slabe struje) i diplomirao 1956. pod mentorstvom prof. Vladimira Matkovića. Magistrirao je 1968. na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu u području matematike (točnije, geometrije), pod mentorstvom prof. Sibe Mardešića. Boravio je na specijalizaciji u SAD-u (University of Georgia, Athens), gdje je doktorirao 1970. u području topologije. Godine 1981. primio je znanstvenu nagradu *Ruđer Bošković*. Redoviti profesor na ETF-u postao je 1982., a od 1999. redoviti je profesor u trajnom zvanju. Godine 2002. odlazi u mirovinu. Bio je glavni urednik *Glasnika matematičkog* od 1977. do 1989., dopredsjednik i predsjednik Hrvatskog matematičkog društva od 1978. do 1983. Od

1983. do 1991. bio je predsjednik Nacionalnog komiteta za matematiku bivše države, a tu je dužnost obnašao u Republici Hrvatskoj do 2001. Dobitnik je Nagrade *Ruđer Bošković* za 1980., a 1985. dobio je Zlatnu plaketu *Josip Lončar*. Na njegovu je sugestiju Hrvatsko matematičko društvo u Zagrebu kao svoj službeni znak uzelo Blanušin graf. Na njegovu je sugestiju Blanušin graf 2000. dospio na hrvatske poštanske marke povodom UNESCO-ova proglašenja Matematičke godine. Sa suradnikom Leonardom R. Rubinom iz SAD-a (University of Oklahoma) objavio je monografiju pod naslovom *Extension, Dimension and Shape*, u izdanju poduzeća Element iz Zagreba (2020.). Više podataka dostupno je u [11].

Dimitrije Ugrin-Šparac (1933. − 2004.)



Sl. 9.: Prof. Dimitrije Ugrin-Šparac

Srednju školu završio je 1952. u Vinkovcima. Diplomirao je 1959. na elektro-odsjeku Tehničkog fakulteta u Zagrebu. Tijekom dvije godine radio je na Institutu *Ruđer Bošković* kao njihov stipendist. Na Zavodu za primijenjenu matematiku ETF-a zaposlio se 1961. kao asistent. Doktorirao je 1965. na Matematičkom odsjeku PMF-a temom *Neka svojstva Bernoullijevih brojeva i polinoma s posebnim osvrtom na primjenu u teoriji brojeva* pod mentorstvom prof. Gjure Kurepe. Docent je bio do 1971., izvanredni profesor do 1981., redoviti profesor do umirovljenja 2003. Znanstveni interes bio mu je u teoriji brojeva i algebri. Osim na poslijediplomskim studijima ETF-u, predavao je na PMF-u, na Geodetskom fakultetu u Zagrebu, kao i u Splitu i Banjoj Luci. Za studente ETF-a objavio je knjigu *Primijenjena teorija vjerojatnosti*. Bio je prodekan za nastavu ETF-a i predstojnik ZMP-a od 1975. do 1976. Bio je također i predstojnik Odjela za teoriju brojeva i algebru pri Institutu za matematiku Sveučilišta u Zagrebu, od 1971. do ukinuća Instituta 1974.[13] Uz prof. Dragutina Svrtana kao mentora, bio je suvoditelj doktorske disertacije akademika Andreja Dujelle iz područja teorije brojeva.

Davor Butković (r. 1935.)

U Splitu je 1953. završio Realnu gimnaziju. U Zagrebu je 1960. diplomirao elektrotehniku na ETF-u, a 1967. teorijsku matematiku na PMF-u. Na ETF-u se

[13] Institut za matematiku Sveučilišta u Zagrebu djelovao je od 1961. do 1974.



Sl. 10.: Prof. Davor Butković. (foto: Nigerijac Williams Era, student prof. Butkovića, 11. lipnja 1987.)

zaposlio 1961. u Zavodu za primijenjenu matematiku, gdje je radio do 2000. Magistrirao je 1973. i doktorirao 1975. na PMF-u s temom *Radonove i Borelove mjere s vrijednostima u vektorskim prostorima*, pod mentorstvom prof. Svetozara Kurepe. Biran je za docenta 1975., za izvanrednog profesora 1981., za redovitog profesora 1987., a za profesora u trajnom zvanju 1998. godine. Od 2000. do 2002. bio je pomoćnik za međunarodnu suradnju u Ministarstvu znanosti i tehnologije, a od 2003. do umirovljenja 2006. bio je zaposlen na Odjelu za matematiku Sveučilišta u Osijeku. Na redovitim i poslijediplomskim studijima predavao je na PMF-u i FER-u u Zagrebu te na sveučilištima u Splitu, Osijeku i Tuzli. Akad. god. 1983./1984. kao gostujući profesor predavao je na University of Florida, a bio je i u Rennesu, Varšavi, Perugi, Kijevu, Grazu na duljim i kraćim studijskim boravcima. Objavio je sam ili u koautorstvu dvadesetak znanstvenih radova iz teorije mjere, teorije sumabilnosti i teorije vjerojatnosti. Dobitnik je Zlatne plakete *Josip Lončar* za 1995., a 2002. dodijeljen mu je *Ordre des Palmes Académiques* Francuske Republike. Profesor Butković svoj rad na Tehničkom / Elektrotehničkom fakultetu te Fakultetu elektrotehnike i računarstva opisuje sljedećim riječima:

> "Na ETF-u u jesen 1954., nakon ispita iz fizike kod prof. Vatroslava Lopašića, prihvatio sam demonstraturu, pa sam do diplome pomagao u pripremi predavanja iz tog predmeta. Ipak, klasična fizika me manje zanimala, a u to vrijeme nisam uopće razmišljao o matematici kao profesiji. Istina je, da sam u gimnaziji i poslije čitao matematičke knjige, npr. *Teoriju skupova Đure Kurepe*, koju mi je kao nagradu u ime Nastavničkog vijeća izabrao moj razrednik, tragično preminuli Duško Jurišić. No pri kraju studija elektrotehnike sam se družio s Dimitrijem Ugrin-Šparcem, koji je s Ivanom Ivanšićem i Petrom Javorom bio Blanušin asistent. Šparac je zaslužan ili kriv da sam se nakon vojnog roka prijavio na natječaj raspisan u Zavodu za primijenjenu matematiku. Lopašić se ljutio, ali kad je otišao u mirovinu, redovno sam ga posjećivao.
>
> Ivanšić je vodio sve zavodske asistente, pa sam s vremenom napredovao i u predavanjima za studente. Šparac mi je prepustio čitanje raznih kolegija za postdiplomce ETF-a, a uz to sam 1962. upisao matematiku na PMF-u, a 1964. i PMF-ov postdiplomski. Seminare iz analize je vodio prof. Đuro Kurepa i njegov asistent Mirko Mihaljinec, pa sam s asistentom prečitavao profesorovu knjigu. Prof. Svetozaru Kurepi sam

pokazao ruski prijevod S. Bochnerove monografije o Fourierovom integralu i članak A. H. Ostrowskog iz 1966. Otkrio sam, da rezultat Ostrowskog može nastati samo na beskonačnim intervalima, a kad mi je Svetozar primijetio da treba precizirati što je integral, našao sam se u problemu. Rezultat je bio moj prvi objavljeni rad: umjesto Lebesgueovog integrala trebalo je uzeti potklasu Danjoyovog integrala, koju ima npr. E. W. Hobson u svojoj knjizi iz 1926. (2. izd.; reprint Dover 1954.). Singularitet Ostrowskog se može opisati jednom Besselovom funkcijom, što dugujem kolegiju kojeg mi je prepustio Šparac. Autor knjige iz 1937. o Laplaceovoj transformaciji, G. Doetsch, nema takav tip pola, pa u recenziji u *Mathematische Zeitschrift* komentira dotično poglavlje mog članka. U drugom kontekstu, singulariteti su važan dio kvalitativne teorije (rus. *качественной теории*) dinamičkih sustava. Nekad je knjiga A. A. Andronova i dr. iz 1966. bila biblija, a određenim karakterizacijama singulariteta se u našem Zavodu na FER-u danas bave Vesna Županović, Darko Žubrinić i drugi.

Nakon Denjoya, većina mojih radova se može podijeliti na dvije faze. Prva se tiče vektorskih mjera (magistarski rad). Počelo je s varijantama popunjenja (engl. *completion*). O jednoj sam govorio u Dublinu 1977. uz pohvale J. J. Uhla Jr., koji je te godine o vektorskim mjerama izdao knjigu zajedno s J. Diestelom. Članke (B. 1976.) i (B. 1978.) vezane s doktoratom komentirao je drugi član gornjeg dvojca (‘ogroman trud’, što je istina). Radonove mjere su projekt opsežnog ‘preprint’ rada E. Thomasa (*Ann. Inst. Fourier*, Grenoble 1970.), a Borelove mjere su skupovne funkcije na prstenovima podskupova. Meni se svidio D. R. Lewisov integral (*Pacific J. Math*., 1970.), za kojeg mi je autor rekao ‘nije naročito, nema topologije’. Uz velika ograničenja, određenu bijekciju sam imao već na kongresu u Beogradu 1974.

Druga faza je vezana za tzv. gotovo (engl. *almost*) konvergenciju. Teoriju za jednostruke nizove inicirao je G. G. Lorentz (*Acta Mathematica*, 1948.), a neke njegove dokaze trebalo je upotpuniti, pa je naš (B. K. S. u *L. N*., 1987.)[14] citirao K. E. Sprenga u *Arch. Math*. 1990., i dvojac F. Móritz, B. E. Rhoades u beogradskim *Publ. Inst. Math*. iste godine. Spomenuti dvojac je publicirao ključni rad o dvostrukim nizovima, o čemu imam dva članka s Hrvojem Kraljevićem (1987. i 1994.) i četiri sam (od 1996. – 2014.). Pokoja pogreška, koja se nađe i u člancima s drugima, u pravilu pripada meni. Jedna pak je postala ‘slavna’, jer je protuprimjer

[14] Oznake B. K. S. znače Davor Butković, Hrvoje Kraljević i Nikola Sarapa. Godina označava kad je članak objavljen. Ako je iste godine objavljeno više članaka, navodi se časopis ili publikacija: *G. math*. za *Glasnik matematički*, *L. N*. za *Lecture Notes in Math*.

objavljen u *Mathematical Reviews*. Poslije sam ga našao u jednoj francuskoj knjizi J. Hoffmann – Jørgensen, koga sam upoznao u Leipzigu 1977., i koji me nagovorio da objavim ispravak, koji se tako našao tik do ispravka prerano umrlog Branka Najmana (*G. math*., 1983.).”[15]

O životu i radu prof. Davora Butkovića više podataka dostupno je u [19].

Branko Kronfeld (1938. − 1983.)



Sl. 11.: Doc. Branko Kronfeld [8]

Diplomirao je 1961. na ETF-u u Zagrebu. Kao student bio je demonstrator na Zavodu za primijenjenu matematiku ETF-a, što je pojačalo njegove sklonosti prema matematici. Zaposlio se na Katedri za matematiku kao asistent na tadašnjem Strojarsko-brodograđevnom fakultetu, danas FSB-u. Akad. god. 1967./1968. proveo je na Hebrew University of Jerusalem, sa specijalizacijom u teoriji vjerojatnosti. Doktorirao je matematičke znanosti na PMF-u u Zagrebu, s temom *Svojstva ergodi*čnih transformacija. Više podataka o njegovu kratkom životu i radu može se naći u [8].

Naza Tanović-Miller (1938. – 2001.)



Sl. 12.: Prof. Naza Tanović-Miller

Diplomirala je elektrotehniku na ETF-u u Zagrebu. Tijekom studija postala je demonstrator na Zavodu za primijenjenu matematiku.[16] Doktorsku disertaciju *Multipliers of Some Sequence Spaces* iz područja matematičkih znanosti obranila je 1970. u SAD-u na Illinois Institute of Technology, pod vodstvom profesora Günthera Goesa. Bila je profesor matematike na Univerzitetu u Sarajevu.

[15] Zahvaljujemo prof. Butkoviću na dodatnim informacijama o suradnji s našim i stranim matematičarima. Tu je u prvom redu Jørgen Hoffmann Jørgensen (1942. – 2017.), koji je omogućio publikaciju priloga s dubrovačkih konferencija u ediciji Various Publications Series (Aarhus Universitet). Jednako su važni birani predavači na tim konferencijama, kao P. R. Halmos (1916. – 2006.), A.V. Skorohod (1930. – 2011.) itd.

[16] Unatoč zalaganju nekolicine profesora ETF-a, bila je kao studentica udaljena s položaja demonstratora jer nije pristala ući u Komunističku partiju te je ostala bez stipendije; v. [14, str. 252].

Ljubo Marangunić (r. 1942.)



Sl. 13.: Prof. Ljubo Marangunić, ljubitelj tenisa i bridža

Diplomirao je 1967. na ETF-u. Bio je asistent 1967. − 1973., stručni suradnik 1973. − 1976., asistent 1976. − 1978., znanstveni asistent 1978. − 1989., docent 1989. − 1993., izvanredni profesor 1993. − 2006., a redoviti profesor od 2006. do umirovljenja 2008. Znanstveni doprinos mu je u konačnoj matematici. Doktorirao je na PMF-u u Prištini disertacijom *Karakterizacija nekih dvoravnina s pomoću automorfizama koji djeluju s ustaljivanjem*, pod mentorstvom prof. Vladimira Ćepulića. U zadnjim godinama do umirovljenja, a i nakon toga, imao je blisku suradnju s akad Josipom Pečarićem u području matematičkih nejednakosti. Hobi mu je od mlađih dana pa sve do danas rekreativni tenis i bridža.

Josip Pečarić (r. 1948.)



Sl. 14.: Akad. Josip Pečarić (HINA/Denis Cerić)

Studirao je na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, gdje je i magistrirao 1975. pod mentorstvom prof. Dobrila Tošića. Pod njegovim se utjecajem usmjerio prema matematici. Doktorirao je matematičke znanosti 1982. pod mentorstvom prof. Petra Vasića, s radom *Jensenove i povezane nejednakosti*. Bavi se matematičkim nejednakostima, te je (prema *MathSciNet*[17]) do veljače 2020. objavio 1250 znanstvenih radova, među kojima s ukupno čak 240 suradnika iz oko 40 zemalja. Od 1987. živi s obitelji u Zagrebu. Redoviti član HAZU (Razred za matematičke, fizičke i kemijske znanosti) postao je 2000. Bio je mentor gotovo 60 doktoranada, većinom u Hrvatskoj (a njegovi doktorandi imaju već nemali broj svojih doktoranada), pa se govori o Školi matematičkih nejednakosti u Hrvatskoj, koju je on utemeljio. Glavni je urednik časopisa *Mathematical Inequalities and Applications*, koji je pokrenuo 1998. zajedno s prof. Nevenom Elezovićem, a kasnije još nekoliko matematičkih časopisa. Među njima ističemo časopise *Mathematical Inequalities and Applications* i *Journal of Mathematical Inequalities*, koji su postigli velik uspjeh ulaskom u

[17] *MathSciNet*, nekad poznat kao *Mathematical Reviewes*, dostupan je na mrežnoj adresi www.mathscinet.or

prvi kvartil (Q1) ugledne baze Web of Science. Zajedno s prof. Nevenom Elezovićem pokrenuo je izdavanje matematičkih monografija u poduzeću Element u Zagrebu. Suradnik je Matematičkog instituta u Moskvi pri Sveučilištu RUDN[18]. Autor je stotinu knjiga (sic!), od koji je 13 iz područja matematičkih nejednakosti, a preostali dio čine publicističke knjige, većinom u vezi sa suvremenom hrvatskom poviješću i Domovinskim ratom. Više podataka dostupno je u članku [1].

Mario Essert (r. 1954.)



Sl. 15.: Prof. Mario Essert

Diplomirao je 1977. na ETF-u, a magistrirao 1982. pod vodstvom prof. Hrvoja Babića. Na istom je fakultetu doktorirao 1987. u području računalnih znanosti, s temom *Algoritmi konstrukcije dvoravnina*, pod mentorstvom prof. Vladimira Ćepulića. U doktorskoj komisiji mu je, među inim, bio i akad. Zvonimir Janko. Akad. god. 1989./1990. boravio je na Matematičkom institutu Sveučilišta u Heidelbergu kod prof. Zvonimira Janka[19] na znanstvenom projektu *The application of supercomputers for the construction of symmetric block designs*. Od 1999. surađuje s prof. Krešimirom Veselićem na Institutu matematičke fizike pri FernUniversitätu u Hagenu u Njemačkoj, na problematici *Distance learning math*. Od 1978. do umirovljenja 2019. radi na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Od 2011. redoviti je profesor u trajnom zvanju. Bio je nositelj elektrotehničkih (Elektrotehnika, Brodska elektrotehnika) i računalnih kolegija (Objektno programiranje, WEB programiranje, Algoritamske tehnike), a sa studentima je zamislio i ostvario mrežne sustave za daljinsko učenje (ScriptRunner na CARNET-u i SiteBuilder na FSB-u). Bavio se intenzivno računalnim jezikoslovljem, posebice s primjenama na hrvatski jezik, u suradnji s kolegama s filozofskih fakulteta sveučilišta u Zagrebu, Zadru i Osijeku, kao i Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje. Utemeljitelj je sveučilišnog izbornog kolegija Računalno jezikoslovlje na Odjelu za matematiku Sveučilišta Josipa J. Strossmayera u Osijeku. Svoj stav prema matematici opisuje ovim riječima:

[18] **RUDN**, Rossijskij universitet družby narodov, Moskva

[19] O akad. Zvonimiru Janku v. www.croatianhistory.net/etf/janko/

"Svi moji učitelji, nastavnici i profesori matematike (od Stona, preko Dubrovnika do Zagreba), imali su neku zajedničku crtu koja me silno privlačila a da nisam znao zašto. Ono što su me učili bilo je čisto, jasno, privlačno − s ljepotom slikarstva i s milinom glazbe. Traganje za istinom. Učili su me upornosti, tvrdom radu, poniznosti – odeš li krivim putem, sve se ruši. Trsio sam se tako da i moji algoritmi kroz Pascal ili Python programe budu kvalitetni – da nam stroj pomogne u bržim provjerama postavljenih teorema. Bio sam ponosan raditi kod profesora Janka u Heidelbergu i profesora Veselića u Hagenu. Bilo je to poput one radosti u pjesmici Jimmy Stanića: 'Bio sam konjušar cara.' Taj svoj lijepi dio života i rada s matematičarima dugujem svom mentoru profesoru Vladimiru Ćepuliću. Na koncu, u Njemačkoj mi se razjasnila i ona poveznica matematike i matematičara: *Wer die Wahrheit sucht, der sucht Gott, ob es ihm klar ist oder nicht*.[20] (Edith Stein)."

Tomislav Burić (r. 1983.)



Sl. 16.: Izv. prof. Tomislav Burić

Diplomirao je na FER-u 2007. s temom *Učenje skupova pravila temeljeno na logici prvog reda,* pod mentorstvom prof. Bojane Dalbelo-Bašić, a doktorirao je na Matematičkom odsjeku PMF-a 2011. s temom *Asimptotski razvoji gama funkcije i kvocijenta gama funkcija*, pod mentorstvom prof. Nevena Elezovića. Od 2007. zaposlen je kao znanstveni novak na FER-u na Zavodu za primijenjenu matematiku, od 2015. je docent, a od 2019. izvanredni profesor. Znanstveni interesi su mu asimptotsko ponašanje funkcija i srodna područja iz matematičke analize. Na FER-u je zadnjih osam godina predavao razne matematičke kolegije na preddiplomskom i diplomskom studiju te je koautor triju udžbenika iz matematičke analize. Radi i kao vanjski suradnik na FSB-u i vojnim studijskim programima Sveučilišta u Zagrebu te je dobitnik FER-ove Nagrade *Roberto Giannini* za izvrsnost u nastavi i radu sa studentima. Sudjelovao je na različitim projektima i manifestacijama vezano uz popularizaciju znanosti i matematike. O svojem stavu prema matematici kaže:

[20] Tko istinu traži, traži Boga, bilo to njemu jasno ili ne.

"Kroz cijelo školovanje mi je matematika bila među dražim predmetima, no više sam je doživljavao kao laganu zanimljivu igru, a ne nešto čime bih se mogao baviti u životu. Stoga je bez dvojbe pobijedio FER i računarstvo pri odabiru fakulteta. No prava ljubav prema matematici se rodila tijekom prve dvije godine FER-a zahvaljujući izvrsnim nastavnicima ZPM-a, posebno zbog prof. Ilka Brnetića koji mi je predavao matematičke analize. Tada sam doživio matematiku na pravi način i shvatio da se time želim baviti u životu i prenositi to znanje drugima, a rezultiralo je time da sam paralelno upisao studij matematike na PMF-u i u konačnici se zaposlio na ZPM-u. U nastavi matematike nastojim prenijeti sav entuzijazam i interes prema matematici koji sam i sam doživio od svojih nastavnika na FER-u, a poznat sam po svojoj fascinaciji brojem pi i koliko je protkan kroz sva polja matematike i srodnih znanosti, pa popularizacijom i zabavnim predavanjima o broju pi pokušavam približiti matematiku svima, a ne samo studentima tehničkog područja."

Miljen Mikić (r. 1984.)



Sl. 17.: Dr. sc. Miljen Mikić

Diplomirao je 2008. na FER-u kod dr. Marina Goluba na području mrežne sigurnosti. Za uspjeh na studiju dobio je Brončanu plaketu *Josip Lončar*. Na Matematičkom odsjeku PMF-a u Zagrebu doktorirao je 2014. pod vodstvom akademika Andreja Dujelle i prof. Filipa Najmana s temom *Mordell-Weilove grupe i izogenije familija eliptičkih krivulja*. Radi na razvoju naprednog analitičkog softvera za obradu prostorno-vremenskih podataka u poduzeću Mireo u Buzinu. Od 2003. priprema mlade nadarene matematičare za natjecanja u Gimnaziji Andrije Mohorovičića u Rijeci, a od 2012. član je Državnog povjerenstva za matematička natjecanja i Povjerenstva HMD-a za međunarodna matematička natjecanja. Kaže:

"Matematika mi je draga od malih nogu, a posebno sam se zaljubio u nju kroz matematička natjecanja. Kada sam kao maturant ostvario plasman na *Međunarodnu matematičku olimpijadu* u Japanu i postao član hrvatske olimpijske ekipe, ozbiljno sam počeo preispitivati svoju dotadašnju odluku da upišem studij računarstva na FER-u, koji me također jako privlačio. Odluku na koncu nisam promijenio, ali dio mene je

uvijek žalio zbog toga i nedostajala mi je kroz studij matematička preciznost i elegancija. Kako u životu ne valja žaliti za ičim, odlučio sam pokušati kroz doktorat na matematici to nadoknaditi. To se pokazalo izvrsnim, jer sam kroz istraživanje u suradnji s akademikom Dujellom i prof. Najmanom uspio otkriti i dokazati nekoliko novih teorema, što smatram jednim od svojih najvećih profesionalnih uspjeha.

Velika mi je čast biti u ovom članku u društvu velikana kao što je prof. Blanuša, čiji graf ukrašava logo HMD-a. Od profesora Ivanšića, Palmana i Devidéa imam knjige na polici, a prof. Marangunić mi je predavao Analizu 1 i 2 na FER-u. Nadalje, akad. Pečarić je bio mentor doktorata moje supruge, a 'dr. Pi', Tomislav Burić, nam je zajednički prijatelj."

Popis kratica

PMF Prirodoslovno matematički fakultet
ETF Elektrotehnički fakultet, danas FER – Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu
HMD Hrvatsko matematičko društvo
RGN Rudarsko-geološko-naftni fakultet
HAZU Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb (nekad JAZU – Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti)
FERIT Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku

Zahvale

Zahvaljujemo prof. dr. sc. Ivanu Ivanšiću na velikodušnoj pomoći, kao i prof. Andrei Aglić Aljinović, prof. Lahoriji Bistričić, doc. Mariju Bukalu, prof. Davoru Butkoviću, dr. sc. Željku Hanjšu, gđi. Maji Kordej, mr. sc. Goranu Malčiću i prof. Nedjeljku Periću.

Literatura

[1] Andrea Aglić Aljinović, Ivica Perić, Lars-Erik Persson i Josip Pečarić: Život u matematici i politici, https://hrvatskonebo.org/2018/09/19/a-aglic-aljinovic-i-peric-l-e-persson-josip-pecaric-zivot-u-matema-tici-i-politici/

[2] Zvonko Benčić: *Sjećanja na profesora Đuru Švarca*, Kiklos – krug knjige, Zagreb, 2020.

[3] Danilo Blanuša: Razmatranje o matematici. *Glasnik mat.-fiz- i astr*., ser. 2, 9/1954, str. 65-66.

[4] Vladimir Devidé: Akademik Danilo Blanuša, hrvatski matematičar međunarodnoga ugleda, *Radovi Leksikografskog zavoda*, knj. 3, 1993., str. 123-136. www.lzmk.hr/images/radovi3/vladimir%20devid%20akademik%20danilo%20blanusa%20hrvatski%20matematicar%20meunarodnoga%20ugleda.pdf (pristupljeno: siječnja 2020.)

[5] Jasna Dravec Braun, Branko Hanžek, Željka Milin Šipuš: *David Segen (1859. – 1927.)*, Kiklos – krug knjige, Zagreb 2020.

[6] Mario Essert, Ivana Kuzmanović, Ivan Vazler, Tihomir Žilić: Theory of M-system, *Logic Journal of the IGPL*, Volume 25, Issue 5, October 2017, 836-858.

[7] Ivan Ivanšić: *Danilo Blanuša na raskrižju matematike, fizike i elektotehnike*, FER, Zagreb 2005., www.hro-cigre.hr/danilo_blanusa (pristupljeno: siječnja 2020.)

[8] Ivan Ivanšić: Zavod za primijenjenu matematiku, *Godišnjak Hrvatskog matematičkog društva*, 2008, str. 528-541; https://web.math.pmf.unizhr/glasnik/Godisnjak/godisnjak2008.pdf i na www.croatianhistory.net/mat/zavod_pov/(pristupljeno: siječnja 2020.)

[9] Ivan Ivanšić: In memoriam dr. sci. Branko Kronfeld, *Glasnik Matematički* (0017-095X) 43 (2008); 542-544.; https://web.math.pmf.unizhr/glasnik/Godisnjak/godisnjak2008.pdf (pristupljeno: siječnja 2020.)

[10] Ivan Ivanšić: 90 godina Zavoda za primijenjenu matematiku FER-a u Zagrebu, http://www.croatianhistory.net/mat/zavod_pov/zpm09ivansic.html (pristupljeno: veljače 2020.)

[11] Ivan Ivanšić: *Biografija*, https://www.fer.unizhr/zpm/djelatnici/red_prof/ivan (pristupljeno: travnja 2020.)

[12] Stipe Kutleša: Segen, David (1859 − 1927), *Mathematiker*, Österreichisches Biographisches Lexikon, www.biographien.ac.at/oebl/oebl_S/Segen_David_1859_1927.xml (pristupljeno: siječnja 2020.)

[13] Sibe Mardešić: Vladimir Devidé (1925. − 2010.), *Ljetopis Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti* 114, 2011, str. 769-772.

[14] Harry Miller: Remembering Naza Tanović-Miller, *MAT-KOL* (Banja Luka), XXI (4)(2015), 251-256; ww.imvibl.org/dmbl/meso/mat_kol_21_4_2015_20/mat_kol_21_4_2015_251_256.pdf (pristupljeno: siječnja 2020.)

[15] Mirko Polonijo: Prof. dr. sc. Dominik (Nedo) Palman značajni hrvatski geometričar*, Senjski zbornik* 33, 2006, str. 413-422.

[16] David Segen: O asteroidi, *Godišnje izvješće kraljevske velike realke*, Zagreb 1887., str. 5-31; https://digitalna.nsk.hr/pb/?object=view&id=10542 (pristupljeno: siječnja 2020.)

[17] Zvonimir Šikić: In memoriam, akademik Vladimir Devidé, *Godišnjak Hrvatskog matematičkog društva*, 2010, str. 653-658.

[18] Darko Veljan i Vladimir Volenec: Profesor geometrije Dominik Palman (Senj, 1924. – Zagreb, 2006.), *Prirodoslovlje* 18 (1-2), 2018, str. 87-104. www.matica.hr/media/uploads/prirodoslovlje/prirodoslovlje_2018-mali.pdf (pristupljeno: siječnja 2020.)

[19] Hrvoje Kraljević, Darko Žubrinić, Vesna Županović: In memoriam prof. dr. sc. Davor Butković, Godišnjak Hrvatskog matematičkog društva, Zagreb 2020., str. 588-597.,https://web.math.pmf.unizg.hr/glasnik/Godisnjak/godisnjak2020.pdf (pristupljeno: prosinca 2021.)

Mathematicians who graduated from technical colleges

Darko Žubrinić and Zvonko Benčić

Abstract: The article provides an insight into the names of fourteen mathematicians who completed technical studies. We included those who are in the broadest sense related to Croatia.

Keywords: mathematicians, technical studies, Croatia

Ivan Ilić

Anton Dolenc − stručnjak, znanstvenik i profesor

Sažetak: Inženjer, istraživač i profesor, zaslužni profesor Univerziteta u Ljubljani, počasni doktor elektrotehnike Sveučilišta u Zagrebu, Anton Dolenc (1905. − 1984), Slovenac koji je cijeli radni vijek boravio u Zagrebu s kojim se potpuno identificirao kao izvorni Zagrepčanin, uistinu zaslužuje, barem posthumnu zahvalu zajednice kojoj je darovao rezultate svojega bogatog djelovanja u struci, znanosti i obrazovanju. Prostor njegova kretanja i djelovanja bio je od Skopja do Hamburga, a zajednicu su tvorili svi ljudi dobre volje, od Slovenije do Makedonije. Sebe je davao svima, bez granica, od prvog radnog mjesta 1928. godine u tvrtki *Jugoslavensko Siemens* u Zagrebu do kraja života, u Zagrebu 1984. godine. Primijenjena elektrotehnika, a posebno istaknuti njezin dio elektrostrojarstvo, bilo je polje njegova cjeloživotnog radnog djelovanja: u struci kao inženjer, u istraživanjima kao znanstvenik, a u obrazovanju kao profesor kroz 102 semestra predavanja na elektrotehničkim fakultetima Sveučilišta u Zagrebu i Univerziteta u Ljubljani. Njegov se radni vijek u potpunosti ugradio u elektrotehniku od samih početaka njezina materijalnog (proizvodnog) razvitka na jugoistoku Europe pa sve do početaka računalnog doba, odnosno primjene računalne tehnologije u proizvodnji i primjeni elektrotehničkih proizvoda. Generacije 'njegovih' stručnjaka na području elektrostrojarstva koriste i danas od njega stečena znanja i prenesena iskustva, koja su jasno upućivala na nužnost uskog povezivanja obrazovanja, istraživanja i struke, bez obzira na to u kojem od njih se djeluje i privređuje. Njihovom sinergijom postižu se vrhunska rješenja.
Prikazi u članku samo su ilustracije nekoliko njegovih karakterističnih pothvata, kao primjeri povezanosti stručnog, istraživačkog i obrazovnog djelovanja u području primijenjene elektrotehnike, posebno u elektrostrojarstvu.

Ključne riječi: elektrotehnika u primjeni, elektrotehničko obrazovanje, elektrostrojarstvo, istraživanje, suradnja s gospodarstvom, povezivanje znanosti i struke, elektrostrojarstvo u industrijskim postrojenjima i energetici

1. Korijeni razvoja elektrotehnike u Hrvatskoj

Osnivanjem Kraljevske visoke tehničke škole (KVTŠ) u Zagrebu, neposredno nakon Prvog svjetskog rata, položeni su temelji visokoškolskog obrazovanja budućih stručnjaka za područje elektrotehnike u Hrvatskoj. I ne samo u Hrvatskoj! Daljnji razvoj nastavlja se osnivanjem Tehničkog fakulteta 1926. godine, na kojem je djelovao Strojarsko-elektro-inženjerski odjel. Time je, ujedno, posijano sjeme razvoja ključne struke i znanstvene discipline bez koje je, i u to vrijeme, bio nezamisliv tehnički i tehnološki razvitak gospodarstva bilo koje zemlje.

Hrvatska je, i u proteklim stoljećima, Europi i svijetu pokazala da ima pojedince visokog intelektualnog naboja, i u umjetnosti, i u području znanosti i tehnologije, ali vrlo često bez realizacije u krilu svoje domovine. Tesla je (ne jedini) primjer što genijalni um čovjeka iz naše sredine može u znanstvenom, tehničkom i tehnološkom pogledu podariti čovječanstvu ako mu se pruže povoljni uvjeti visokog obrazovanja i tehnološkog razvitka. Da je, kojim slučajem, ostao u nerazvijenoj pokrajini Austro-Ugarske Monarhije i proveo život u ličkim vrletima, svijet bi bio osjetno tehnički i tehnološki usporen i materijalno osiromašen.

Zlatno doba razvoja elektrotehnike u Hrvatskoj dobiva korijene ostvarivanjem mogućnosti visokog obrazovanja u području prirodnih znanosti i matematike, a zatim elektrotehnike. Sve od 1930-ih pa do 1980-ih elektrotehnika u Hrvatskoj tkala je i u praksi ostvarila izvrsne rezultate. Tkanje je bilo izvrsne kvalitete, ništa nije trebalo "parati". Bez obzira na nepogodne, nerijetko i teške ekonomske i političke prilike, napredak nije izostao.

Jedan od pionira uvođenja visokoškolske nastave iz područja elektrotehnike na KVTŠ-u u Zagrebu, a nakon toga na Tehničkom fakultetu, bio je Josip Lončar, profesor i doktor fizike, kasnije i akademik JAZU, odnosno HAZU. Dvadesetih godina prošlog stoljeća počinje prof. Josip Lončar s kolegijem Osnovi elektrotehnike, a njegovu ulogu predvodnika obrazovanja i istraživanja na području elektrotehnike nastavit će niz nastavnika, ali i stručnjaka iz prakse. Među njima će se naći imena istaknutih profesora i doktora znanosti Sveučilišta u Zagrebu, poput Antona Dolenca, Miroslava Plohla, Hrvoja Požara, Radenka Wolfa, Vojislava Bege, Tome Bosanca, Zlatka Plenkovića, Božidara Stefaninija i mnogih drugih, njihovih suradnika i učenika.

Za Hrvatsku je prodor elektrotehnike i elektrotehničkog obrazovanja u prvoj polovini XX. stoljeća bilo čarobno događanje. Već se tad jasno očitovalo da se stupanj ekonomskog razvitka bilo koje države mjeri uspjehom elektrifikacije svih dijelova gospodarstva. Naime, XIX. stoljeće bilo je stoljeće otkrića i izuma. Tesla je bio genijalac, genijalan izumitelj. Tako ga je razvijeni svijet gledao onda, a tako ga gleda i danas, iako nije dopuštao reći da je samo izumitelj, nego,

'u prvom redu', tako je govorio i pisao, 'otkrivač Prirode'. Dakle, Tesla je sebe smatrao više fizičarem nego (praktičnim) elektrotehničarem, jer je, u prvom redu, otkrivao narav Prirode. To, što je on 'otkriveno' popratio izumima, koji su iz temelja mijenjali životni standard, to je njemu, kao, usput uspjelo.

Dok je krajem XIX. stoljeća N. Tesla 'ratovao' protiv suparnika T. A. Edisona u Americi u sporu izbora između istosmjernog i izmjeničnog elektroenergetskog sustava za primjenu u industriji, a time i u većini ostalih grana gospodarstva u SAD-u (poznata sintagma *rat struja* u SAD-u), Europa je, razvojem svoje industrije, pokušavala slijediti novog svjetskog gospodarskog diva i na području elektrotehnike, i to i u razvoju, i u proizvodnji. Nakon izbora Teslina trofaznog elektroenergetskog sustava kao dominantno ekonomičnijeg i tehnološki prihvatljivijeg, izmjenični sustav prijenosa energije u SAD-u postaje poželjan elektroenergetski sustav na planetu.

Krajem XIX. stoljeća gospodarstvo juga Austro-Ugarske Monarhije bilo je velikim dijelom poljoprivrednog profila. U industrijskoj proizvodnji dobara dominirala je prerada drva. Elektrotehnika je bila čarobna riječ, ali bez pokrića u konkretnoj primjeni, materijalnoj proizvodnji i potrošnji. U prvom desetljeću XX. stoljeća, dakle još u vrijeme Austro-Ugarske Monarhije, dolazi do promjene u strukturi industrijske proizvodnje. Primat preuzima prehrambena industrija, kojoj je poseban zamah dala elektrifikacija industrijskih pogona. Nakon Prvog svjetskog rata političke i gospodarske prilike u Europi bitno se mijenjaju. Nova država, Kraljevina Srba, Hrvata i Slovenaca, s vremenom postaje politički turbulentna, što bitno utječe i na razvitak gospodarstva, a time i na razvoj elektrotehnike. S druge strane, u razvijenijem dijelu Europe elektrotehnika se ubrzano razvija kako ne bi u proizvodnji dobara za tržište zaostajala u odnosu na SAD.

Naravno, nije samo Tesla mijenjao temelje industrijalizacije. Uz njega se, kao pokretači druge industrijske revolucije, često spominju i drugi inovatori (Thomas Alva Edison, Werner von Siemens,…). Ipak, istaknimo kako je Teslin izmjenični asinkroni elektromotor imao dominantan utjecaj na daljnji razvoj industrijalizacije kao najjednostavniji, a time i najjeftiniji motor uopće.

2. *Jugoslavensko Siemens*

Nakon Prvog svjetskog rata koncern *Siemens*, kojemu je 'otac' upravo spomenuti Werner von Siemens, osniva u Zagrebu 1921. godine svoju tvrtku *Jugoslavensko Siemens*. Nova tvrtka treba nastaviti prisutnost *Siemensa* na Balkanu, na kojem je još 1886. jedan od njegovih zastupnika (Herman Kellermann) uočio da je Zagreb, tad još u Austro-Ugarskoj Monarhiji, prikladno mjesto za osvajanje tržišta jugoistoka Europe.

Tvrtka je u početnim godinama bila prodajno-servisnog profila. Ubrzo su narasle potrebe za stručnjacima koji će njezine proizvode ne samoprodavati nego i održavati, servisirati po zahtjevima struke i time osigurati trajno ne samo prisutnost na tržištu nego i širenje. To je bio temeljni interes tvrtke. Po svemu sudeći, u početku nije bila mišljena tvornica koja bi na području Balkana proizvodila tehnološki složene elektrotehničke proizvode *Siemensova* asortimana. Gradnja tvornice počinje nekoliko godina nakon osnutka tvrtke. U proizvodnom asortimanu tvornice, početkom 1930-ih, samo se jedna od 22 stavke odnosi na proizvodnju električnih strojeva do 10 KS. Sve ostalo je elektrotehnička galanterija. Servisni radovi su u odnosu na proizvodnju električnih strojeva mnogo opsežniji; u tvornici se servisiraju sve vrste generatora i elektromotora do 300 KS, transformatora do 1 MVA. Godišnja potreba za sirovinama iznosi oko 100 tona, odnosno prosječno dnevno oko 300 kg. Upravitelj je imao zadaću da stručno, a to znači i tehnički i tehnološki, servis u Zagrebu razvija kako bi se tvrtka što dublje i šire trgovački ugnijezdila na vratima Balkana.

U kritičnom trenutku za tvrtku, u vrijeme gospodarske krize 1930-ih, za upravitelja tvornice (1932.) dolazi Anton Dolenc, koji je, zapravo, čitav svoj radni vijek djelovao na području Teslinih izuma; od asinkronog motora, pa nadalje, na kompleksnom području električnih strojeva, industrijskih postrojenja i prijenosa električne energije. Dakle, na stručnom i znanstvenom području na kojem je Nikola Tesla dao svoja najproduktivnija otkrića i izume.

Novi upravitelj, koji je od početka imao puno veće potencijale nego da vodi i organizira običnu servisnu radionicu, vrlo brzo razvija tvornicu, i stručno, i menadžerski. Organizira stručne timove u kojima nisu samo elektrotehničari nego i strojari, kemičari itd., dakle stručnjake raznorodnih profila i visokih stručnih kvaliteta.

Dolenc je bio ljubljanski sveučilištarac, diplomant čuvenog prof. Milana Vidmara, inženjer širokog spektra, koji je znao pronaći put od zamisli do ostvarenja, bez obzira na tehničke i tehnološke zahtjeve. Dakle, nije bio elektrotehničar koji je samo znao fizikalne osnove elektrotehničkih proizvoda, nego je duboko zaorao i u područje tehnoloških vještina, bez kojih nema konkurentne proizvodnje.

Ako se vratimo u Hrvatsku prije Drugog svjetskog rata, ona je, zajedno sa Slovenijom, industrijski gledano, najrazvijeniji dio tadašnje Jugoslavije, i to zahvaljujući razvoju tehnologije. Dolenc je, dakle, u tom svojem malom poduzeću, u relativno maloj tvrtki, razvijao proizvod. Osim što je imao osnovnu zadaću vlasnika da održava njegove proizvode, on je i razvijao te proizvode. U njima je prepoznao i mane, pa je uspijevao te mane ukloniti ili ih minimizirati. Uočio je što bi se moglo bolje napraviti. Razmišljao je kako bi se konkretni proizvod mogao poboljšati. I tako se, korak po korak, dolazilo do tehnoloških unapređenja, a nekad čak i do otkrića. Nekad čak i skokova. Događali su se čak i trenutci bljeska, koji rezultiraju inovacijom, pa čak i patentom.



Sl. 1.: Iznenađujuća sličnost prof. Milana Vidmara (lijevo) i njegova studenta prof. Antona Dolenca (desno)

Kao jedan od karakterističnih primjera inovacije, prelazak od pamukom izoliranog vodiča (pamučne žice) na vodič izoliran lakom (lak-žicu!), dogodio se na temelju inovacije upravitelja Dolenca upravo u vrijeme svjetske gospodarske krize 1930-ih. Prije inovacije, za namatanje svitaka, odnosno namota koristila se bakrena žica presvučena pamukom i impregnirana sredstvima koja su za tu svrhu bila na raspolaganju. Pri uništenju bilo kojeg elektromotora, bez obzira koje veličine, u prvom redu je stradala pamučna izolacija vodiča svitaka, odnosno namota električnog stroja. Ona je bila vrlo osjetljiva na vlagu, što je dovodilo do naponskih proboja izolacije; konačni rezultat: ispad elektromotornog pogona iz funkcije, zastoj postrojenja pogonjenog elektromotorom u kvaru, zastoj svih pogonskih jedinica koje su tehnološki ovisne o postrojenju u kvaru. Na taj je način proboj izolacije, na samo jednom pogonskom motoru, nerijetko iz pogona izbacivao tehnološku liniju proizvodnje u cjelini. Na scenu je stupio Dolenc s inovativnim prijedlogom: pamukom izoliranu bakrenu žicu treba zamijeniti lak-žicom.

Relativno maloj tvornici tvrtke *Jugoslavensko Siemens* uspjelo je stvoriti novi proizvod, asinkroni motor s namotima od lak-žice. Prihvaća ga *Siemensova* centrala u Njemačkoj pa postaje neka vrsta zagrebačkog *branda* u industrijskoj proizvodnji. Pamučna izolacija izbacuje se iz tehnologije gradnje električnih strojeva. Bilo je znatno manje kvarova, pogon je bio bitno sigurniji, a motor izoliran na zagrebački način može se upotrebljavati u vlažnim prostorima, čak i nekoliko sati pod vodom [2]. Elektromotor *Siemensove* proizvodnje u Zagrebu dobiva posebnu oznaku ‘z’, kako bi se znalo da je takav motor prikladan i za najteže pogonske prilike. Osim bitnog povećanja pouzdanosti u pogonu, motor s namotima od lak-žice, u odnosu na motore jednake veličine ali s namotima od

pamukom izolirane žice, ima znatno veću snagu. Uklanjanje pamuka omogućuje veći aktivni presjek lakom izoliranog vodiča, a time i veće strujno opterećenje.

Teslin asinkroni motor bio je velika Dolenčeva ljubav i inspiracija. Osim inovacije u namatanju električnih strojeva lak-žicom, inovacije u izradi kaveza rotora specijalnim načinom lijevanja aluminija nakon Drugog svjetskog rata, a za potrebe Tvornice *Rade Končar*, patentirao je poseban način izrade statorskog paketa asinkronog motora, složenog u obliku ježa.

Anton Dolenc još je u vrijeme Drugog svjetskog rata osmislio trofazni samouzbudni sinkroni generator s kompaundiranom (složenom) uzbudom, u to vrijeme potpuno novo rješenje za gradnju manjih jedinica za proizvodnju električne energije. Zbog teških ratnih uvjeta u nabavi materijala za istraživanje i gradnju novog proizvoda, vrijeme realizacije se oduljilo. Za projektiranje i gradnju izabrao je suradnike Tomu Bosanca i Zlatka Plenkovića, a za konačno oblikovanje novog proizvoda, nekoliko godina kasnije, još i Božidara Frančića. Svaki od sudionika u svojem je području bio 'i stručnjak i znanstvenik'; B. Frančić je, usput, doktorirao na usavršavanju 'konkretnog proizvoda'.

3. Zavod za elektrostrojarstvo

3.1. Dolenc osniva Zavod za elektrostrojarstvo na Tehničkom fakultetu

Nakon tragične smrti profesora Miroslava Plohla[1], predstojnika Zavoda za elektrotehniku na Elektrotehničkom odjelu Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 1939. godine, inženjer Anton Dolenc biva od Sveučilišta pozvan da preuzme kolegij električnih strojeva. Tim činom tadašnja stručna i znanstvena sveučilišna javnost prihvaća relativno mladog – ima 34 godine − ali u praksi sazrelog i po rezultatima potvrđenog, iznimno sposobnog inženjera, za sveučilišnog nastavnika.

Čitatelj će lako prepoznati, s obzirom na slijed političkih, odnosno povijesnih događanja, da je prijeratna tvrtka *Jugoslavensko Siemens* prethodila tvrtki u ratu *Hrvatsko Siemens,* odnosno poslijeratnoj Tvornici *Rade Končar*. Brz uspon nove Tvornice *Rade Končar* bio je uvjetovan prethodnim razvojem *Siemensa* u Hrvatskoj*,* kojem je stručni i tehnološki profil postavljen djelovanjem timova inženjera Dolenca.

1 Profesora Plohla tadašnja je stručna javnost smatrala 'osnivačem elektrostrojarstva u Hrvatskoj'. Stjecajem okolnosti naslijedio ga je na Zavodu za elektrotehniku A. Dolenc, 24 godine mlađi kolega po struci, također Slovenac. Oba su u svojem tehničkom obrazovanju bila blisko povezana s profesorom Vidmarom.

Nakon Drugog svjetskog rata, 1945. godine, Zavodu za elektrotehniku mijenja se naziv u Zavod za elektrostrojarstvo (ZES), a njegov je prvi predstojnik diplomirani inženjer Anton Dolenc. U veljači 1946. godine Dolenc je izabran za redovitog profesora na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu − Elektrotehnički smjer strojarskog odjela. Skora budućnost pokazat će da je tim izborom počelo, što se tiče elektrotehnike, drugo razdoblje razvoja nastavnog i znanstvenog rada na Tehničkom fakultetu. Uvode se dva smjera studija, 'jaka' i 'slaba struja', što će se posebno djelotvorno odraziti na brzom i kvalitetnom razvitku elektroindustrije, posebno elektrostrojogradnje, a time i na orijentaciju znanstvenog i nastavnog rada ZES-a.

Novo ime Zavoda potvrdilo je misaonu širinu prof. Dolenca u koncipiranju razvoja budućeg ETF-a, odnosno FER-a. Tijekom ratnih godina honorarni je nastavnik na Sveučilištu, a istodobno upravitelj Tvornice električnih strojeva tvrtke *Hrvatsko Siemens*. Imao je dovoljno vremena za razmišljanje o daljnjem, širem i dubljem razvitku tvornice kojom upravlja, ali i o snažnijem i stručno intenzivnijem obrazovanju kadrova, bez kojih nema i ne može biti napretka, pogotovo u zemlji bez industrijske tradicije. Nakon završetka studija dovoljno je stekao iskustava, i na području struke i tehnologije, i u razvoju proizvoda i menadžmentu proizvodnje. Ako uspije stvoriti i trajno stvarati timove talentiranih i u stručnom pogledu 'bogato' obrazovanih mladih elektrotehničara, živo zainteresiranih za vlastiti napredak u znanju i stvaranju novog, Zagreb i Hrvatska mogli bi postati kandidati za industrijsku preobrazbu ruralnog gospodarstva u industrijskog čimbenika na jugoistoku Europe.

Ugodno je sanjati nemoguće, ali kad se probudiš, pazi dobro da ti snovi ne izmaknu čvrsto tlo života pod nogama. Ipak, da bi se, možda, san pretvorio u stvarnost, čelnik ZES-a ne raskida veze s tvornicom koju je godinama njegovao i uspješno razvijao, nego nastoji znanost i obrazovanje čvrsto povezati djelotvornom suradnjom s Tvornicom električnih strojeva *Rade Končar*.

3.2. Hidrogenerator za HE Mariborski otok

Najveći inženjerski izazov za prof. Dolenca i njegov tim inženjera bila je izrada prvog velikog hidrogeneratora u Tvornici *Rade Končar*, a za Hidroelektranu Mariborski otok u Sloveniji. Radilo se o generatoru snage 24 MVA, napona 10 kV, sinkrone brzine 125 o/min, pogonjenog Kaplanovom turbinom vertikalne izvedbe. Najbliži suradnici u ostvarenju tog projekta bili su Tomo Bosanac, Zvonimir Sirotić i Vojislav Bego, tadašnji inženjeri *Končara*, a budući redoviti profesori ETF-a, odnosno FER-a. Pothvat je bio čudesan. Riječ je bila o generatoru goleme mase zbog male brzine vrtnje. U gradnji i montaži stroja takvog tipa i veličine nitko od stručnog tima nije imao neposrednih iskustava. Uspješna gradnja i montaža otvorile su Tvornici *Rade Končar* vrata prodaje na tržištu proizvoda teške elektrostrojogradnje.

3.3. Utjecaj Dolenca na razvoj elektrostrojarstva u Hrvatskoj i Jugoslaviji

Naš junak preobrazbe primijenjene elektrotehnike u Hrvatskoj (godine su pokazale da mu je većina pothvata uspijevala), zarazio je optimizmom tehničkog i tehnološkog razvitka i druge republike u zajedničkoj državi. Uistinu je bitno utjecao na strukturu i razvoj visokog obrazovanja u području elektrotehničkih disciplina. Izvrsno je ulančio struku s obrazovanjem, ne samo u Hrvatskoj nego kroz suradnju i u Sloveniji, BiH, Makedoniji, Crnoj Gori i Srbiji.

Dakle, koncept novog imena Zavoda unaprijed je trebao pokazati u kojim će se pravcima razvijati njegovo djelovanje. Od prvog dana preuzimanja vodstva postalo je jasno da će novi predstojnik, zasluženim autoritetom, provoditi politiku uske povezanosti obrazovanja i razvoja struke, istraživanja i prakse, te na taj način čvrsto i prirodno povezati struku u praksi i znanost na visokom učilištu.

Obrazovnim institucijama, bilo da se radi o srednjoškolskim ili visokoškolskim učilištima, postavljaju se visoki zahtjevi ne samo za nastavne planove i programe, nego, u prvom redu, za kvalitetu i odgovarajuću stručnost nastavnika. Kako bi proces obrazovanja polučio maksimalnu kvalitetu svojeg 'proizvoda' – 'stručnjaka početnika', za nastavu je trebalo osigurati stručnjake visokih stručnih dosega i zadovoljavajućih pedagoških osobina. Zapravo, o uspjehu 'proizvodnje uspješnog stručnog podmlatka' bilo koje struke, ovisio je razvitak cjelokupnog gospodarstva. Prihvaćanjem uloge predstojnika ZES-a, Dolenc u velikom opsegu koristi svoje bivše suradnike koji su se u praksi isticali inovativnošću i velikim iskustvom, proizišlim iz konkretnog bavljenja strukom. U kratkom vremenu Zavod je ostvario nastavu od asistentske do profesorske razine s nastavnicima visoke kvalitete po stručnosti i znanstvenim rezultatima.

Elektrostrojarstvo tad, a i danas, obuhvaća realnu, u praksi oživotvorenu elektrotehniku u svim područjima gospodarstva. Nema područja u suvremenom načinu života, počevši od kućanstva pa sve do prometa, lake i teške industrije, razonode i dokoličarenja, zdravstva i ugostiteljstva, a da se ne susreće široka lepeza njegovih proizvoda. Njihov popis je golem. To su, u prvom redu, električni strojevi obogaćeni učinskom elektronikom, dodatnim elektrotehničkim uređajima i IT tehnologijom, od najsitnijih pa sve do golemih snaga. Najsloženiji sustavi iz područja elektrostrojarstva ugrađuju se u elektrane − katedrale proizvodnje električne energije. Industrijska postrojenja, kojima elektrostrojarstvo 'iz dana u dan' obogaćuje i proširuje svojstva proizvodnih pogona, najveći su potrošači opreme iz područja elektrostrojarstva. Električne lokomotive, bez kojih se suvremeni željeznički promet ne može ni zamisliti, 'nabijene' su elektrostrojarskom opremom. Jednako tome i suvremene izvedbe tramvaja u gradskom prometu. Svemu ovom treba dodati da je elektrostrojarstvo zadnjih

tridesetak godina doživjelo golem napredak automatizacijom svojih sustava, temeljenoj na suvremenoj primjeni računalstva.

Opisana suvremena događanja podsjećaju na Dolenčeve percepcije bliže i daljnje budućnosti tehničkog napretka u širem području elektrostrojarstva. Nerijetko nas je iznenadio njegov zanos pri samom spomenu mogućnosti 'novog' u istraživanju. Pojava prvih digitalnih računala, kao alata za bitno ubrzanje provedbe proračuna, za njega je značila i novu mogućnost rješavanja složenijih konkretnih zadaća, a time i kvalitetnijeg određivanja svojstava istraživanog objekta. Bio je štedljiv, ali nije štedio vlastitog troška, kako bi 'pri ruci' imao vrhunsko računalo.

U stručnim i znanstvenim diskusijama nerijetko se dolazilo do 'zida' koji nismo mogli, u tom trenutku, preskočiti. Za njega su prepreke bile pitanje vremena, a ne odustajanja od 'nemoguće misije'. Suradnicima bi, u raspravama s negativnim ishodom, svoje stanovište izrekao ovako: "Strpimo se, rješenje problema će se naći; ako ne mi, riješit će ga drugi ili oni koji nas nasljeđuju." Nakon pojave učinskih silicijskih dioda na ETF-u je organizirano mini savjetovanje o toj temi. Naznačeno je da je to izvanredna komponenta u energetici, ali diode nisu upravljive. Na takav prigovor Dolenc je reagirao izjavom da će daljnja istraživanja sigurno i uskoro uroditi željenim plodom. Nakon relativno kratkog vremena pojavio se 'tiristor' (upravlji električni učinski ventil) kao izvrsno rješenje.

Ako bi bilo koji od njegovih suradnika došao do inovativnog rješenja, dovoljno razrađenog i pripremljenog za neposrednu primjenu u praksi, bez sustezanja i 'ljubomore' bi mu savjetovao odgovarajuću zaštitu inovacije, ili čak prijavu patenta.

Kao predstojnik ZES-a u suradnju s gospodarstvom uključuje sve stručno jake članove Zavoda. Mjerilo stručne i znanstvene razvijenosti i razine znanja za napredovanje u viša sveučilišna zvanja svakog nastavnika, ocjenjuje se, u prvom redu, kroz naočale njegova uspjeha u suradnji s gospodarstvom. Polje stručnog i znanstveno-razvojnog djelovanja vrlo je široko. Istraživač može po volji birati objekt istraživanja, bilo da se radi o elektrostrojarskoj komponenti uključenoj u industrijske ili elektroenergetske sustave, bilo da se radi o kompleksnom upravljanju industrijskog ili elektroenergetskog sklopa, ili pogona u kojima dominantnu ulogu imaju sastavnice iz područja elektrostrojarstva.

Poslijeratna Jugoslavija željela se brzo elektrificirati i industrijalizirati. S obzirom na postignute uspjehe u gradnji velikih hidrogeneratora, Dolenc i njegov tim stručnjaka postaju traženi na sve strane. Potrebe se zadovoljavaju prema kadrovskim mogućnostima. S obzirom na mali broj vrhunskih stručnjaka, Dolenc pokušava u sredinama koje traže visoku stručnu pomoć organizirati timove 'na licu mjesta', pogotovo ako su mu na raspolaganju njegovi bivši studenti. Tako se njegova iskustva, na najneposredniji način, umnažaju preko njegovih suradnika u sredinama koje imaju visoke zahtjeve za struku i stručnjake.

Kad se sagleda cjelokupan opus djelovanja profesora Dolenca, odnosno njegova načina rješavanja zamršenih zadaća, na prvi pogled nerješivih problema, stječe se dojam da je nerijetko bio "čarobnjak". Nameće se zaključak da probleme struke nije rješavao samo racionalnim sustavom razmišljanja nego da ga je u razmišljanju, usput, bez njegova znanja, do cilja vodio iracionalni misaoni poriv, posebno bitan u djelovanju kod istraživača, kojim ljudski mozak spontano, intuitivno, vodi misao najkraćim putovima do spoznaje, odnosno do rješenja stručne ili znanstvene zagonetke.

3.4. Valjačka pruga *blooming* u Željezari Zenica

Karakterističan je primjer slučaj krize pri izgradnji ključnog objekta, valjačke pruge *blooming* u Željezari Zenica, sastavnice RMK Zenica[2]. Državni interes br. 1! Valjačka pruga je u cjelini, početkom 1950-ih kupljena u SAD-u. Jugoslavija je izolirana s obje strane željezne zavjese. Ipak, trgovina sa zapada probija obruč zabrana i počinje montaža ključnog pogona Željezare uz pomoć američkih stručnjaka. Sredinom vremena predviđenog za montažu i puštanje u pogon valjaoničkog kompleksa *blooming* (1953.), dolazi do političkog ekscesa američkog voditelja montaže elektropostrojenja, u to vrijeme najmodernijeg u svijetu, dakle, nepoznatog u balkanskoj praksi. Rigidni komunistički sustav otkazuje boravak visokom američkom stručnjaku, a Amerikanci, zauzvrat, ne šalju zamjenu. Politika je učinila svoje, kao nadređena državna sila. Nastaje kriza koju mora rješavati Željezara. Prof. Dolenc je već tad bio poznat širom Jugoslavije kao 'stručnjak najvišeg ranga'. Iako vrlo problematičan slučaj, istodobno i izazovan u stručnom i razvojnom pogledu, Profesor prihvaća ispitivanje i puštanje u pogon cjelovitog elektrostrojarskog kompleksa valjaonice. Bira suradnike, mlade stručnjake Željezare, neki od njih su i njegovi studenti u Zagrebu. Bilo je bitno da su imali dovoljan stručni potencijal da mogu razumjeti fiziku zbivanja u vrlo složenom sustavu upravljanja i regulacije postrojenja. Uspijeva riješiti povjerenu zadaću i valjačka pruga *blooming* na vrijeme se pušta u pogon.

Na sličan način, ali bez pritiska političke krize, profesor na zahtjev svojih bivših studenata, mladih elektrostručnjaka Željezare Zenica, u tom trenutku zaduženih za realizaciju priključka industrijskih postrojenja cjelokupne Željezare na elektroenergetsku mrežu BiH, odnosno jugoslavenski elektroenergetski sustav, predlaže idejna rješenja kao osnovu za izradu projektne dokumentacije, a u tijeku izvođenja radova nadzire i usklađuje projekt s mogućnostima elektroenergetskog sustava.

[2] RMK Zenica (Rudarsko-metalurški kombinat), ključni metalurški objekt gospodarstva na državnoj razini poslijeratne komunističke Jugoslavije

Daljnji tijek suradnje ZES-a s Kombinatom bilo je širenje poslova u svim pravcima elektrotehničkih znanja i stručnih potreba RMK Zenica, uključujući čak i dopunsko obrazovanje, kako bi se novine u razvoju struke na optimalan način prenijele na zainteresirane stručne kadrove.

Na jednak način, prof. Dolenc kroz ZES surađuje vrlo djelotvorno sa Slovenskim železarnama, Termoelektranom Šoštanj, Rudnikom Raša, Željezarom *Boris Kidrič* u Crnoj Gori, Železarom Smederevo, hidroelektranama u Hrvatskoj i Makedoniji, termoelektranama u Hrvatskoj.

4. Elektrotehnički fakultet

Sredinom XX. stoljeća, neposredno prije osnivanja Elektrotehničkog fakulteta, u okviru Tehničkog fakulteta nalazi se osam zavoda elektrotehničke provenijencije.[3] Svi elektrotehnički zavodi Tehničkog fakulteta težili su, sinkronizirano, zajedničkom cilju: osnivanju elektrotehničkog fakulteta. Zavod za primijenjenu matematiku i Zavod za fiziku željeli su im se pridružiti.

Naime, zbog bitnog porasta ukupnog broja upisanih studenata na Tehnički fakultet, kao posljedice goleme potražnje za inženjerskim kadrom svih struka, zajednički studij svih tehničkih disciplina organizacijski je postao trom, nedjelotvoran, što se odražavalo i na kvalitetu, i na duljinu trajanja studija. Tako je došlo do pozitivnog oblika rajegspada Tehničkog fakulteta u niz pojedinačnih, po strukama podijeljenih, sveučilišnih jedinica – fakulteta.

Elektrotehnički fakultet − Zagreb (ETF Zagreb) osnovan je 1. srpnja 1956. godine s prof. ing. Antonom Dolencem kao prvim dekanom. Sasvim slučajno, točno na desetu godišnjicu njegova izbora u zvanje redovitog profesora. Ali, izbor na dekansku dužnost nije bio slučajan. Njegovo desetogodišnje vrlo aktivno nastojanje da se elektrotehnika na Sveučilištu u Zagrebu razvija u skladu s razvojem te discipline na visokim učilištima razvijenih zemalja Europe, s kojima je preko profesionalnih i prijateljskih veza bio u neposrednom kontaktu, urodilo je plodom. To će i neposredna budućnost potvrditi. Nastavni planovi i programi njemačkih elektrotehničkih fakulteta i visokih škola, s kojima je imao neposredne dodire, i konkretna iskustva kolega po struci, bili su dobra osnova za kritički pristup izboru nastavnih planova i programa za provedbu nastave po godinama studija.

Možda bi na ovom mjestu trebalo posebno istaknuti tko je zaslužan za vrlo brz razvoj ETF-a u prvim godinama postojanja. ETF je, u samo nekoliko

[3] Na području elektrotehnike djelatni su: Zavod za osnove elektrotehnike i električka mjerenja, Zavod za elektrostrojarstvo, Zavod za visoki napon, Zavod za telekomunikacije, Zavod za kontrolne i signalne uređaje, Zavod za radiokomunikacije, Zavod za elektroakustiku i Zavod za osnove i mjerenja u slaboj struji.

godina, uspio usvojiti europske nastavne programe i dostići europsku razinu kvalitete studiranja i kvalitete svojeg 'proizvoda', inženjera elektrotehnike Sveučilišta u Zagrebu. Njegova je diploma bila najbolja preporuka za dobivanje poželjnog radnog mjesta ne samo u Hrvatskoj i Jugoslaviji nego i u inozemstvu. U kratkom vremenu ETF je postao neka vrsta *branda* Sveučilišta.

Zasluge za uspjeh brzog razvoja Fakulteta, bilo po kvaliteti programa, bilo po izvanserijskoj organizaciji studiranja (godina za godinu) i time skraćivanja prosječnog trajanja studija sa 7,5 na 5,5 godina, u najvećem dijelu pripadaju timu profesora koji su, u dobroj međusobnoj suradnji, uspjeli pronaći dobra rješenja za sve ključne zadaće koje učilište visoke stručne i znanstvene razine mora rješavati. Dekani, koji organiziraju nastavu i znanstveni rad te suradnju s gospodarstvom, kao temeljnim odrednicama rada Fakulteta kao cjeline, ograničeni su u svojem djelovanju kvalitetom nastavnog i istraživačkog sastava (pojedinaca i timova po zavodima), ali i njihovim zalaganjem za napredak Fakulteta, a ne samo svojeg osobnog uspjeha. U kratkom vremenu pokazalo se da je tad postojeći ansambl Znanstvenonastavnog vijeća, uigrano, bez napetosti između pojedinaca i grupa, zavoda, djelovao kao dobro uigran sportski tim. Nerijetko se događalo, gotovo kao pravilo, da su predstavnici jednog zavoda gorljivo zastupali interese drugih zavoda, jer je zajedništvo u svim naporima za brži razvoj Fakulteta bilo temeljni motiv djelovanja. Na sreću Fakulteta, duh zajedništva prvih desetljeća u potpunosti je prisutan i danas na FER-u.

Nezahvalna je zadaća isticati imena zaslužnih predvodnika ETF-a u prvim godinama njegova nastajanja i razvitka jer postoji velika vjerojatnost da se nekoga nehotice povrijedi. Međutim, redna lista izbora dekana u prvih deset godina može se u tu svrhu uzeti mjerodavnom jer predstavlja tadašnju ocjenu Znanstvenonastavnog vijeća, izraženu tajnim glasovanjem.

Za iznimne rezultate, koji su ETF skokovito mijenjali nabolje u prvih deset godina djelovanja, mogu se navesti tri grupe aktivnosti:

(1) osiguranje prostora i financijskih sredstava za izgradnju objekata novog Fakulteta, potrebnih za izvođenje suvremene nastave visokog tehničkog učilišta, uključujući i nastavno-znanstvenu opremu, te izgradnju zgrade Fakulteta nepunih 10 godina nakon osnutka
(2) izrada nastavnih planova i programa radi obogaćenja novim disciplinama, a time i sadržajima koji odgovaraju suvremenom stanju struke i znanosti u područjima elektrotehnike
(3) uvođenje discipline studiranja, radi skraćivanja sa 7,5 na 5,5 godina prosječnog trajanja studija.

Fakultet je imao sreću da su njegova dva istaknuta profesora i dekana iz prvih godina postojanja (profesori A. Dolenc iH. Požar), izvrsnom međusobnom suradnjom te suradnjom sa svim predstojnicima zavoda u prvih deset godina od osnutka uspjeli u potpunosti ostvariti željeno. Bez jedinstvene potpore

Znanstvenonastavnog vijeća Fakulteta, koje je, gotovo aklamacijom, prihvaćalo svaki prijedlog spomenutih profesora, ne bi se postigli željeni rezultati i ciljevi razvitka.

Istaknimo ulogu profesora Dolenca u organizaciji izgradnje i korištenja nove zgrade (nebodera) ETF-a, dovršene 1963. godine. Fakultetu su bili nužno potrebni prostori za smještaj nastavnog osoblja; njihov je broj rastao 'iz dana u dan' zbog naraslih nastavnih potreba i značajnog porasta studenata. Jedanaest zavoda bilo je smješteno na gotovo jednakom broju različitih adresa. Prostorna raštrkanost postala je kočnica normalnog odvijanja nastave, a time i daljnjeg razvoja Fakulteta. Prof. Dolencu, voditelju gradnje zgrada ETF-a, uspijeva organizacija korištenja nebodera u njegovim prizemnim etažama u vremenu građenja viših etaža, rekli bismo, na 'amerikanski' način. Teško bismo se mogli sjetiti i jedne zgrade u tadašnjoj Jugoslaviji ili današnjoj Hrvatskoj kojoj je na takav način organiziran proces građenja.

Zaključimo odsječak osvrtom na Profesora kao nastavnika. Bio je vrstan predavač. Svojim je načinom umio privući pažnju studenata − slušača. Na predavanjima je uvijek nastojao ostvariti interakciju sa slušateljstvom smišljenim prekidanjem iznošenja gradiva, pitanjem upućenim studentima o upravo rečenom, o ranije iznesenom ili pitanjem iz osnova elektrotehnike, kao provjeru znanja usvojenog tijekom dotadašnjeg studiranja. Osluškujući grupne odgovore studenata, znao ih je počastiti odobravanjem, ali i prigovorom na njihov netočan odgovor uz vrlo jasnu argumentaciju. Nije bilo teme u predavanom gradivu za koju nije mogao naći stvarni primjer iz vlastite prakse. Posebne poslastice za studente bili su njegovi slikovito ispričani slučajevi, kojima bi privukao pažnju čak i kod 'odlutalih' slušača. Mnogima su se zauvijek urezale u pamćenje strukovne poruke iz tih priča.

4.1. Suradnja s Fakultetom za elektrotehniko Univerze v Ljubljani

Spletom tragičnih okolnosti (smrt prof. dr. Vatroslava Bedjaniča) prof. Dolenc je 1959. na molbu Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani preuzeo honorarno ulogu predstojnika Katedre za električne strojeve i regulacijsku tehniku, kao i predavanja o električnim strojevima na dodiplomskom i magistarskom studiju. Od 1971. pa do umirovljenja 1974. godine na tom je fakultetu bio trajno zaposlen, a nakon umirovljenja pa do smrti 1984. radio je kao honorarni redoviti profesor. Nove ga obveze, po svemu sudeći, nisu bitno dodatno opteretile, a oba zavoda ojačala su međusobne odnose na polju suradnje s gospodarstvom, posebno s obzirom na zajedničko planiranje i provedbu seminara za Slovenske železarne.



Sl. 2.: Apsolventi sa svojim profesorom Antonom Dolencem, organizatorom stručne ekskurzije apsolvenata ETF-a akad. god. 1965./1966. u Austriju, Zapadnu Njemačku, Švicarsku i Italiju

Univerza v Ljubljani dodjeljuje 1975. prof. Dolencu zvanje zaslužnog učitelja (professor emeritus) za njegove zasluge u razvoju i radu Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

Što se tiče prof. dr. h. c. Antona Dolenca kao nastavnika, zaključno se može sažeti njegov profesorski učinak činjenicom: do mirovine je održao ukupno 102 semestra nastave na Sveučilištu u Zagrebu i Univerzi v Ljubljani!

4.2. Organizacija i realizacija stručnih studentskih ekskurzija po modelu prof. Dolenca

Tijekom 1960-ih prof. Dolenc nekoliko godina organizira i osobno prati stručne ekskurzije studenata ETF-a Zagreb i ETF-a Ljubljana u visokorazvijene zemlje Europe. Autobusi puni zagrebačkih i ljubljanskih studenata prolaze Italijom, Francuskom, Švicarskom, Zapadnom Njemačkom i Austrijom, uživajući u izvanrednoj prilici izlaska iz bloka komunizma u države europske demokracije. Pritom, osim turističkih sadržaja, u kojima imaju priliku uživati, susreću se s proizvodnim gigantima, u prvom redu s tvrtkom *Siemens*, koja ih ugošćuje kao studente elektrotehnike profesora Dolenca, jednog od najuspješnijih nekadašnjih upravitelja *Siemensovih* tvornica izvan Njemačke prije Drugog svjetskog rata. Program puta sadrži sve operativne radnje tijekom putovanja i boravaka, promišljeno i detaljno utvrđenih za svaku skupinu, odnosno autobus. Posebno su razrađeni planovi obilaska proizvodnih pogona *Siemensa*, ali ne samo *Siemensa*, izabrani radi uvida u suvremenu tehnologiju proizvodnje kapitalističkog zapada.

5. Visoko priznanje Sveučilišta u Zagrebu

Sveučilište u Zagrebu dodijelilo je 1970. godine počasni doktorat prof. Antonu Dolencu čime je on postao njegov treći počasni doktor elektrotehnike, nakon Nikole Tesle (1926.) i Josipa Lončara (1970.).

6. Objavljeni radovi i državna priznanja / nagrade / odlikovanja

S obzirom na golem opseg zadaća koje su ga pratile od prvog dana zaposlenja, profesor Dolenc sam je sebi postavio prioritete, nikad ne računajući na pisane radove koji bi ga promovirali u struci ili na polju obrazovanja odnosno



SOCIALISTICA FOEDERATIVA RES PUBLICA IUGOSLAVIA
SOCIALISTICA RES PUBLICA CROATIA
UNIVERSITAS STUDIORUM ZAGRABIENSIS

UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS RECTOR
IVAN SUPEK
FACULTATIS SCIENTIARUM NATURALIUM ET MATHEMATICARUM PROFESSOR ORDINARIUS

ET

FACULTATIS ELECTRO-TECHNICAE ZAGRABIENSIS DECANUS
HRVOJE POŽAR
PROFESSOR ORDINARIUS

ET

PROMOTOR
DANILO BLANUŠA
FACULTATIS ELECTRO-TECHNICAE ZAGRABIENSIS PROFESSOR ORDINARIUS

PRONUNTIANT

CONSILIUM UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS IN CONSESSU DIE VI APRILIS ANNI MCMLXX HABITO, CONCILIO PRAECIPIENTIUM FACULTATIS ELECTRO-TECHNICAE ZAGRABIENSIS SUADENTE, DECREVISSE, UT OCCASIONE QUINQUAGESIMI ELECTRO-TECHNICAE IN CROATIA STUDIORUM ANNIVERSARII

ANTON DOLENC

OB EXIMIAM OPERAM IN OECONOMIA PROVEHENDA ET IN ELECTRO-TECHNICA PRAECIPIENDA ET IN STUDIIS SCIENTIARUM TECHNICARUM, QUAE AD ELECTRO-TECHNICAM PERTINENT, AMPLIFICANDIS

DOCTOR HONORIS CAUSA
UNIVERSITATIS STUDIORUM ZAGRABIENSIS RENUNTIARETUR.

CUIUS REI IN FIDEM HOC DIPLOMA SUBSCRIPTIONIBUS NOSTRIS ET UNIVERSITATIS SIGILLO MUNITUM EDENDUM CURAVIMUS.

DATUM ZAGRABIAE DIE VIII MAII ANNI MCMLXX.

FACULTATIS ELECTRO-TECHNICAE ZAGRABIENSIS DECANUS

PROMOTOR

UNIVERSITATIS RECTOR

Sl. 3.: Počasni doktorat Antona Dolenca

istraživanja. Pisao je, praktički, samo onda kad je to bila potreba drugih. S druge strane, radeći u tri države različitih vladajućih društvenih sustava, prije, za vrijeme i nakon Drugog svjetskog rata, nije se formalno priklonio ni jednoj političkoj orijentaciji, uključujući i stranku na vlasti. Ali, svakoj je vlasti tih država bio dragocjen zbog svoje uspješnosti u radu. Vlasti su se mijenjale, a struka, njezin razvoj i obrazovanje stručnih kadrova, kao nasušne potrebe društva, ostajali su kao temeljni pokretači podmirenja egzistencijalnih potreba društva. Dolenc je uvijek odabirao struku, razvitak i obrazovanje. Uspješno i blagotvorno. Zato su ga svi trebali. Događalo se da je, pri promjeni vlasti, dolazilo i do njegova uhićenja, ali uvijek s jednakim ishodom; bio je i takvim vlastodršcima potreban. Njegova je motivacija imala drugu boju. Znao je da društvu može pomoći koristeći svoje talente i znanje, a po uvjerenju je bio humanist. Dovoljan razlog za uporno i nesebično djelovanje u ljudskoj zajednici.

Rezultat opisanog pristupa je, nakon Drugog svjetskog rata i pomanjkanja stručne literature na našem jeziku, ponukao Profesora na izradu skripata, bez kojih bi svim studentskim generacijama bilo vrlo otežano studiranje i usvajanje inženjerskih znanja iz elektrostrojarstva. Njegova skripta iz područja elektrostrojarstva bila su temeljna podloga za studij ne samo na Sveučilištu u Zagrebu nego su korištena i na svim elektrotehničkim fakultetima zajedničke države. Sva skripta (*Transformatori*, *Asinkroni strojevi*, *Kolektorski strojevi*, *Sinkroni strojevi*), sveukupnog opsega oko 760 stranica, pokrivaju temeljno potrebna znanja osnovnih sastavnica elektrostrojarstva. Skripta su studiozno pisana fizikalno jasnim jezikom o svakoj sastavnici, radi izgradnje čvrstih predodžbi o fizikalnoj povezanosti svih fizikalnih veličina koje sudjeluju u pretvorbi jednog oblika energije u drugi, željeni oblik. Nakon dobivanja jasne fizikalne predodžbe, koja je potpuno misaona tvorba prirode odvijanja elektromagnetskih, mehaničkih i toplinskih procesa u električnim strojevima bilo koje vrste, bez poteškoća se prelazi na matematsko oblikovanje zbivanja i time priprema studenta, budućeg stručnjaka iz područja električnih strojeva, za primjenu u praksi. Profesor je u sve niti skripata nastojao unijeti svoja iskustva, sa svrhom da studentu olakša fizikalni pristup inače vrlo složenim zbivanjima.

Na području projektiranja i puštanja u pogon velikih industrijskih postrojenja i elektrana nakupile su se goleme hrpe dokumentacije. Sažimanjem samo novog i bitnog iz tog dijela svoje djelatnosti, uspio je objaviti više od 40 znanstvenih i stručnih radova u časopisima i na znanstveno-stručnim skupovima.

Međutim, njegova stručna i znanstvena djelatnost očitovala se u velikim pothvatima, prethodno dijelom opisanim. Umjesto navođenja objave stručnog ili znanstvenog rada, prikladno je nanizati nemali broj državnih i inih priznanja rezultata, proizišlih iz njegove ‘radionice’:

– Nagrada Vlade FNRJ za izgradnju električne centrale Mariborski otok, Beograd, 1949.

- Orden rada II. reda za izgradnju najvećeg motora u Europi za željezaru Jesenice, 1949.
- Orden rada II. reda za nastavni rad na Tehničkom Fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, 1952.
- Orden rada s crvenom zastavom, 1961.
- Zlatna plaketa *Josip Lončar*, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1976.
- Zlatna značka *Rade Končar* za istaknuti doprinos u rezultatima rada i razvoja organizacije udruženog rada *Rade Končar*, 1976.
- Diploma i zlatna značka *Rade Končar* OOUR − Generatori,1977.

Sve navedeno nema veze sa službenom politikom režima. Prof. Dolenc odlikovan je samo za svoja dostignuća iz područja struke, znanosti i obrazovanja. Priznati su mu uspjesi koje je podario domovini, bez obzira na režime i republičke granice. Sasvim jasan i čist humanistički pristup društvu u kojem je živio i djelovao.

6. Potrebe obrazovnih institucija za suradnjom s gospodarstvom

Nastava i znanstveno istraživanje ključne su zadaće visokih učilišta. Tehnička učilišta obrazuju buduće kadrove u najvećem opsegu za potrebe realnog gospodarstva. Industrijski visokorazvijene države, poput SAD-a, SR Njemačke, Francuske, Švicarske, Švedske,… imaju, u pravilu, razvijena gospodarstva usklađena sa svojom veličinom i mogućnostima proizvodnje te potrebama potrošnje. Najsnažnije industrijske zemlje grade svoje proizvodne kapacitete bitno veće od vlastitih potreba, uglavnom radi izvoza na svjetsko tržište roba. Današnje je globalno gospodarstvo na taj način postalo činjenica koja uvjetuje daljnji razvoj čovječanstva.

Razvijena gospodarstva bitno utječu na pristup obrazovanju tehničkih kadrova te njegovu opsegu i sadržajima. S obzirom na zahtjeve industrijske proizvodnje, potrebe se, u pravilu, razvrstavaju u dvije grupe: kadrovi za proizvodnju i znanstveni kadar za razvoj i istraživanja. Tako dolazi do podjele i u obrazovanju. SR Njemačka već je u prethodnim desetljećima organizirala obrazovanje po opisanom obrascu pa su nastale ‘više tehničke škole’, ‘visoke tehničke škole’ i ‘fakulteti’. Osim toga, veliki industrijski koncerni, posebno za svoje specifične potrebe, postavljaju svoje dodatne programe za dopunsko obrazovanje, prema kojima se kadar, tehnički već obrazovan, dopunski kvalificira za potrebe koncerna. Sasvim logično i djelotvorno.

Republika Hrvatska je, u odnosu na tehnički i tehnološki razvijenije zemlje, bila u bitno nepovoljnijem položaju. I u našem sustavu obrazovanja tehničkih

kadrova postoji srednje, više i visoko obrazovanje. Međutim, dok je inženjer, bilo koje struke, u razvijenim industrijama mogao računati s dopunskim obrazovanjem, prilagođenim potrebama poslodavca, njegov je kolega u našim prilikama morao proći rigorozniji program u tijeku 'normalnog' studija, jer će, veoma rijetko, imati priliku 'doškolovati se' na radnom mjestu. Naš prosječni poslodavac očekuje od diplomiranog inženjera potpuno 'gotovog' stručnjaka za sve poslove njegove struke. Da bi se takvim zahtjevima dovoljno približio, student bilo koje tehničke discipline trebao je imati 'bogate' talente i veliku motivaciju u tijeku obrazovanja. Ali su i institucije visokog obrazovanja morale imati odgovarajući kadrovski potencijal. Upravo je ta činjenica bila razlog da se u našem sustavu visokog obrazovanja, barem u završnim godinama studija, morao osigurati nastavni kadar koji ima zrela iskustva iz rada u realnom gospodarstvu, i/ili značajnu suradnju s gospodarstvima svoje struke.

Tijekom 1960-ih na visoko je školstvo u Hrvatskoj vršen pritisak sa svrhom podjele stručnih studija na dva dijela, dakle model 3 + 2, slično današnjem. Prof. Dolenc nije prihvatio preporučeni model. Nije ga prihvatilo ni Znanstveno nastavno vijeće. ETF je nastavio s cjelovitim studijem elektrotehnike, ali programe studiranja redovito je mijenjao u skladu s razvojem struke i potrebama gospodarstva. Ne postavljaju li se i danas, iz prakse, tehničkim studijima u Hrvatskoj slični zahtjevi?

Dobar je pokazatelj nužnosti opsežnijeg obrazovanja na elektrotehničkim fakultetima u Hrvatskoj činjenica da sadašnji studij elektrotehnike, podijeljen na 3 + 2 godine studiranja, u praksi završava u dominantno velikom postotku kao 5-godišnji studij. Naše gospodarstvo još uvijek treba inženjera koji ima sposobnost integralnog rješavanja tehničkih zadaća širokog opsega.

Zaključak

Anton Dolenc, Slovenac koji je sav svoj radni vijek od 56 godina vrlo aktivno i djelotvorno proživio u Zagrebu, dakle Zagrepčanin s ljubljanskim naglaskom u govoru, stručnjak širokog tehničkog spektra, znanstvenik i sveučilišni profesor, zaslužni učitelj (professor emeritus) Univerze v Ljubljani, počasni doktor Sveučilišta u Zagrebu, napustio nas je prije 36 godina. Ni jednog trenutka nije bio u uobičajenoj mirovini. Njegov zadnji projekt bio je jednako uspješan kao projekti koje je rješavao u svojim 'najboljim' godinama. Čovjek zavidne energije, veliki stručnjak i znanstvenik na polju primijenjene elektrotehnike, a ujedno i humanist.

Surađujući s Profesorom tridesetak godina, od vremena mojih studentskih dana pa sve do njegova odlaska 'na drugu stranu rijeke života', iskusio sam sve faze njegova načina rješavanja stručnih, razvojnih, pedagoških zadaća i mnogih

problema. Istini za volju, treba reći da je ***Profesor*** (tako smo ga, bez naznake imena, u neposrednoj suradnji i međusobnim kontaktima, posvema zasluženo, svi zvali, jer se znalo o kojem je profesoru riječ) djelovao u vremenima intenzivnog razvitka struke i znanosti u elektrotehnici XX. stoljeća. Priče oko njegovih prvih uspjeha (lak-žice, usavršavanja tehnologije proizvodnje asinkronih motora…), simpatične su, ali današnjem prosječnom elektrotehničaru izgledaju minorne. No, kad se naslažu rezultati i uspjesi njegova radnog vijeka, kad se sagleda njegov životni opus u cjelini i prilike u kojima je djelovao, dolazi se do bitnog zaključka o tajni njegova uspjeha. Taj jednostavan čovjek, pristupačan i otvoren prema svakome tko je dobrih namjera, znao je misliti znanstveno, tehnički, tehnološki i menadžerski. Sve drugo, nabrojeno ili preskočeno, detalji su njegova rada i uspjeha. Međutim, njegovi su suradnici, studenti, kolege i prijatelji najviše 'profitirali' ako su prepoznali i slijedili načine rješavanja zadaća i problema za koje je putove prokrčio prof. Dolenc.

Literatura

[1] *90 godina zavoda za elektrostrojarstvo i automatizaciju, 1925. – 1915.*, monografija, ur. Drago Ban, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 2015.

[2] Tomislav Anić: *Povijest obilježena inovacijama − 125 godina Siemensa u Hrvatskoj*, monografija, *Siemens*, 2011.

[3] Marijan Kalea: Primjer sjajne organizacije profesora Antona Dolenca, simpozij *Povijest i filozofija tehnike* PiFT 2020., 24. − 25. studenog 2020., str. xx-yy.

Marijan Kalea

Primjer sjajne organizacije profesora Antona Dolenca

(Isječak sjećanja: stručna ekskurzija apsolvenata Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu akad. god. 1965./1966.)

Na stručnu apsolventsku ekskurziju u inozemstvo uobičajeno se išlo krajem četvrte godine studija. Godinama je organizator tih ekskurzija bio, nenadmašan u tome i po vezama u čitavoj Europi, profesor Dolenc. Opisat ću tog 'čarobnjaka organizacije' primjerom naše ekskurzije (16. − 30. srpnja 1966.); u životu se nisam susreo s toliko sjajnim organizatorom.

Ponajprije, izabrana su dvojica studenata treće godine (jedan od te dvojice bio sam ja, demonstrator na Dolenčevu Zavodu za elektrostrojarstvo) da neprestano prate tijek priprema za ekskurziju studenata tadašnje četvrte godine, koji će te godine i ići na ekskurziju. Tako se prije puta 'znalo sve' o ekskurziji, kao što će znati i ona dvojica iz buduće treće godine kad sadašnja treća bude u četvrtoj. Održavana su predavanja o gradovima koje će posjetiti; predavači su bili dobri poznavatelji tih gradova i njihovih znamenitosti. Ili su čak živjeli neko vrijeme u tim gradovima, popratili to dijapozitivima, glazbom s kasetofona, topografskim kartama. Sjećam se inženjera Toissanta Levičnika, asistenta profesora Hrvoja Požara, koji je priču o Parizu počeo taktovima Edith Piaff ili berlinsku priču taktovima Marlene Dietrich.

Na put se išlo dvama autobusima (jedan za studente jake, a drugi za studente slabe struje – te je vodio profesor Stanko Turk – jer su se razlikovali i objekti koji će se obilaziti). Jedan autobus vukao je terensku poljsku kuhinju, a drugi prikolicu s utovarenim šatorima, zračnim jastucima i vrećama za spavanje. Da, išlo se u autokampove i hranilo se kuhanjem ponesenih vlastitih, a nosivih namirnica (konzerve hrane, tjestenina, mlijeko u prahu, čaj,… pribavljenih Dolenčevim zagrebačkim vezama)! Tko bi se od današnjih profesora upustio u takvu šatorsku organizaciju (pa i od današnjih studenata, tko bi danas pristao na takav put), uz silno telefoniranje firmama koje se namjerava posjetiti i rezerviranje primanja u autokampovima, brigu nad pribavljanjem namirnica, cjelokupno usklađivanje kilometraže i trajanja pojedinih dionica puta s planiranim datumima i satima stizanja…? U Zagrebu je održana vježba podizanja šatora i



Profesor Dolenc uz naše šatore u Campingu Seebucht, Zürich, srpanj 1966.

proba pakiranja stvari u autobuse. Na put su krenuli profesionalni kuhar i liječnik, te dva pomoćna radnika. Studentski sudionici podijeljeni su u unaprijed poznatih osam grupa od po 12 studenata, unaprijed raspoređenih u šatore (po trojica studenata, odnosno dvije studentice), koje grupe su imale pojedinačna zaduženja na putu, određene unaprijed po danima.

Prije puta svaki je student dobio šapirografom umnoženu knjižicu (i danas je čuvam, bila mi je uzor za to kako valja organizirati neku aktivnost koja okuplja više ljudi) u kojoj je bila opisana cjelokupna organizacija. U prilogu, bio je tekst na njemačkom i talijanskom (mi smo putovali u Austriju, Njemačku, Švicarsku i Italiju), kojim se obraćalo nekome ako se zaluta, da ga uputi do adrese kampa (*Oprostite, ja sam se izgubio. Možete li me uputiti kako da stignem do kampa?...*). U knjižici bile su adrese svih kampova i datumi do kojih treba stići pošta ako bi je tko želio uputiti sudionicima ekskurzije (nije tad bilo mobitela). Bio je i popis stvari koje je svaki student trebao i smio ponijeti u torbi veličine 60 ´ 30 ´ 35 cm. U autobusima je izmaknut zadnji red sjedišta te je montirana prečka, na koju su se na vješalicama vješala odijela, bijele košulje (morale su biti najlonske, da se mogu prati na putu) i kravate; za muškarce. Djevojke su imale svoj popis, uključujući haljinu za svečane izlaske. Svaka grupa imala je komplet grupnih stvari (četka za odijela, pribor za čišćenje cipela, toaletni papir,

deterdžent, spužva za pranje košulja, kvačice i špaga). Konačno, u detaljnom planu puta, nabrojeno je, po datumima i satima, što se, kad i gdje događa, uz specifikaciju svakog obroka (možemo li to uopće vjerovati!!!). Za svaki grad, u priručniku bile su i karte užeg centra umnožene na ozolit-kopijama.

Ujutro, na dan početka puta sva je oprema utovarena u autobuse, a krenulo se navečer. Došavši na pojedino odredište, u svaki novi grad, zaputili bismo se u autokamp. Tu su jedni bili zaduženi za podizanje šatora (što smo uvježbali u Zagrebu), jedni za podizanje poljske kuhinje, a jedni za pomoć kuharu pri pripremi jela i pranju suđa. Tako je za sat-dva prvo jelo bilo posluženo, a navečer spremno spavanje. Ja sam u svojoj grupi bio određen za podizanje šatora i još sam bio u disciplinskom sudu koji se sastao samo jednom, kad smo trebali kazniti jednog zato što nije na vrijeme došao do autobusa nakon zastanka. Kazna: oduzimanje jednodnevnog džeparca, jer naravno, i džeparac smo u devizama dobivali organizirano – ukupan iznos 10 (deset!) američkih dolara za cijeli put, drugačije se u to doba nije moglo raspolagati devizama. Sutradan, nakon povratka s ekskurzije, bile su određene grupe za raspremanje autobusa.



Šetnja minhenskim ulicama s razdraganim profesorom Dolencom 18. srpnja 1966.



Dolenc prati kartu plana grada, kaže nama u vožnji autobusom jednom dugom ulicom neka mu čitamo imena poprečnih ulica kako bi uspostavio korespondenciju s kartom, i jedan vikne slavodobitno: *Einbahnstrasse*, a profesor se grohotom nasmije u mikrofon, svaka druga ulica je jednosmjerna, Stuttgart, 21. srpnja 1966.

Profesor Dolenc držao je strogu disciplinu na putovanju. Prije nego bi se stiglo na neko odredište (uglavnom tvornice elektrotehničke opreme), autobus bi zastao na ugibalištu, studenti bi se preobukli u odijela i kravate i tako nastupili u tvornicu. Tamo je profesor Dolenc najprije pitao gdje je zahod i kad je to obavljeno krenulo bi se u obilazak. Nakon toga, opet stajanje autobusa i presvlačenje u putnu odjeću. Kad bismo iznimno išli u restoran na ručak ili večeru – na račun firme koja nas je primila, profesor Dolenc tražio je od posluge da nam donesu dosta kruha, jer se u to doba mi nismo mogli najesti 'po europski' – s malo kruha. Profesor je imao ugovorenu lozinku "vau-vau" i kad bi je uzviknuo trenutno je trebalo prekinuti sa svim aktivnostima i najbrže moguće okupiti se oko njega. To je jednom bilo potrebno u Hoffbräuhalle-München, gdje smo pretjerali s kolektivnom pjesmom i preoteli publiku službenom orkestru. Slobodno se moglo ići po gradovima u grupama od najmanje trojice (jednom se nešto dogodi, drugi ostaje s njim, a treći ide po pomoć).

Na ekskurziji smo odigrali i nogometnu utakmicu protiv *Siemensa* iz Erlangena, dakako, opet unaprijed organiziranu na inicijativu profesora Dolenca. Mi smo se ozbiljno pripremali za tu utakmicu, svake nedjelje od kasnog proljeća. U Zagrebu, pred polazak, posudili smo od nekog nogometnog tima dresove i kopačke, a da ih prije toga nikad nismo koristili. Došao je i dan utakmice, protiv nas je tim *Siemensa* koji igra u nekoj njemačkoj ligi, a popodne kiša lije kao iz kabla. Utakmica se mora odigrati na totalno raskvašenom i blatnom terenu s loptom, nabreklom i otežalom od kišnice. Gol velik, ne vidiš mu krajeve. Bio sam vratar, loptu ne mogu uhvatiti, ispada mi iz ruku, naprosto je se bojim. Strašno; primio sam četiri gola, protivnik niti jedan. Petnaest minuta prije kraja



Sudionici apsolventske ekskurzije na kraju putovanja s profesorom Dolencem u Trstu, 30. srpnja 1966.

izbacuje me iz igre naš kapetan i staje on na gol umjesto mene. Nismo do kraja primili više niti jedan gol, a dali smo jedan – počasni: rezultat 4 : 1.

Obišli smo Austriju, München, Nürnberg, Erlangen, Nuklearnu elektranu Obrigheim u izgradnji, Stuttgart, Zürich, Winterthur, Baden, Lugano, Milano, Veneciju,... prešavši put od oko 2500 kilometara i nakon 15 dana putovanja, bilo



Naš golman (autor ovog teksta) primio je četiri gola, Erlangen, 20. srpnja 1966.

nas je oko 80 studenata, profesor Dolenc nas je, na prijelazu talijansko-jugoslavenske granice kod Trsta, zapitao: “Koliko je sati?” Mi smo odgovorili. On će na to: “A u koliko sati smo prema planu puta trebali biti na talijansko-jugoslavenskoj granici?” Vrijeme se razlikovalo praktički nimalo! Nije bilo druge: izišli smo iz autobusa razdragani, digli teškog profesora Dolenca (imao je preko 100 kila) i bacali ga radosno u zrak... To je jedan od najdirljivijih trenutaka kojeg se sjećam iz razdoblja svojeg studiranja.

Josip Medić

Danas najstariji Končarevac – projektant Zvonimir Oštrić

Sažetak: Povodom 98. rođendana gospodina Zvonimira − Zvonka Oštrića, voditelja Projektnog ureda Tvornice Rade Končar i voditelja Končarevih projekata elektrana u Indiji i Egiptu, odlučio sam napraviti ovaj intervju kako bi ostala zapisana sjećanja tog vremešnog čovjeka vrlo bogatog iskustva, koji je svoj radni put u Končarevoj tvornici počeo davne 1947. godine. U svojem životu mnogo je toga proživio i svjedočio raznim nedaćama i izazovima, vremenima i situacijama koje se iz današnje perspektive čine gotovo nemoguće, nestvarne i u najmanju ruku avanturističke.

Ključne riječi: Zvonimir Oštrić, Tvornica *Rade Končar*, Tehnički fakultet u Zagrebu, ELIH

Uvod

Kad sam prije možda pet godina čupao travu u vrtu vikendice u lijepom primorskom mjestu Selcu, stariji sin pitao me: "Tata, zašto nismo duže u Selcu?" – ja sam mu odgovorio kako sam najkraće mogao – "Zato što tata treba ići u Končar." Radio sam tad u Tehničkom uredu tvrtke Končar − električna vozila kao projektant, strojarski inženjer (u međuvremenu sam otišao u drugu Končarevu tvornicu te se nakon nekoliko godina sa zadovoljstvom vratio onamo odakle sam i krenuo). Ne bi to bilo ništa značajno i do ovog teksta ne bi ni došlo da baš u tom trenutku ispod zida našeg vrta nije stajao vremešan gospodin, uvijek znatiželjna pogleda i specifična stila odijevanja – gospon Oštrić. O njemu sam znao samo to da je on tu uvijek, a ne samo sezonski, i da voli

biljke, a napose cvijeće. No taj odgovor koji je bio upućen mojem sinu, u komunikacijskom kanalu naišao je na uho g. Oštrića, i priča je krenula u sasvim drugom pravcu. Otad sam proveo dosta vremena s "novim" susjedom i slušao zanimljiva i autentična svjedočanstva čovjeka filmskog životnog puta te gledao fotografije i artefakte iz Indije i Egipta, slušao o filozofiji i povijesti, o glazbi i putovanjima.

Barba Zvonko, možete li se za početak ovog našeg razgovora predstaviti i ukratko nešto reći o životu?

Zovem se Zvonimir Oštrić. Rođen sam 9. srpnja 1922. godine u Šibeniku. Osnovnu školu i klasičnu gimnaziju završio sam u Šibeniku, Maturirao sam 1941. te sam iste godine s obitelji otišao u Zagreb da bismo izbjegli talijansku okupaciju Dalmacije. Moja obitelj potječe iz Dalmacije, otac je porijeklom iz Novigrada (kod Zadra), a majka iz Zadra. Nakon vjenčanja moji su roditelji živjeli u Zadru, odakle su radi dolaska talijanske vlasti 1921. godine otišli za Šibenik.



Sl. 1.: Portret Zvonimira Oštrića − Šibenik oko 1932. godine

Otac je bio državni namještenik, radio je u policiji, majka se bavila poljoprivredom i kućanstvom, djecom, imali su nas četvero, tri sina i kćer. Kad je Šibenik potpao pod Italiju, drugi put je obitelj pobjegla od Talijana, ovaj put u Zagreb, 1941. godine. Sjećam se talijanske okupacije Šibenika, bili smo nedjeljom na školskoj misi. Oko devet sati, kao i svake nedjelje uđemo u crkvu i svećenik u propovijedi naglasi: "Sad ćemo se, dragi učenici, razići, kud koji,..." Nisam to razumio i nisam baš shvatio što to znači. Smatrao sam, kako sam bio maturant, da se to odnosi na skorašnji upis studija i da ćemo se u tom smislu razići u različitim interesima i odabirima. Kad sam izišao iz crkve na ulicama su stajali vojnici s bajunetima na puškama. Eto, za vrijeme mise počeo je rat!

Dobro pamtim još jednu zgodu s Talijanima u Šibeniku. Jedne večeri *u kući* gdje su bili smješteni talijanski vojnici i njihovi zapovjednici došlo je do žamora i galame koja je potrajala do dugo u noć. Kako su roditelji znali talijanski jezik, pitali su ih sutradan zašto su sinoć galamili, što se događalo? Na to su im vojnici rekli kako su snimali film o mukotrpnom i krvavom ulasku pobjedonosne talijanske vojske u Šibenik te su se oblačili u jugoslavenske vojnike i žandare kako bi scenski dočarali težinu borbi u kojima su oni pobijedili, kako bi kasnije taj film mogli pokazivati po Italiji... Zamislite, a ja dan, dva prije svjedočio ulasku talijanske vojske u Šibenik, ušli su bez ispaljenog metka!

Pred maturu, kad su Šibenik i zaleđe bili u potpunosti okupirani, preselili smo se u Zagreb. Tu je otac radio kao policajac, negdje na području ispod Sljemena, a majka se brinula o obitelji i kućanstvu. Stanovali smo u Vlaškoj ulici, na kućnom broju 17. Bile su to teške godine, ljudi danas ne razumiju što znači glad, neimaština i rat u onom smislu kakav je bio Drugi svjetski.

Za upis na fakultet, jasno, trebala mi je maturalna svjedodžba. Kako sam klasičnu gimnaziju završio u Šibeniku, koji je bio pod talijanskom okupacijom, izbjegli smo za Zagreb te nisam formalno maturirao iako sam gotovo do kraja nastave išao u školu. Onda je tadašnje ministarstvo iz Zagreba tražilo od uprave škola na području pod kontrolom NDH da izdaje svjedodžbe da bi mi emigranti Dalmatinci mogli upisati fakultet. Dali su nam zamjenske svjedodžbe, tako sam ja dobio maturalnu svjedodžbu gimnazije iz Križanićeve ulice u Zagrebu jer je smjer bio isti kao onaj koji sam pohađao i *de facto* do kraja završio *u Šibeniku, a da* u Križanićevoj nikad nisam ni bio. Međutim, te zamjenske svjedodžbe vrijedile su samo za upis prvog semestra. Za upis drugog semestra trebalo je donijeti originalne svjedodžbe. Zahvaljujući velikom broju studenata (velikom broju za ono vrijeme!), okupacijske su vlasti u dogovoru s vlastima NDH izdale svjedodžbe. Tako je meni stigla i svjedodžba iz Šibenika i to na dva jezika, talijanskom i hrvatskom! Tako nisam polagao maturu, a imam dvije maturalne svjedodžbe.



NEZAVISNA DRŽAVA HRVATSKA

(Škola:) Državna prva klasična gimnazija u Zagrebu

Broj: 32.-

SVJEDODŽBA ZRELOSTI

U SPOMEN
PRVE ŠKOLSKE GODINE
U
NEZAVISNOJ DRŽAVI HRVATSKOJ

G Zvonimir Oštrić sin ~~Kći~~ Šime

rođen 9. rujna 1922. u Šibeniku (Italija)

vjere rimokatoličke, svršio je školske godine 1940/41.

s dobrim uspjehom OSMI RAZRED

Državne prve klasične gimnazije

u Zagrebu te mu se ujedno priznaje zrelost i sposobnost za nauke na sveučilištima i visokim školama.

Ova se svjedodžba izdaje na osnovi zakonske odredbe
br. LXXV/123 — Z. p. — 1941. od 8. svibnja 1941. i rješenja
Min.nastave u Zagrebu, br.7222.od 31.siječnja 1942.

Br. poslov. 108.

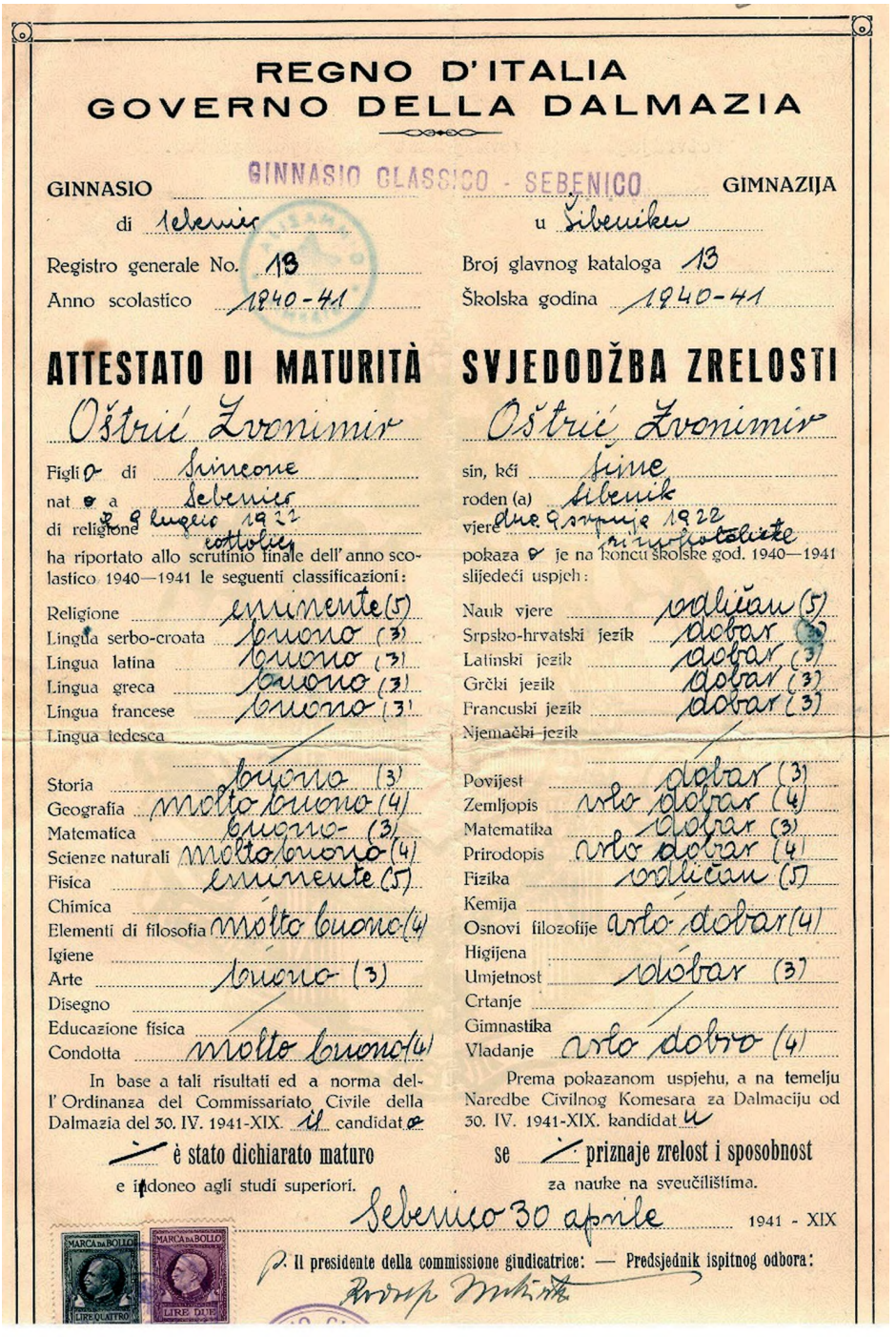
U Zagrebu, dne 12. lipnja 1942.

Razredni K.: Lachvili v. prof.

Ravnatelj: I. Kamilo

DRŽAVNA PRVA KLASIČNA GIMNAZIJA U ZAGREBU

Sl. 2.: Zvonimir Oštrić – zamjenska svjedodžba zrelosti



REGNO D'ITALIA
GOVERNO DELLA DALMAZIA

GINNASIO GINNASIO CLASSICO - SEBENICO GIMNAZIJA

di Sebenico u Šibeniku

Registro generale No. 13 Broj glavnog kataloga 13

Anno scolastico 1940-41 Školska godina 1940-41

ATTESTATO DI MATURITÀ

Oštrić Zvonimir

Figli o di Simeone

nat o a Sebenico

di religione cattolica

ha riportato allo scrutinio finale dell'anno scolastico 1940—1941 le seguenti classificazioni:

Religione	eminente (5)
Lingua serbo-croata	buono (3)
Lingua latina	buono (3)
Lingua greca	buono (3)
Lingua francese	buono (3)
Lingua tedesca	
Storia	buono (3)
Geografia	molto buono (4)
Matematica	buono (3)
Scienze naturali	molto buono (4)
Fisica	eminente (5)
Chimica	
Elementi di filosofia	molto buono (4)
Igiene	
Arte	buono (3)
Disegno	
Educazione fisica	
Condotta	molto buono (4)

In base a tali risultati ed a norma dell'Ordinanza del Commissariato Civile della Dalmazia del 30. IV. 1941-XIX. il candidato

è stato dichiarato maturo

e idoneo agli studi superiori.

SVJEDODŽBA ZRELOSTI

Oštrić Zvonimir

sin, kći Šime

roden (a) Šibenik

vjere dne 9 rujna 1922 rimokatoličke

pokaza je na koncu školske god. 1940—1941 slijedeći uspjeh:

Nauk vjere	vrlo dobar (5)
Srpsko-hrvatski jezik	dobar (3)
Latinski jezik	dobar (3)
Grčki jezik	dobar (3)
Francuski jezik	dobar (3)
Njemački jezik	
Povijest	dobar (3)
Zemljopis	vrlo dobar (4)
Matematika	dobar (3)
Prirodopis	vrlo dobar (4)
Fizika	vrlo dobar (5)
Kemija	
Osnovi filozofije	vrlo dobar (4)
Higijena	
Umjetnost	dobar (3)
Crtanje	
Gimnastika	
Vladanje	vrlo dobro (4)

Prema pokazanom uspjehu, a na temelju Naredbe Civilnog Komesara za Dalmaciju od 30. IV. 1941-XIX. kandidat

se priznaje zrelost i sposobnost

za nauke na sveučilištima.

Sebenico 30 aprile 1941 - XIX

MARCA DA BOLLO LIRE QUATTRO MARCA DA BOLLO LIRE DUE

Il presidente della commissione giudicatrice: — Predsjednik ispitnog odbora:

Sl. 3.: Zvonimir Oštrić − originalna svjedodžba zrelosti



Sl. 4.: Zvonimir Oštrić (desno) po dolasku u Zagreb 1941. godine

Za vrijeme studija bilo je teško u svakom pogledu, bila je velika oskudica. Ja sam odlazio učiti u zagrebačke kavane jer doma nismo imali adekvatno grijanje, a s konobarima sam se sprijateljio tako da su mi činili uslugu da me puste da učim.

Godine 1941. maturirali ste u Šibeniku i upisali fakultet u Zagrebu. Bila je to godina po koječemu specifična. Na području tadašnje Kraljevine Jugoslavije počeo je Drugi svjetski rat, kako je Vama bilo i kako ste preživjeli i proživjeli rat? Jeste li imali kakvih problema?

Gledajte, u Zagrebu ja osobno ne, iako sam gotovo svaki dan svjedočio proglasima vlasti o strijeljanjima protivnika režima. Na plakatima po gradu pisalo je tko su neprijatelji nove države, bili su to mahom intelektualci, studenti, Srbi, Židovi i Hrvati koji se nisu slagali sa zločinima tadašnje vlasti.

Jednom prilikom neki me policajac zaustavio i htio legitimirati, a ja nisam imao kod sebe dokumente. Išao sam kod jednog prijatelja, kolege i ispred zgrade me zaustavi policajac i traži dokumente. Kako nisam imao dokumente kod sebe, ovaj me primio za rukav i počeo odvlačiti prema policijskoj postaji. Znao sam da bi bilo najpametnije ne doći tamo... Tad je jedna grupa mladića na suprotnoj strani ceste počela nešto međusobno dovikivati i policajac nehotice mene pusti, a krene k njima. U tom trenutku pobjegao sam što sam brže mogao.

Bavio sam se studijem, polaganjem ispita i klonio sam se neprilika. Čak sam bio i član partije tad (!), ali za to nitko od vlasti i policije nije znao tako da nisam imao problema. Imao sam jedan incident u Šibeniku, kad sam bio maturant klasične gimnazije 1941. godine, prije nego se moja obitelj preselila u Zagreb. U moju su gimnaziju siromašniji ljudi, pretežito otočani, slali djecu kako bi im omogućili drugačiji *oblik egzistencije– da budu svećenici, mi ostali smo ih zvali popići. Dio njih koji su završili gimnaziju otišao je za svećenike.* Tako negdje oko mature, jedna grupa tih mladića okupila se ispred škole i počela pjevati ustaške pjesme. Nas većina ih je s čuđenjem promatrala i nije nam bilo jasno što je to i što oni predstavljaju. Kad su završili, ispod onih svojih haljina izvadili su letve i palice i počeli tući nas ostale koji nismo htjeli pjevati s njima. Ja sam dobio letvom u zatiljak i to tako da me jedan držao, a drugi me



Sl. 5.: Zvonimir *Oštrić na Gornjem* gradu u Zagrebu 1942. godine

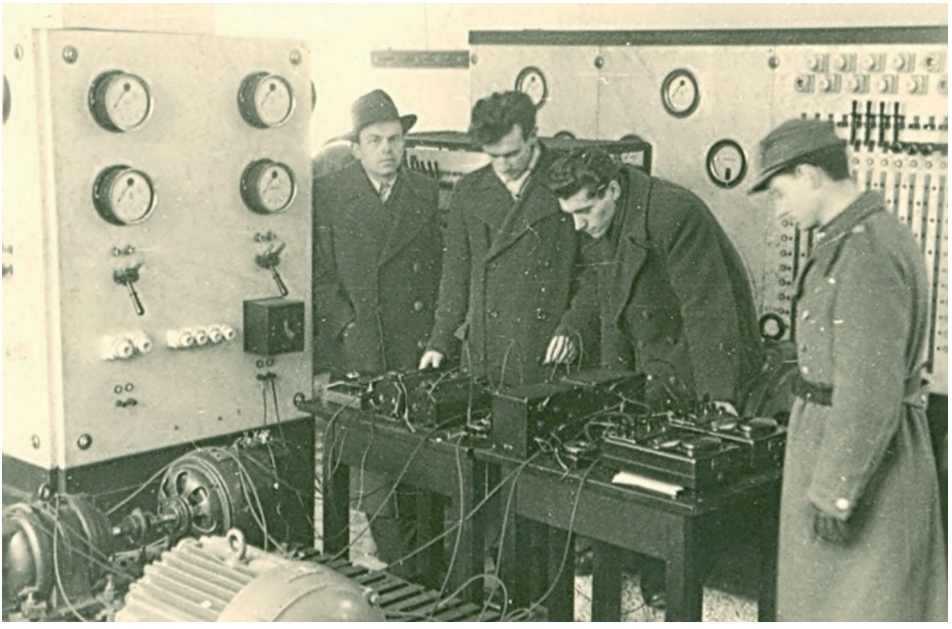
s leđa udario. Kasnije sam imao i problema radi dobivenog udarca te sam išao i na operaciju. Nakon tog incidenta otišao sam sve prijaviti školskoj vlasti, međutim, još sam bio kažnjen jer sam prijavio sjemeništarce koji su oličenje morala... Eto tako je to bilo, evo još imam ožiljak tu iza uha.

Bilo je tu svakakvih situacija, i tužnih i smiješnih. Ima jedna zgodna anegdota koja se dogodila na satu grčkog jezika. Prevodili smo *Ilijadu* i *Odiseju s grčkog na hrvatski.* Bilo je tu nekih lošijih đaka... Ja sam svladavao to uz određen napor, ali oni se nisu htjeli niti malo potruditi. I tako je došao na red dio o proscima koji su dolazili Odisejevoj ženi Penelopi dok je Odisej bio odsutan na svojim pustolovinama. I sad jedan učenik prepisuje od drugog riječ po riječ i umjesto riječi 'prosci' pročita 'prasci', ali da ga se ne bi ulovilo u prepisivanju on umjesto 'prasci', kako je i pročitao, napiše 'svinje'... pa je ispalo, kasnije kad je čitao svoj prijevod, da su Penelopi dolazile svinje na udvaranje... Ne moram vam ni reći kako su mu se svi smijali.

Kako to da ste se odlučili upravo za tehniku?

Kao mali želio sam ići u Pomorsku akademiju, ali kako je došao rat i kako smo se odselili, morao sam prihvatiti novu realnost te sam nakon dolaska u Zagreb upisao Tehnički fakultet. Bilo je tu poteškoća jer u Klasičnoj gimnaziji u osmom (zadnjem) razredu nisam ni imao matematiku, što mi je bio problem prilikom slušanja nastave za vrijeme prvog semestra. Predavač je na fakultetu počeo s predavanjem o derivacijama i integralima, a ja nisam prije ni čuo što je to... Morao sam uložiti puno napora da bih svladao sve gradivo koje mi je nedostajalo. Dosta sam se trudio oko matematike i sve tri više matematike položio s vrlo dobrim ocjenama.

Kao student 1945. godine sudjelovao sam na radnoj akciji žetve. Nakon što je velik broj Nijemaca raseljen iz Slavonije, Vojvodine i ostalih krajeva, ostala su pusta polja koja su onda kultivirana radnim akcijama učenika, studenata, vojske i ostale radne snage koja je trebala obaviti posao. Išli smo u žetvu kao studenti jer je trebalo osigurati hranu. Studenti su se udružili i organizirali studentsku radnu akciju. Bili smo u više sela, jeli smo po kućama, spavali u štalama, hodali od sela do sela… Parola je bila: "Snađi se, druže!" Tako smo radili cijeli dan, spavali u nekom sjeniku i sutradan onako umoran i iscrpljen vidim neku ženu, seljanku kako radi nešto u dvorištu kuće, onako slab i gladan pitam je imate li što za jelo, a ona mene i neke moje pajdaše povede u kuću i stavi pred nas domaći pečeni kruh i kiselo mlijeko... Tad sam se više najeo nego tijekom čitavog rata, za vrijeme rata nismo imali ni kruha u Zagrebu. Moj brat



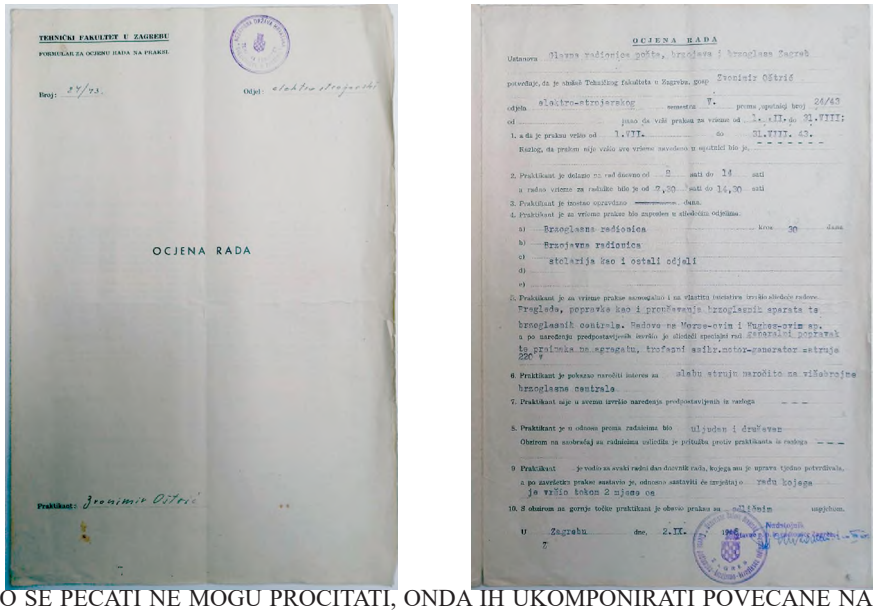
Sl. 6.: Laboratorij električnih strojeva Tehničkog fakulteta u Zagrebu, u službi demonstrature (slijeva: Tomo Bosanac, Vojislav Bego, Zvonimir Oštrić), 1944. godine

je bio na radnoj akciji sječe jer je Hrvatska tad ostala bez ogrjeva te je u kratkom vremenu trebalo osigurati ogrjev za narod dok ne dođe zima.

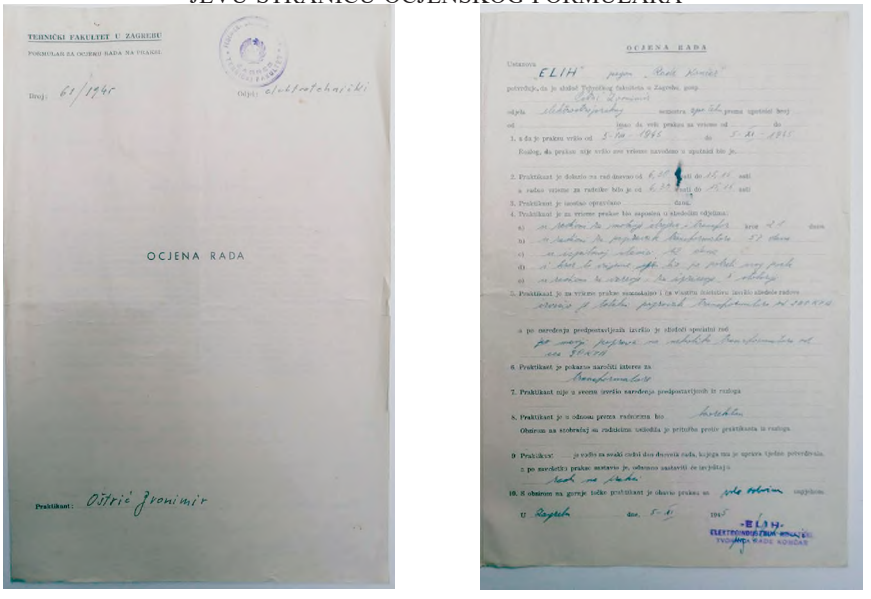
Kasnije sam izabrao usmjerenje jake struje. Na trećoj i petoj godini studija odradio sam i dvije stručne prakse, prvu 1943. u telefonskoj centrali, a drugu u radionici ELIH-a, tj. u Elektroindustriji Hrvatske, u Tvornici *Rade Končar*, 1945. godine. Tema diplomskog rada bila je projekt transformatora snage 5 MVA (!). Diplomirao sam 24. srpnja 1946. godine na Tehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.

Kako je tad nedostajalo visokokvalificiranih kadrova, već se na višim godinama fakulteta počelo razmatrati gdje bi koji student po završetku studija mogao raditi. Nakon diplome kratko vrijeme radio sam u Siemensovu projektnom uredu koji se nalazio u jednoj zgradi u Bogovićevoj ulici na 3. ili 4. katu, više se ne sjećam točno, ali to je nakon kratkog vremena potpalo pod novoosnovani *Končar*.

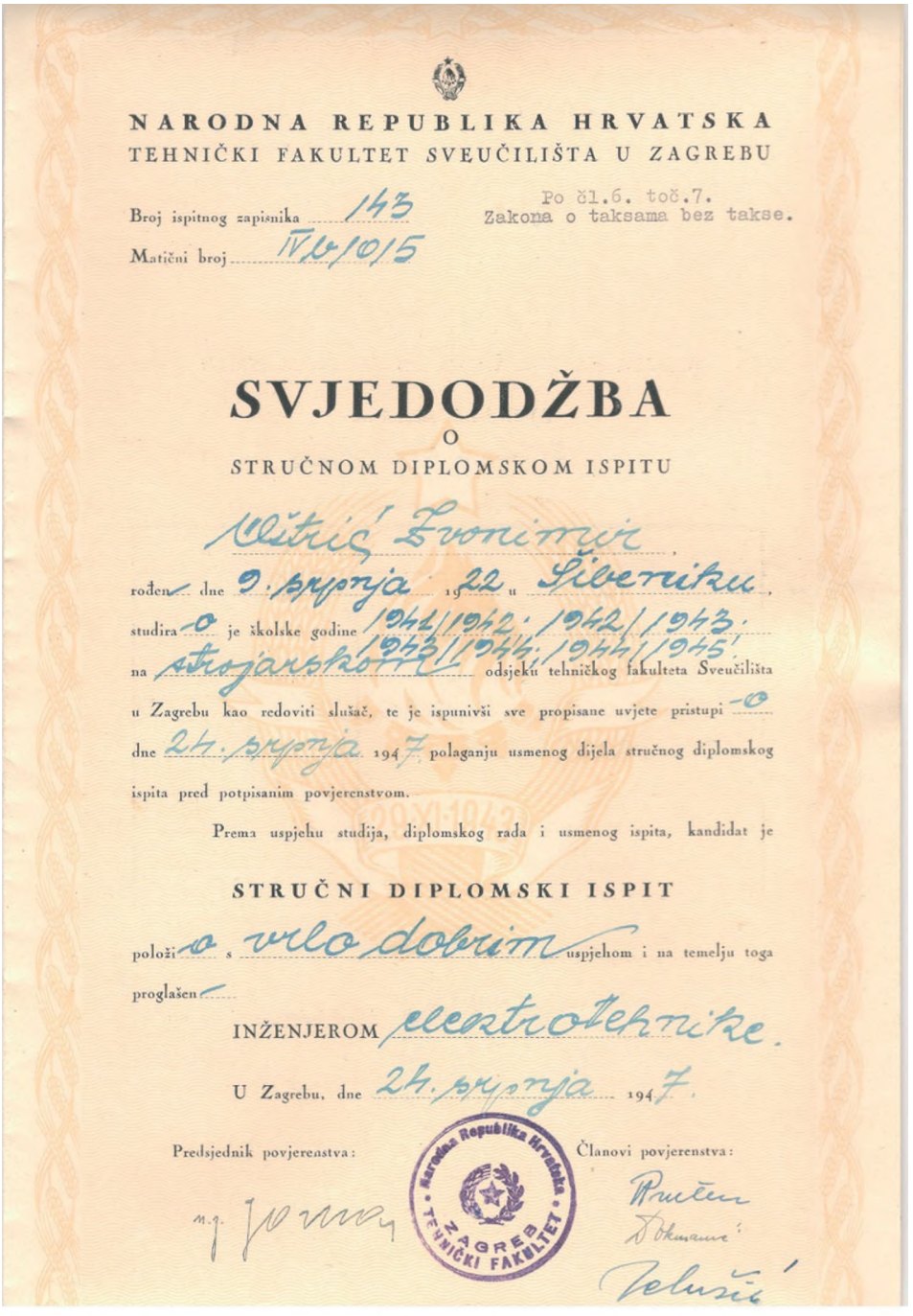
Kako sam živio s obitelji u Zagrebu, a splet okolnosti bio je takav, završio sam u Projektnom uredu Tvornice *Rade Končar*. Tvornica je u tom smislu osnovana prethodne godine (1946.), jer je prije postojala kao Siemensov projektni ured, a poslije se više radionica ujedinilo i na lokaciji na današnjem Fallerovu šetalištu udaren je tako reći kamen temeljac tad najveće tvornice u Hrvatskoj, ali i jedne od većih u ondašnjoj Jugoslaviji − *Rade Končare*.



AKO SE PEČATI NE MOGU PROČITATI, ONDA IH UKOMPONIRATI POVEĆANE NA LIJEVU STRANICU OCJENSKOG FORMULARA



Sl. 7.: Zvonimir Oštrić – svjedok turbulentnih vremena − ocjene rada praktične nastave na Tehničkom fakultetu obavljene 2. rujna 1943. i 5. studenog 1945. godine. Lijevo je prva stranica ocjenskog formulara, a desno zadnja stranica. Na prvoj je stranici pečat Tehničkog fakulteta za vrijeme Nezavisne Države Hrvatske (1943.) i za vrijeme Federalne Države Hrvatske (1945.). Na zadnjoj su stranici pečati poduzeća gdje je praktična nastava obavljana: gore: Nezavisna Država Hrvatska – Glavna poštansko-brzojavno-brzoglasna radionica − Zagreb (1943.), te dolje ELIH – Elektroindustrija Hrvatske Tvornica *Rade Končar* (1945.).



NARODNA REPUBLIKA HRVATSKA
TEHNIČKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Broj ispitnog zapisnika 143 Po čl.6. toč.7. Zakona o taksama bez takse.
Matični broj IV-b/015

SVJEDODŽBA
O
STRUČNOM DIPLOMSKOM ISPITU

Oštrić Zvonimir,
rođen dne 9. prosinca 1922 u Šibeniku,
studira je školske godine 1941/1942. 1942/1943.
1943/1944. 1944/1945.
na strojarskom odsjeku tehničkog fakulteta Sveučilišta
u Zagrebu kao redoviti slušač, te je ispunivši sve propisane uvjete pristupi
dne 24. prosinca 1947 polaganju usmenog dijela stručnog diplomskog
ispita pred potpisanim povjerenstvom.

Prema uspjehu studija, diplomskog rada i usmenog ispita, kandidat je

STRUČNI DIPLOMSKI ISPIT

položio s vrlo dobrim uspjehom i na temelju toga
proglašen

INŽENJEROM elektrotehnike.

U Zagrebu, dne 24. prosinca 1947.

Predsjednik povjerenstva: m.p.

Narodna Republika Hrvatska ZAGREB TEHNIČKI FAKULTET

Članovi povjerenstva:

Sl. 8.: Zvonimir Oštrić − svjedodžba o položenom stručnom diplomskom ispitu za inženjera elektrotehnike od 24. srpnja 1947.



DIPLOMA

OŠTRIĆ ZVONIMIR

RODEN 9. SRPNJA 1922. U ŠIBENIKU, POLAZIO JE PROPISANE NAUKE ELEKTROTEHNIČKOG SMJERA NA STROJARSKOM ODSJEKU TEHNIČKOG FAKULTETA SVEUČILIŠTA U ZAGREBU ŠKOLSKE GODINE 1941./1942., 1942./1943., 1943./1944., 1944./1945. I S USPJEHOM POLOŽIO DIPLOMSKE ISPITE, TE MU NA TEMELJU TOGA SVEUČILIŠTE U ZAGREBU PODJELJUJE NASLOV

»INŽENJER«

U ZAGREBU, DNE 24. SRPNJA 1947.

REKTOR:

DEKAN TEHNIČKOG FAKULTETA:

Sl. 9.: Zvonimir Oštrić − diploma o položenom diplomskom ispitu za inženjera elektrotehnike od 24. srpnja 1947. godine

Kakav je tad bio *Končar*, što ste radili, koji su bili kupci i kako je izgledala industrija?

Končar je bio u povojima. Planovi o obnovi nakon rata bili su veliki i puno se radilo. Bio je to jedan velik korak, a uslijedili su i drugi koraci. Organizirali smo se, imali smo Radnički savjet, ja sam bio i član predsjedništva Radničkog savjeta *Rade Končara*. Prvi Savjet održao se 1950. godine.

Tih prvih poratnih godina imali smo kao svojevrsnu pomoć i inženjere iz Njemačke. Mi smo se značajno širili, a oni su kao visokokvalificirani stručnjaci bili bez posla i na neki način su došli tu. Imali su stanove na korištenje, dobro smo ih plaćali, a zadatak im je bio da uče i obučavaju naše ljude. Puno ljudi u *Končaru* bilo je bez značajnijeg iskustva u rješavanju praktičnih problema i trebali su tutore. Ja sam također dobio jednog takvog, g. Belinga. Bio je Nijemac. Imao sam dobru suradnju s njime i naučio sam dosta toga od njega. Kasnije, nakon nekoliko godina vratio se u svoju domovinu.

Parola pod kojom smo u to doba radili glasila je: “Elektrifikacija i industrijalizacija!” Niste mogli neki kraj države industrijalizirati ako nije bio



Sl. 10.: Prvi Radnički savjet Tvornice *Rade Končar*, Zagreb 5. kolovoza 1950. Zvonimir Oštrić treći slijeva za stolom, na slici je još tadašnji direktor *Končara* Vinko Vrbka (šesti slijeva), u desnom kutu, iza govornice, visi velika slika narodnog heroja Rade Končara

elektrificiran. Zato je posla bilo puno, i u zemlji, i u inozemstvu. Problem je bilo neposjedovanje deviza za kupnju opreme iz inozemstva. Kako smo mnogo opreme za proizvodnju trebali kupiti iz inozemstva, dijelom iz zemalja istočnog bloka, što nije bilo problem, ali dio iz zapadnih zemalja, tu se javio problem, dinar, naime, nije bio konvertibilan. To je značilo da ga se nije moglo zamijeniti za neku tad značajnu valutu, npr. američki dolar. Jedini način da dođemo do deviza potrebnih za kupnju zapadne opreme bio je izvoz. Izvozili smo robu u zamjenu za devize, kojima smo onda kupovali potrebnu robu iz zapadnih zemalja. Na primjer, mjernu opremu koju nije bila u stanju proizvesti Iskra iz Kranja kupovali smo tim devizama iz Švicarske.

Ja sam od diplome, kad sam se zaposlio, kao projektant radio 13 godina u Projektnom uredu. Onda je uslijedilo putovanje u Indiju, zatim u Egipat, te sam nakon povratka radio kao rukovoditelj Projektnog ureda transformatora do umirovljenja 1983. godine.

Končar je u to doba, iako je bilo dosta lošije u materijalnom pogledu u odnosu na danas, dosta ulagao u ljude i socijalnu politiku. Imali smo druženja radnika, radničke proslave, išli smo na izlete i bilo nam je lijepo, znate. Bila je to atmosfera prijateljstva. Svi smo se međusobno poznavali i često smo znali



Sl. 11.: Za vrijeme igre − Zvonimir Oštrić za trećim stolom desno



Sl. 12.: Za vrijeme šahovskog turniru u Linzu (Austrija) 1953. godine. Zvonimir Oštrić je prvi lijevo.



Sl. 13.: *S dočeka Nove 1960. godine* − u kancelariji projektnog ureda. "Nama se nikamo nije žurilo..."

pomagati jedni drugima. Čak smo imali i šahovski klub. Išli smo na natjecanja, a najbolji su išli i na međunarodni turnir u Austriju 1953. godine.

Evo pogledajte ovu fotografiju, tu smo na dočeku Nove 1960. godine. Svi smo veseli, vide se boce na stolu (ha-ha-ha)... Nama se vidite nije žurilo, zabavljali smo se. Znate kakvo je to okruženje bilo kad smo u tvorničkim kancelarijama organizirali proslave Nove godine. I nije nam se nikamo žurilo, bili smo veseli, zadovoljni onim što imamo.

Vidim da vam se nije žurilo,... ali vidim i da ova gospođa naslonjena na vrata nije baš presretna... Izgleda da se njoj ipak išlo kući...

Ha-ha-ha... Da se vratim još na ove sportske događaje u *Končaru*. Kasnije su uspostavljena i druga sportska društva pod organizacijom *Končara*, veslački, streljački, nogometni klub i ostalo. Dosta se ulagalo u socijalnu komponentu društva, da se tako izrazim.

Končar je sudjelovao i na stručnim skupovima CIGRÉ. Svugdje po svijetu su me slali, od Pariza do Moskve. Bilo je to dobro organizirano.

Uz taj sportski karakter tu su bile i ekskurzije stručnog tipa. Najčešće smo išli u Austriju, s obzirom na blizinu, ali s *Končarem* sam proputovao veći dio svijeta, sve europske zemlje te Indiju, Egipat, Tursku i Sovjetski Savez.



Sl. 14.: Šator za ljetovanje obitelji Oštrić koji su sašile gđa Tonka Oštrić i gđa Tkalić



Sl. 15.: Bračni par Oštrić ispred šatora u Kukljici na otoku Ugljanu 1960. godine

Putovali smo supruga, sin i ja tad i izvan okvira poslovnih putovanja. Išli smo na ljetovanja. Još početkom 1950-ih. Koju godinu kasnije moja je supruga skupa sa gđom Tkalić, čiji je muž također radio u *Končaru*, sašila šator. Bili smo prava senzacija. Pazite, tad nije bilo kampera kao danas. Lokalni ljudi su se okupili oko šatora misleći da je došao cirkus.

Bila su to lijepa ljetovanja, u malim dalmatinskim mjestima koja ni izbliza nisu izgledala kao danas. Nije bilo tad gradnje, sve je bilo autohtono i izvorno. Mi smo išli na ljetovanja u početku javnim prijevozom, potom automobilom. Sve smo nosili sa sobom, i šatore i stolove, stolice, čamac na napuhavanje.

Prvi posao *Končara* u inozemstvu bio je u Turskoj, HE Çermik i Koyulhisar. Koliko se ja sjećam, ne znam, možda je nešto bilo i prije, ali ovo je sigurno bio prvi značajniji. Tu sam radio na projektima dviju elektrana s Pelton turbinama. Nakon tog posla i nekoliko upita rukovodstva tvornice prihvatio sam posao u Indiji. To je bilo 1963. godine, kad su se gradile hidroelektrane Yamuna 1 i Yamuna 2. Pošao sam u Indiju s obitelji, ženom i sinom. Tri godine smo bili u Indiji. Tek kad mi je istekao angažman vratili smo se prvi put nazad



Sl. 16.: Parobrod *Ugljan* na liniji Zadar − otok Ugljan prilikom pristajanja u luku Kukljica (foto: Zvonimir Oštrić, 1960.)



Sl. 17.: U Parizu s poznatom hrvatskom balerinom Sonjom Kastl, slijeva: Zvonimir Oštrić, Zvonko Sirotić, Sonja Kastl, V. Kundić − direktor i Boris Belin, 2. lipnja 1956. godine



Sl. 18.: Na mostu ispred čuvenog slapa, zaštitnog znaka austrijskog skijališta Bad Gastein, Zvonimir Oštrić − drugi zdesna, 1955. godine

doma. Tad se nije putovalo tako često kao danas. Zatim smo sedam godina bili u Egiptu.

Još samo da Vam nešto kažem: moja odnedavno pokojna supruga Tonka starija je končarevka po datumu zaposlenja od mene. Kako to? Evo ovako... Ja sam se u *Končaru* zaposlio 1947. godine. I kad sam prije zaposlenja radio na nacrtu svojeg diplomskog rada, u Projektnom uredu, oko mene su se skupljali stariji zaposlenici i s čuđenjem me gledali. Pazite, tad su studenti bili rijetkost, nije to bilo kao danas. Ja sam bio prvi student kojeg su oni vidjeli. Onda su jedni drugima šaptali: "Dođi, jedan mladi student tamo nešto crta na tabli" i okupilo se mnoštvo oko mene...

Kad su me svi promotrili i zasitili se te čudne pojave, ostala je jedna dama koja se nešto zagledala u tekst koji sam uz pomoć šablone i tuša pisao na nacrtu. Uzela je tuš u ruku i po tekstu udarala točke na slova 'i' – jer na šabloni nije bilo rupice za točku. Ona je inače bila rođena Splićanka iz obitelji Kragić, čiji se otac bavio glazbom u Splitu, na Hvaru, u Zagrebu. Nakon završenog školovanja u Zagrebu upisala je tečaj za tehničkog crtača u Tvornici *Rade Končar*, koji je završila i radila u Konstrukcijskom uredu. Kasnije smo se upoznali, postali s vremenom mladić i djevojka i 1950. se oženili, a 1951. godine rodio se naš sin Nenad. Ljudi obično kažu da točka na 'i' znači kraj neke priče. Za mene je točka na 'i' početak života!



Sl. 19.: Prva grupa polaznika tečaja za tehničkog crtača Tvornice *Rade Končar* 1946. godine (buduća supruga Zvonimira Oštrića, Tonka Kragić, druga slijeva − stoji)



Sl. 20.: Veselo društvo Konstrukcijskog biroa. Tonka Kragić, buduća supruga Zvonka Oštrića, u sredini fotografije (s naočalama), Zagreb, 1948. godine.

Kakav je Vaš doživljaj Indije?

U Indiju smo otišli 1963. i ostali tri godine. Ovako ću vam reći, Indija je nešto posebno. Danas ljudi turistički odu u Indiju, vide Taj Mahal, fotografiraju se i klimatizirani automobil odvede ih u klimatizirani hotel. Po povratku viču – vidjeli smo Indiju, znamo mi što je Indija! Ja sam tri pune godine živio u Indiji pa ne mogu reći da poznajem Indiju. Indija je drugi svijet, za nas svijet bajke. Tamo je sve drukčije, od klime s kojom čovjek prvo dođe u dodir kad stupi na indijsko tlo, mirisa, okusa, zvukova, pa do kulture, religije, ama baš svega.

Reći ću nešto i *što se tiče našeg puta u Indiju. N*ismo mi išli tamo avionom, nego brodom, i to teretnim brodom koji se zvao *Uljanik*. Brod je prevozio teret od riječke luke do Japana, a usput je stajao u raznim lukama. Naše putovanje počelo je u riječkoj luci, stali smo zatim po teret u Bakar, a u Šibeniku je kapetan broda za moju obitelj kupio pršut od seljaka kako bi nas počastio. Zatim smo stali u Splitu pa kroz Sueski kanal uAden, Karachi i završili u Bombayu. Na brodu je bilo svega sedam putnika plus članovi posade. Bilo je to nezaboravno putovanje. Trajalo je dvadeset osam dana!

Koliko je to sve za nas bilo novo postoji i anegdota s našim sinom koji je tad imao 11 godina. U Karachiju smo bili u gostima kod jedne obitelji i domaćini su mu ponudili Coca Colu ili soda-vodu. On je izabrao soda-vodu jer nikad nije čuo za Coca Colu, a zna da je voda dobra protiv žeđi. Kasnije, kao i svako dijete, bio je lud za Coca Colom. To vam je tako. O Indiji ste znali iz enciklopedije, tad smo u Zagrebu tek kratko imali televizor, a emitirao se samo jedan program, dok smo slonove i majmune mogli vidjeli samo u filmovima o Tarzanu ili u Zoološkom vrtu. Za nas je to bila daleka i egzotična zemlja.

U Indiji smo se družili s našim ljudima koji su već bili ondje. Bilo je ljudi koji su radili u Jugoslavenskom konzulatu, bili na namještenjima po raznim tvornicama koje su gradile po Indiji. I ja sam za dolazak u Indiju bio vrbovan, da se tako izrazim, od strane INGRA-e. INGRA je bila nositelj projekta izgradnje elektrane, a *Končar* je radio elektriku. Zato me *Končar* tamo poslao da



Sl. 21.: Oštrićev sin Nenad za vrijeme boravka u Indiji (1964.)

nadgledam radove i koordiniram. To su bile naše prijateljske zemlje, Indija, Egipat, Libija i te iz tzv. pakta nesvrstanih.

− Jeste li Vi, mladiću, čuli za nesvrstane!?

− Jesam, barba Zvonko, učio sam u školi o tome.

− E, ma vidite, ja sam to proživio!

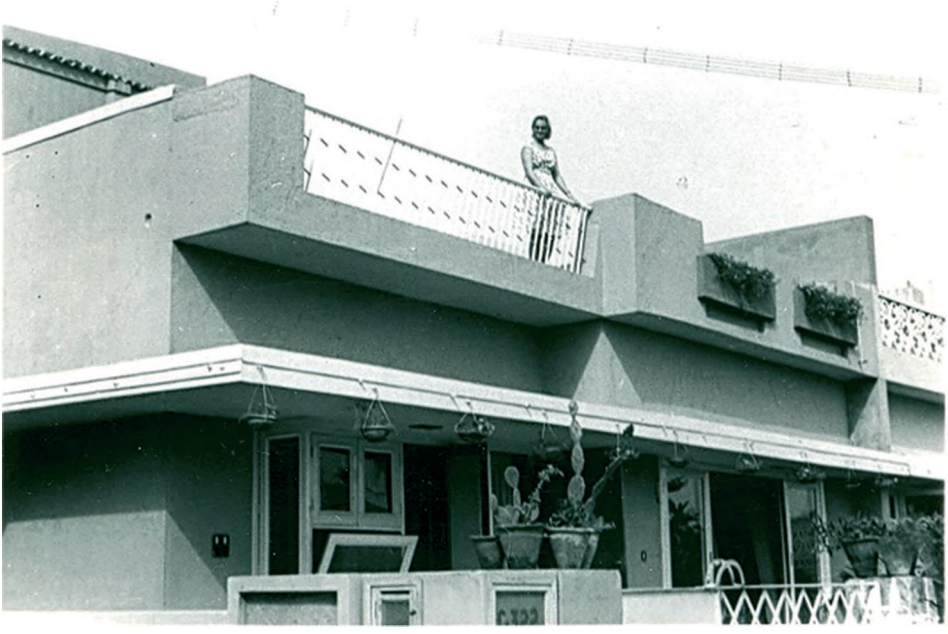
Prošao sam brojna gradilišta diljem Indije i na svakom sam nailazio na specifične probleme. Jedan je bio neobičan. U Kampuru su naši monteri morali koristiti skele kod jedne termoelektrane koje su naizgled bile nesigurne, izrađene od bambusa, što je rezultiralo njihovim negodovanjem i odbijanjem korištenja. Moram priznati da se ne sjećam kako su ipak pristali.



Sl. 22.: Dio termoelektrane u Kampuru tijekom izgradnje opasan bambusovom skelom

U New Delhiju smo stanovali u lijepoj kući, koja je imala dvorište i vrt s različitim cvijećem. Imali smo, pazite, u to doba (1963.) i klima-uređaj, ali nije to bio klima-uređaj kao ovi danas. Mi smo svoj klima-uređaj izvana morali polijevati vodom da bi se hladio! Vani je uobičajena temperatura tijekom dana bila oko 44 °C.

Bilo je tu svašta. Po noći se često znalo čuti hihotanje, poput cerekanja hijena. Indija je drukčija. Evo, gledajte još nešto. Tamo smo zbog higijenskih razloga dobili savjet da voće peremo u tri vode, čak i banane! U vodu smo



Sl. 23.: Kuća u Defence Colony C-321, New Delhi, srpanj 1963. Na balkonu Tonka Oštrić.

stavljali i hipermangan. Supruga je tako radila. A ja kad bih išao na teren jeo sam i pio što i drugi, ovi lokalni, a Bože moj, tako je to, nisam ja mogao tražiti da sad meni posebno pripremaju, ali nikad nisam imao probleme. A vidite, sad ću vam nešto reći, ja sam kad sam, jasno, bio mali, u Šibeniku igrao se u prašini, na ulici. Jeo sam rukama i nisam baš često prao ruke. Tako je to bilo, i stekao sam imunitet. I zato meni u Indiji nikad nije ništa smetalo! Za razliku, recimo, od našeg sina, kojeg smo odgajali da bude na razini higijenskih navika – ipak je on u Indiji tri godine išao u njihove škole. On je stalno prao ruke, a u Indiji je pokupio amebe na jetrima. Evo što je bilo, on je s društvom vozio bicikl kao i druga djeca. I kad je ožednio stao je kraj jedne velike bačve vode na ulici za koju je privezana lančićem metalna šalica. I on se tu napio, a kasnije se loše osjećao. Mi u hitnu, a tamo mu ustanove amebe na jetrima. Nama je to zvučalo strašno, ali njihovim doktorima to nije predstavljalo neki problem i oni su to brzo riješili. Eto i zato ja kažem, čistoća je pola zdravlja, a nečistoća druga polovica (smijeh).

Inače, za vrijeme boravka u Indiji, s obzirom na to da tri godine nismo dolazili kući, išli smo kad smo mogli na izlete. Bili smo na mjestu Budhina propovijedanja, na Himalajama, tamo smo išli kad je u New Delhiju bila sezona monsuna. Tad sam prvi put vidio što su to monsuni. Znate, danas ljudi imaju pristup informacijama, tad mi nismo znali što nas čeka u Indiji. Nije bilo tako velikog protoka informacija, televizije, interneta i svega kao danas. Na



Sl.24.: Premijer Šastri (u sredini) i ambasador Radivoj Uvalić (desno) na primanju u Jugoslavenskoj ambasadi 29. studenog 1965. godine

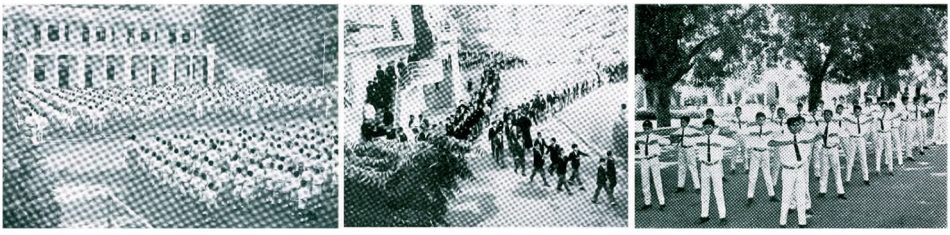
obroncima Himalaja Englezi su napravili u doba svoje imperijalne vladavine Indijom hotele. To su lijepi, udobni hoteli gdje su mahom odsjedali strani gosti. Od svega izdvojio bih da su mi najinteresantniji indijski hramovi. Puni su šarenila i to je nešto što sto posto odudara od naših poimanja hramova.

O Indijcima imam dobre utiske, dobri su kao ljudi, ali znatno drukčiji od nas. I njihovo poimanje svijeta je drukčije. Evo vidite, oni imaju kaste. Pet kasti. I svaki član pojedine kaste živi i pokorava se pravilima kasti. I nikad onome iz najniže kaste ne padne na pamet da se pobuni i zatraži nešto bolje. Nego jednostavno živi tako samo zato što je rođen u toj kasti i jer mu je netko rekao da tako treba biti. To, vidite, ja nisam nikad razumio. Inače, Indijci su vrlo ljubazan i miroljubiv narod. Nismo nikad imali nikakve probleme s njima za vrijeme našeg života u Indiji.

U klubu u koji su dolazili naši ljudi koji su ondje živjeli i radili, moja supruga je kartala, a ja sam upoznao dosta ljudi. Za vrijeme jednog primanja sjedili smo za stolom čak i s indijskim premjerom Lalom Bahadurom *Šastrijem.*

Kažete da Vam je sin išao u englesku školu? Kako mu je tamo bilo?

Evo gledajte ovako, uobičajen put školovanja za djecu svih naših ljudi koji su radili u Indiji, ali i velike većine ostalih stranaca je da se školuju u privatnim



Sl. 25.: Postrojavanje, strojevim korakom do učionica i tjelovježba

školama. Sina smo prvo dali u jednu malu privatnu školu Junior andTiny Tots School blizu mjesta gdje smo stanovali. U Indiji školska godina počinje u siječnju, a završava u prosincu. Zatim je šesti razred pohađao u privatnoj katoličkoj školi St. Xavier High School− Delhi za dječake. To je bio internat vođen strogim engleskim sistemom školovanja, uniforme, jutarnje postrojavanje uz himnu, obavijesti za taj dan, što je nešto poput "dnevne zapovijesti", strojevim korakom do učionica, a i tjelovježbe su bile vojnog stila.

*Škola j*e bila vrlo rigorozna. Fizičko kažnjavanje bilo je svakodnevno u razredu, ravnalom po dlanovima ili *šibanje tankim, vitkim bambusovim šibama po stražnjici. Moral*o se prstima dotaknuti tlo, tad bi vam na stražnjici nategnuli hlače i sa zamahom bi vas odalamili, a nerijetko bi ostali i krvavi tragovi. Za manji nestašluk, npr. pričanje za vrijeme obroka kad su iz nekog razloga imali zabranu razgovora, *što je bio primjer kod mo*jeg sina, tri udarca. Ali bilo je i javnog šibanja u dvorani pred svim razredima i, kaže, bilo je žestoko. To u dvorani bilo je u samom početku, kad nije ni znao za fizičko kažnjavanje pa je mislio da su se okupili radi nekakve predstave. Zatim, teško je podnosio klimu, noću bi temperature u spavaonicama pale na +40 °C, postojali su samo stropni ventilatori pa bi si smočio tijelo da se bolje rashladi. Svaka dva tjedna puštali su ih doma preko vikenda, jednom se tako vratio s ljetnom pidžamom kratkih rukava i nogavica, što su mu odmah zabranili, jer valjda nije po moralnom kodeksu. Prali su tijela tako da su stajali obučeni u kratkim hlačama pokraj kade i polijevali se vodom iz nje. Hrana je bila ili ljuta indijska, ali ukusna, ili suha nezačinjena engleska, npr. kuhani krumpir i mljeveno meso u lisnatom tijestu. Danas kaže da nikad ne bi svoje dijete dao u internat, bar ne engleskog tipa.

Nakon jedne godine internata, s obzirom na sve navedeno kao i na činjenicu da politički krugovi nisu blagonaklono gledali na to da "jedan od naših" pohađa katoličku školu, odlučili smo ga upisati u Frank Antony Public School.

Naš Nenad kad je krenuo u školu nije znao ništa engleskog jezika, uostalom, nisam ni ja dok nisam naučio za potrebe posla. Međutim, vrlo je brzo polovio kako bi se reklo konce i svu je nastavu pratio na engleskom. I tako tri godine. Kasnije mu je dobro došao engleski i u gimnaziji i na fakultetu, a jasno i u životu. Sad ću Vam ispričati i jednu anegdotu. Kad se naš Neno vratio u

Zagreb, u školi su čitali nešto i on je trebao objasniti što znači riječ – kanonik. A on to protumači kao – topdžija! (engl. *cannon*, top). Ha-ha-ha.

I moja je supruga također naučila dobro engleski pa je kasnije, nakon našeg povratka, čitala beletristiku na engleskom. A ja sam naučio jer sam morao, još znam nešto, ali sam zaboravio dosta, ipak su prošle godine (!). Nekad sam bio pretplaćen i na časopis *National Geografic*, koji mi je stizao poštom iz Amerike. Znate, vidio sam dolje kod nas u Konzumu da ima sad i na hrvatskom, ali nije to to.

Nakon Indije otišli ste u Egipat i to na duži period?

Evo ovako je bilo. U Indiju smo otišli 1963. i ostali tri godine. Zatim smo se vratili u Zagreb te sam prihvatio ponudu da odem u Egipat. To je bilo 1971. godine. Samo da se još nadovežem na Indiju, kad smo se vraćali u Jugoslaviju 1966. godine, brodom *Marconi*, talijanske brodarske kompanije Lloyd Triestino, taj put turističkim, putničkim, nešto poput današnjih kruzera, ali jasno manjim, jer je danas sve "mega veliko". Brod je stao u Port Saidu jer je bilo planirano da za vrijeme prolaska Sueskim kanalom putnici idu u turističke obilaske. Bile su dvije ili tri ponude, a jedna je bila obilazak egipatskih piramida. Supruga, sin i ja smo odabrali upravo obilazak piramida jer su one važno civilizacijsko dostignuće. Tada smo nekoliko sati proveli razgledavajući piramide, i ne sluteći da ćemo uskoro pokraj piramida živjeti punih sedam godina.



Sl. 26.: Bračni par Oštrić ispred piramide u Gizi, 14. srpnja 1966. na povratku iz Indije

Kad smo supruga i ja otišli u Egipat, u Kairo, sin je tad već bio velik i ostao je u Zagrebu. U Egiptu smo se snašli relativno brzo, mogu reći da nam je koristilo iskustvo iz Indije. U Indiji smo se osjećali sigurni, što se ne može reći za Egipat. Ondje smo više puta doživjeli da smo bili svjedoci razbojstava, prijevara ili krađa. Izluđivalo nas je stalno žicanje "bakšiša". Kad bi klinci na parkiralištu rekli da će vam čuvati auto, bolje je bilo to prihvatiti nego kasnije krpati gume. Ili, kad je sin s djevojkom jahao na devi oko piramida vlasnik je na kraju tražio dvostruku cijenu ili ih neće spustiti, jer kako on tvrdi, dogovorena cijena bila je za jednu osobu, a ne dvije. Tad sam, znajući što kod njih pali, zaprijetio policijom pa ih je spustio. Jednom su njih dvoje poželjeli autom krenuti od piramida prema pustinjskim dinama no ubrzo ih je zaustavila vojska. Nakon dugog objašnjavanja da su oni samo turisti željni iz blizine vidjeti pješčane dine sin se dosjetio dobro poznate izreke "Tito – Naser". Na to su uzvikivali "Ooo, friends, friends". To nam je isto dobro došlo kad smo se svi zajedno željeli okupati u Sredozemnom moru kod El Alameina, ponovno vojska, ponovno tko smo i što smo te na kraju spasilo nas je "Tito – Naser", "Tito – Naser". To je ono, znate, vezano uz nesvrstane.

U Egiptu, odnosno kod Egipćana, primijetio sam jednu zanimljivu karakternu osobinu. Oni se ni oko čega previše ne brinu. I što god ih pitate, ukoliko nije nešto izričito decidirano, odgovore vam s "Inshallah" – "ako Bog da"! Za vrijeme egipatsko-izraelskog rata 1974. godine pitam ja jednog tamo Egipćana: "Kako vama ide taj rat?" A on meni odgovara – "Inshallah." Drugim riječima – bit će kako Bog da. (I tako je i bilo.)

Što ste radili nakon povratka iz Egipta?

Nakon povratka iz Egipta radio sam u Zagrebu kao rukovoditelj Projektnog ureda *Rade Končara* za transformatore. Sve do 1983. godine kad sam otišao u mirovinu. Ako se ne varam, nakon punih 36 godina rada.

Sad ću Vam ispričati kako je to bilo. Znate, ja sam dotad radio s tim uvozom-izvozom, a naša financijska kontrola nije dopuštala da bilo kakva roba ode iz Jugoslavije ako za nju nisu unaprijed sjeli novci na račun. Neki od naših velikih naručitelja nisu mogli platiti unaprijed, ali su se obvezali ugovorima, i nije im to bio prvi posao s *Končarom*. Ali jednostavno nisu mogli uplatiti nego su čekali da posao bude odrađen. Tu su se stvarale neke napetosti i sve mi je to počelo smetati. Imao sam i nekih zdravstvenih problema. Tad mi Ante Marković, s kojim sam bio *per tu*, kaže: "Zvonko, prebacit ćemo te negdje gdje je mirnije, na neki drugi posao." Ali ja sam mu odgovorio: "Za mene je jedini lijek – mirovina!" I tako sam od 1983., s punih 36 godina radnog staža u mirovini.



Zvonko »prerano« u mirovinu

Prošlog tjedna u OOUR-u Izvoz u povodu odlaska u mirovinu **dipl. inž. Zvonka Oštrića** održana je mala i skromna svečanost. Oproštaj uz stisak ruku, poljupce, mali poklon i iskrene riječi onako kako je to Zvonko znao raditi cijeloga života. Počeo je raditi u tadašnjoj tvornici »Rade Končar« 1949. godine, te je do posljednjeg dana ostao dušom i tijelom končarevac. Obavljao je razne dužnosti te da ih ne nabrajamo, obavljao je sve ono što je uvijek kolektiv od njega zahtijevao. Radio je i učio, razvijao se zajedno s poduzećem, pa spada u plejadu onih stručnjaka koji su svojim radom znatno doprinjeli ugledu koji naš SOUR ima ne samo u zemlji već i u inozemstvu. Komunist i pregalac u punom smislu te riječi.

Član je prvog sastava radničkog savjeta, te stalno angažiran društveno-politički radnik. Tu su i priznanja, Zlatna značka SOUR-a, Godišnja nagrada SOUR-a, Medalja i Orden rada i cijeli niz drugih. Velika ljubav prema radu, spremnost da pomogne drugima te otvorenost i iskrenost velike su vrline koje su cijelo vrijeme rada krasili Zvonka. Zbog toga mu je uz stiskaj ruke i rečeno — Zvonko, prerano odlaziš u mirovinu!

Sl. 27.: Isječak iz *Končarevca* br. 817. od 24. veljače 1983. godine. Odlazak Zvonka *Oštrića* u mirovinu.

Nije da se žalim, ništa mi ne fali, odem u dućan, kupim što mi treba, donesem kući (400 metara u jednom smjeru po uzbrdici od 20 stupnjeva (!) – opaska voditelja intervjua). Kad mi nestane vina, ja nazovem telefonom ovog što prodaje dolje vino – kažem mu nestalo mi je medicine i on mi donese, već on zna što meni treba (smijeh).

Inače, reći ću vam jednu zanimljivost. Kamo god sam došao pratio me rat, a nikad pušku u ruke nisam uzeo! Evo vidite, kad sam bio maturant, dođem u Zagreb počne Drugi svjetski rat, odem u Indiju, tamo indijsko-pakistanski rat, dođem u Egipat, egipatsko-izraelski rat, vratim se doma, nakon nekog vremena Domovinski rat… Toliko ratova da bi mi trebalo zabraniti da ikamo idem.

Kako provodite umirovljeničke dane?

O, pa ja sam u mirovini gotovo 40 godina! Nisam od jučer. Imam aktivan život. Stalno se krećem, fizički sam aktivan, ali i psihički. Rješavam križaljke – i to samo one najkompliciranije! One gdje više radi mozak nego ruka! Idem u trgovinu, do prije godinu dana išao sam u Crikvenicu sam plaćati račune, sad to, jasno, sin obavi preko kompjutera – zamislite što sve može tehnika!

Uvijek sam volio biljke, evo vidite, i sad imam cvijeća, kaktuse, oleandre. Nekad sam i planinario (pokazuje fotografiju s vrha Zavižana iz 2008. godine, kamo ih je, istini za volju, sin dovezao autom). Kao student, a i kasnije, često smo išli na Sljeme, u Indiji na obronke Himalaja, i tako.

Imate neku poruku za kraj, možda savjet kako doživjeti stotu i ostati mlad?

Gledajte, mlad – star, sve je to u glavi! Ja mogu reći da je život u mirovini dobar. Što se zdravlja tiče, tu je sve dobro. Moja obiteljska doktorica je u Zagrebu znala pitati moju suprugu što je sa mnom? Nije me nikad ni vidjela. Tu u Selcu ni ne znaju kako izgledam jer nisam nikad bio kod njih. Aktivan sam. Idem u šoping, hodam, imam biljke, rješavam križaljke, nekad sam igrao šah... I na kući sam puno toga sam radio. Znate, sve što je građevni dio kuće – željezo, drvo, beton, zanimalo me, a i takve sam struke da imam s tim doticaja. Zato sam puno toga sam radio. Pred kraj radnog vijeka, znao je sin doći po mene ispred *Končara* s autom punim alata i građevinskog materijala, otišli bismo u petak popodne nakon posla u Selce i u nedjelju navečer vraćali se u Zagreb. Sin bi već upalio auto, a ja bih još rukom pridržavao pločicu koju sam netom prije zalijepio. Supruga je također puno pridonijela uređenju kuće. Ranije je sav kamen na fasadi bio umrljan betonom iz fuga dok ga nije očistila dlijetom. Bio je to dug i težak posao.

Sve je dobro, čovjek treba biti u pokretu jer je život pokret. I nemojte stalno prati ruke. Ja sam se kao mali igrao u prašini. Čovjek je dio prirode. I prašina je dio prirode. To mi je poslije dobro došlo u Indiji.

Znate Vi, susjed, onu pjesmu *Sedamnaest mi je godina tek?!* – E, ja sad pjevam – devedeset osam mi je godina tek! Ha-ha-ha. Ustajem, pozdravljam susjeda Zvonka, kažem mu: “Vidimo se kad prepišem snimljeni intervju”, on se smije iz ležaljke i kaže: “Inshallah – Ako Bog da!”



Sl. 28.: Bračni par Oštrić u Selcu početkom 2000. godine



Sl. 29.: Barba Zvonko za vrijeme intervjua, u svojoj omiljenoj pozi u naslonjaču u dvorištu vikendice u Selcu, 5. kolovoza 2020. godine



Sl. 30.: Intervju vodio Josip Medić, korištene fotografije iz privatne arhive obitelji Oštrić. (foto: Nenad Oštrić 13. kolovoza 2020.)

Predstavljanje knjige

Prikaz monografije *Elektroprijenos Hrvatske u Domovinskom ratu (1990. − 1998.)*

Sažetak: U knjizi su kronološki opisani najvažniji događaji vezani uz djelatnost prijenosa električne energije u razdoblju 1990. − 1998. u Hrvatskoj. Promatrani su ključni politički događaji koji su doveli do rata, agresija i ratna razaranja elektroenergetskog sustava te sve aktivnosti kako bi se održala prijenosna mreža i opskrba električnom energijom kao preduvjet života i obrane zemlje. Ratnim razaranjima uništena je trećina hrvatske prijenosne mreže, ali zahvaljujući iznimnim naporima i originalnim tehničkim rješenjima pogon elektroenergetskog sustava održao se i u najtežim danima rata. U knjizi su detaljno opisani i ilustrirani brojni pothvati i primjeri provizorija i privremenih mreža koji su omogućili napajanje električnom energijom Slavonije, Dalmacije, Like i Banovine korištenjem ispravnih i dostupnih dionica elektroenergetskih mreža i transformatorskih stanica različitih naponskih razina za vrijeme rata. Nakon uspješnih ratnih operacija i oslobođenja zemlje počela je sanacija prijenosne mreže koja je trajala do kraja devedesetih godina. Uz svu tehniku, financijska sredstva i poslovnu infrastrukturu glavna poluga održanja pogona elektroenergetskog sustava bili su ljudi, hrabri i snalažljivi monteri na terenu, domišljati inženjeri i tehničari u logistici koji pripremaju i sudjeluju u intervencijama te osoblje koje osigurava sve što je potrebno za rad na terenu.

Ključne riječi: Domovinski rat, ratna razaranja, elektroenergetski sustav

1. Uvod

Elektroenergetski sustav (EES) na području Hrvatske uoči rata sredinom 1990. bio je sastavni dio sustava SFRJ i dotad se razvijao prema saveznom konceptu. Proizvodnja iz elektrana u Hrvatskoj, polovina proizvodnje NE Krško i zakup proizvodnih kapaciteta u Bosni i Hercegovini i Srbiji bili su dostatni za podmirivanje potrošnje. Okosnica prijenosne mreže bili su vodovi u prstenu 400 kV *Nikola Tesla* kojima je Hrvatska bila dobro povezana s ostalim republičkim sustavima. Elektroprivreda je u Hrvatskoj, za razliku od ostalih republika, bila organizirana u četiri regije s ograničenom koordinacijom vođenja sustava te razvoja mreže. Posljedica toga bio je naglašeno regionalni razvoj sustava bez jakih središnjih i koordinacijskih funkcija u svim aspektima razvoja i vođenja sustava.

Burni politički događaji u prvoj polovini 1990. završili su raspadom SFRJ i osamostaljivanjem Republike Hrvatske, a 26. srpnja osnovana je Hrvatska elektroprivreda, u kojoj su prvi put u istoj organizaciji objedinjeni proizvodnja, prijenos i distribucija te vođenje sustava. Tog smo dana bili neizmjerno ponosni što napokon imamo svoju državu i pripadamo jednom poduzeću – HEP-u. Nastavili smo raditi u jednakom organizacijskom ustroju regionalnih elektroprivrednih organizacija s elektroprijenosnim poduzećima u Osijeku, Opatiji, Splitu i Zagrebu.

"Balvan-revolucija" u kolovozu, sve napetije stanje na terenu i prva veća diverzija na dalekovode miniranjem stupa br. 245 dalekovoda 400 kV Konjsko – RHE Obrovac 19. studenog 1990., slika 1., najavili su da će strateški ciljevi



Sl. 1.: Minirani stup br. 245 DV 400 kV Konjsko – RHE Obrovac (19. studenog 1990.)

neprijateljskih napada biti infrastrukturni objekti, među prvima EES-a s ciljem izazivanja prekida u opskrbi električnom energijom i kaosa među stanovništvom. Tih dana osjećali smo da se približava rat, bili smo zabrinuti za vlastitu budućnost, ali i za pogon sustava u kojem smo i mi bili jedna poluga.

Početkom travnja 1991. uspostavljena je nova organizacija HEP-a sa šest direkcija, od kojih je za djelatnost prijenosa električne energije i vođenje EES-a bila zadužena Direkcija za upravljanje i prijenos. Novom organizacijom posebno su se ponosili prenosaši i dispečeri jer su konačno bili organizirani u istoj tehnološkoj i organizacijskoj cjelini, Direkciji, što se poslije pokazalo kao velika prednost u očuvanju pogona sustava u najtežim, ratnim uvjetima.

Ubrzo nakon proglašenja neovisnosti Republike Hrvatske 25. lipnja 1991., koje je s velikim oduševljenjem i nacionalnim ponosom doživjela cijela Hrvatska, uslijedili su napadi i ratna razaranja prijenosne mreže u Slavoniji, Dalmaciji, Lici i na Banovini. Agresija se pojačala novim razaranjima ključnih čvorišta i dalekovoda prijenosne mreže u rujnu (Ernestinovo, Konjsko, Bilice). Smjerovi napada i područja koja je okupirao srpski agresor tijekom jeseni 1991. nedvojbeno su upućivala na njegovu namjeru okupiranja područja istočno od crte Virovitica – Karlovac – Karlobag.

2. Ratna razaranja prijenosne mreže

Uslijedilo je raketiranje odašiljača na Sljemenu (4. listopada), proglašenje mobilizacije u Hrvatskoj (5. listopada) raketiranje TS 400/110 kV Tumbri, glavnog čvorišta za napajanje Zagreba električnom energijom (6. listopada) i na vrhuncu agresije raketiranje Banskih dvora u Zagrebu, sjedišta predsjednika RH Franje Tuđmana (7. listopada).

U studenom i prosincu 1991. nastavljaju se napadi i razaranja mnogih hrvatskih gradova, pri čemu su bili oštećeni brojni dalekovodi i transformatorske stanice, a najviše u Slavoniji, gdje je 20. studenog nakon višemjesečne opsade i herojskog otpora pao grad Vukovar, a sljedećeg dana, 21. studenog prisilno napuštena TS Ernestinovo, slika 2. Za sve nas bio je to jedan od najtužnijih dana u ratu i osjećali smo velik gubitak.

Posljedice agresije bila su velika razaranja širom Hrvatske, a zbog uništenja i okupacije izvan pogona je bilo čak 56 dalekovoda i 13 transformatorskih stanica u prijenosnoj mreži. Slavonija, Dalmacija, velik dio Like i Banovine bili su odsječeni od ostatka sustava, a napajanje središnje Hrvatske električnom energijom ovisilo je najviše o čvorištima TS Tumbri i Mraclin u blizini Zagreba, koja su u nekoliko navrata također bila pogođena i oštećena. Ipak, usprkos trećini neraspoložive prijenosne mreže, razdvojenom pogonu sustava u nekoliko



Sl. 2.: TS 400/110 kV Ernestinovo – razoreno i opljačkano postrojenje 400 kV

otoka i velikom broju mobiliziranih radnika, nije bilo većih prekida opskrbe električnom energijom.

Kako je to bilo moguće? Već nakon prvih napada bilo nam je jasno da će elektroprivredni objekti zbog svojeg strateškog značenja biti prvi na udaru agresora. Naš cilj i zadatak bio je što prije intervenirati i sanirati ratna oštećenja pod svaku cijenu bilo privremeno, bilo provizorno, samo da se uspostavi napajanje koje je značilo život i opstanak. Provizoriji, prespajanja i izmicanja dalekovoda, privremene mreže i korištenje ispravnih dijelova oštećenih postrojenja napravljeni u prijenosnoj mreži u ratnim uvjetima pod uzbunama za vrijeme ratnih djelovanja, koji su opisani u ovoj knjizi, nisu dotad viđeni i po originalnosti i učinkovitosti tehničkih rješenja zasigurno trebaju zauvijek ostati zapamćeni kao primjer kako se snaći u velikoj nevolji i osigurati svjetlo u domovini kad je bilo najteže, sa željom da se takvo što nikad ne ponovi.

Otvorena agresija na Hrvatsku završila je potpisivanjem primirja između JNA i hrvatskih snaga 2. siječnja 1992. u Sarajevu, nakon čega je slijedila mirovna operacija UN-a u Hrvatskoj. Njegovim dolaskom prorijedili su se napadi na hrvatske gradove, ali nisu prestali, pogotovo na područjima uz bojišnicu. Koncem travnja 1992. eskalirao je i rat u Bosni te je došlo do prekida pogona svih dalekovoda 110, 220 i 400 kV koji prelaze Savu prema Slavoniji. Dalmatinski dio sustava sve do smirivanja stanja u Mostaru bio je potpuno izoliran i radio u otočnom pogonu, a sustavi Dalmacije i BiH ponovno su povezani 5. srpnja 1992. godine.

Smanjivanje ratnih djelovanja omogućilo je nastavak osposobljavanja prijenosne mreže za pogon u ratnim uvjetima. Tako je u Dalmaciji, zbog obilaska područja okupiranog sela Kakme, za provizorij 110 kV iskorišten stari i napušteni dalekovod 35 kV. Provizorij je završen i pušten pod napon od 110 kV dana 12. siječnja 1992. te je nakon gotovo jednog mjeseca cijelo zadarsko područje dobilo električnu energiju.

Zajedničkim naporom prijenosnih područja Osijek i Zagreb 11. veljače 1992. izgrađena je privremena prijenosna veza 110 kV između Zagreba i Slavonije, kojom je djelomično ublažen manjak u dobavi električne energije na osječkom području, a ubrzo zatim 21. svibnja 1992., i privremena prijenosna veza 220 kV koja je jedinstvena po originalnosti, kvaliteti, brzini izvedbe (44 dana) i učinkovitosti. Veza 220 kV između TS Mraclin i novoizgrađene privremene TS Razbojište, slika 3., u blizini Đakova ostvarena je korištenjem dijela



Sl. 3.: Privremena transformatorska stanica 220/110 kV “1505/2” u Slavoniji

DV 400 kV Ernestinovo – Tumbri koji je na mjestu njihova križanja prespojen na DV 220 kV Mraclin – Jajce. To je bila glavna prijenosna veza Slavonije s ostatkom sustava tijekom Domovinskog rata (1990. − 1998.) i poslije sve do 2004. godine.

Po originalnosti tehničkog rješenja i posebice brzini izrade vrijedno je istaknuti provizorij DV 110 kV Marina – Dobra Voda, duljine 10,6 km, izgrađen za samo sedamnaest dana, kojim je zbog stalnih razaranja premošten najugroženiji dio DV 110 kV Bilice – Biograd te je od početka lipnja 1992. zadarskom i biogradskom području omogućeno sigurnije napajanje električnom energijom.

Izgradnjom DV 400 kV Melina – Tumbri, koja se odvijala dijelom i u blizini bojišnice, i njegovim puštanjem u pogon 28. svibnja 1992. povećana je sigurnost pogona sustava i napajanja električnom energijom sjeverozapadne Hrvatske.

Nakon smirivanja situacije u Mostaru 5. srpnja 1992. uspostavljena je privremena veza 220 kV između TS Konjsko i TS Mostar 4 (Čule), korištenjem DV 400 kV Konjsko – Mostar pod naponom od 220 kV, a osposobljavanjem DV 220 kV HE Zakučac – TS Mostar 4 (Čule) elektroenergetski sustavi Dalmacije i BiH, uključujući i telekomunikacijske VF veze, bili su povezani u jedan sustav.

Godina 1992. bit će zapamćena po velikom manjku električne energije. Budući da je početkom te godine prekinuta isporuka iz zakupa proizvodnih kapaciteta izvan Hrvatske (600 MW), a proizvodnja hidroelektrana zbog hidrologije smanjena, domaća proizvodnja nije bila dovoljna za podmirivanje potrošnje te je jedino rješenje bio uvoz. Međutim, zbog ratnog stanja i velikog rizika na tržištu nije bilo moguće kupiti električnu energiju. Zahvaljujući ranijim osobnim poznanstvima i povjerenju, koje je stekla Dispečerska služba, omogućena je posudba električne energije od prijateljskih inozemnih partnera te opskrba potrošača u tom kritičnom razdoblju nije bila ugrožena. Hrvatska elektroprivreda uredno je vratila sve posuđene količine električne energije s velikom zahvalnošću za pruženu ruku spasa u najtežim trenucima rata i to se nikad neće zaboraviti. S ratom oštećenom mrežom "zakrpanom" provizorijima, otocima u pogonu sustava i velikim manjkom energije, pogon sustava održan je uz goleme napore.

Uspješnom akcijom Maslenica, koja je završila 27. siječnja 1993., konačno su spojeni sjever i jug Hrvatske te je omogućena provedba daljnjih ratnih operacija i oslobađanje zemlje. Ta nas je ratna pobjeda osokolila da s još više žara i entuzijazma održavamo pogon sustava. Zbog uništenja TS Biograd i blizine ratnih operacija, radnici Prijenosnog područja Elektroprijenos Split izgradili su za samo deset dana na obližnjoj zaštićenoj lokaciji i 14. ožujka pustili u pogon privremenu TS 110/10 kV *Kava*, slika 4., te omogućili napajanje biogradskog područja električnom energijom. Taj pothvat ostat će zauvijek zapamćen kao



Sl. 4.: Privremena TS 110/10 kV *Kava* kod Biograda izgrađena je za samo deset dana

jedan od najboljih primjera brze izgradnje zamjenske transformatorske stanice u ratnim uvjetima.

U razdoblju 1991. − 1993. u prijenosnoj mreži Hrvatske poduzet je ukupno 31 veći zahvat (provizorij, prespajanje, privremena mreža), od čega najveći broj u Slavoniji (14) i Dalmaciji (10). Tim zahvatima održan je opstanak i pogon prijenosne mreže te opskrba potrošača električnom energijom u najtežim danima Domovinskog rata.

Velika suša i redukcije potrošnje električne energije u Dalmaciji tijekom proljeća i ljeta 1993. te stalna ugroza napajanja Zadra ubrzale su donošenje odluke o izgradnji *Otočne veze* 110 kV, koja je izgrađena za samo jedanaest mjeseci i puštena u pogon 26. srpnja 1994. godine. *Otočnom vezom* 110 kV omogućen je prijenos dodatnih 60 MW iz smjera TS Melina preko otoka Krka, Raba i Paga do Zadra, čime je sustav Dalmacije bio djelomično rasterećen, a Zadru osigurano sigurnije napajanje. *Otočna veza* 110 kV ostat će u sjećanju kao zahtjevan i složen projekt koji je velikim entuzijazmom i požrtvovnošću svih sudionika realiziran po najvišim tehničkim standardima u rekordnom roku.

Postupnom sanacijom dalekovoda i transformatorskih stanica prestajala je potreba za provizorijima i privremenim mrežama, koji su zatim uklonjeni te se stanje prijenosne mreže do kraja 1994. sve više normaliziralo, iako je dio objekata još uvijek bio neraspoloživ zbog ratnih razaranja i okupacije. Nakon uklanjanja provizorija i privremenih mreža poboljšana je sigurnost pogona sustava

i opskrbe električnom energijom, osim u Slavoniji, u kojoj su i dalje u pogonu ostali svi provizoriji 110 i 220 kV.

Nakon uspješnih vojno-redarstvenih akcija Bljesak početkom svibnja i Oluja početkom kolovoza 1995. svi su elektroenergetski objekti vraćeni HEP-u. Većina ih je u pogon stavljena odmah, a do kraja godine zbog važnosti za sustav prioritetno su bili sanirani DV 400 kV Konjsko – RHE Obrovac – Melina, DV 110 kV Obrovac – Zadar i DV 110 kV Međurić – Nova Gradiška.

Posebno emotivan bio je završetak sanacije DV 400 kV Konjsko – RHE Obrovac –Melina, koju su obavile ekipe svih prijenosnih područja i radnici Dalekovoda Zagreb, jer je njegovim puštanjem u pogon 26. prosinca 1995. u 16:55 Dalmacija nakon pet godina bila ponovno spojena s ostatkom sustava i europskom mrežom. Svi smo odahnuli jer su u sustavu ponovno bile hidroelektrane u Dalmaciji, a teško vrijeme redukcija potrošnje i nesigurnog pogona sustava u Dalmaciji i nedostatka energije u središnjoj Hrvatskoj ostalo je iza nas.

3. Obnova i sanacija prijenosne mreže

Nakon oslobođenja okupiranih područja, osim hrvatskog Podunavlja, uslijedila je obnova i sanacija prijenosne mreže. Tako je 22. listopada 1996. završena opsežna sanacija te pušten u pogon DV 220 kV Mraclin – Brinje, a 30. lipnja 1997. i DV 220 kV Brinje – Konjsko, kojima je ojačana veza Dalmacije sa središnjom Hrvatskom.

Promišljenom strateškom odlukom o ugradnji optičkih kabela u zaštitno uže DV 400 kV Melina – Tumbri u jeku rata (svibanj 1992.) te na obnovljene dalekovode na potezu 220 kV Mraclin – Brinje – Konjsko, počelo je formiranje telekomunikacijske mreže HEP-a bitne za prijenos poslovnih i procesnih podataka.

Na kraju Domovinskog rata, koji je okončan mirnom reintegracijom hrvatskog Podunavlja, prijenosna mreža u Hrvatskoj, osim područja Slavonije i prijenosnih veza 220 kV sjeverozapadne Hrvatske prema BiH, bila je na približno predratnoj razini s dodatkom DV 400 kV Melina – Tumbri, *Otočne veze* 110 kV te nekoliko TS 110/x kV s priključnim dalekovodima.

Ukupna ratna šteta (direktna i indirektna) u Hrvatskoj elektroprivredi u razdoblju 1990. − 1997. godine procijenjena je u iznosu od približno 5,9 milijardi DEM, od čega direktna šteta na objektima prijenosne mreže iznosi 223,6 milijuna DEM.[1] Štetu zbog zaostatka u razvoju sustava i obnovi postrojenja nećemo nikad do kraja saznati, a izgubljeni životi nemaju cijenu.

[1]Njemačka marka (DEM) zamijenjena je eurom (EUR) 1. siječnja 1999.; ekvivalent: 1 EUR = 1,96 DEM.

Vođenje hrvatskog EES-a tijekom 1998. bilo je posebno zahtjevno zbog izostanka isporuke električne energije iz NE Krško. Zbog toga je došlo do najvećeg angažiranja termoelektrana u Rijeci i Sisku u njihovu životnom vijeku (4,6 TWh) i znatnog povećanja uvoza električne energije i troškova poslovanja HEP-a.

U novim uvjetima u regiji sa smanjenim interkonekcijama i mogućnostima uvoza i izvoza električne energije, najvažniji projekt HEP-a bila je izgradnja nove interkonekcije, DV 2×400 kV Žerjavinec – Heviz, koja je počela 1998. godine. Do završetka izgradnje TS Žerjavinec krajnja točka tog dalekovoda u Hrvatskoj bila je TS Tumbri. Njegovim završetkom i puštanjem u pogon krajem 1999. hrvatski EES bio je dodatno spojen s europskom elektroenergetskom mrežom, čime je omogućen uvoz i izvoz električne energije te povećana sigurnost opskrbe potrošača.

Nakon završene većine sanacija prijenosne mreže i mirne reintegracije hrvatskog Podunavlja, pokrenut je 2000. godine program obnove i sanacije prijenosne mreže u Slavoniji, koji je obuhvatio radove na tri transformatorske stanice te razminiranje i obnovu sedam dalekovoda 110 kV ukupne duljine 130 kilometara. Realiziran je u razdoblju 2000./2001., nakon čega su napokon iz pogona uklonjeni drveni stupovi dalekovoda i provizoriji 110 kV.

Tijekom 2000. počela je izgradnja TS Ernestinovo i TS Žerjavinec s priključnim dalekovodima ukupne vrijednosti 123 milijuna eura. Svi objekti završeni su na vrijeme te je 10. listopada 2004., nakon 13 godina, ponovno uspostavljena veza između I. i II. sinkrone zone UCTE[2] u TS Ernestinovo, slika 5.



Sl. 5.: Obnovljena TS 400/110 kV Ernestinovo

[2] *UCTE*, Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

DV 400 kV Ernestinovo – Tumbri, koji je tijekom Domovinskog rata u privremenom pogonu pod naponom 220 kV odigrao ključnu ulogu u napajanju Slavonije iz smjera Zagreba, ponovno je stavljen pod napon 400 kV. Time je uspostavljena cjelovita prijenosna mreža 400 kV u Hrvatskoj te omogućena veza 400 kV Slavonije (TS Ernestinovo) i Dalmacije (TS Konjsko) preko BiH, slika 6.



Sl. 6.: DV 400 kV Ernestinovo – Tumbri pod naponom od 220 kV bio je od 1992. do 2004. godine glavni smjer napajanja Slavonije električnom energijom

Obnovljena prijenosna mreža 400 kV u Hrvatskoj postala je nakon rekonekcije I. i II. zone UCTE glavni prijenosni put u srednjoj i jugoistočnoj Europi, koji je omogućio trgovinu električnom energijom i liberalizaciju njezina tržišta koja je uslijedila. Blagodati liberalizacije tržišta i trgovine električnom energijom uživale su i onda i danas brojne tvrtke i partneri iz inozemstva, a obnovu nepravednim ratom razrušene prijenosne mreže financirala je sama, mala i ratom napaćena Hrvatska.

Na kraju puta koji je počeo neviđenim ratnim razaranjima ujesen 1991. često se pitamo kako smo sve izdržali, što je sve trebalo učiniti da se održi pogon sustava, kroz kakve smo opasnosti, izazove i iskušenja na osobnom i poslovnom planu prošli zbog istog, nama svetog cilja – opskrbe cijele Hrvatske električnom energijom.

Uz svu tehniku, financijska sredstva i poslovnu infrastrukturu glavna poluga održanja pogona sustava bili su ljudi. To su neustrašivi i snalažljivi monteri na terenu, domišljati inženjeri i tehničari u logistici koji pripremaju i sudjeluju u intervencijama te osoblje koje osigurava sve što je potrebno za rad na terenu. To su dispečeri i sve smjenske službe koje vode sustav 24 sata na dan 365 dana u godini, to su kolege iz svih drugih dijelova HEP-a koje je pogodila ista ratna nevolja. Upravo nas je zajednička ratna nevolja i želja da obranimo svoj dom ujedinila i dala nam snage da od sebe u ratu damo ono najbolje i na kraju pobijedimo. A ova knjiga neka bude uspomena i sjećanje na te dane patnje, borbe i ponosa da smo svjetlom pomogli obrani zemlje sa željom da se više nikad ne ponove.

Literatura

[1] T. Babić, S. Čoko, S. Guć, N. Jaman, M. Jezidžić, M. Kalea, N. Kolega, M. Lovrić, M. Mesić, A. Nazor, S. Prpić, D. Škarica: *Elektroprijenos Hrvatske u Domovinskom ratu (1990. − 1998.)*. Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o., Zagreb, Hrvatska, 2019.

Review of the Monograph *Electricity Transmission of Croatia in the Homeland War (1990 − 1998)*

Miroslav Mesić

Abstract: The book chronologically describes the most important events related to the electricity transmission in the Homeland War 1990-1998. in Croatia [1]. The key political events that led to the war, the aggression and wartime destruction of the power system, as well as all the efforts to maintain the transmission network and the supply of electricity as a precondition for life and defense of the country, were observed. During the war, one third of the Croatian transmission network was destroyed, but thanks to extraordinary efforts and original technical solutions, the operation of the electric power system was sustained even during the most difficult moments of the war. The book describes and illustrates in detail the numerous ventures and examples of provisoriums and temporary networks that provided electricity to Slavonia, Dalmatia, Lika and Banovina using the correct and accessible parts of power grids and substations with different voltage levels during the war. After successful war operations and the liberation of the country, the rehabilitation of the transmission network began, which lasted until the end of the 1990s. With all the technology, finances and business infrastructure, the main factor for maintaining the power system were people, courageous and resourceful workers, savvy logistics engineers and technicians who prepare and participate in the interventions, and staff who provide everything needed for work on the terrain.

Key words: Homeland war, war destruction, power system