

HRVATSKI OGRANAK
MEĐUNARODNOG VIJEĆA ZA
VELIKE
ELEKTROENERGETSKE SUSTAVE -
CIGRE



**12. simpozij: Povijest i filozofija
tehnike Zagreb, 24. - 25. lipnja 2025.**

Hrvatska Croatia

Marijan Andrašec
Državni zavod za mjeriteljstvo,
ravnatelj u mirovini
mandras1942@gmail.com

Vilko Žiljak
Grafički fakultet Sveučilišta u
Zagrebu, profesor emeritus
fsvz1812@gmail.com

00-00

Žarko Prnić
INA Naftaplin
Savjetnik u mirovini
zprnic@gmail.com

**MODELIRANJE PROCESA KAO POTPORA GRADNJI I
PUŠTANJU U RAD TVORNIČE UMJETNIH GNOJIVA U
KUTINI I RAFINERIJE NAFTE U BOSANSKOM BRODU; 1967. –
1973.**

Sažetak: Krajem 60tih godina pokrenuti su projekti gradnje velikih proizvodnih sustava kemijske i naftne procesne industrije. Sustavi te veličine i složenosti, opremljeni modernom mjernom i regulacijskom instrumentacijom, nisu do tada postojali na ovim prostorima. Dnevno praćenje proizvodnje, pouzdanim utvrđivanjem materijalnih i energetske bilanci u umreženom sustavu postrojenja uz prisustvo povratnih tokova i neočekivanih poremećaja, kao i netočnosti i ispada pojedinih mjernih instrumenata bio je velik izazov. U to vrijeme pojavila se prva literatura koja je obrazlagala ideju i postupke matematičkog modeliranja takvih procesa i simulacije njihova rada korištenjem računala; formiralo se stručno područje pod tadašnjim nazivom 'sistemska inženjerstvo'. Praktična primjena na postrojenjima nije još bila ostvarena.

U projektnoj organizaciji Industroprojekt u Zagrebu osnovana je 1967. godine prva takva grupa, koja je u periodu do početka 70tih radila

na projektima gradnje, puštanja u rad i poboljšanja rada na Tvornici umjetnih gnojiva u Kutini i na Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu. Suradivalo se na praktičnoj primjeni prvog takvog programa za modeliranje u suradnji sa grupom iz SAD, te je kasnije razvijen i vlastiti simulacijski program. Unutar tih nekoliko godina razvijane su i druge ideje primjene modeliranja, te primjene računa vjerojatnosti i matematike redova, na industrijske procese i prometne sustave. Unatoč uspješnom radu i razvoju, okolnosti u okruženju su bile vrlo nepovoljne za stabilan rad i razvoj. Reorganizacijama i spajanjem Industroprojekta i INA-Inženjeringa iza 1975. mijenjali su se odnosi, te je djelovanje u području sistemskog inženjerstva i simulacija unutar te organizacije zamrlo. Članovi toga tima su dotadašnjim radom stekli dragocjena znanja i iskustva, te su u novim sredinama bili vrlo uspješni, a neki su ostvarili zapažene akademske karijere.

U radu je opisano djelovanje u periodu 1967. – 1973. prema sjećanjima autora i rijetkim pisanim izvorima. Opisana su zbivanja u tom periodu i u srodnoj strukturi u SAD i Njemačkoj prema svjedočenju autora i uspoređena s domaćom situacijom.

Ključne riječi: modeliranje procesa, sistemsko inženjerstvo, Tvornica umjetnih gnojiva Kutina, Rafinerija nafte Bosanski brod, PACER, Josip Lončarić, Industroprojekt Zagreb

Uvod – lokalne i globalne okolnosti

Koncem 60tih godina pokrenuti su projekti gradnje velikih proizvodnih sustava kemijske i naftne procesne industrije. Sustavi te veličine i složenosti, opremljeni modernom mjernom i regulacijskom instrumentacijom, nisu do tada postojali na ovim prostorima. Dnevno praćenje proizvodnje, pouzdanim utvrđivanjem materijalnih i energetske bilanci u umreženom sustavu postrojenja uz pristup povratnih tokova i neočekivanih poremećaja, kao i netočnosti i ispada pojedinih mjernih instrumenata bio je velik izazov. U to vrijeme pojavila se prva literatura, koja je obrazlagala ideju i postupke matematskog modeliranja takvih procesa i simulacije njihova rada korištenjem računala. Praktična primjena na postrojenjima usporedbom rezultata računalnih simulacija sa mjerenim podacima na postrojenjima nije još bila ostvarena, modeli su imali uglavnom u edukacijsku namjenu. Formiralo se stručno područje pod tadašnjim nazivom „sistemsko inženjerstvo“.

Projektna organizacija Industroprojekt u Zagrebu (INZ) bila je u to vrijeme jedna od vodećih u Jugoslaviji, te je imala važnu ulogu u projektiranju i gradnji tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i Rafinerije nafte u Bosanskom Brodu. Do 1967. naziv je bio Institut za naftu, a 1968. je preimenovan u Industroprojekt.

Direktor je bio Anđelko Bubanj, koji je za tadašnje okolnosti vodio projektnu organizaciju na vrlo moderan način, ostavljajući organizacijskim dijelovima slobodu odlučivanja i razvoja. Industroprojekt je, na poticaj Josipa Lončarića, osnovao 1967. godine grupu/odjel za sistemsko inženjerstvo, koja je u periodu do početka 70tih radila na projektima gradnje, puštanja u rad i poboljšanja rada u Tvornici umjetnih gnojiva u Kutini i Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu, te širila djelovanje i na druge projekte u naftnoj industriji i prometu. Koncem 1960tih uspostavljena je dobra suradnja sa grupom sa Dartmouth College,, Illinois, USA, koja je napravila prvi program za simulaciju rada procesnih postrojenja – PACER, koji je korišten u Kutini i Bosanskom Brodu.

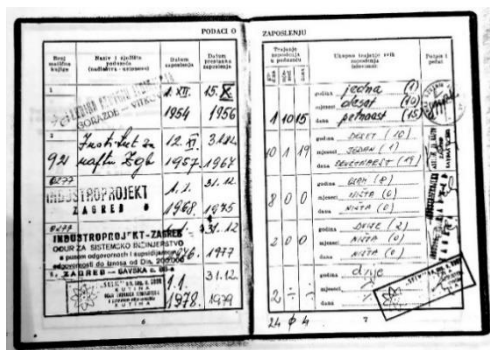
Do 1973. godine grupa je znatno ojačala, ali je nakon nekoliko godina na osnovu političkih odluka Industroprojekt spojen sa INA Inženjeringom, a „Sistemsko inženjerstvo“ se polako ugasilo.

Josip Lončarić [1][5]

Josip Lončarić, fizičar, rođen je 1929. u Skradu – Gorski Kotar, studirao je u Zagrebu. Prvo zaposlenje mu je bilo u Tvornici Azot-Goražde, gdje se bavio procesnom instrumentacijom i regulacijama u procesu. U Institutu za naftu je počeo raditi 1957. godine, te je do 1967. uspješno vodio različite odjele, kada je potaknuo rad u području „sistemskog inženjerstva“. Industroprojekt je napustio 1977. godine.



Sl.1 Josip Lončarić



Sl.2 Radna knjižica Josipa Lončarića

U vremenu do 1967., kada je potaknuo aktivnost Industroprojekta u području sistemskog inženjerstva, bavio se instrumentacijom u procesnim postrojenjima i primjenom računala i računalnih postupaka u industrijskom okruženju. Napisao je nekoliko dobrih studija o tim temama, ali je malo objavljivao, te su ti radovi korišteni kao interna dokumentacija Industroprojekta.

✓ J. Lončarić: Studija o instrumentiranju i automatizaciji pripreme plina i proizvodnje amonijaka u Tvornici AZOT - Goražde, INZ (1963.)

- ✓ J. Lončarić: Upotreba računskih strojeva u procesnoj industriji, *Automatika* Vol. 7, No 5-6 (1966.), p.324.
- ✓ J. Lončarić: Conditions for Proces Instrumentation for fertilizer Plant Kutina, INZ 1966.
- ✓ J. Lončarić, D. Franekić: Studija o upravljanju procesom proizvodnje amonijaka u HIP Pančevo, pomoću ERS, INZ 1966.
- ✓ J. Lončarić, D. Franekić: Studija o upravljanju proizvodnje amonijaka u TDG; Kutina pomoću ERS, INZ 1966.
- ✓ J. Lončarić: Program projektiranja i planiranja računskih sistema u procesnim postrojenjima, INZ 1966.

U dokumentaciji porodice Lončarić nađene su bilješke s prikazom rada iz perioda u Industroprojektu, sa mnogim zanimljivim detaljima o aktivnostima i projektima.

Odjel za sistemsko inženjerstvo – osnivanje, ljudi i odnosi [1][2][3][4][5]

Pripreme za osnivanje grupe za sistemsko inženjerstvo počele su 1967. godine, kada je poslije Lončarića u ožujku kao prvi zaposleni došao Marijan Andrašec. Osnovno poduzeće je 1967. još nosilo naziv Institut za naftu, a 1968. preimenovano je u Industroprojekt -Zagreb (INZ). Ubrzo je zaposleno još ljudi, pojedinačnim dogovorom s Lončarićem, ili kasnije putem natječaja i provjere kroz testove. Grupa je vremenom prerasla u odjel, a odjel je vremenom prerastao u OOUR (Osnovna organizacija udruženog rada) s vlastitim financiranjem. Na kraju je taj dio prerastao u Sektor s nekoliko OOURa.

Lončarić u svojim bilješkama [5] piše: „OOUR za sistem inženjering je lijepo napredovao. Počeo je da sam prvo bio sam, ali je brzo rastao. Uspio sam pribaviti toliko poslova da smo imali znatne viškove – dodatne plaće. Usput je rastao broj ljudi, u maksimumu ih je bilo oko 60. Uz tek malog broja radnika srednje stručne spreme, sve su to bili mladi ljudi završenog fakulteta (kemija, fizika, matematika, informatika, ekonomija). U početku složni mladi ljudi željni znanja i uspjeha.“, *konac citata*.

Prema sjećanjima [1][2][3], u periodu do početka 70tih došli su: Josip Lončarić, Marijan Andrašec, Zvezdana Gregorina, Žarko Prnić, Mladen Einspiegel, Vlasta Čizmić, Franjo Čataj, Milan Badovinac, Filip Ćorlukić, Luka Omejec, Ratimir Kvaternik, Jasna Domes, Vilko Žiljak, Višnja Čović, Vedrana Skračić, Eduard Beer, Igor Semenov, Igor Dragičević, Ivo Jeričević, Lavoslav Palinkaš, Damir Vekić, Antun Brumnić, Zlatko Pintarić.

Mladi ljudi su tada formirali svoje živote, te su česta bila vjenčanja, zaruke, rođenja djece, useljavanja u stanove, rođendani, imendani i sve što je

moglo biti povod za malu feštu i druženje. Vladao je radni entuzijazam i vedra atmosfera. Nakon nekoliko godina neki su odlazili, te je i to bio razlog za oproštajno druženje. Lončarić je uveo običaj slanja razglednica s putovanja, te su to svi činili; primjeri iz arhive [1]:



Sl.3 Razglednica Lončarić, 1967.,
Institut za naftu



Sl.4 Razglednica Lončarić, 1968.,
Industroprojekt

U rujnu 1970-te Marijan Andrašec je otišao iz Industroprojekta u BASF u Ludwigshafen am Rhein, te je oproštajno druženje održano 03. 09. 1970. u Sv. Ivanu- Zelini u vikendici porodice Žiljak [1].



Sl.5 Vilko Žiljak domaćinski
kuha kavu

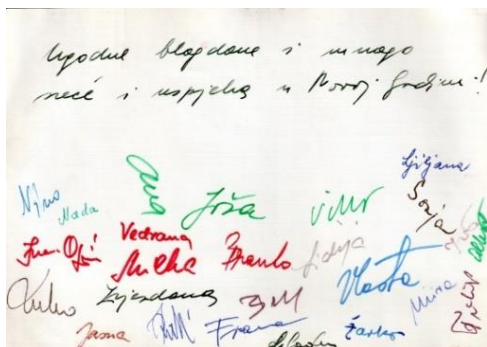


Sl.6 Druženje u vikendici obitelji Žiljak 03.09.1970.

Prijateljski odnosi ostali su i nakon nečijeg odlaska iz grupe, te su održavani kontakti i druženja [1].



Sl.7. Kolege Einspiegel i Omejec najavljuju posjetu Andrašecu u Ludwigshafen



Sl.8 Čestitka „Sistemskeg inženjeringa“ Andrašecu u Ludwigshafen za Novu Godinu 1970./1971

Početkom 70tih, unatoč dobre situacije u poduzeću, svi su mnogo naučili i sazrijevali su, nekoliko ljudi je otišlo tražeći nove izazove i prilike za razvoj. Prema sjećanju otišli su: Mladen Einspiegel, Luka Omejec, Ratko Kvaternik, Višnja Čović, Vlasta Čizmić, Filip Čorlukić, Žarko Prnić.

Kada je Industroprojekt spojen sa INA Inženjeringom u INA Projekt promijenila se politika tvrtke, te je područje sistemskog inženjerstva polako smanjivalo aktivnosti. Nakon prestanka postojanja, zaposlenici su se godinama sastajali na godišnjicu prestanka zajedničkog rada i postojanja.

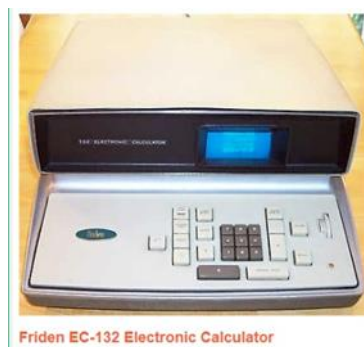
Zanimljiv je bio odlazak Višnje Čović, koja je u Industroprojekt došla 1968. nakon diplome na Tehnološkom fakultetu u Zagrebu. Kod preuzimanja programa PACER za modeliranje procesnih postrojenja pomagali su nam suradnici profesora Shannona sa Purdue University. Jedan od njih, Stanley A.

Gembicki, zaljubio se u Višnju, veza je postala ozbiljna, te je Višnja otišla s njim u SAD i udala se za njega.

Računalni programi i oprema[1][2][3][4][5]

Rad na računalnom modeliranju koncem 60tih bio je jako ograničen skromnim kapacitetima računala, a posebno u slučaju male grupe unutar projektne organizacije. Projektanti su tada računali pomoću logaritamskih računala-„šibera“ i pomoću mehaničkih i elektromehaničkih računala.

Budući da su obavljane pripreme za rad na projektu Tvornica umjetnih gnojiva u Kutini, računalo nam je bilo potrebno za računanje mjernih prigušnica, računanje kod izjednačavanja mjernih podataka i računanja korištenjem računalnih modela.



Sl.9 Stolno računalo FRIDEN

Tada je nabavljeno stolno elektronsko računalo FRIDEN, koje je imalo ekran sa prikazom svih brojeva. Nama je bila važna funkcija vađenja drugog korijena, koja je znatno ubrzavala i olakšavala proračun i kontrolu ispravnosti mjernih prigušnica na postrojenjima u Kutini. Stroj je bio mnogostruko skuplji od mehaničkog računala, te se na Radničkom savjetu burno raspravljalo o njegovoj nabavi, jer „s tim strojem može istovremeno raditi samo jedna osoba, a s dvadeset mehaničkih računala dvadeset ljudi“.

O najmu i nabavljanju računala Lončarić piše [5]:

„Ustvari je prvi stroj koga sam, negdje 1968. godine (ako me sjećanje ne vara) nabavio da radimo tehničke proračune, prvenstveno za procesnu industriju, bio “Librascope General Precision”, LGP 21. Koliko se sjećam originalno je

služio za vojne svrhe u USA. Kad se vojska snabdjela boljim računalima, LGP21 se pojavio na komercijalnom polju. Bio je relativno jeftin i time dostupan i mome odjelu. Za njega je programe radio najviše naš kolega Ratko Kvaternik, tada mlad fizičar, dok su se druge kolege teže upuštale u rad s ovim strojem. Programi i podaci unosili su se pomoću papirne trake, a bilo ga je teško programirati za naše primjene. Negdje 1970 godine počeo sam razgovore da si nabavimo neko “pravo” računalo. Bilo je više ponuda, no ponuda IBM-a mi je najviše odgovarala, jer su tad davali stroj na leasing. Neko je vrijeme trebalo da ishodim da nam poduzeće odstupi prikladne prostorije, a naš je OOUR morao urediti prostor (dvostruki pod, potrebni priključci, a zatim nabaviti poštenu klima uređaj). Konačno određeni broj mojih službenika morao se školovati, a glavni instruktor bio je ing Ratko Gospodnetić, veoma simpatičan čovjek. Vježbe su se provodile na istom takvom stroju na ETF-u i u Industrogradnji. Pripremni radovi oduzeli su nešto vremena, a kad je stigao IBM1130, pozvali smo upravu poduzeća da otvori računski centar i kolege ostalih odjela da prisustvuju maloj svečanosti. Početna konfiguracija imala je 8 kWords, raspolagala je s dvije bušilice kartica. Kasnije smo postepeno, kad smo mogli zaraditi više novaca, povećali memoriju na 32 kWords, a zatim smo dodali diskovske jedinice, prvo 216 kWords, a zatim i 512 kWords. Stroj je montiran početkom 1971 godine, a radio je sve do početka 1975, kad sam otkazao najam. Namjeravao sam pribaviti drugi, puno veći stroj.“, *konac citata*.

Dnevna provjera i usklađivanje mjernih podataka na složenom sustavu, kao što je Kutinska tvornica zahtijeva posebne metode i računalne mogućnosti. Lončarić je informacije o metodi najmanjih kvadrata s ograničenjima, kojom se to rješava prenesao iz literature 1969. Proveli smo prilagodbu za njeno korištenje u tvornici dušičnih gnojiva u Kutini. Matematski dio rješavao je Žarko Prnić, a modelnu prilagodbu na sustav u Kutini Marijan Andrašec.

Prema sjećanjima Žarka Prnića [2]; Metoda najmanjih kvadrata s ograničenjima:

„Mjerenja su se najprije uvela u geodeziju gdje se je suočilo s problemom pogrešaka. Ruđer Bošković je 1757. prvi spoznao da su pozitivne pogreške jednako vjerojatne negativnim i postavio uvjet da:

1. Zbroj korekcija treba biti jednak nuli.
2. Zbroj svih korekcija bude minimalan.

Pokušalo se je uvesti ove uvjete u mjerenje, ali efikasan algoritam nije nađen pa je problem i dan danas aktualan. Lagrange je 1805., a možda prije njega Gauss, uveli su metodu najmanjih kvadrata koja se pokazala efikasnom.

Razvojem industrije javila se potreba za mjerenjima i korekcijom mjerenja.

Neka je tehnološki sustav opisan s n varijabli $y_1, \dots, y_n$ koje zadovoljavaju sistem od k linearnih jednažbi

$$e_j = a_{j1} y_1 + a_{j2} y_2 + \dots + a_{jn} y_n = 0, \quad j=1,2,\dots,k$$

Uvedimo pravokutnu matricu **A** vektor **y**

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & a_{k2} & a_{kn} \end{bmatrix}, \dots, \mathbf{y}^T = (y_1, \dots, y_n)$$

pa gornji sistem jednadžbi pišemo u obliku

$$\mathbf{A} \mathbf{y} = 0$$

Provedimo mjerenja varijabli y'_i koje su podložne slučajnim greškama. Kako su mjerenja nejednake preciznosti, svakom mjerenju y'_i pripisujemo težinu ω_i . To je ključni korak metode. Povjerenje u mjerenja izražavamo dijagonalnom matricom **W** čiji su elementi

$$\omega_j = \frac{1}{\sigma_j^2}$$

Drugim riječima minimiziramo

$$\varphi = \sum_{j=1}^n \omega_j (y_j - y'_j)^2$$

Primjenjujemo Lagrangeovu metodu dodavanjem nepoznatih faktora λ_j pomnoženih s e_j .

Minimiziramo, dakle

$$\varphi = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \omega_j (y_j - y'_j)^2 + \sum_{i=1}^k \lambda_i (a_{i1} y_1 + a_{i2} y_2 + \dots + a_{in} y_n)$$

Minimum veličine φ dobivamo dobrim izborom nepoznanica $y_1, \dots, y_n$ i $\lambda_1, \dots, \lambda_k$.

Minimum se postiže kad su parcijalne derivacija po svim nepoznanicama jednake nuli, dakle

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y_j} = \omega_j (y_j - y'_j) + \sum_{i=1}^k \lambda_i a_{ij} = 0, \dots, j=1,2,\dots,n$$

i

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \lambda_i} = \sum_{j=1}^n a_{ji} y'_j = 0, \quad i=1,2,\dots,k$$

Nakon malo matematike dobivamo izraz za ispravljena mjerenja

$$\bar{\mathbf{y}} = \mathbf{y}' - \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{A} \mathbf{W}^{-1} \mathbf{A}^T)^{-1} \mathbf{A} \mathbf{y}', \text{ konac citata.}$$

U svojim bilješkama Lončarić piše:

„Svojom orijentacijom na matematičko programiranje procesnih industrijskih procesa bili smo na tom području daleko najnapredniji stručni skup priznat u Jugoslaviji. Surađivali smo s dosta svjetskih instituta, čak i s Novosibirskom.“

„Uspio sam dovući Amerikance, dobili smo skup programa za matematičku simulaciju rafinerijskih ili drugih kemijskih procesa, program PACER razvijen na sveučilištu Dartmouth. Kod nas su boravila dva asistenta, da nas uvedu u način rada. Radi svoje veličine PACER se nije mogao postaviti na IBM 1130, već smo radili na velikom računalu u INI.“, kraj citata.

Svi suradnici su prošli obuku iz korištenja programskog jezika FORTRAN na Elektrotehničkom fakultetu kod Ratka Gospodnetića, a Ratko Kvaternik je osposobljavan za korištenje programskih strojnih jezika. Pratili smo literaturu, a prva nama dostupna knjiga o modeliranju je bila „D.M. Himmelblau, K. B. Bischoff, Process Analysis and Simulation, Deterministic Systems“ [17].

Za modeliranje procesnih sustava nije bilo potrebnih alata, te je iskorištena prilika, što je uspostavom kontakta sa prof. Shannonom sa Purdue University omogućeno korištenje programa PACER, koji je u to vrijeme predstavljen i stavljen sveučilištima na raspolaganje. Nisu još postojala iskustva u industrijskoj primjeni, te je projekt u Kutini bio i za američku ekipu zanimljiv. Treba naglasiti da se radilo o pionirskom pothvatu, PACER je bio prvi takav program, te su se iza toga, nastavno na taj rad, razvili drugi, složeniji programi.

O programu PACER je u [16] navedeno (*prijevod citata*):

„Profesor Paul T. Shannon na Sveučilištu Purdue razvio je široko publiciran računalno potpomognuti program za projektiranje kemijskih procesa pod nazivom PACER (Process Assembly Case Evaluator Routine), a o njemu je izvješteno 1963. godine. Postao je dostupan odjelima kemijskog inženjerstva na sveučilištima nakon instruktivne radionice PACER na Dartmouth Collegeu, od 23. do 28. travnja 1967., kojoj je prisustvovalo 20 profesora kemijskog inženjerstva iz Sjedinjenih Država i Kanade. PACER je uglavnom bio modularni izvršni program za usmjeravanje izračuna bilance materijala i energije u stacionarnom stanju za dijagrame toka koji su mogli uključivati reciklirajuće tokove. PACER je imao ograničenu biblioteku modela jedinica-operacija i nedostajao mu je paket za procjenu fizičkih svojstava. Međutim, bio je otvorenog tipa, tako da su korisnici mogli dodavati modele rada i svojstava.“, *kraj citata*.

Kod uvođenja programa pomagao je P. Shannonov suradnik Stanley Gembicki, koji je boravio neko vrijeme u Zagrebu. Stanley je cijeloj ekipi ostao u dobroj uspomeni po svojoj jednostavnosti i dobronamjernom ponašanju. Kao što je ranije prikazano, Stanley i naša kolegica Višnja Čović zbližili su se, te su se i vjenčali. Obzirom na okolnosti, nekoliko riječi o bračnom paru Gembicki [13][14][15]. Višnja je u SAD, unatoč diplome iz Zagreba, krenula na studij inženjerstva u Dartmouth University-Thayer School of Engineering, gdje je 1973. godine diplomirala kao jedna od prvih žena u toj struci [13]. Kasnije je radila u svjetski poznatoj kompaniji UOP.



Sl.10 Višnja Gembicki, 1973. na studiju [13]



Sl.11 Bračni par Gembicki u mirovini na Floridi
<https://fortmyers.floridaweekly.com/articles/and-the-award-goes-to/>, preuzeto 23. 03. 2015

Stanley P. Gembicki je neko vrijeme radio u konzultantskoj tvrtki Digital Systems Corp., koju je osnovao P. Shannon, te je 1972. prešao u UOP. Vremenom se razvio u struci istaknutog inženjera, koji je odlikovan i na kraju bio na vodećoj poziciji u UOP [14][15]. U 2025-toj je kod pripreme ovog rada uspostavljen kontakt sa Gembickima, koji su u mirovini i žive na Floridi, te su bili dragocjeni za upotpunjavanje informacija o događanjima koncem 60tih.

Program PACER, iako vrlo koristan u početnim radovima, bio je u razvojnoj fazi, te su odmah pokrenute aktivnosti na njegovom poboljšavanju, pa čak i zamjeni. Žarko Prnić je razvio novi program SOP, koji je bio znatno složeniji i upotrebljiviji za procese simulacije, te je kasnije korišten i na Rafineriji u Bosanskom Brodu [7][8], a PACER je napušten u upotrebi.

Profesor Paul Shannon preminuo je 2012. godine u 101. godini života.

Modeli i simulacije primijenjeni u navedenim projektima bili su deterministički, te nisu bili primjenljivi na stohastičke procese. Lončarić je, nastojeći proširiti aktivnosti na druge projekte pokrenuo rad na stohastičkim procesima, te je na tom području 1970te zaposlio Vilka Žiljaka, koji je idućih

godina razvio to područje i radio na čitavom nizu projekata, koji nisu bili izravno povezani s gradnjama u Kutini i Bosanskom Brodu.

Kada je koncem 1970te Industroprojekt nabavio računalni stroj IBM1130, Žiljak je preuzeo upravljanje tim računalnim centrom.

Rad na postrojenju Tvornice umjetnih gnojiva – Kutina [1][2][4][5][9][10][11][12]

Gradnja tvornice umjetnih gnojiva - Kutina (TUG-Kutina) bila je 1968. pred završetkom, te su provedene prve tehničke provjere od strane institucija i formiranih zajedničkih komisija. Uočene manjkavosti u izvedbi, prvenstveno vezano uz sigurnost, vatrogasne propise, sanitarne propise, kvalitetu montažnih radova i sl. uklanjale su se u hodu. Manji nedostaci uklanjani su kasnije, kada je tvornica već proradila.

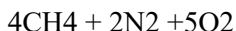


Sl.12 Parkiralište pred upravnom zgradom krajem 60-tih [10]



Sl.13 Gradnja TUG u Kutini [10]

Postrojenje se sastoji od niza katalitičkih reaktora, apsorpcijske kolone, stripera za CO₂, kompresora, te različite druge opreme; prisutna je visoka temperatura i pritisak. Radi opasnosti od difundiranja vodika i samozapaljenja, sigurnosne mjere su na najvišoj razini. Mjerenja protoka na vodovima između pojedinih reaktora su teško provediva, te se mjere samo izlazne veličine, koje omogućuju bilanciranje prema sumarnoj jednadžbi sinteze amonijaka:



Obzirom da se NH₃ koristi na postrojenjima UREA, KAN i NPK, te se mjeri i količina u skladištu, cjelovita bilanca sustava omogućuje kontrolu bilance amonijaka, ugljika i dušika. Bilancia ugljika je važna, jer se odnosi na ulazni prirodni plin, koji se plaća dobavljaču.

Gradnju tvornice vodio je inženjer Ivan Čepelnik, postrojenje amonijaka Duško Preradović, postrojenje urea Eduard Beer, postrojenje NPK Ante Martinović, analitički laboratorij Zlata Martinović, Odjel za obračun proizvodnje Rozalija Peić Cvok.

TUG Kutina je ugovorila s Industroprojektom, koji je obavljao niz projektnih i inženjerskih radova na gradnji, da organizira praćenje „test-run-a“ postrojenja proizvodnje amonijaka. Ugovoreno je i osnivanje centralne službe za dnevno praćenje proizvodnje ukupnog sustava, bilanciranje i izvještavanje Uprave. Posao je preuzeo Odjel za sistemsko inženjerstvo: kontrola ispravnosti dimenzioniranja, ugradnje i rada protočnih mjerila, dnevno snimanje podataka za izradu ulazno-izlazne bilance, usklađivanje podataka pripremljenom metodom, kontrola podataka na grube pogreške pomoću matematskog modela procesa, izrada dnevnih izvještaja za TUG, izrada konačnog izvještaja za „test-run“ postrojenja amonijaka, rasprava na finalnom sastanku s General Contractorom-Foster Wheelerom.

Podjela zadataka:

- ✓ Zvezdana Gregorina: kontrola ispravnosti dimenzioniranja, ugradnje i rada protočnih mjerila
- ✓ Marijan Andrašec i Mladen Einspiegel: dnevno snimanje podataka za izradu ulazno-izlazne bilance
- ✓ Žarko Prnić: usklađivanje podataka pripremljenom metodom
- ✓ Marijan Andrašec: kontrola podataka na grube pogreške pomoću matematskog modela procesa, izrada dnevnih izvještaja za TUG, izrada konačnog izvještaja za „test-run“ postrojenja amonijaka
- ✓ Josip Lončarić: rasprava na finalnom sastanku s General Contractorom-Foster Wheelerom.

Kod praćenja „test-run-a“ postrojenja amonijaka, nismo imali kompjutor za računanja na lokaciji, te je kolega Prnić morao inverzije matrica (5x5) svakog dana u Kutini provoditi ručno na računalnom stroju FRIDEN. Stalno 24satno praćenje rada postrojenja, te snimanje i obrada podataka Industroprojektov malobrojan tim savlađivao je uz velik napor, nespavanje i puno mladenačkog entuzijazma.

Na postrojenju amonijaka bila je korisna dobra suradnja sa upraviteljem postrojenja Duškom Preradovićem i njegovim pomoćnikom Sabrijom Lampom. U suradnji sa Rozalijom Peić Cvok napravljene su procedure i alati za rad centralne službe za dnevno praćenje proizvodnje ukupnog sustava, bilanciranje i izvještavanje Uprave.

Kasnije su rađeni modeli za postrojenje amonijaka korištenjem programa PACER, koji je na početku bio upotrebljiv, ali se pokazao nedovoljno precizan, te je tek kasnijim radom Žarka Prnića stvoren simulacijski program SOP podoban za takvu namjenu.

Rad na postrojenju Rafinerije nafte – Bosanski Brod[1][2][5][6][8]

Početak aktivnosti u Rafineriji nafte u Bosanskom Brodu u smislu modeliranja bio je nešto kasnije od radova u Kutini. Tamo je poslove vezane uz instrumentaciju obavljao Filip Čorlukić, koji je već ranije radio sa Lončarićem u Azotari Goražde. Od novijih članova u Bosanskom Brodu najviše su bili aktivni Franjo Čataj i Milan Badovinac. U kasnijoj fazi uključila se Jasna Domes, a nakon toga je s programom SAP simulaciju radio Eduard Beer [8].

Rad u Rafineriji najopsežnije je opisao Filip Čorlukić u svojoj knjizi sjećanja, te se ovdje iznose isjecci iz tog teksta:

„Kad sam došao u poduzeće Sekardi mi je zadovoljno rekao da mi je osigurao izvrstan posao nadzornog organa na izgradnji nove rafinerije u Bos. Brodu. Ukupan nadzor je dobilo zagrebačko poduzeće Ingradinvest, a budući da oni nisu mogli naći stručnjaka za instrumentaciju obratili su se njemu, pa im je Industroprojekt u za nas vrlo povoljnim Ugovorom iznajmio mene. Da bih stalno mogao imati dnevnicе, svaki mjesec trebam doći u Industroprojekt, formalno radi podnošenja izvještaja i tada uzeti novi putni nalog po kojemu imam i pravo na naplatu putnih troškova vlastitim automobilom. Prema Ingradinvestu nemam nikakvih obveza, a sva novčana primanja primam na blagajni Industroprojekta.

U Bosanskom Brodu sam počeo raditi početkom svibnja 1967. g. Došavši u rafineriju javio sam se tehničkom direktoru Đoki Buriću, a on me je proveo kroz radilište, gdje su radovi bili u punom zamahu. Zatim smo zajedno otišli na sastanak radne grupe, gdje sam upoznao predstavnika talijanskog isporučitelja opreme gospodina Colomba, predstavnike montažera opreme, šefa Ingradinvestove nadzorne grupe, a tu je bio i moj poznanik iz ATM-a inženjer

Božo Vučićević. On je bio šef grupe ATM-ovih montažera instrumentacije. Dogovorili smo se da svoj ured smjestim u njihovoj baraci koja se nalazi ispred glavnog ulaza u rafineriju. U rafineriji je radio i inženjer Drago Milošević, kojega sam poznao još iz vremena mojih gimnazijskih dana u Derventi, a moj gimnazijski kolega inženjer Nikola Milošević bio je predsjednik općine u Bos. Brodu. Prigodom mojih svakomjesečnih dolazaka u Zagreb, nakon što sam uzeo novi putni nalog i dnevnice, obično sam se jedno vrijeme zadržavao s kolegama iz Celprojekta i kod Jože Lončarića. Jožu je zanimalo kakva je situacija u rafineriji i da li bih mu mogao osigurati posjetu, jer bi on mogao ponuditi jedan američki kompjuterski program za praćenje proizvodnje. Kad sam se vratio u rafineriju razgovarao sam s tehničkim direktorom Đokom Burićem. On je odmah pokazao naglašeno zanimanje za taj suvremeni način praćenja proizvodnje, pa je veza brzo uspostavljena. Potpisan je ugovor, a Joža je odredio inženjere Milana Badovinca i Franju Čataja da počnu sa tehnološkim i energetskim snimanjem rafinerijskih pogona, a rafinerija je trebala odrediti stručnu osobu koja će preuzimati taj posao. Instrumentacija u postojećim pogonima bila je već zastarjela, a organizacija održavanja neodgovarajuća. Za nova postrojenja rafinerija je uposila tri mlada inženjera početnika, koji su sa mnom pratili izgradnju i učili, pa ni jedan od njih još nije bio pogodan za rad s Industroprojektovim inženjerima. Stoga sam smatrao da bi za taj posao najviše odgovarao inženjer Drago Milošević. Njega je par godina ranije rafinerija poslala na tromjesečnu instrumentarsku praksu u Njemačku, da bi ga po aktualnoj potrebi kasnije odredili za šefa energane.“

„On je nadprosječno dobro poznao ne samo energetiku i instrumentaciju, nego i cio proces proizvodnje, pa sam tehničkom direktoru njega predložio da on od strane rafinerije preuzme posao s Industroprojektom. Dragi o tomu nisam ništa govorio. To je i usvojeno, a za Dragu je to bio izlazak iz slijepe ulice.“

„Od Jožinih inženjera samo je još Badovinc redovno odlazio u rafineriju, pa smo se dogovorili da skupa putujemo njegovim Wartburgom. Na žalost prigodom jednog ulaska u Brod on je izgubio kontrolu vozeći preko hrpe pijeska, skrenuo je preko jarka, udarili smo u debelo drvo i automobil se prevrnuo na krov tako da je kabina slobodno visila između dvije obale jarka. Izišao sam kroz prozor, Milan je glavom udario u volan pa je bio u kratkoj nesvjestici. Mi smo srećom dobro prošli a automobil je pretrpio totalnu štetu. Jedna djevojka nas je svojim automobilom odvezla u rafineriju. Ja sam se javio tvorničkom liječniku, pregledao me je i rekao da mu se javim ako budem imamo bilo kakvih teškoća. Kad sam u subotu došao u Zagreb pa se u kupaoni skinuo i pogledao u ogledalo, vidio sam puno modrica po tijelu. Od tad sam putovao vlakom.“

„Posao nadzornog organa je bio dovršen, ali sam i dalje povremeno odlazio u Bos. Brod u vezi Jožinih planova uvođenja kompjutorskog praćenja tehnoloških procesa. To se preko Fonda za naučni rad proširivalo i na papirni

industriju, pa sam u vezi toga krajem siječnja boravio u Maglaju i Banja Luci. Sekardi za to nije bio zainteresiran, a budući da mi nije osigurao neki drugi posao rekao mi je da organizacijski prelazim u Sistem inženjering kod Jože Lončarića.“

„Od trojice mladih inženjera s koji su skupa sa mnom od početka pratili montažu i stjecali praksu, dvojica su bili izvrsni i kao ljudi, dok je jedan bio izrazito podao. On je želio postati šef pa je napisao pismo tehničkom direktoru u kojemu tvrdi da rafineriji ne trebaju Lončarićeve usluge i mene optužuje da namještam Industroprojektu posao koji bi mogao obaviti sarajevski Energoinvest. To sam lako riješio i skupa s Jožom kod komercijalnog direktora Đurđevića dogovorio produženje Ugovora. Završetkom posla u Brodu trebalo je razmisliti što dalje. Poslovi sistemskog inženjerstva kod Jože Lončarić nisu imali one dinamike na koju sam navikao, pa sam se s Bubnjem sam dogovorio da prijedem u odjel koji je specijaliziran za celulozu i papir, koji je već intenzivno radio na tehnološkom projektiranju drvenjače u Fužinama.“, *konac citata*.

Osim stacionarnog – determinističkog modeliranja programom PACER, po uzoru na rad u TUG Kutina, Odjel za matematičko modeliranje velikih sistema vođen Vilkom Žiljkom je, služeći se stohastičkim postupcima i modelima, za Rafineriju u Bosanskom Brodu 1971. rješavao optimalno vođenje procesa za povećanje randmana na željenom gorivu u situaciji promjenljive ulazne nafte i tržišnih potreba.

Unatoč nastojanja Lončarića da djelovanje proširi na druge tvornice u tom području, nije bilo većeg uspjeha, a i rad s Rafinerijom je postepeno prekinut.

Rad na drugim projektima u periodu do 1973. godine [3][5]

Vilko Žiljak se zaposlio u Industroprojektu 1970te godine i odmah se započeo baviti stohastičkim procesima i njihovom simulacijom. To su bili prije svega projekti vezni uz transportne probleme (pomorski transport, transport naftovodom), probleme skladištenja (gnojiva u Kutini, koks u Bakru, rezervoarski kapaciteti u Omišlju i u rafinerijama), optimiranje randmana rafinerije kod promjenljive sirovine i tržišta. Osnovan je „Odjel za matematičko modeliranje velikih sistema“, te je zaposleno nekoliko mladih ljudi: Mira Filipović, Draguška Pivac, Nada Brigljević. Kasnije su uključeni suradnici različitih profila.

Modeli stohastičke simulacije su definirani kao posve nova matematička struktura, a potom pisani kao programi u Fortranu u „Odjelu za matematičko modeliranje velikih sistema“. Programi su bili podređeni brzini računala. Kompleksnost stohastičkog opisa ovisio je o modelima višestruke simulacije različitih povezivanja. Izvođenje programa i trajanje određeno je matematičkim

kompleksnostima simulacije na računalima; ICL 192 (INA), IBM 360, i 370 (Luka Rijeka).

U „Odjelu za matematičko modeliranje velikih sistema“ razvijeni su i novi postupci prikazivanja ogromnog broja numeričkih podataka nastalih helikopterskim snimanjem radijacije. Rezultat su bile grafičke karte a koristile su za određivanje naftnih ležišta u Slavoniji. Bili su to 3D prikazi sekcija nekog volumena duboko pod zemljom prikazani kao ispisi na pisačima grafičke karte veličine 3 x 3 m² s informacijama o nafti. Ista logika i prikaz rudače pod zemljom primijenjena je u određivanju boksita pod zemljom. Podaci su dobiveni jezgrovanjem i analizom boksita duboko pod zemljom.

Grupa se bavila novim projektima, koji nisu bili direktno vezani uz gradnju i pokretanje Tvornice umjetnih gnojiva u Kutini i Rafinerije nafte u Bosanskom Brodu. Za Rafineriju u Bosanskom Brodu 1971. je rješavano optimalno vođenje procesa za povećanje randmana na željenom gorivu u situaciji promjenljive ulazne nafte i tržišnih potreba.

U projektu realizacije naftovoda, za skladišta nafte u Omišlju i transport nafte s tankerima od 80.000 do 160 tisuća tona, simuliran je njihov put od Azije i Afrike, te sve do određenja kapaciteta rezervoara budućeg terminala za prihvrat nafte u rafinerijama. Tankeri dolaze s raznih strana, različitih karakteristika nafte, bez dozvoljenog miješanja. Modelima i pripadnim programima su definiranim rezervoari u Omišlju na Krku te u rafinerijama u Sisku, Pančevu, u Mađarskoj i Sloveniji.

Isti stohastički, matematički modeli generatora nizova slučajnih veličina primijenjeni su za optimalizaciju u projektima: skladištenja u Tvornica umjetnih gnojiva Kutina; luka na moru za rasute terete u Bakru i pristan za koksaru Bakar.

Vilko Žiljak je napustio Industroprojekt 1976. godine.

Zaključno

Provjera mjernih podataka i njihovo usklađivanje pri puštanjem u rad TUG Kutina i Rafinerije nafte Bosanski Brod primjenom složenih matematskih postupaka i modela u to je vrijeme bila potpuna novina u prostoru bivše Jugoslavije. Sistemsko inženjerstvo razvijano u projektnoj organizaciji Industroprojekt je doprinijelo stvaranju prve generacije mladih stručnjaka, koji su u svojem kasnijem razvoju odigrali važnu ulogu u modernizaciji inženjerskih postupaka i razvoju struke u Hrvatskoj.

Svjedočenja učesnika u projektima iz tog vremena s iskustvom u različitim geografskim sredinama pokazuju da su početni koraci i procesi koncem 60tih u domaćem okruženju, sveučilišnom i industrijskom okruženju u SAD i industrijskom okruženju u tadašnjoj SR Njemačkoj, bili vrlo slični [1][2][3][14][15]. Zaključeno je da su glavni uzroci dosta skromnih početaka bili: nedovoljna razvijenost programskih alata, računala nedovoljne snage,

konzervativan pristup industrije i inženjerske struke, zatvorenost struka prema interdisciplinarnom radu [14][15].

Promatrano na taj način, iskorak grupe iz Industroprojekta, uz resurse, koji su u odnosu na slične grupe u inozemstvu bili zanemarivi, čini se još značajnijim i važnijim. Raspravom unutar postojećih svjedoka zaključeno je da naša velika prednost bila interdisciplinarnost unutar organizacije u kojoj se sve odvijalo, a posebno unutar Odjela za sistemsko inženjerstvo [1][2][3].

Literatura

- [1] Sjećanja Marijan Andrašec
- [2] Sjećanja Žarko Prnić
- [3] Sjećanja Vilko Žiljak
- [4] Fotografije i dokumenti iz arhiva Marijan Andrašec
- [5] Arhiva obitelji Lončarić (sinovi Boran i Ivan)
- [6] Filip Ćorukić, Moja sjećanja na minulo stoljeće, biblioteka Vallis Aurea, knjiga dvadesetišesta, urednik Dragutin Dumančić, naklada CERES, 2015, pogl. 24. Rafinerija nafte Bosanski Brod, str. 385 – 389.
- [7] A.Brumić, Ž.Prnić, ostali; SOP - Sistem programa za simulaciju procesa na digitalnom računalu, *Zbornik radova JUREMA 1975, svezak III, Računala u industriji*, str. 99-103, Zagreb, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 1975
- [8] E. Beer, A.Brumić, Ž.Prnić, ostali; Praktična primjena sistema programa SOP pri simulaciji postrojenja platforming, *Zbornik radova JUREMA 1975, svezak II, Procesi – Mjerenja – Automatika*, str. 69-76, Zagreb, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 1975
- [9] Arhiva tvornice Petrokemija Kutina d.d.
- [10] Hrvatski državni arhiv, Zagreb
- [11] Stjepan Leaković, Predstavljamo vam: Petrokemija d.d. – tvornica gnojiva -Kutina, *Kemija u industriji* 60(10) 520 – 534 (2011)
- [12] N. Zečević, A. Jukić, 100 godina industrijske sinteze amonijaka – najnovija postignuća, Međunarodni znanstveno-stručni skup 30. 05. 2019, Kutina; *Kemija u industriji* 68(5-6) (2019) str. 225-234
- [13] Dartmouth Engineering - Thayer School, Women at Thayer: Historic Milestones, Visnja Gembicki GRAD'73 Th'73 (pictured) and Susan Liu Yang Th'73 become the first women to earn MS degrees in engineering, just one year after coeducation is officially adopted at Dartmouth. <https://engineering.dartmouth.edu/news/women-at-thayer-historic-milestones>, preuzeto 23. 03. 2025
- [14] Purdue University, College of Engineering, Distinguished Engineering Alumnus Award to Stanley A. Gembicki, 1999,

- https://engineering.purdue.edu/Engr/People/Awards/Institutional/DEA/DEA_1999/gembicki, preuzeto 23. 03. 2025
- [15] Komunikacija sa Stanley A. Gembicki i Višnja Gembicki 2025.
- [16] J. D. Seader, Warren D. Seider, History of CACHE and its Evolution, *Computers in Chemical Engineering Education*, Editor Brice Carnahan, 1996 by CACHE Corp., <https://cache.org/sites/default/files/History-of-CACHE-1969-1994.pdf>, preuzeto 23. 03. 2025.
- [17] D.M. Himmelblau, K. B. Bischoff, *Process Analysis and Simulation, Deterministic Systems*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1968

Summary

In the late 1960s, projects were launched to build large production systems for the chemical and oil processing industries. Systems of this size and complexity, equipped with modern measuring and control instrumentation, had not existed in this region before. Daily monitoring of production, by reliably determining material and energy balances in a networked system of plants in the presence of return flows and unexpected disturbances, as well as inaccuracies and failures of individual measuring instruments, was a great challenge. At that time, the first literature appeared that explained the idea and procedures of mathematical modeling of such processes and simulation of their operation using computers; a professional field was formed under the then name of "systems engineering". Practical application in plants has not yet been achieved.

In 1967, the first such group was established in the Industroprojekt project organization in Zagreb, which worked on construction, commissioning and improvement projects at the Kutina Fertilizer Factory and the Bosanski Brod Oil Refinery until the early 1970s. They collaborated on the practical application of the first modeling program in collaboration with a group from the USA, and later developed their own simulation program. During these few years, other ideas for applying modeling, as well as the application of probability theory and series mathematics, to industrial processes and traffic systems were also developed. Despite successful work and development, the surrounding circumstances were very unfavorable for stable work and development. With the reorganization and merger of Industroprojekt and INA-Inženjering after 1975, relations changed, and activity in the field of system engineering and simulation within that organization was on very low level. The members of that team had acquired valuable knowledge and experience through their previous work, and were very successful in their new environments, and some achieved notable academic careers. The paper describes the activities in the period 1967-1974 according to the author's memories and rare written sources. The events in that period and in a related structure in the USA and Germany according to the author's testimony are described and compared with the domestic situation.

Keywords: process modeling, systems engineering, Kutina Fertilizer Factory, Bosanski Brod Oil Refinery, PACER, Josip Lončarić, Industroprojekt Zagreb

Marijan Andrašec, Žarko Prnić, Vilko Žiljak