

HIDROELEKTRANA KRALJEVAC 1912. U EUROPSKOM KONTEKSTU

T o n k o F a g a r a z z i

Slikoviti zemljopis Omiša i Cetine – koji sadrži niz putopisa nastalih uglavnom u 19. stoljeću – vodi dolinom i kanjonom rijeke Cetine od vodopada Velika Gubavica do ušća u Omišu.^{1,2} Ovaj rad se može smatrati nastavkom, jer je riječ o prvoj hidroelektrani na “nordijski veličanstvenoj” Cetini.

Kada je, nakon višegodišnje pripreme i gradnje, krajem 1912. dovršena elektrana na koncentriranom padu kod Zadvarja, to je bila prvorazredna senzacija. HE Kraljevac nije samo predstavljala jedno veliko hidraulično postrojenje (100.000 KS) nego je i obilježila jednu etapu razvoja europske elektrotehnike (generator 16.000 kVA, transformator 21.000 kVA). Izgrađena je u svrhu opskrbe električnom energijom tvornice kalcijeva karbida i kalcijeva cijanamida u Dugom Ratu, a također je omogućila elektrifikaciju Omiša (1914) i Splita (1927).

Ovdje su opisane okolnosti postanka ove jedinstvene velegradnje u kontekstu vremena i prostora, europskih središta i dalmatinske periferije, stranih i domaćih ekonomskih i političkih interesa. Ovo je također priča o tehničkom optimizmu koji je vladao početkom 20. stoljeća, odnosno o danas nepoznatim inženjerima, koji su zaslužni za realizaciju ovog velikog projekta. Jedino nisu zaboravljeni *Wasserkraftpionier* Ante Dešković i *Grossmeister der Elektrotechnik* Ottó Titusz Bláthy, koji su zbog svojih djela uspjeli proći kroz uska vrata vremena.

Budući da je pitanje racionalnog iskorištavanja vodnih snaga Cetine bilo predmet međunarodnih stručnih rasprava, na kraju je prikazan alternativni projekt znatno veće instalirane snage. Stavljanjem u pogon HE Zakučac (1961), HE Kraljevac je preostala sporedna energetska uloga, a danas predstavlja jedan od najljepših primjera hrvatske industrijske baštine.

KRALJEVSKA ELEKTRANA SRETNOG TRENUTKA

Kraljevac je hidroelektrana “povoljne prigode ili pravog trenutka” (*der günstigen Gelegenheit oder des rechten Augenblicks*).³ Na ovu definiciju Kairosa upućuju čudesne okolnosti njezina postanka. Građena je u doba (1908–1912) kada su bili ispunjeni svi uvjeti za izvedbu jednoga velikoga elektroenergetskog sustava. Hidroelektrana je stavljena u pogon 1913, a pripadna tvornica kalcijeva karbida i kalcijeva cijanamida u Dugom Ratu je počela s proizvodnjom 1914. To je bilo u zadnji čas, jer bi realizacija tako zahtjevnog projekta tijekom Prvoga svjetskog rata bila doslovno nemoguća. Premda su u ovom pothvatu sudjelovale sve tehničke grane, u ovom radu je uglavnom riječ o elektrotehnici, koja je do tada ne samo prebrodila sve dječje bolesti nego i potpuno sazrela. Za postanak HE Kraljevac bilo je presudno nekoliko faktora:

Prvo, inženjer Ante Dešković (1856–1932), rođen u Pučišćima na Braču, koji je studirao agronomiju u Montpellieru. Nakon višegodišnjeg boravka u inozemstvu (Francuska, Belgija, Nizozemska) vratio se sredinom 1890-ih u Dalmaciju, gdje se počeo baviti istraživanjem rudnog blaga i otkrivanjem vodnih snaga. U svojoj domovini je slovio kao “čovik od svita”, a u europskim krugovima kao “pionir vodnih snaga”. Iz dalmatinske perspektive Dešković je bio čovjek ispred svog vremena: kao pobornik industrijalizacije posredovao je između razvijenih središta i rubnih zemalja Europe (Dalmacija, Bosna i Hercegovina, Crna Gora).

Drugo, tvrtka *Ganz & Co.* iz Budimpešte, jedna od vodećih elektrotehničkih industrija u Europi i svijetu, s kojom je Dešković imao višegodišnje partnerske odnose, a koja se već afirmirala u Dalmaciji.

Treće, društvo *Sufid* iz Trsta, osnovano s talijanskim kapitalom i po austrijskim propisima, koje je bilo ekonomski i politički motivirano da na istočnoj obali Jadrana investira u elektrokemijsku industriju, a koje je već na veliko poslovalo u Šibeniku.

Četvrto, razvoj proizvodnje kalcijeva cijanamida, jer samo kalcijev karbid ne bi bio dovoljan da omiška investicija bude rentabilna.

Kada je društvo *Sufid* od bečkog društva *Wasserwerke Almissa Koller & Golwig* preuzelo koncesiju za iskorištavanje vodne snage Cetine kod Zadvarja (protok 25 m³/s, pad 87 m) projekt je preinačen. To je omogućilo veće i racionalnije iskoristivo postrojenje, ali je ishodenje proširene koncesije (protok 75 m³/s, pad 110 m) dugo bilo neizvjesno. Vodograđevni dio elektrane je odmah izveden za konačnu veličinu izgradnje (100.000 KS).

Tvrtka *Ganz & Co.* u Budimpešti, koja je stekla bogato iskustvo u gradnji elektroenergetskih postrojenja, do tada je usavršila proizvodnju velikih strojeva (vodnih turbina, hidrogenatora, transformatora). U prvoj etapi izgradnje (1912) instalirana su dva agregata s turbinama snage 18.000 KS (protok turbine 15 m³/s, neto pad 107 m) i generatorima nazivne snage 16.000 kVA; to su tada bile granične snage strojeva.

U drugoj etapi izgradnje instalirana su još dva agregata (proizvedena 1926, postavljena 1932) s turbinama snage 30.500 KS (25 m³/s) i generatorima nazivne snage 26.000 kVA.

Trofazni elektroenergetski sustav 56.000 V Kraljevac–Dugi Rat je definiran u skladu s načelima o prijenosu snage na veliku udaljenost pomoću visokog napona (1891), što znači primjenu transformatora za povišenje i sniženje napona. U tom smislu je omiški sustav bolje zamišljen nego neki drugi veliki sustavi, koji su u to doba također građeni za opskrbu elektrokemijske industrije.

Postojala su i neka sporna pitanja. Prvo, domaći ili strani kapital? Na dalmatinski kapital se nije moglo računati, a austrijski kapital nije bio dovoljno zainteresiran za velike investicije u elektrokemijsku industriju. Preostao je jedino strani, talijanski kapital, jer je tada već funkcioniralo međunarodno tržište kapitala. Tek kada se u Beču počela planirati željeznica na električni pogon, postalo je jasno da Austro-Ugarska Monarhija više ne raspolaze s najboljim dijelom vodnih snaga Dalmacije. Pored kompliciranih političkih odnosa između istočne i zapadne obale Jadrana – kako prije tako i poslije Prvoga svjetskog rata – talijansko društvo *Sufid* se iskazalo kao investitor velikog “tehničkog stila” (*technological style*) za razliku od njegovog sljednika, francuskog društva *La Dalmatienne*, koje nije ispunilo svoje obveze preuzete ugovorom iz 1929.

Drugo, HE Kraljevac ili HE Zakućac? Početkom 20. stoljeća projekt HE Kraljevac je bio predmet međunarodnih rasprava, iako tada nisu postojali realni uvjeti za izgradnju alternativnoga, znatno većeg objekta. Poslije Drugoga svjetskog rata, u sasvim novim okolnostima, to dugogodišnje sporno pitanje postalo je glavni poticaj za cjelovito energetske korištenje rijeke Cetine. Hidroelektrana u Zakuću kod Omiša stavljena je u pogon 1961.

Međutim, HE Kraljevac je kroz prvih skoro 50 godina – kao jedina hidroelektrana na Cetini i za vrijeme relativno malog porasta konzuma – uspješno obavila svoju pogonsku zadaću. Stoga ovo 100 godina staro postrojenje ne zaslužuje status slučaja nego pohvalu zbog svojevremenoga tehničkog značaja, “genijalne dispozicije i upravo monumentalne izvedbe”.

Ovaj rad je rekonstrukcija događaja u kojoj se nastoji pojave ne samo opisati nego i objasniti. Sadrži niz do sada nepoznatih situacija i detalja; stvar je u pojednostima, a najpouzdaniji izvori podataka su elektrotehnički časopisi. Tako je smišljena jedna zanimljiva priča, koja će biti objavljena u dva dijela.

Godina 1912. simbolizira početak modernog Omiša: napisana je na turbinama u HE Kraljevac, kao i na keramičkim pločicama u općinskoj zgradi na Fošalu
(foto: Vlade Zemunik)



ÖSTERREICHISCHER ORIENT-VEREIN IN WIEN

I. Dorotheergasse Nr. 12.



**La Dalmatie comme
point d'appui pour
l'industrie autrichienne d'exportation.**

Conférence faite a Vienne

par

Monsieur ANTE DEŠKOVIĆ

Ingénieur agricole

Membre de l'Oesterreichischer Orient-Verein et de la Société pour améliorer
les conditions économiques de la Dalmatie

le 30 Mai 1904.



Verlag des Österreichischen Orient-Vereines in Wien.

Druck der Gesellschaft für graphische Industrie, Wien VI.

ANTE DEŠKOVIĆ, OMIŠ KAO UPORIŠTE IZVOZNE INDUSTRIJE, 1904.

“Austrija ima sreću da već stotinu godina posjeduje zemlju koja je, zahvaljujući svojem povoljnom zemljopisnom položaju, oduvijek djelovala kao posrednik između Istoka i Zapada.” (*L'Autriche a la bonne fortune de posséder depuis cent ans un pays qui, par sa situation géographique si avantageuse, a servi de tout temps d'intermédiaire entre l'Orient et l'Occident.*)

Ovo su riječi iz predavanja *Dalmacija kao uporište austrijske izvozne industrije* (*La Dalmatie comme point d'appui pour l'industrie autrichienne d'exportation*), koje je inženjer poljoprivrede (*ingénieur agricole*) Ante Dešković održao 30. svibnja 1904. u Trgovačkoj komori u Beču.¹ Predavanje je organiziralo Austrijsko istočno društvo (*Österreichischer Orient-Verein*), koje je osnovano prije dva mjeseca s ciljem “poboljšanja i razvitka gospodarskih i trgovačkih odnosa između Austrije i zemalja Balkana”. Dešković je tom prigodom zagovarao industrijski razvoj Dalmacije ukazujući na njezine komparativne prednosti, a posebno na mogućnost izgradnje velike hidroelektrane na Cetini.

Dešković je opisao zaostajanje austrijske industrijske proizvodnje zbog nepovoljnih energetske i transportnih uvjeta: tvornice koriste skupi ugljen i smještene su daleko od velikih luka (Trst, Rijeka, Hamburg). Stoga je prijeko potrebno izmijeniti proizvodne osnove u nizu velikih tvornica, te neke potpuno nove industrijske grane podići na morskoj obali, u Dalmaciji. Engleske tvornice, koje svojim proizvodima snabdijevaju cijeli svijet, nalaze se u blizini velikih luka i skladišta ugljena. Njemačke tvornice su smještene po uzoru na engleske pored morskih luka ili plovnih rijeka, ali su u prednosti zbog niže cijene ugljena i manjih troškova radne snage. Francuska je svoje nepovoljno stanje popravila izgradnjom hidroelektrana u Alpama i Pirenejima čim su “eksperimenti iz Lauffena i Creila pokazali da je moguć prijenos snage pomoću elektriciteta” (*les expériences de Lauffen et de Creil eurent prouvé qu'il était possible de faire des transports de force par l'électricité*). Do industrijskog procvata Italije došlo je također korištenjem vodnih snaga i proizvodnjom električne energije po prihvatljivoj cijeni. Njezina industrija više ne zavisi o skupom ugljenu uvezenom iz Engleske, jer su u većini tvornica pogonski parni strojevi nadomješteni električnim strojevima. Tako je Italija u kratkom vremenu postigla divovski industrijski i trgovački napredak i postala ozbiljni konkurent Austriji.

Budući da su se prve hidroelektrane (Paderno, Tornavento, Adda, Vizzola) pokazale pouzdane u pogonu, uslijedila je elektrifikacija većih gradova što je radikalno promijenilo stanje u industriji Lombardije. Italija je iskoristila krizu koja je u Njemačkoj počela prije četiri godine, te je pokupovala gotovo sve dionice prvih električnih postrojenja, koje su u Italiji prije šest ili osam godina izgradile njemačke tvrtke. U Italiji je vrlo razvijena elektrokemijska industrija; poznata je tvornica u Terniju, koja godišnje proizvodi 17.000 tona vrlo traženog kalcijeva karbida. Vodne snage u

Alpama omogućit će industrijski razvitak na području Venecije i Udina. “Venecija, kraljica Jadrana, za koju se vjerovalo da je zauvijek utonula u san”, sada se budi kao velika izvozna luka, jer posjeduje električnu snagu od 10.000 KS, koja se prenosi iz hidroelektrane udaljene 88 km. Ovaj kolosalni pothvat u cijelosti je financirala mletačka aristokracija, a već su osmišljeni i drugi projekti (20.000 do 30.000 KS). Osim toga, divljenja je vrijedna sklonost tehničkim znanostima talijanske mladeži iz svih društvenih slojeva.

Dalmacija ima mnoge prednosti (bogato zaleđe, prostrane i sigurne luke, umjerenu i ugodnu klimu, sposobno stanovništvo), ali je nepoznavanje njezinih prirodnih bogatstava dovelo do pogrešne pretpostavke da je to siromašna zemlja. Dalmacija ima naslage ugljena, koje se naveliko iskorištavaju: rudnici u Siveriću i Velušiću u punom su pogonu i izvoze značajne količine ugljena. Dalmacija ima obilje vodnih snaga i to nadomak luka u Šibeniku i Omišu. Rijeka Krka može dati najmanje 26.000 KS, a prosječno 46.000 KS. Jedno je društvo koristeći dio te snage već sagradilo elektranu od 7000 KS, a sada to isto društvo na jednome drugom vodopadu gradi elektranu od 24.000 KS.

Rijeka Cetina, koja utječe u more kod Omiša, ima protok i pad koji “jamče najmanje 32.000 KS, a prosječno više od 70.000 KS” (*assurent un minimum de 32.000 chevaux de force avec une moyenne de plus de 70.000*). Uskoro će početi korištenje njezinih vodnih snaga. Talijanski profesori Paladini, Salmoiraghi i Mina iz Milana, te Belgijanac Macquet (*le belge Macquet*) detaljno su proučili vodne snage Cetine. Zaključak njihovog izvješća objavljenog u Bruxellesu glasi:

“Došli smo do uvjerenja da niti jedan nama poznati lokalitet – ni Terni ni Tornavento ni Paderno u Italiji, ni Bellegarde ni Schaffhausen na Rajni – ne predstavlja skup geoloških i hidroloških uvjeta koji su tako povoljni kao oni u dolini Cetine za izgradnju velikoga hidroenergetskog postrojenja.” (*Nous sommes arrivés à la persuasion que nulle localité qui soit à notre connaissance, ni Terni ni Tornavento ni Paderno en Italie, ni Bellegarde ni Schaffouse sur la Rhin, ne représentent un ensemble de conditions géologiques et hydrauliques qui soient si favorables que celles de la vallée de la Cetina pour la création d'une grande force motrice hydraulique.*)

Znači da nije ispravno mišljenje da ničega nema u Dalmaciji, kaže Dešković. Kao što Venecija ima sjajnu budućnost zahvaljujući vodnim snagama u Alpama, tako ni Dalmacija nije u lošijem položaju. Austrijski kapitalisti i industrijalci mogu se uvjeriti da su troškovi izgradnje hidroelektrana u Dalmaciji daleko niži nego u Veneciji. Prednost Dalmacije je da se tvornice na električni pogon mogu izgraditi u samim lučkim gradovima (Šibenik, Split, Omiš), što bi olakšalo dopremu sirovina i otpremu gotovih roba u prekomorske zemlje. Velika tvornica kalcijevog karbida u Šibeniku, koju je osnovala tvrtka iz Ternija, upravo tako posluje.

Dešković je ukazao na gospodarski i strateški značaj Dalmacije, koja je *raison d'être* Austrije kao pomorske sile. Premda je Dalmaciji nebo oduvijek bilo naklono, sada se nalazi u velikoj gospodarskoj krizi, umjesto da sama podmiruje svoje potrebe. Postoji niz gospodarskih pitanja: prometna izoliranost od Europe (željeznica), napad filokse na vinovu lozu, povlašteni uvoz talijanskih vina (vinska klauzula), konkurencija uvoznoga maslinovog ulja, neobrađena polja i zapušteni vinogradi, nedostatak kvalificiranih radnika i masovno iseljavanje u prekomorske zemlje. Dobre vijesti dolaze jedino iz Šibenika, ali tu se ne radi o austrijskom nego o talijanskom i njemačkom kapitalu.

O ovom predavanju izvijestile su jedne istarske novine: “Gospodin Dešković, simpatična pojava i osjećajan Dalmatinac (*Herr Descovich, eine sympathische Erscheinung und warmherziger Dalmatiner*), održao je svoje predavanje na francuskom jeziku i znao je svojom solidnom, temperamentnom izvedbom brojni, odabrani auditorij – u kojem su se također nalazili predstavnici ministarstava i dalmatinski zastupnici – do završetka jednosatnog izlaganja držati u napetosti i osvojiti uz živahno odobravanje.”² Nakon što je opisao stanje u razvijenim europskim zemljama, *von* Dešković je zaključio da se Austrija mora suprostaviti konkurenciji. Njegovi podaci pokazuju da postoje svi preduvjeti za uspješni industrijski razvoj Dalmacije. Ali, austrijskim industrijalcima do danas nije palo na um da bi duž obale Jadrana mogli ploviti ne samo kao turisti nego i kao istraživači. Deškovićeva poruka glasi: Austrija mora na more, u Istru i Dalmaciju! Bilo je to više od zanimljivog predavanja, bio je to apel na “gornjih deset tisuća” da se ugledaju u primjer engleskoga i talijanskog plemstva.

“Naš marljivi i zauzetni zemljak gosp. Antun Dešković”, piše zadarski *Narodni list*, održao je “predavanje od velike znamenitosti, u koliko je predavač svoje izvode osnovao na samim činjenicama”.³ Prenesen je sadržaj predavanja i Deškovićeve završne riječi: “Vi ste bez sumnje sa zadovoljstvom čuli za razvitak Šibenika u zadnje vrijeme. Ali to zadovoljstvo pretvorit će se u zabrinutost, kad doznate, da se nad tim tvornicama viju tuđe zastave, talijanska na velikoj tvornici hidroelektričnoj, talijanska i njemačka na spremištima ugljena, a njemačka nad velikim izvoznim skladištima drvla. Ako želite vidjeti i zastavu austrijsku, treba da se okrenete prama staroj i slavnoj fregati ‘Schwarzenberg’, koja je usidrena u luci, te služi i danas kô kasarna našim vrijednim mornarima!” Slijedi komentar *Narodnog lista*: “U kontrastu ove slike prikazuje se, kô u fotografiji, austrijska uprava Dalmacije.”



Vodopad Velika Gubavica kod Zadvarja, 1984. (foto: Tonko Fagarazzi)

WALTER CONRAD, CETINA KAO EUROPSKA TEMA, 1908.

Otkrivanje vodnih snaga krajem 19. stoljeća smatralo se gospodarskim pothvatom, koji je sličan istraživanju rudnog blaga.¹ To je bio “uglavnom špekulativni posao” (*vorwiegend spekulatives Geschäft*), jer je trgovina s dobivenim koncesijama obećavala brzu i dobru zaradu. U to doba nije bilo lako odrediti ekonomsku vrijednost pojedinoga vodnog pada, a uskoro se pokazalo da su investitori vrlo oprezni pri ulaganju tako velikog kapitala.

U početku nije bila isplativa gradnja velikih hidroelektrana, jer je potražnja električne energije za rasvjetu, obrt i industriju bila nedovoljna. Pojavom elektrokemijske industrije, koja je trebala električnu energiju po povoljnoj cijeni, grade se elektrane sve većih instaliranih snaga. Međutim, pri realizaciji nekog projekta javljale su se brojne prepreke; između ostaloga i zato jer nije postojao odgovarajući zakon o vodnom pravu (*Wasserrechtsgesetz*). Pri izradi osnovnih rješenja hidroelektrana težilo se što manjim investicijama, pa se izbjegavaju duge derivacije i ne predviđaju se akumulacije u svrhu izravnjanja protoka.

Premda je najava svakoga novog projekta u javnosti budila velika očekivanja, postojala je bojazan da će izručenje vodnih snaga privatnom kapitalu štetiti općim interesima. O racionalnom korištenju vodnih snaga počelo se razmišljati tek kada je na red došla elektrifikacija željeznica. Budući da su prednosti električnog pogona u odnosu na parni pogon bile ekonomske i strateške, gradnjom hidroelektrana počeo je “bijeli ugljen” (*weisse Kohle*) potiskivati crni ugljen (*schwarze Kohle*). Početkom 20. stoljeća je gradnja velikih elektroenergetskih sustava – udaljenih elektrana (*Überlandzentrale*) i vodova za prijenos snage (*Kraftübertragung*) – spadala u najvažnija tehnička i financijska pitanja.

Walter Conrad je svoje predavanje *Izbor i izgradnja alpskih hidroelektrana u svrhu električnog pogona željeznice normalnog kolosjeka* (*Die Auswahl und der Ausbau alpiner Wasserkräfte zum Zweck des elektrischen Vollbahnbetriebes*) održao u Beču dvaput: 18. siječnja 1908. u Društvu austrijskih inženjera i arhitekata² i 24. siječnja 1908. u Elektrotehničkom društvu.³ Opsežna hidrografska i geološka istraživanja austrijskih alpskih područja, koja su sprovedena akcijom Uprave državnih željeznica, omogućila su uvid u stvarno stanje vodnih snaga, kao i njihovu rezervaciju za električni pogon željeznice. Uspostavom boljeg nadzora spriječit će se nerazumna i štetna eksploatacija (*Raubbau*) to jest parcijalna izgradnja izdvajanjem najunosnijeg dijela ukupnog pada.

Conrad je svoje izlaganje ovako ilustrirao: “Jedan osobito žalostan primjer za to pruža vodna snaga Cetine kod Omiša u Dalmaciji – najveća vodna snaga Sredozemlja, možda najljepši južnoeuropski padovi uopće – koja je davanjem djelomične koncesije teško oštećena.” (*Ein besonders trauriges Beispiel dafür bietet die Cetina-Wasserkraft bei Almissa in Dalmatien dar, die mächtigste Wasserkraft des*

Mittelmeeres, vielleicht die schönste der südeuropäischen Gefällsstufen überhaupt, die durch Teilkonzessionierung schwer geschädigt wurde.) Od tada se u stručnoj literaturi navodi “slučaj Omiš” (*der Fall Almissa*) kao školski primjer jednoga neracionalnog projekta.⁴

Projekti potječu još iz 1880-ih godina, piše Conrad, ali to ne pojašnjava.³ Godine 1897. tvrtka *Schuckert & Co.* je obradila padove Cetine; “nakon toga je po narudžbi jednoga belgijskog društva istraživao Macquet, koji je obradio pet varijanti i odlučio se za odvajanje čitavog zavoja između Čulićeve mlinice i mjesta Zakućac, koje se nalazi 1 km iza Omiša” (*nachher wurde es im Auftrag einer belgischen Gesellschaft von Macquet untersucht, welcher fünf Varianten behandelte und sich für die Abschneidung der ganzen Schleife zwischen der Mühle Culic und der 1 km hinter Almissa gelegenen Ortschaft Zakucac entschied*).

“Na taj način bi se dobio pomoću tunela od samo 8,2 km duljine neto pad od 224 m, što pri normalnom malom protoku od 35 m³/s odgovara konstantnoj godišnjoj snazi od 80.000 KS.” (*Dadurch hätte man vermittle eines Stollens von nur 8,2 km Länge ein Nettogefälle von 224 m gewonnen, was bei einer Normalniederwasserführung von 35 m³ einer Kraftleistung von 80.000 konstanten Jahrespferden entspricht*). Prema Macquetovoj procjeni ti troškovi iznose 192 franka po efektivnoj konjskoj snazi na turbini (*pro effektives Turbinenpferd*).“

Kada je Conrad radio svoju energetske-ekonomsku analizu raspolagao s 14-godišnjim podacima o protocima Cetine kod Trilja, gdje se vodostaj redovito mjeri od 1894. Na uzdužnom profilu Cetine od Trilja do Omiša prikazao je tri projekta i za svaki projekt naveo je konstantnu godišnju snagu pri malom protoku od 35 m³/s, kao i konstantnu 9-mjesečnu snagu pri srednjem protoku od 63 m³/s.

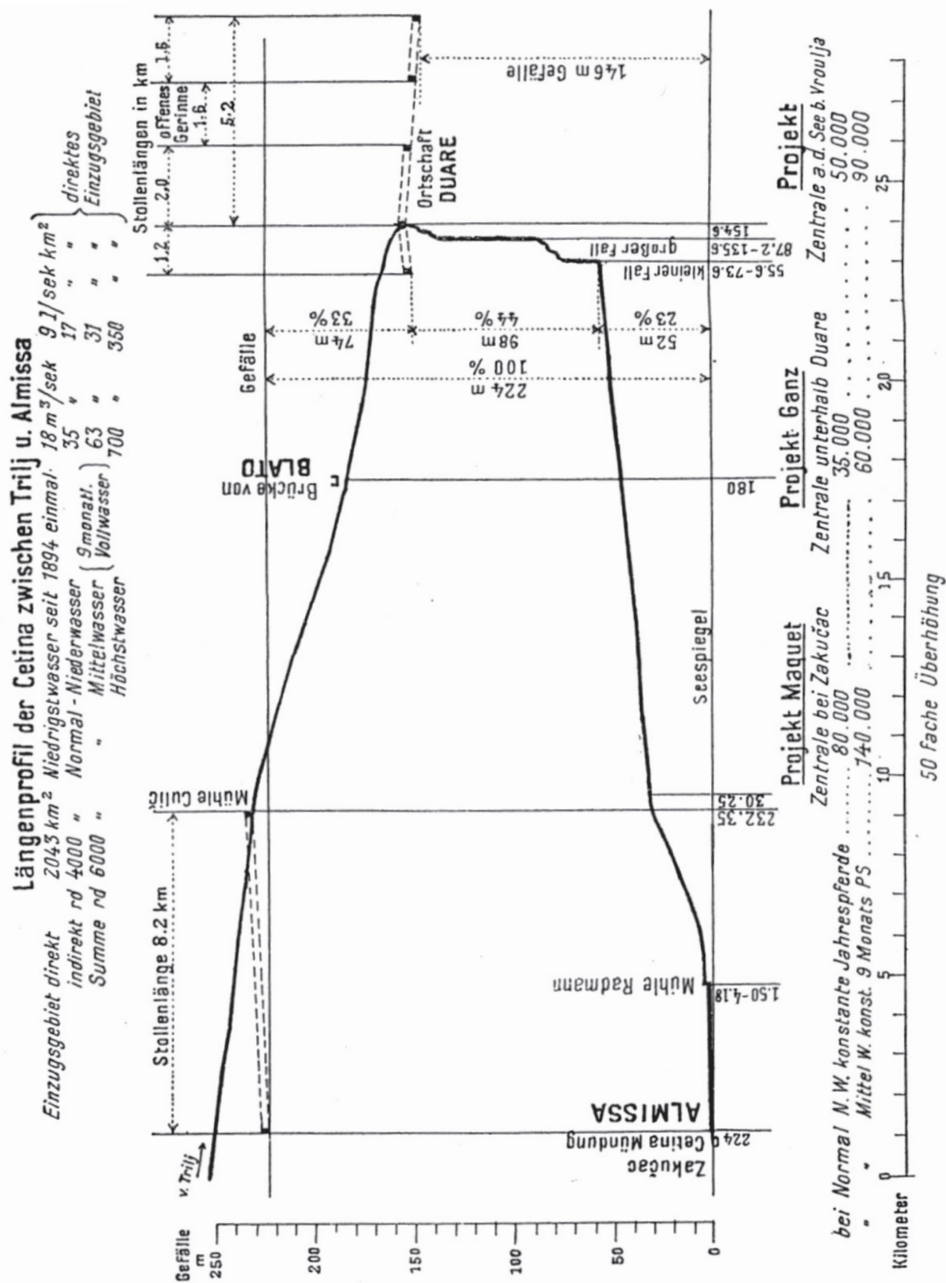
HE Kraljevac (*Projekt Ganz, Zentrale unterhalb Duare*):
neto pad 98 m, snaga 35.000 KS / 60.000 KS.

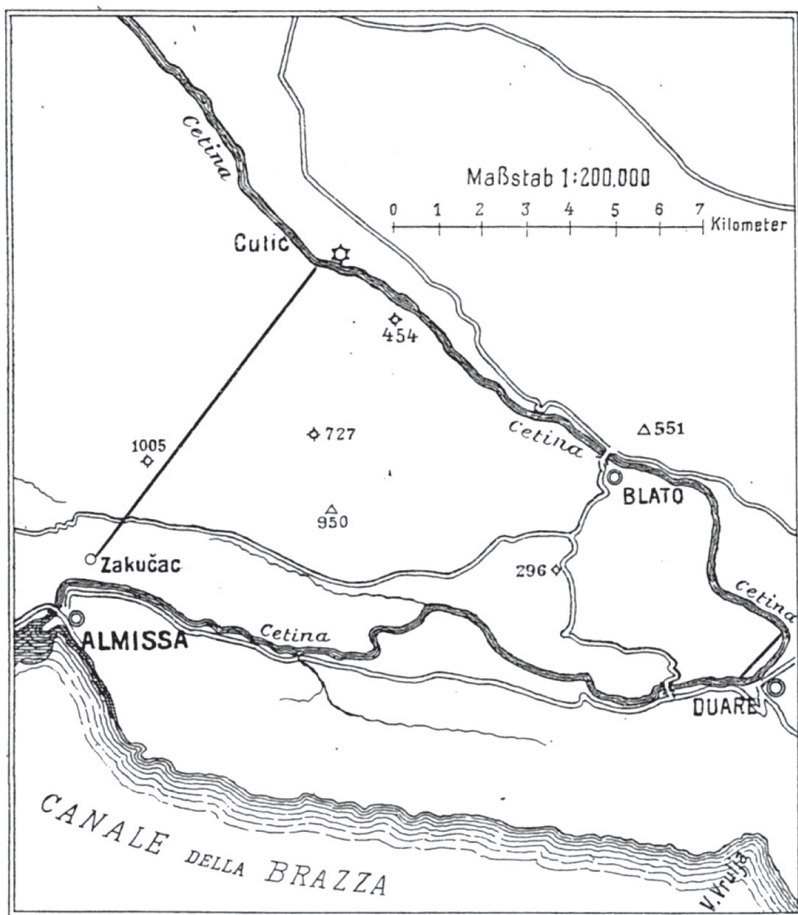
HE Vrulja (*Projekt Zentrale a. d. See b. Vrulja*):
neto pad 146 m, snaga 50.000 KS / 90.000 KS.

HE Zakućac (*Projekt Macquet, Zentrale bei Zakućac*):
neto pad 224 m, snaga 80.000 KS / 140.000 KS.

Prema Conradovom proračunu, za HE Zakućac specifične investicije do osovine turbine iznose 220 kruna/KS odnosno za čitavo postrojenje najviše 270 kruna/KS. “I ta cijena vrijedi za jedno mjesto naše austrijske obale udaljeno 20 km od glavnoga grada pokrajine!” Conrad zaključuje: “Kao što vidite, ovdje je riječ o vodnoj snazi koja je upravo nordijski veličanstvena.” (*Wie sie sehen, liegt hier eine Wasserkraft von geradezu nordischer Grossartigkeit vor*.)

“Usprkos tome da su te brojke bile poznate svim sudionicima, prije nekoliko godina je dana koncesija za iskorištavanje najboljeg dijela pada, na kojem su troškovi po konjskoj snazi stvarno još nešto niži, ali je zato uništena mogućnost povoljnije





Crtež donjeg toka Cetine s trasom tunela za HE Zakućac, 1908.

cjelovite izgradnje. Sada se prema projektu tvrtke *Ganz & Co.* gradi elektrana, koja iskorištava samo pad od 98 m kod Zadvarja. Time je za vrijeme trajanja koncesije izgubljena mogućnost jedinstveno jeftine izgradnje više od 40.000 KS. Osim toga, elektrana je prešla u inozemno vlasništvo, tako da je vrlo upitno može li se iz strateških razloga opće angažirati za opskrbu željeznica.”

Ovdje se radi o “gubitku, koji teško pogađa kako državu, tako i siromašnu pokrajinu Dalmaciju”, piše u jednom izvješću o Conradovom predavanju.⁵ Akcijom Uprave državnih željeznica, koja je najveći potrošač u javnom sektoru, takvi događaji će biti onemogućeni. O predavanju Waltera Conrada bila je informirana i hrvatska stručna javnost.⁶ Izradom posebnog katastra alpskih vodnih snaga odnosno novim zakonskim odredbama “preprečit će se ne ekonomično izrabljivanje (...) kao što se

žalibože u Dalmaciji već pojavilo (...) i to s razloga, što je takva uporaba dotičnomu konzorciju pružila najveću korist”.

U jednome drugom predavanju, održanom dvije godine kasnije (1910), Walter Conrad je bio manje optimističan: iskorištavanje alpskih vodnih snaga postat će rentabilno tek kod osjetnog povišenja cijena ugljena, pa za sada dolazi u obzir isključivo za potrebe elektrokemijske industrije.¹ Kod najisplativijih neiskorištenih padova u Austriji specifične investicije za čitavu elektranu iznose još uvijek 400 kruna/KS, dok se u Dalmaciji to može izvesti za 300 kruna/KS, a u Norveškoj za 200 kruna/KS. Nažalost, austrijski industrijski kapital nije zainteresiran za investiranje u hidroelektrane, jer se na drugim poslovima može bolje zaraditi.

Walter Conrad (1872–1918) je rođen u Reichenau, a strojarstvo je diplomirao na Tehničkoj visokoj školi u Beču (1896).⁷ Kada je 1902. postao tehnički direktor *Bosanskoga električnog dioničkog društva* (*Bosnische Elektrizitäts-Aktiengesellschaft*), koje je u Jajcu podiglo hidroelektranu i tvornicu karbida, počeo se baviti hidroenergetskim i elektrokemijskim postrojenjima. Potom je Conrad stekao naslov doktora znanosti i otvorio vlastiti tehnički ured. Sustavnim proučavanjem vodnih snaga austrijskih Alpa stvorio je preduvjete za uvođenje električnog pogona na željeznici. Ali Conradove “nade u brzu izgradnju alpskih hidroelektrana nisu se ispunile”, konstatirano je povodom njegove prerane smrti (umro je 21. siječnja 1918).

Zivilingenieur Theodor Schenkel (1860–1927) je rođen u Lokavcima (Štajerska). U početku je projektirao i gradio razne objekte, a od 1903. je zaposlen na Tehničkoj visokoj školi u Grazu. Baveći se hidroenergetskim i vodoopskrbnim postrojenjima postao je ekspert za vodogradnje.⁸ Nakon višegodišnjeg proučavanja nadzemnih i podzemnih vodotokova planinskih krajeva Austro-Ugarske Monarhije (od Austrije i Slovenije preko Like i Dalmacije do Bosne i Hercegovine) objavio je svoje životno djelo *Kraška područja i njihove vodne snage* (*Karstgebiete und ihre Wasserkräfte*, 1912).⁹ Budući da je do tada ova materija bila u literaturi oskudno obrađena, u djelu su pregledno prikazane brojne studije i projekti sa stepeničastim korištenjem vodnih snaga. Smiono zamišljene hidroelektrane s dugačkim kraškim tunelima korisno su poslužile svim budućim investitorima i projektantima.

“Bitnu sanaciju za narodno gospodarstvo ne osobito povoljnog stanja u donjem toku Cetine omogućio bi mnogostruko raspravljani Macquetov projekt”, piše Schenkel. Njegovi podaci se malo razlikuju od Conradovih: na korisnom (neto) padu od 217 m dobila bi se srednja godišnja snaga od 74.000 KS. Budući da u smjeru Omiša treba probiti tunnel duljine 8,5 km, jedini donekle opravdani prigovor tom projektu proizlazi iz geoloških svojstava planine Mosor.

Schenkel naglašava da dosada dodijeljene koncesije ili izgrađene elektrane na Krki i Cetini “nikako nisu bile u skladu sa strogim vodoprivrednim načelima” (*durc-haus nicht streng wasserwirtschaftlichen Grundsätzen entsprochen haben*). “Za ovim

jasno izraženim štetnim iskorištavanjima posegnula su manje domaća, a više inozemna društva – dijelom bolje, a dijelom lošije skrivena iza posrednika – što sada za najmanje dvije do tri generacije donekle spriječava punovrijedno iskorištavanje tih rijeka za dobrobit čitave države.” (*Zu diesem deutlich ausgesprochenen Raubbaue greifen weniger einheimische, mehr aber ausländische Gesellschaften, teils besser, teils schlechter durch Strohmänner gedeckt, die nun für mindestens 2 bis 3 Generationen eine vollwertige Ausnützung dieser Flüsse zum Wohle des Staatsganzen einigermaßen behindern.*) Na taj način je izgubljen znatan dio dalmatinske imovine, a to stanje bi moglo bitno potpomoći strane aspiracije prema istočnoj obali Jadrana, zaključuje Schenkel.

Adolf Ludin (1879–1968) je rođen u Karlsruheu; građevinarstvo je diplomirao 1904, stekao je doktorat 1909. i postao je profesor vodogradnje na Tehničkoj visokoj školi u Berlinu 1923.¹⁰ Kao renomirani stručnjak sudjelovao je u projektiranju nekih naših hidroenergetskih objekata (HE Senj,¹¹ HE Jablanica¹²). Ludin se proslavio kada je objavio knjigu *Vodne snage, njihova izgradnja i njihovo ekonomično iskorištavanje* (*Die Wasserkräfte, ihr Ausbau und ihre wirtschaftliche Ausnutzung*, 1913).¹³ U tom sadržajnom djelu su sabrana najnovija teoretska i praktična iskustva, te kritički razmotrene brojne izvedene hidroelektrane.

Ludin je potpuno preuzeo Conradove ocjene o iskorištavanju Cetine, koja predstavlja “jedan osobito istaknuti slučaj” (*ein besonders hervorstechende Fall*). Dugogodišnje temeljite studije vodnih snaga Cetine su dokazale da je moguće kod Omiša, zračno udaljenog 9 km od mjesta zahvata vode, na prirodnom (bruto) padu od 230 m, pri malom protoku postići snagu od 80.000 KS, uz specifičnu investiciju “do osovine turbine” (*bis zur Turbinenwelle*) od 220 kruna/KS, i to nedaleko “jednoga trgovačkog središta poput Trsta”. Usprkos tim vrlo povoljnim izgledima, privatni kapital se ograničio na relativno mnogo bogatiji i stoga za izvedbu jeftiniji pad kod Zadvarja (oko 100 m), gdje se sada dovršava elektrana od 35.000 KS minimalne snage (*Mindestleistung*). Tako je praktički na duže vrijeme posve onemogućeno korištenje preostale vodne snage od 45.000 KS.

U ovom radu su uvijek citirani izvorni podaci o pojedinim snagama. Premda je bio uveden kW (kilovat) kao opća mjerna jedinica za snagu, zadržala se KS (konjska snaga) kao jedinica za mehaničku snagu, jer se vjerojatno smatralo da je kW električna jedinica.¹⁴ Kada je 1913. u Njemačkoj službeno preporučena upotreba kW, industrija je u toj promjeni vidjela nejasnoću koja će otežati prodaju strojeva u inozemstvu.¹⁵ Stoga je dugo bio običaj pisati kilovat pored konjske snage. U Europi se jedinice za snagu preračunavaju prema izrazu $1 \text{ KS} = 0,735 \text{ kW}$.

PAUL ZIGERLI, HIDROELEKTRANA 100.000 KS, 1908–1912.

Kada se oko Prvoga svjetskog rata u stručnim časopisima pisalo o HE Kraljevac, redovito se isticao podatak o 100.000 KS, što se odnosilo na ukupnu snagu hidrauličnog postrojenja. Tako je postupio i inženjer Paul Zigerli iz Züricha, rukovoditelj građevinskih radova na toj elektrani, koji je svoj članak naslovio *Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Gubavica in Duare, Dalmatien* i objavio u časopisu *Schweizerische Bauzeitung* u srpnju 1920.¹

Zigerli je hidroelektranu kod Zadvarja nazvao Gubavica. Isti naziv je naveden u dvije međuratne službene publikacije: u popisu elektrana iz 1925.² i u statistici elektrana iz 1932.³ Otvoreno je pitanje zašto se ova hidroelektrana stvarno naziva po obližnjem potoku umjesto po veličanstvenom vodopadu iz kojeg crpi svoju snagu. Zigerli piše: “Kraljevac je jedan pritok Cetine, koji je zbog postrojenja odvodnog kanala morao biti premješten i ispravljen.” (*Der Kraljevac ist ein Zufluss der Cetina, der zwecks Anlage des Unterwasserkanals umgelegt und korrigiert werden musste.*)¹

Godine 1922. je u zagrebačkom *Tehničkom listu* objavljen kompletan prijevod Zigerlijevog članka pod naslovom *Hidroelektrična centrala Gubavica u Dalmaciji*.⁴ Nastojanjem Stjepana Szavitsa-Nossana (1894–1970), asistenta na Tehničkoj visokoj školi u Zagrebu, članak je opremljen izvornim ilustracijama, koje je ustupilo uredništvo švicarskog časopisa. Szavits-Nossan je diplomu građevinskog inženjera stekao na Tehničkoj visokoj školi u Zürichu (1917), a u Zagrebu je postao sveučilišni profesor (industrijska hidrotehnika, geomehanika, fundiranje).⁵

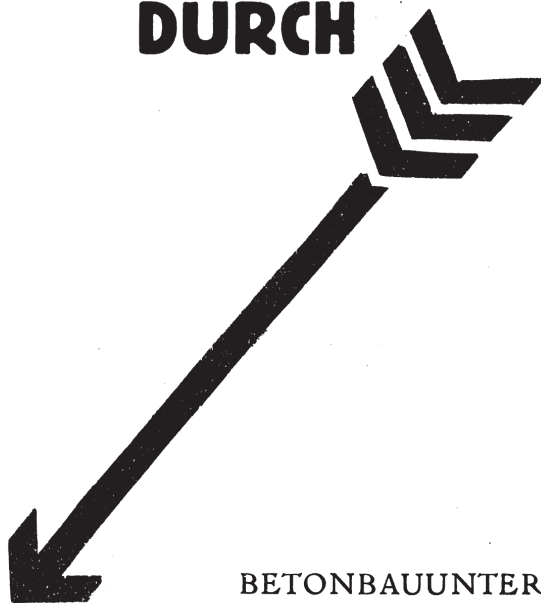
“Dalmacija je prirodnim ljepotama bogata, ali je u ostalom siromašna zemlja”, piše Zigerli.¹ Veći dio Dalmacije oskudijeva vodom, a nekoliko njezinih rijeka karakteriziraju “kratki tok, veliki padovi, vodopadi i često duboko usječeno, divlje romantično korito” (*kurzen Lauf, grosse Gefälle, Wasserfälle und oft tiefeingeschnittenes, wildromantisches Bett*). Rijeka Cetina, koja izvire na podnožju Dinarskoga gorja, teče kroz Sinjsko polje, kod Trilja ostavlja plodnu ravnicu i ulazi u klanac duljine 6 km i dubine 70–100 m, gdje tek kod Zadvarja tvori vodopade Velika Gubavica i Mala Gubavica, oštro zavija prema zapadu, protječe lijepom dolinom i ulijeva se kod Omiša u Jadransko more.

Prema svakodnevnim zapisima državnog Ureda za melioracije (*k. k. Meliorationsbureau*) na vodomjeru kod Trilja je kroz 14 godina (1894–1907) najmanji protok bio je malo ispod 25 m³/s, a srednji 80 m³/s; protok od 70 do 80 m³/s je prosječno 210 dana godišnje. Budući da je najveći izmjereni protok od 1000 do 1100 m³/s, pri projektiranju je uzeta u račun maksimalna visoka voda od 1200 m³/s. Za usporedbu je navedena rijeka Krka, gdje količina vode varira između 10 m³/s ljeti i 500 m³/s u kišno doba.

Zigerli piše da su neki “razboriti Dalmatinci” (*einsichtige Dalmatiner*), kao što su Ante Šupuk i Ante Dešković, pravodobno prepoznali vrijednost raspoloživih vod-

WASSERKRAFTANLAGE „GUBAVICA“ BEI ALMISSA (DALMATIEN)

**AUSGEFÜHRT
DURCH**



ING.

BETONBAUUNTERNEHMUNG

PAUL ZIGERLI

ZÜRICH

ZAGREB

SPALATO

[illegible]

WASSERKRAFTANLAGEN — SCHLÜSSELFERTIGE FABRIKSBAUTEN
— EISENBETONBAU — TUNNELBAU — FUNDIERUNGEN — SILOS —
LEITUNGSMASTE — HAFENBAU — PROJEKTE U. STAT. BERECHNUNGEN

nih snaga i pristupili njihovom iskorištavanju. "Njima pripada zasluga da su, zajedno s *Električnim dioničkim društvom Ganz & Co.* iz Budimpešte, svoju zemlju otvorili industriji, a time i blagostanju." (*Ihnen gebührt das Verdienst, im Verein mit der Elektrizitäts-A.-G. Ganz & Cie. in Budapest ihr Land der Industrie und damit dem Wohlstand erschlossen zu haben.*) Prvu veliku elektrokemijsku industriju u Dalmaciji izgradio je tršćanski *Sufid* na području Šibenika; u tu svrhu su na Krki podignute HE Jaruga (7000 KS) i HE Manojlovac (24.000 KS). HE Kraljevac na Cetini zasad ima snagu 36.000 KS, koja će vjerojatno uskoro porasti na 100.000 KS.

Zigler ne objašnjava okolnosti koje su dovele do preinake projekta HE Kraljevac. Ono što piše može se odnositi na građevinski i hidraulični dio elektrane: "Prvi detaljni projekt tog postrojenja sastavio je 1906. ing. Charles de Haller u Ženevi, a modificirao ga je kasniji glavni direktor tvrtke *Sufid* ing. E. Cairo. Taj zajednički definirani projekt izveden je od 1908. do 1912." (*Das erste eingehende Projekt für diese Anlage wurde 1906 von Ing. Charles de Haller in Genf verfasst und vom nachmaligen Generaldirektor der Sufid, Ing. E. Cairo modifiziert. Dieses gemeinsam festgelegte Projekt kam in den Jahren 1908/1912 zur Ausführung.*)

"Stvarna gradnja je započela u siječnju 1908. a dovršena je krajem 1912. Ako se odbije šestomjesečni zastoj u radu zbog poteškoća s koncesijom, onda je gradnja trajala četiri i pol godine." To je kratki rok za realizaciju tako zahtjevnog objekta, pogotovo uzimajući u obzir brojne nepovoljne okolnosti: velike teškoće pri transportu svih strojeva iz unutrašnjosti Austro-Ugarske do Zadvarja, teškoće pri nabavi nekih materijala (cement, željezo, dinamit, itd.), vrlo nepristupačno gradilište do kojeg je trebalo izvesti prilazne putove, kao i sama narav izvedenih vodogradnji. "Hidroelektrana se nalazi od godine 1913. u pogonu." (*Die Wasserkraftanlage steht seit dem Jahre 1913 im Betrieb.*)

"Proizvedena električna energija koristit će se u tvornici karbida i cijanamida kod Omiša, koja je sagrađena 1912/1913." Tijekom Prvoga svjetskog rata su odlukom Ministarstva rata (*k. u. k. Kriegsministerium*) proizvodne mogućnosti tvornice udvostručene. Taj posao je obavljen uz enormne poteškoće, jer su nedostajali potrebni materijali, a prije svega kvalificirana radna snaga. Transport strojeva, željeza, ugljena, živežnih namirnica itd. bio je moguć samo morem, koje je bilo opsjednuto neprijateljskim podmornicama. "Samo ulaganjem krajnjih napora i uz silne financijske žrtve bilo je moguće završiti glavne objekte." (*Nur mit Aufbietung äusserster Kraftanstrengung und gewaltigen finanziellen Opfern war es möglich, die Hauptobjekte zu vollenden.*)

Zigler je zorno prikazao čitavu građevinu, opisao pojedine faze građenja i naveo niz brojčanih podataka; na kraju je ukratko opisao električni dio postrojenja. U guduri širine 40 m i visine 70 m sagrađena je brana (*Wehr*) duljine 25 m i visine 18 m. Otvoreni dovodni kanal (*Oberwasserkanal*) duljine 194 m izveden je na lijevoj obali rijeke i ima mogućnost preljeva; nastavlja se na dovodni tunel (*Zuleitungstunnel*) duljine 1265 m, koji je usječen u vapnencu i obložen betonom. Na glavici iznad riječne

doline izgrađena je vodna komora (*Wasserschloss*), koja je predviđena za priključak četiri tlačna cjevovoda. Opisano hidraulično postrojenje je odmah izvedeno za ukupnu snagu od 100.000 KS.

Uprvojetapi su postavljena dvaparalelnačelična tlačna cjevovoda (*Druckleitung*), promjera 2300 mm i duljine oko 190 m, koja pri bruto padu od oko 110 m dovode vodu “u strojarnicu na Kraljevcu” (*in das Maschinenhaus am Kraljevac*). Strojarnica – duljine 44 m, širine 14 m i visine 13 m – građena je potpuno od armiranog betona. Betonski odvodni kanal (*Unterwasserkanal*) je duljine oko 400 m. Dijelovi tlačnih cjevovoda, kao i dijelovi turbina i generatora, dopremljeni su morem do Makarske i prevezeni državnom cestom do gradilišta.

Za smještaj stručnog osoblja podignuta je nedaleko strojarnice lijepa dvokatnica. Na podnožju velikog vodopada sagrađena je, uz velike teškoće, pomoćna hidroelektrana snage 175 KS, koja je četiri godine besprijekorno služila za pogon motora i rasvjetu gradilišta, ureda i stambenih prostora. Selo Zadvarje je opskrbljeno pitkom vodom, a jedan privatni mlin je dobio električni pogon. (Ta gradilišna elektrana je bila prvo električno postrojenje na omiškom području.)

Troškovi građenja hidrauličnog dijela HE Kraljevac izvedenog za 100.000 KS iznose 3,7 milijuna ili 37 kruna/KS; kupnja zemljišta i dodatni troškovi povisuju ove specifične troškove na 41 kruna/KS. Ukupni specifični troškovi HE Kraljevac u prvoj etapi (instalirana snaga 36.000 KS, dalekovod duljine 23 km, podstanica Dugi Rat), iznose 208 kruna/KS. Kada se u drugoj etapi instaliraju još dva agregata, odnosno ukupna snaga poraste na 100.000 KS, specifični troškovi će biti znatno niži. “Postrojenje se dakle može smatrati vrlo jeftinim”, zaključuje Zigerli. (Prema Conradovom proračunu specifični investicijski troškovi čitavog postrojenja HE Zakućac iznose 270 kruna/KS, dok za HE Kraljevac samo piše da su ti troškovi još nešto niži.⁶)

Sve građevinske radove na HE Kraljevac, kao i tvornici karbida u Dugom Ratu, izvelo je građevinsko poduzeće inženjera F. Bastianellija pod “vrhovnim vodstvom” (*Oberleitung*) inženjera P. Zigerlija. “Lokalno nadgledanje gradnje povjereno je građevinskom savjetniku u mirovini K. Čičinu.” (*Die örtliche Bauleitung lag in den Händen des Baurat i. R. C. Cicin.*) Hidrauličko-mehanički dio postrojenja isporučila je tvrtka *Ganz Danubius Eisengiesserei und Maschinenfabrik A. G.* iz Budimpešte, a električni dio tvrtka *Ganzschen Elektrizitäts A. G.* iz Budimpešte, “koje je njihov glavni inženjer H. Tenzer kompletno instalirao i stavio u pogon” (*von deren Oberingenieur H. Tenzer komplett installiert und in Betrieb gesetzt*).

Početkom Prvoga svjetskog rata, 3. listopada 1914. u Zürichu je zabilježen “posjet jednoga švicarskog inženjera, koji rukovodi gradnjom jedne veće hidroelektrane u Dalmaciji, a kojeg je njegovo društvo telegrafski pozvalo da prekinute radove opet nastavi”.⁷ Zigerli se vratio u Dalmaciju, gdje je tijekom rata radio na proširenju tvornice u Dugom Ratu; opsežni armiranobetonski radovi izvedeni su na osnovu njegovih vlastitih proračuna.¹

Nekrolog objavljen u časopisu *Schweizerische Bauzeitung* sadrži biografske podatke inženjera Paula Zigerlija (1883–1956).⁸ Rođen je u Bernu, izučio je za mjer-nika i diplomirao je na *Technikumu* u Burgdorfu (1906). Zaposlivši se u St. Gallenu sudjelovao je u gradnji jedne austrijske hidroelektrane (*Elektrizitätswerk Andelsbuch*, instalirane snage 4×2250 kVA, stavljena je u pogon 1908).⁹ To je bilo sudbonosno za mladog Zigerlija: “Ondje je upoznao talijanskog poduzetnika ing. F. Bastianellija. Stupivši u njegovu službu, od 1908. do 1912. gradio je hidroelektranu Gubavica kod Zadvarja u Dalmaciji, a zatim i pripadnu tvornicu kalcijeva karbida. Prekid radova uzrokovan političkim okolnostima iskoristio je za dopunjavanje svojeg obrazovanja na Tehničkoj visokoj školi u Münchenu. Godine 1914. je P. Zigerli osnovao samostalno poduzeće u Splitu; gradio je tvornice karbida, tvornice cementa i zgrade od armiranog betona te obavljao druge inženjerske poslove.”

Zbog poslijeratne devalvacije austrijskog novca Zigerli je pretrpio veliku poslovnu i financijsku štetu. Kada se vratio u Švicarsku i osnovao građevinsko poduzeće s podružnicama u Zagrebu i Splitu (*Betonbauunternehmung Ing. Paul Zigerli, Zürich–Zagreb–Spalato*) “hidroelektrana 100.000 KS Gubavica kod Omiša” je bila njegova glavna referenca.¹⁰ “Paul Zigerli je također postao cijenjen kao stručnjak za armirani beton.” (*Auch als Eisenbeton-Fachmann hat sich Paul Zigerli einen Namen gemacht.*)⁹ Osim toga, do kraja života se bavio pitanjima otpadnih voda i zaštite voda od onečišćenja.

Kada je 1913. počela gradnja prvoga omiškog vodovoda, stručni nadzor je povjeren Paulu Zigerliju.¹¹ Od izvora Sedra u Zakuću do spremnika u Smokvici položen je cjevovod duljine 2 km, a u gradu je izvedena vodovodna mreža duljine 1,6 km i postavljeno šest javnih česmi. Zigerli je 1913/1914. također projektirao i gradio veliku zgradu u omiškoj luci.¹² To je dvoetažna zgrada od armiranog betona duljine oko 70 m u kojoj je instalirana prva gradska transformatorska stanica 15.000/330 V; u istoj zgradi je smješten električni mlin, a bila je predviđena tvornica mreža, itd.

Zigerli se prvi u Austriji okušao u proizvodnji brodova od armiranog betona. U časopisu *Schweizerische Bauzeitung* objavljena je fotografija i osnovni podaci broda građenog za vrijeme rata u Dugom Ratu: duljina 17,5 m, širina 6 m, debljina školjke 8 cm, težina školjke 80 t (od čega željeza 10,5 t) i nosivost 150 t.¹³

CHARLES DE HALLER, ENRICO CAIRO, KARLO ČIČIN, IVAN VILIČIĆ

U kontekstu projektiranja HE Kraljevac navedena su dva inženjera: Charles de Haller (Ženeva) i E. Cairo (kasniji glavni direktor tvrtke *Sufid.*).¹

Charles de Haller (1869–1938) je bio rodom iz Berna; studirao je u Lausanni, gdje je stekao diplomu građevinskog inženjera (*ingénieur civil*).² Na početku se bavio problematikom željezničkih pruga (Carigrad–Solun, Martigny–Châtelard). Godine 1899. se zaposlio u jednom francusko-švicarskom društvu kao projektant hidroelektrana. Ubrzo je postao kapacitet na tom području, pa je 1906. u Ženevi otvorio vlastiti inženjerski ured (*bureau d'études*). Njegovi stručni radovi i savjeti su bili vrlo traženi (Francuska, Italija, Švicarska), a zapažena je njegova suradnja s profesorom vodogradnje Conradom Zschokkeom (1842–1918). Jedna rečenica u de Hallerovom nekrologu odnosi se na HE Kraljevac: “On je također bio pozvan da prouči korištenje stanovitoga vodnog pada na istočnoj obali Jadrana.” (*Il est appelé à faire des études pour la mise en valeur de certaines chutes d'eau sur a rive Est de l'Adriatique*).

Enrico Cairo se spominje 1904. kao “direktor službe vuče željeznice u Valtellini” (*directeur du service de traction des Chemins de fer de la Valteline*) u kontekstu nedavno elektrificirane alpske željezničke pruge Torino–Martigny (157 km).³ To je bila prva pruga na svijetu izvedena s visokonaponskim trofaznim sustavom (3000 V, 16⅔ Hz).⁴ Kompletno električno postrojenje uključujući pripadnu hidroelektranu je isporučila i izvela tvrtka *Ganz & Co.*

Uspješna suradnja s tvrtkom *Ganz & Co.* u Valtellini bila je Cairu najbolja preporuka za njegovo zaposlenje u Dalmaciji. Cairo se u rujnu 1906. doselio u Split i otvorio ured društva *Wasserwerke Almissa Koller & Golwig*. Projektiranje građevinskoga i hidrauličkog dijela HE Kraljevac povjerio je Charlesu de Halleru. U to doba austrijska vlada je bila sve više zabrinuta – iz ekonomskih i strateških razloga – zbog porasta talijanskih industrijskih poduzeća i povećanja broja stalno naseljenih talijanskih državljana u Dalmaciji. Unatoč tome, Cairo je – kao vrlo iskusni poslovni čovjek i dobar poznavatelj ljudi – za vrijeme izgradnje HE Kraljevac i tvornice u Dugom Ratu uživao veliku blagonaklonost političkih vlasti.

“Pitanje upotrebe slapa Gubavice dovedeno je napokon sretno kraju”, piše u riječkom *Novom listu* povodom početka gradnje HE Kraljevac.⁵ Na благослову gradilišta u Zadvarju, 25. listopada 1906. okupilo se “cielo pučanstvo” Donje Žeževice i više značajnih ljudi. “Prvi pokretač svega” Ante Dešković, zastupnik konzorcija “Vodeno obrtište” u Omišu govorio je “dirljivo i zanosno”. Glavnu uloga u toj velegradnji imat će “inžinir i komendator” Cairo, koji tom prigodom nije govorio o predstojećim radovima nego o svojoj namjeri da nauči hrvatski jezik.

Pronalazak nekrologa Enrica Caira (1857–1923), koji je objavljen u jednom talijanskom časopisu, daje uvid u njegove biografske podatke.⁶ Rođen je u Piacenzi, Tehničku školu je završio u Casaleu (1876), a diplomu inženjera je stekao na

Sveučilištu u Napulju (1880). Potom se zaposlio u Društvu južnih željeznica (*Società delle Ferrovie Meridionali*). “Kao čovjek široke kulture, smion i poduzetan, poznavatelj stranih jezika, lako prilagodljiv svakoj situaciji” Cairo je uspješno napredovao do najviših upravnih položaja u Anconi i Bologni. Nakon što je talijanska država preuzela željeznice, provedene su organizacijske promjene (1905), koje nisu bile prihvatljive “njegovoj prirodi i njegovom mentalitetu”. Cairo je u svojoj 50. godini odustao od mirnog života i odvažno je krenuo novim putem. Razborit i sposoban, “iako ponekad sklon brzopletosti i pretjerivanju”, karijeru je nastavio u elektrokemijskoj industriji.

Cairov nekrolog iz 1923. odražava talijansku politiku toga doba: “Preuzima upravljanje talijanskim pothvatima s one strane Jadrana. Premda u sebi nosi osjećaj snažne pripadnosti domovini, uspijeva pobijediti nepovjerenje austrijskih vlasti i uspješno dovršiti, 1906. započet, gradnju veličanstvene hidroelektrane na Cetini nedaleko Splita snage 80.000 KS, s talijanskim kapitalom i snagama, i u ime Italije.” (*Assunse la direzione delle iniziative italiane di oltre Adriatico, e pur portando ivi seco alto il suo spirito d'italianità seppe vincere la stessa sospettosa diffidenza delle autorità austriache, conducendo a felice termine, nel 1906, la grandiosa derivazione del Cetina presso Spalato di 80 mila cavalli, con capitali e forze italiane, ed in nome dell'Italia.*)

Na početku Prvoga svjetskog rata Italija je proglasila neutralnost, iako je od 1882. bila u Trojnom savezu s Njemačkom i Austro-Ugarskom. Cairo je postao sumnjiv austrijskim vlastima, ali je uspio opstati u Splitu “štiteći časno talijanske interese koji su mu bili povjereni”. Kada je u svibnju 1915. Italija – u kontekstu svojih teritorijalnih aspiracija – objavila rat Austro-Ugarskoj, talijanski državljani su morali napustiti Dalmaciju, pa tako i zaposlenici *Sufida*. Cairo se vratio u Italiju u posljednji čas, “izbjegavši na vrijeme već naređeno uhićenje, za koje je saznao od vjernih prijatelja iz Beča”. Nastanivši se u Rimu, postao je direktor Društva za kalcijev karbid (*Società del Carburo di Calcio*) i na tom mjestu je ostao do svoje smrti.

Cairo je dobro postupio kada je angažirao Karla Čičina, umirovljenoga carsko-kraljevskoga građevinskog savjetnika, u svojstvu svojeg zamjenika: upravne službe su smatrale Čičina politički potpuno pouzdanim, a Čičin je bio u stanju sam svladati najveće pravne probleme. O njemu ima malo podataka. Na primjer, povodom dovršetka nove ceste od Makarske do Zadvarja u listopadu 1884. splitski *Narod* je pohvalno pisao o “nadobudnom mjerniku gosp. Dragutinu Čičinu koji je tako vješto i liepo izveo tu krasnu cestu”.⁷ Kada je 1908. u Splitu osnovano Društvo inženjera i arhitekata Kraljevine Dalmacije za predsjednika društva je izabran Čičin.⁸ Početkom 1913. društvo je brojilo 64 člana, a jedan od članova je bio inženjer Ivan Viličić iz Zadvarja.⁹

Ivan Viličić (1879–1947), je rođen u Starom Gradu na Hvaru, a studirao je u Beču. Zadvarje je bilo idealno radno mjesto za jednog početnika, a Omiš je bio naj-

SOCIETÀ ANONIMA
PER L'UTILIZZAZIONE DELLE FORZE IDRAULICHE DELLA DALMAZIA
— SEDE IN TRIESTE —

DIREZIONE TECNICO-AMMINISTRATIVA DEL-
L' IMPIANTO IDRO-ELETTRICO DI ALMISSA.



Omis, 10 veljače 1911.

Gospodine

Inženjeru Ivanu Viličiću

Omis

Ka Vaše potražnje posvjedočuje se, da ste namjesten kao inženjer kod tehničkog Ureda ovog Društva od 21 aprila, 1909, te da ste kao takav zaposleni koji u hidrauličnim i građevnim radovima oko namještanja hidro-električnih radnja, koja se izvijestaju na padu Gubavice rijeke Cetine.

Dok vam se ovoliko posvjedočuje, prihvatiću na sebe dužnost izjaviti, da ste kroz sve ovo vrijeme pokazali osobitu revnost i vještinu, te rijetke sposobnosti pri sastavljanju odnosno projekata, kao i pri izvođenju istih.

Pocitanjem

❖ S U F I D ❖

p. Direzione Tecnica
dell' impianto 'ALMISSA'

Inženjer - Upravitelj:

Cicini

Pismo društva Sufid inženjeru Ivanu Viličiću, 1911.



Omiški električni feral javne rasvjete izrađen 1991. prema starom petrolejskom feralu, koji se nalazi na kući Brstilo (foto: Tonko Fagarazzi)

bliži grad (gdje se u svibnju 1911. vjenčao s Marijom Franceschi). U arhivi Hrvatske elektroprivrede u Splitu čuva se nekoliko njegovih pisama.

U Zadvarju, 25. travnja 1909. *Società Wasserwerke Almissa Koller & Golwig* obavještava Giovannija Viličića o privremenom zaposlenju kao inženjera, koji je poreden glavnom inženjeru Čičinu (*Capo-Ingegnere Cicin*).

U Omišu, 10. veljače 1911. *Società Anonima per l'Utilizzazione delle Force Idrauliche della Dalmazia* posvjedočuje Ivanu Viličiću da je kao inženjer “zaposlen koli u hidrauličnim toli u građevnim radnjama oko namještaja hidro-električnih zdanja, koja se izvađaju na padu Gubavici rijeke Cetine”, te da je pokazao “osobitu revnost i vještinu, te rijetke sposobnosti pri sastavljanju odnosnih projekata, kao i pri izvađanju istih”.

U Dugom Ratu, 6. kolovoza 1913. je izdana svjedodžba da je inženjer za kulturu tla (*Kulturingenieur*) Ivan Viličić, kao zaposlenik društva *Sufid*, “sve predviđene radnje i njemu dodijeljene dužnosti pod upravom potpisanoga na najveće zadovoljstvo izvršavao i time postigao najobsežniju teoretsku i praktičnu spremu”. Nabrojani su svi hidraulični i građevinski radovi na elektrani koje je Viličić nadzirao, kao i velike tvorničke građevine od armiranog betona podignute u Dugom Ratu. Na kraju je potpis *Der Chef Ingenieur und Baulei. / Cicin / k. k. Baurat i. r.*

HUGÓ TENZER, MONUMENTALNO POSTROJENJE, 1912.

Kada je “nakon četiri godine neopisivih tehničkih napora” tršćansko društvo *Sufid* “napokon dovršilo kolosalni hidroelektrični podhvata na Manojlovcu” to je bila “najveća investicija u industrijalne svrhe od kad postoji Dalmacija”, koja “daje novo obilježje, nov značaj našoj zemlji”.¹ Prema pisanju zadarskog *Narodnog lista*, podignuta je “najjača električka Centralka u Evropi”, ukupne snage 24.000 KS, “uzorna Centralka, koja bi mogla da služi na diku Engleškoj i Americi”. Nakon kratkog opisa elektrane slijedi zaključak: “Sve je izradjeno majstorski prema najnovijim tehničkim stečevinama, tako da čovjek mora da se divi tom liepom, savršenom uspjehu.” U radu kolaudacijske komisije HE Manojlovac u prosincu 1906. sudjelovalo je više službenih osoba, a “iz Budimpešte inžinir Hugo Tenzer kao predstavnik tvornice Ganz et Comp., koja je liferovala cielu prekrasnu Centralku”.

Nekoliko godina poslije je Hugó Tenzer bio angažiran na HE Kraljevac. Tada je njegovo ime bilo već poznato u europskim stručnim krugovima, jer je o hidroelektranama na rijeci Krki pisao u jednom bečkom časopisu (1908)² odnosno u jednom berlinskom časopisu (1909).³ Kada se početkom 1912. Tenzer učlanio u Elektrotehničko društvo u Beču, naveo je omišku adresu (*Tenzer Hugo, Ingenieur, Almissa*).⁴ Zanimljivo je da su godine 1914. članovi istog društva postali jedan Ljubljčanin (*Vidmar M., Dr., Laibach*)⁵ i jedan Omišanin (*Skrivanić Bern., Ingenieur, Almissa*).⁶

Vodne snage austrijskih Alpa su detaljno istražene i raspravljene prije Prvoga svjetskog rata, ali su usprkos tome ostale uglavnom neiskorištene. Kada su za vrijeme rata nastupile poteškoće u opskrbi električnom energijom, postavljena je koncepcija jedinstvenoga elektroenergetskog sustava termoelektrana i hidroelektrana. U tom smislu je tvrtka *Ganz & Co.* bila zainteresirana da austrijskoj javnosti predstavi svoje remek-djelo: veliku hidroelektranu na Cetini. U najavi predavanja *Hidroenergetsko postrojenje 100.000 KS Omiš* (*Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Almissa*), koje će direktor inženjer Hugó Tenzer održati 11. siječnja 1917. u svečanoj dvorani Donjoaustrijskog obrtničkog društva u Beču, piše da će to biti “prikaz građenja i opremanja s fotografijama” (*Vorführung des Baues und der Einrichtungen im Lichtbilde*).⁷ Predavanje se ne spominje u narednim brojevima časopisa *Elektrotechnik und Maschinenbau*, a po svemu sudeći tada nije ni održano.

Dvije godine poslije je bečko Elektrotehničko društvo ponovno organiziralo isto predavanje na istome mjestu.⁸ Budući da je Tenzer trebao doputovati iz Budimpešte, predavanje je zbog poratnih prometnih poteškoća odgođeno, pa je umjesto 19. održano 26. veljače 1919.⁹ To je bilo odmah nakon sloma Austro-Ugarske Monarhije kada je osamljenu Austriju morila energetska kriza, jer je izgubila područja s rudnicima ugljena (Češka, Moravska, Šleska).¹⁰ Opstanak nije bio moguć bez uvoznog ugljena, a njega je nedostajalo zbog stalnog porasta cijena. Stoga je gospodarsko iskorištavanje vodnih snaga postalo jedno od najvažnijih životnih pitanja Republike Austrije.

ELEKTROTECHNIK UND MASCHINENBAU		
Wien 27. April 1919.	ZEITSCHRIFT DES ELEKTROTECHNISCHEN VEREINES IN WIEN UND ORGAN DES ZWEIGVEREINES IN BRUNN Chefredakteur: J. Seidener	Heft 17 37. Jahrgang.
INHALT: Das 100.000 PS. Kraftwerk bei Almissa in Dalmatien. Von Ing. H. Tenzer, Budapest 173	Die Ziele des Unterrichtes in Elektrotechnik. Von Ing. Dr. Ernst Adler, Wien. (Schluß) 176 Rundschau 182 Chronik 183	Patentberichte aus dem Gebiete der Elektro- technik und des Maschinenbaues 184 Personalmeldung 184
Nachdruck, Übersetzung oder Wiedergabe nur mit Bewilligung der Schriftleitung und mit Angabe der Quelle „E. u. M. Wien“ gestattet		

Iste godine je Hugó Tenzer u časopisu *Elektrotechnik und Maschinenbau* objavio svoje predavanje *Elektrana 100.000 KS kod Omiša u Dalmaciji (Das 100.000 PS-Kraftwerk bei Almissa in Dalmatien)*.¹¹ On je bio prvi koji je za HE Kraljevac u naslovu napisao 100.000 KS (slijedio ga je Paul Zigerli, 1920).¹² Taj opširni prikaz je posebno vrijedan, jer potječe iz pera inženjera koji je rukovodio svim montažnim i završnim radovima.

Tenzer ovako karakterizira HE Kraljevac: “Postrojenje se odlikuje genijalnom dispozicijom i upravo monumentalnom izvedbom pojedinih dijelova kao što su vodograđevina, agregati i transformatori.” (*Die Anlage zeichnet sich durch Grosszügigkeit der Disposition und geradezu monumentale Ausführung der einzelnen Teile, als: Wasserbau, Maschinengruppen, Transformatoren, aus.*)

Tenzer je u uvodu objasnio okolnosti o kojima je ovisila ova investicija. Početkom 20. stoljeća bila je tvrtka *Ganz & Co.* “već više godina suvlasnica koncesije za iskorištavanje vodne snage rijeke Cetine kod Omiša” (*seit mehreren Jahren Mitbesitzerin der Konzession zur Ausnutzung der Wasserkraft der Cetinaflusses bei Almissa*). Koncesija je glasila na protok 25 m³/s kod pada 110 m, ali se stvarno namjeravalo iskoristiti 75 m³/s te moćne vodne snage. (Prema Anti Celeginu osnovna koncesija je glasila na 87 m, a proširena koncesija na 110 m.¹³) Pri projektiranju je uzeto u obzir da kasnije proširenje bude moguće bez velikih smetnji za postrojenje koje se već nalazi u pogonu. Stoga se je moralo računati da vodograđevni dijelovi (brana, dovodni tunel, vodna komora) budu odmah izvedeni “za veću, racionalnije iskoristivu količinu vode” (*für die grösste, rationell ausnutzbare Wassermenge*).

Ta činjenica je znatno povećala investicijske troškove prve etape izgradnje, pa je bilo teško naći industrijsku granu, koja je mogla rentabilno iskoristiti raspoloživu snagu. Naime, nakon stavljanja u pogon hidroelektrane i tvornice kod Šibenika došlo je do prekomjerne proizvodnje karbida. Zbog toga je pala tržišna cijena karbida, što je u prvo vrijeme dovelo u pitanje izgradnju hidroelektrane i tvornice kod Omiša. Tek nakon razvitka proizvodnje kalcijeva cijanamida, čija je sirovina kalcijev karbid, projekt je ponovno postao zanimljiv. Koncesija za hidroelektranu na Cetini je steklo

jedno rimsko društvo (*Società Generale per la Cianamide*), ali ono je uskoro zapalo u krizu i gradnja je mirovala. Tada je tršćansko *Dioničko društvo za iskorištavanje vodnih snaga Dalmacije (Società Anonima per l'Utilizzazione delle Forze Idrauliche della Dalmazia)*, kojem su pripadale hidroelektrane na Krki, od ranijeg vlasnika preuzelo prava i gradnju odlučno dovelo do kraja.

Glavni projekti (*die generellen Pläne*) HE Kraljevac izrađeni su u sestrinskim tvrtkama (*Schwesterfirmen*): hidraulično postrojenje u tvrtki *Ganz-Danubius*, a električno postrojenje u tvrtki *Ganzsche Elektrizitäts-Aktiengesellschaft*. Iste tvrtke su proizvele, isporučile, montirale i ispitale cjelokupnu opremu. (Kada je u ožujku 1911. objavljena vijest o fuziji *Ganza* i *Danubiusa* navedeno je da će to moćno poduzeće, koje će zapošljavati više od 10.000 radnika, biti ne samo prvorazredni faktor domaće veleindustrije nego će imati i značaju ulogu u inozemstvu.¹⁴)

Pri izboru koncepcije hidroelektrane uzete su u obzir lokalne okolnosti.¹¹ Gradilište se nalazi na teško pristupačnom mjestu, koje je udaljeno od morskih luka i ovisno o stanju brdske ceste. Stoga su svi strojevi konstruirani tako da pojedini sastavni dijelovi ne budu teži od 10 t. Ali, ne samo da je otežan transport do gradilišta, nego i dolazak kvalificiranog osoblja u slučaju iznenadnih većih popravaka. Zahtjev da eventualni kvarovi ne izazovu prekid rada čitavog postrojenja, nego budu ograničeni samo na jedan dio, rezultirao je preglednim i pouzdanim tehničkim rješenjem. U prvoj etapi izgradnje instalirana su dva agregata, koji rade kao odvojeni i neovisni energetske sustavi od tlačnog cjevovoda u elektrani do transformatora u podstanici. Poprečne veze između ova dva sustava omogućuju da u slučaju kvara svaki element u jednom bude rezerva u drugom sustavu. Vođenje ovako zamišljenog pogona je jednostavno i može se obavljati s malo osoblja, piše Tenzer.

Vodne turbine su horizontalne dvojne Francisove spiralne turbine u kućištima od čeličnog lijeva. Svaka turbina je građena za protok $15 \text{ m}^3/\text{s}$ i neto pad 107 m, te daje snagu 18.000 KS pri brzini vrtnje 375 min^{-1} . Korisnost turbine kod punog opterećenja iznosi 82%. Zbog velike količine vode svaka turbina je izvedena s dva kola, koja se nalaze u odvojenim spiralnim kućištima sa zasebnim usisnim cijevima. Turbinska kola su učvršćena na oba kraja osovine rotora generatora tako da cijeli strojni slog ima samo dva ležaja, što je rezultiralo njegovom kompaktnom izvedbom i simetričnim rasporedom. Težina kompletne dvojne turbine zajedno s regulatorom iznosi 85 t.

Trofazni generator je građen u skladu sa snagom pogonskog stroja (turbinom) od 18.000 KS. Budući da je odabrani faktor snage $\cos \varphi = 0,8$, nazivna snaga generatora iznosi 16.000 kVA, čemu odgovara međufazni napon 4000 V i fazna struja 2300 A. Brzina vrtnje je 375 min^{-1} , frekvencija 50 Hz, a broj polova 16. Korisnost generatora kod nazivnog opterećenja i $\cos \varphi = 0,8$ iznosi 97,0 %.

Generator je izveden u potpuno zatvorenom kućištu, pa se toplina nastala uslijed gubitaka odvodi prisilnom cirkulacijom zraka pomoću ventilacijskog sustava koji je

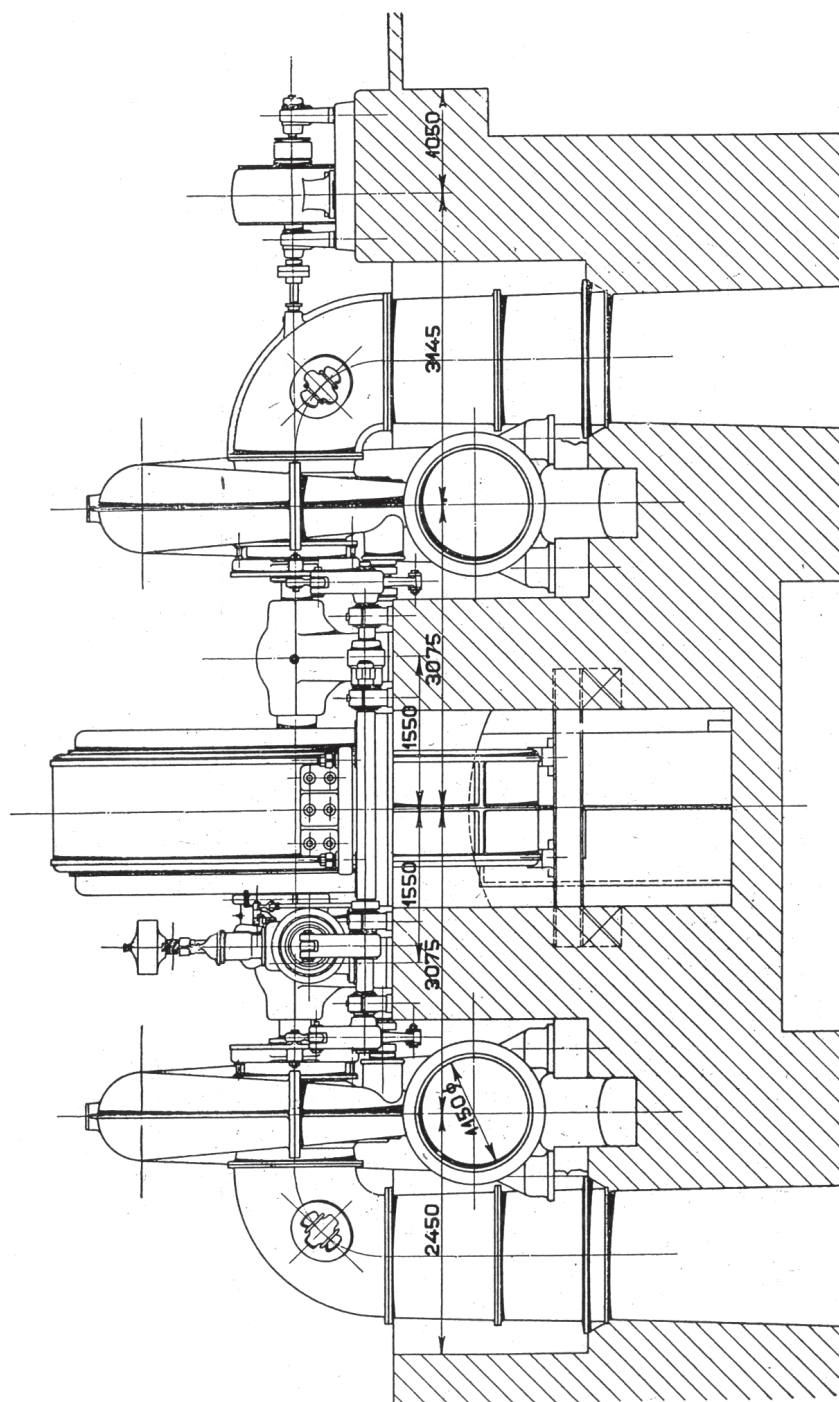
odvojen od zraka u strojarnici. S obzirom na transportom uvjetovano ograničenje težine pojedinih dijelova, postavljanje limova i umetanje namota statora izvedeno je na licu mjesta. Težina kompletnog statora je 36 t. Rotor je promjera 3500 mm, a konstruiran je za brzinu vrtnje 375 min^{-1} odnosno obodnu brzinu 70 m/s. Stoga je učvršćenje polnih nastavaka na cilindrične polne jezgre izvedeno na specijalni način. Težina kompletnog rotora uključujući turbinska kola iznosi oko 46 t, od čega na magnetno kolo otpada 32,5 t. Težina kompletnog generatora s uzбудnikom iznosi 95 t.

Za povišenje generatorskog napona 4000 V na prijenosni napon 56.000 V uz svaki generator je predviđen trofazni uljni energetska transformator nazivne snage 16.000 kVA, koji je trajno preopterećen oko 30% pri povećanoj cirkulaciji rashladne vode. "Pojedinačna snaga tih transformatora proizvedenih 1911/1912. bila je do 1915. toliko velika da je nadmašivala najbliži tip za skoro dvostruko." Tenzer je opisao nova konstruktivna rješenja ovog veletransformatora. Kvaliteta izolacije se očituje iz podatka da transformator izdrži naponske pokuse sa 150.000 V u ulju i 60.000 V u suhom stanju. Primarni i sekundarni namoti spojeni su u zvijezdu. Kod nazivnog opterećenja i faktora snage $\cos \varphi = 1$ korisnost iznosi 98,5%. Ukupna težina transformatora u stanju sposobnom za pogon je 35 t.

Sklopna postrojenja 4000 V i 56.000 V u elektrani su oblikovana u skladu s postavljenom koncepcijom da svaki agregat s pripadnim uzlaznim transformatorom, dalekovodom i silaznim transformatorom čini jednu cjelinu. Jedini sklopni aparati su rastavljači, koji se smiju pokretati samo u beznaponskom stanju. U svrhu sprječavanja oštećenja generatora i transformatora predviđena je u svakom uzbudnom strujnom krugu jedna automatska sklopka (*Ausschalter*), koja prekida uzbuđu proradom nadstrujnog i nadnaponskog releja te diferencijalnog releja. Budući da se postrojenje nalazi u kraškom području, izvedene su posebne naprave za odvođenje i otklanjanje raznih prenapona.

Tenzer je potanko opisao dalekovod nazivnog napona 56.000 V i duljine 23 km, koji je izgrađen za prijenos snage od Kraljevca do Dugog Rata. Pri određivanju trase nastojalo se je koristiti općinsko zemljište (da se izbjegnu problemi s privatnim vlasnicima) i vod postaviti duž državne ceste (da se olakša nadzor i održavanje voda). Dalekovod je od hidroelektrane vodio dolinom Cetine do ušća u Omišu, a onda prateći morsku obalu do tvornice. Izveden je kao dvostruki trofazni nadzemni vod na čeličnim rešetkastim stupovima. Žice su od tvrdog bakra promjera 8 mm; gustoća struje iznosi $3,25 \text{ A/mm}^2$.

Normalni razmak stupova iznosi 110 m, a na prijelazu preko rijeke Cetine kod Omiša je raspon 175 m. Na vrhovima stupova uzduž čitavog voda učvršćena je pocinčana čelična žica promjera 5 mm, koja povezuje stupove u svrhu poboljšanja uzemljenja. Osim toga, ta žica služi za zaštitu od atmosferskih izbijanja (*Blitzschutzdraht*); tvrtka *Ganz & Co.* je to tehničko rješenje prvi put primijenila na nadzemnom vodu



Uzdugi presjek agregata iz 1912. (turbina 18.000 KS, generator 16.000 kVA)

15.000 V Jaruga–Šibenik (1902). Potporni izolatori, koji su proizvedeni u Češkoj (*Karlsbader Kaolin-Industrie A. G.*), imaju povišenu sigurnost zbog posolice, koju stvara vjetar noseći morsku vodu. Sastoji se od tri porculanska zvona, koja su međusobno povezama cementnim kitom; ispitni napon na proboj je 120.000 V.

Transformatorska stanica u Dugom Ratu nazvana je podstanicom (*Unterstation*). Izvedena je u skladu s već spomenutim načelom da svaki agregat, od tlačnog cjevovoda u elektrani do sekundarnih stezaljki transformatora u podstanici, tvori odvojeno postrojenje. Linijski rastavljači omogućuju odvajanje transformatora od dalekovoda u beznaponskom stanju. Transformatori u podstanici jednako su građeni kao oni u elektrani; razlika je samo u prijenosnom omjeru, koji je ovdje 51.000/15.000 V.

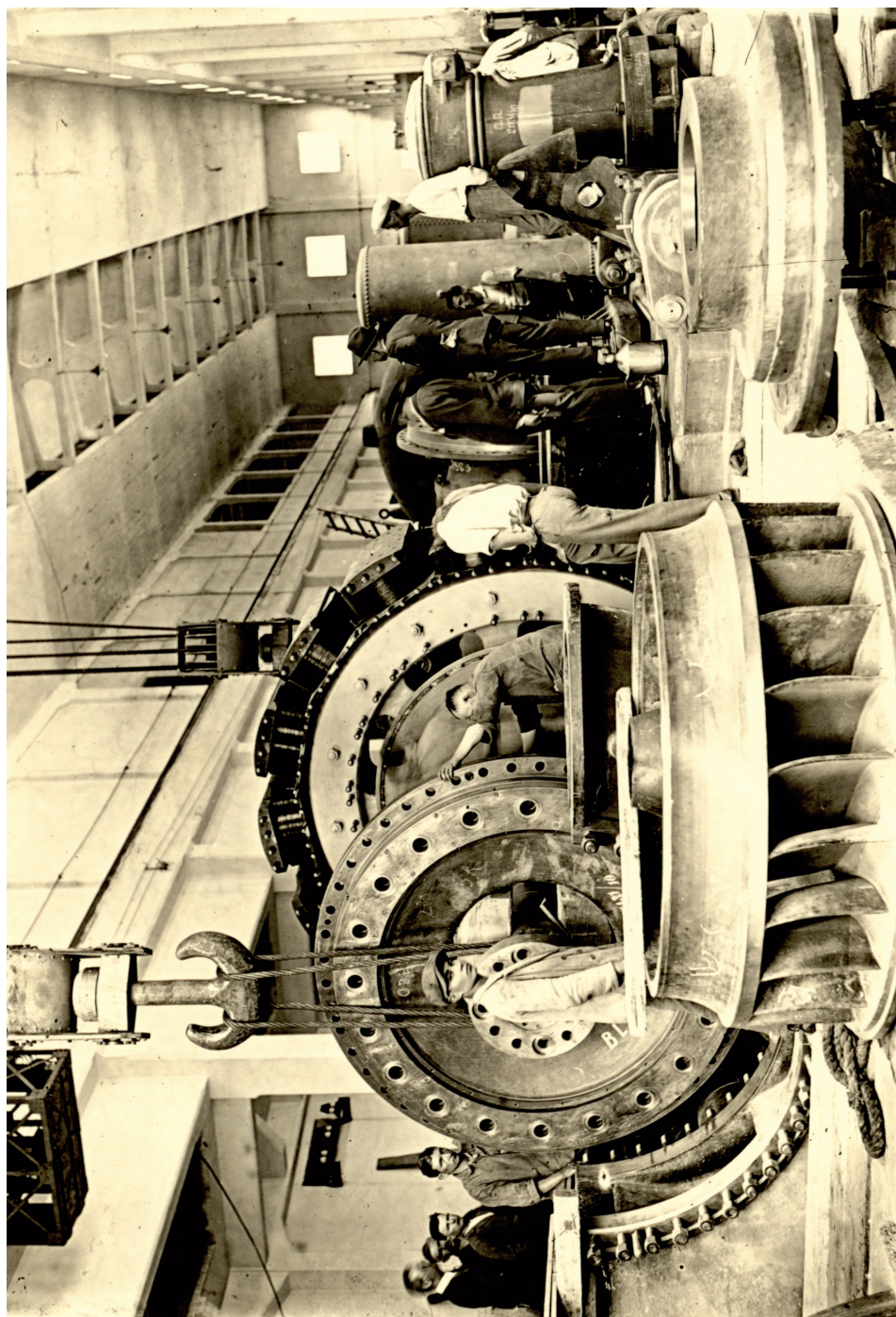
Jedan sekundarni vod napaja električne peći, gdje su instalirani jednofazni uljni transformatori 15.000/50 V, nazivne snage 2400 kVA, koji su hlađeni vodom. Drugi sekundarni vod napaja sklopno postrojenje na koje su priključena dva trofazna uljna transformatora 15.000/330 V, nazivne snage 1500 kVA, koji služe za opskrbu pomoćnih pogona u tvornici, kao i vodna polja 15.000 V za okolnu elektrifikaciju.

“Zasad je priključen samo jedan vod 15.000 V za prijenos maksimalno 2000 kVA do Omiša, gdje će se struja koristiti samo za pogon mlinova, dalje za gradsku rasvjetu i rasvjetu jedne tvornice cementa.” (*Es ist vorerst nur eine Leitung zur Übertragung von maximal 2000 kVA mit 15.000 V nach Almissa angeschlossen, wo der Strom zum Antriebe von Mühlen, ferner zur Stadtbeleuchtung und Beleuchtung einer Zementfabrik verwendet wird.*)

Na kraju Tenzer spominje neke poteškoće koje su pratile ovu velegradnju. Na primjer, pregovori o otkupu zemljišta za hidroelektranu i dalekovod, koji su bili otežani zbog nedostatka “jednog suvremenog zakona o vodnom pravu i zakona o prolazu vodova” (*eines modernen Wasser- und Wegerechtesgesetzes*). Kopneni transport potrebnog materijala (950 t) od Makarske do gradilišta (30 km) je bio težak zbog neodgovarajućeg trupa ceste.

Točan datum ulaska u pogon pojedinog električnog postrojenja ponekad je teško utvrditi. U jednoj reportaži o dalmatinskoj elektrokemijskoj industriji objavljenoj u Beču u lipnju 1913. spominje se HE Kraljevac: “Na dovršenju elektrane se grozničavo radi i prema svim predviđanjima bit će u najkraćem roku, možda za nekoliko mjeseci stavljena u pogon.” (*An der Fertigstellung der Werke wird fieberhaft gearbeitet und aller Voraussicht nach werden sie in kürzester Zeit, vielleicht in wenigen Monaten den Betrieb aufnehmen.*)¹⁵

“Jučer su bili prvi pokušaji velike tvornice Sufida u proizvodjanju karbida u Dugom Ratu u odlomku Duća sa najboljim uspjehom. Upotrebljeno je samo 2400 HP za jednu peć, koja na visini od 3000 stupanja vrućine od bračkog škrljevca kamena pomiješana s antracitom proizvaja slivak biel i sjajan kao srebro, od čega postaje karbid.”¹⁶ Ova vijest objavljena u zadarskom *Narodnom listu*, odnosi se na 14. ožujka 1914.



Montaža agregata iz 1926. (turbina 30.500 KS, generator 26.000 kVA)

“U Omišu je u subotu počeo raditi električni mlin. U mlin je uvedena i električna rasvjeta, a ubrzo će električnu rasvjetu imati i grad.”¹⁷ Ova kratka novinska vijest odnosi se na 21. studenoga 1914.

U jesen 1913. u *Narodnom listu* spominje se član komisije za izbor trase dalekovoda 50.000 V Dugi Rat–Split “inžinir Tencer, zastupnik društva Ganz, koje ima da provede električnu silu”.¹⁸ Hugó Tenzer je očito boravio u Omišu do 1914, a vjerojatno je sudjelovao i u proširenju tvornice u Dugom Ratu tijekom Prvoga svjetskog rata.

U veljači 1922. u budimpeštanskom časopisu *Elektrotehnika* objavljen je Tenzerov članak o elektrolučnim pećima, koje je tvrtka *Ganz & Co.* instalirala u tvornicama kalcijeva karbida kod Šibenika (1902) i Omiša (1913).¹⁹ Međutim, iz reklame jednog inženjerskog ureda u Budimpešti proizlazi da Hugó Tenzer godine 1922. nije više radio u tvrtki *Ganz & Co.*²⁰

KÁROLY WELTZL, HIDROGENERATOR GANZ & CO., 1912.

U europskim stručnim krugovima je bilo poznato da je društvo *Sufid* iz Trsta povjerilo tvrtki *Ganz & Co.* iz Budimpešte izvedbu hidrauličnog i električnog postrojenja HE Kraljevac. Ta ista vijest je objavljena tri puta: u rujnu 1911. u glasilu Mađarskoga elektrotehničkog društva,¹ u siječnju 1912. u glasilu Austrijskog društva inženjera i arhitekata,² a u svibnju 1912. u glasilu Elektrotehničkog društva u Berlinu.³

“Raspoloživa vodna snaga iznosi više od 200.000 KS, od čega će se u prvoj etapi izgradnje djelomičnim iskorištenjem ukupnog pada upotrijebiti maksimalno 40.000 KS.”² Navedeni su samo osnovni podaci (koji se nešto razlikuju od stvarno izvedenog stanja): dva agregata maksimalne snage po 20.000 KS, četiri trofazna transformatora snage po 18.000 kVA (za povišenje na početku i sniženje napona i na kraju voda), te dalekovod napona 55.000 V i duljine 25 km. “Postrojenje će biti bez sumnje jedno od najznačajnijih, koje je na taj način do sada uopće izvedeno.” (*Die Anlage wird ausser Zweifel eine der bedeutendsten, die in dieser Art bis nun überhaupt ausgeführt wurden.*) “Posebno valja zamijetiti da će generatori s obzirom na njihovu snagu biti najveći koji su do sada građeni u Europi, dok će vodne turbine i transformatori biti za sada najveći na svijetu.”

Artur Budau (1856–1923), profesor na Tehničkoj visokoj školi u Beču, godine 1913. napisao je da je moderna tehnika gradnje hidroelektrana u nevjerojatno kratkom vremenu uspjela prijeći svoj kompletni razvojni put.⁴ “Pri tome se grade postrojenja s turbinskim jedinicama do 20.000 KS, dakle sa strojevima takve veličine na koje se čak ni najgenijalniji konstruktor prije nekoliko godina nije usuđivao pomisliti.”

Tvrtka *Ganz & Co.* je pri konstruiranju generatora HE Kraljevac primijenila niz novih tehničkih rješenja. O tome je bilo govora u predavanju *Smjernice za gradnju*

velikih hidrogeneratora (*Richtlinien für den Bau grosser Wasserkraftgeneratoren*), koje je *Oberingenieur* Károly Weltzl (1879–1954) održao 18. veljače 1914. u Elektrotehničkom društvu u Beču.⁵ Weltzl je o istoj temi također pisao na mađarskom jeziku prije (1913)⁶ i poslije (1915)⁷ navedenog predavanja; po ugledu na svoju tvrtku, HE Kraljevac naziva *Almissa* (što je u narednim citatima prevedeno s Omiš).

Stalni porast potražnje za električnom energijom rezultira sve većim instaliranim snagama hidroelektrana; pri projektiranju se teži malom broju generatora velike snage i preglednom postrojenju, što zahtijeva malo pogonskog osoblja.⁵ S obzirom na vrlo velike troškove izgradnje hidroelektrana, koje su često locirane na teško pristupačnim mjestima, postavljaju se posebni zahtjevi, koji utječu na konstrukciju i način građenja hidrogeneratora. U tvrtki *Ganz & Co.* je razvitak vodio u dva smjera: prvi, izvedbom što jednostavnijeg postrojenja, odnosno bez transformatora za povišenje napona, ali s generatorima relativno visokog napona; drugi, izvedbom velikih generatora sasvim odvojenih, zatvorenih konstrukcija, koji se mogu smjestiti u relativno malom prostoru.

Francisove turbine, koje se u pravilu primjenjuju za padove od 100 m (rijeđe do 200 m), izvode se u horizontalnom ili vertikalnom rasporedu, ali je horizontalni najčešći, piše Weltzl. Agregati, koji se sastoje od turbine i generatora, izvode se s četiri, tri ili dva ležaja. Kod četveroležajnog rasporeda postoje dvije osovine i jedna kruta ili gibljiva osovinska spojka, a kod troležajnog rasporeda je uglavnom jedna prolazna osovina. Kod izvedbe s dva ležaja generator zauzima prostor između ležajeva, pri čemu su turbinska kola zaklinjena na slobodnim krajevima osovine.

Kod velikih količina vode odnosno velikih snaga, ili ako se želi postići veća brzina vrtnje (jer se povećanjem broja okretaja smanjuju dimenzije odnosno težina generatora), primjenjuje se dvojna turbina (*Zwillingsturbine*). Generator se tada obično gradi za cijelu snagu, a samo iznimno se primjenjuje dvostruki generator (*Doppelgenerator*), kao na primjer u HE Rjukan I, gdje je od ukupno deset agregata njih devet izvedeno s dvostrukim generatorima. "Idealni raspored s dvojnim turbinama je onaj u postrojenjima Arci (Rim) i Omiš, patent tvrtke *Ganz-Danubius*." (*Eine ideale Anordnung bei Zwillingsturbinen ist jene der Anlagen Arci-Roma und Almissa, Patent der Firma Ganz-Danubius.*)

Najefikasnija ventilacija generatora postiže se potpunim odvajanjem generatora od zračnog prostora strojarnice. Svježi zrak se usisava izvan strojarnice i dovodi kroz kanale u temelju generatora, koji je izveden u zatvorenom kućištu. "Svrishodnost tog rasporeda pokazala se najprije kod hidroelektričnog postrojenja u Omišu, koje je prvi put projektirano prije više godina i koje će uskoro biti stavljeno u pogon." (*Die Zweckmässigkeit dieser Anordnung hatte sich zuerst bei der vor vielen Jahren erfolgten erstmaligen Projektierung für die demnächst in Betrieb zu setzende hydroelektrische Anlage in Almissa ergeben.*) U strojarnici, koja je prema projektu samo oko 75 m duljine, 14 m širine i 11,5 m visine, smješteni su strojevi snage oko 100.000 KS.

Povećanjem snage i brzine hidrogeneratora potrebno je efikasnije odvođenje topline. Kod većine brzohodnih strojeva rotor se više zagrijava od statora, pa stroj nije dovoljno iskorišten. Zrak potreban za hlađenje rotora potpuno zatvorenog generatora doprema se centrifugalno pomoću jednog odgovarajuće ugrađenog ventilatorskog kola.

Budući da transport velikih strojeva uzrokuje osobite teškoće, u tvrtki *Ganz & Co.* se izvode rotori podijeljeni okomito na osovinu; obje polovice su uglavljene jedna u drugu i povezane vijcima. Kod starijih konstrukcija rotora (HE Manojlovac, HE Subiaco) pol i glava pola su izrađeni iz jednog komada. Kod novijih konstrukcija rotora (HE Kraljevac) glava pola je kružno obrađena, a namot je učvršćen na čelične čahure, koje su navučene na pol i istodobno tvore glavu pola. "Ne samo konstrukcija polne čahure nego i način njezina učvršćenja na pol, te već razmotrena naprava za ventilaciju polnog namota su izumi Bláthya." (*Sowohl die Konstruktion der Polhülse als auch das Verfahren bei deren Befestigung auf den Pol und die schon besprochene Lüftungseinrichtung der Polwicklung sind Erfindungen Bláthys.*)

Značaj tih izuma vidi se usporedbom težine pojedinih velikih hidrogeneratora stavljenih u pogon do 1914. Na primjer, s generatorom instaliranim u HE Rjukan I. (Norveška) nazivne snage 17.000 kVA (napon 10.000–11.000 V, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 250 min^{-1} , $\cos \varphi = 0,6$), koji je u jednom jedinom primjerku proizveden u tvornici *Brown Boveri & Cie.* (Švicarska). "Generator HE Omiš s 375 okretaja u minuti teži ukupno 96 t, dakle nešto više nego rotor generatora HE Rjukan I. čija težina iznosi 93 t."

Izrazito brzi porast jediničnih snaga hidrogeneratora bio je u Sjevernoj Americi. Uoči Weltzlovog predavanja, u siječnju 1914. je američki časopis *Electrical World* objavio članke o hidroelektranama Big Creek I.⁸ i Big Creek II.⁹ u kojima su instalirana četiri jednaka generatora. Weltzl to ovako komentira: "Kod ovih se podudaraju broj polova, frekvencija, dakle i brzina vrtnje s onim omiškim generatorima. Ti generatori postižu snagu 17.500 kVA pri $\cos \varphi = 1$ i 375 okretaja u minuti te daju napon 6600 V. Težina generatora HE Big Creek je 143 t, to jest oko 45% veća nego težina generatora HE Omiš."⁵

"Iz istoga je vidljivo da će u pogledu snage strojeva ono postrojenje Omiš u Dalmaciji biti nadmašeno samo od nekih prekoceanskih postrojenja." (*Es ist aus derselben ersichtlich, dass hinsichtlich der Maschinenleistung jene der Anlage Almissa in Dalmatien nur von einigen überseeischen Anlagen übertroffen wird*).

Usporedba generatora HE Kraljevac s generatorom HE Big Creek je primjerena, jer se radi o 16-polnim strojevima sličnih karakteristika. Ali, neki podaci nisu točni. Prvo, Weltzl za generatore instalirane u HE Big Creek (1913) navodi faktor snage $\cos \varphi = 1$. Međutim, nakon Weltzlova predavanja, 25. travnja 1914. u časopisu *Electrical World* su objavljeni kompletni podaci ovih generatora: nazivna/prividna snaga 17.500 kVA, djelatna snaga 14.875 kW, $\cos \varphi = 0,85$, napon 6600 V, frekvencija 50 Hz,

Anwachsen der Leistungen und Spannungen der Wechselstromgeneratoren.
Von der Ganzschen E. A. G. gebaute Anlagen. Von anderen Firmen gebaute Anlagen.

In Betrieb gekomm. men	Eigentümer	Benennung	Maschinen- leistung KVA	Stromart	Maschinen- spannung V	Touren	In Betrieb gekomm. men	Eigentümer	Benennung	Maschinen- leistung KVA	Stromart	Maschinen- spannung V	Touren
1889	Städtische Zentrale . . .	Mühlau- Innsbruck { Erste Anlage Tivoli	2 × 100	Einphasen- strom	2 000	250	1891	Niagara Falls Power Co.	Laufen- Heilbronn	1 × 380	Dreiphasen- strom	50	—
1892	Soc. Anglo Romana . .	Meran-Töll	6 × 380	"	5 000	170	1896	Valtellina Bahn . . .	Niagara	3 × 3 750	{ Zwei- phasenstr.	2 200	250
1898	Etschwerke, Meran . .	{ Zweite Anlage Tivoli	{ 4 × 1 500 2 × 2 500	Dreiphasen- strom	3 600 und 12 000	345	1901	Ontario Power Co. . .	Morbegno	2 × 1 500	Drei- phasenstr.	20 000	150
1899	Soc. Anglo Romana . .	Jaruga	7 × 3 500	"	11 000	210	1905	Norsk Hydroelektrisk Kvaelfaktselskab . .	Ontario	6 × 7 500	"	12 000	187-5
1902	S. U. F. I. D., Triest. .	Hohenfurt	2 × 3 000	{ Zwei- phasenstr.	15 500	315	1907	Great Western Power Co.	Svålgefös	4 × 10 500	"	10 000	250
1906	Ignaz Spiro und Söhne, Krumm	Subiaco	3 × 2 500	Dreiphasen- strom	15 500	420	1911	Schaviningan Water and Power Co.	Feather River Kandergrund	2 × 13 500 3 × 4 000	"	11 000	400
1907	Soc. Anglo Romana . .	Manojlovac	2 × 5 200	"	30 000	450	1912	Norsk hydroelektrisk Kvaelfaktselskab . .	St. Maurice River	2 × 14 000	"	17 000	900
1911	S. U. F. I. D., Triest. .	Schalsthal- Werke	4 × 6 600	"	30 000	420	1912	Washington Water and Power Co.	Rjukanfös	9 × 2 × 8 500 Doppel- generator	"	6 600	225
1912	Etschwerke, Meran . .	Arci	2 × 8 000	"	18 000	345	1913	Pacific Light & Power Co.	Spokane Fluß	1 × 17 000	"	11 000	250
1912	Soc. Anglo Romana . .	Almisa	2 × 5 200	"	30 000	225	1918	Tramway Light-Power Co.	Big Creek	4 × 20 000	"	4 000	—
1914	S. U. F. I. D., Triest. .	Castelmadama	2 × 17 000	"	4 000	375	Im Bau	Rio de Janeiro . . .	Pirahi	2 × 17 500	"	6 000	375
Im Bau	Stadt Roma		2 × 7 500	"	30 500 und 33 000	345				2 × 17 500	"	—	900

Bemerkung: Die Generatoren der älteren Anlagen gehen ihre Leistung bis zu einem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0.7$. Die neueren, den Verbandsnormalien entspr. bis $\cos \varphi = 0.8$. Die Leistungen der amerikanischen Generatoren sind bei $\cos \varphi = 1$ zu verstehen.

Porast nazivnih snaga i napona hidrogenatora do 1914.

brzina vrtnje 375 min^{-1} .¹⁰ Generatori su proizvedeni u tvornicama *General Electric Company* i *Westinghouse Electric & Manufacturing Company*.

Drugo, Weltzl za generatore instalirane u HE Kraljevac (1912) navodi nazivnu snagu 17.000 kVA – iako je snaga na natpisnoj pločici 16.000 kVA. Naime, podaci ovih generatora su: nazivna/prividna snaga 16.000 kVA, djelatna snaga 12.800 kW, $\cos \varphi = 0,8$, napon 4000 V, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 375 min^{-1} .¹¹

Računska provjera za HE Kraljevac pokazuje da je djelatna snaga generatora: $P = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 9,81 \cdot 15 \cdot 107 \cdot 0,82 \cdot 0,97 = 12.523,6 \text{ kW}$, gdje je protok turbine Q (m^3/s), neto pad H (m), korisnost turbine η_T , korisnost generatora η_G .

Nazivna snaga generatora je njegova prividna snaga:

$S = P / \cos \varphi = 12.523,6 / 0,8 = 15.654,5 \text{ kVA}$, gdje je induktivni faktor snage $\cos \varphi$.

Weltzl kaže da povećanje naponske granice strojeva dolazi u obzir u slučajevima kada, uz zahtjevanu pogonsku pouzdanost, jednostavnije postrojenje s visokonaponskim generatorima nije skuplje od složenijeg postrojenja s transformatorima.⁵ Ali upitna je njegova izjava da “generatori u HE Manojlovac i HE Subiaco rade već godinama bez kvarova na namotima, iako se obje elektrane nalaze u područjima koja su izložena nevremenu”.

Na kraju članka je naveden primjer HE Schnalstal u Južnom Tirolu (građena 1909–1912), koja služi za opskrbu gradova Bozen i Meran. Budući da je zamišljena bez transformatora, dva generatora nazivne snage 8000 kVA su izvedena s naponom 15.000–18.000 V (frekvencija 45 Hz, brzina vrtnje 345 min^{-1} , $\cos \varphi = 0,7$). Ovaj generator proizvodnje *Ganz & Co.* po svojim dimenzijama i brzini vrtnje vrlo malo se razlikuje od dvostruko snažnijeg generatora HE Kraljevac. Jedan od razloga se nalazi “u patentiranoj ventilaciji polova, kojoj se uglavnom pripisuje veća snaga omiških strojeva” (*in der patentierten Polventilation, welcher am meisten die grössere Leistungsfähigkeiten Almissamaschinen zuzuschreiben ist*).

Na rotor generatora HE Kraljevac se odnose ovi patenti: ventilacija polnih namota, te konstrukcija i učvršćenje polnih čahura; o tome svjedoči veliki bijeli natpis *Patent Bláthy*, koji se nalazi na crnom kućištu generatora. O. T. Bláthy je autor 206 patenata, koji su registrirani kako u Austriji tako i u inozemstvu (Švicarska, Njemačka, Francuska, Velika Britanija, Sjedinjene Američke Države).¹² Na primjer, *Radial-pole dynamo-electric machine* (američki patent br. 1.142.009, prijavljen 31. siječnja 1912, prihvaćen 8. lipnja 1915), kao i *Improvements in or relating to rotary magnets* (britanski patent br. 16.538-1912, prijavljen 15. srpnja 1912, prihvaćen 9. siječnja 1913).

Agregati ugrađeni u HE Big Creek izvedeni su s dvojn timerbinama na horizontalnoj osovin i zbog zahtijevane velike brzine vrtnje generatora. Premda su Amerikanci od početka imali sklonost prema vertikalnim osovinama (HE Niagara Falls), do njihove praktične primjene je došlo tek nakon izuma odgovarajućeg ležaja (*thrust bearing*), kojeg je Albert Kingsbury (1863–1943) patentirao 1910.¹³

MILAN VIDMAR, BLÁTHY I NJEGOV VELETRANSFORMATOR, 1912.

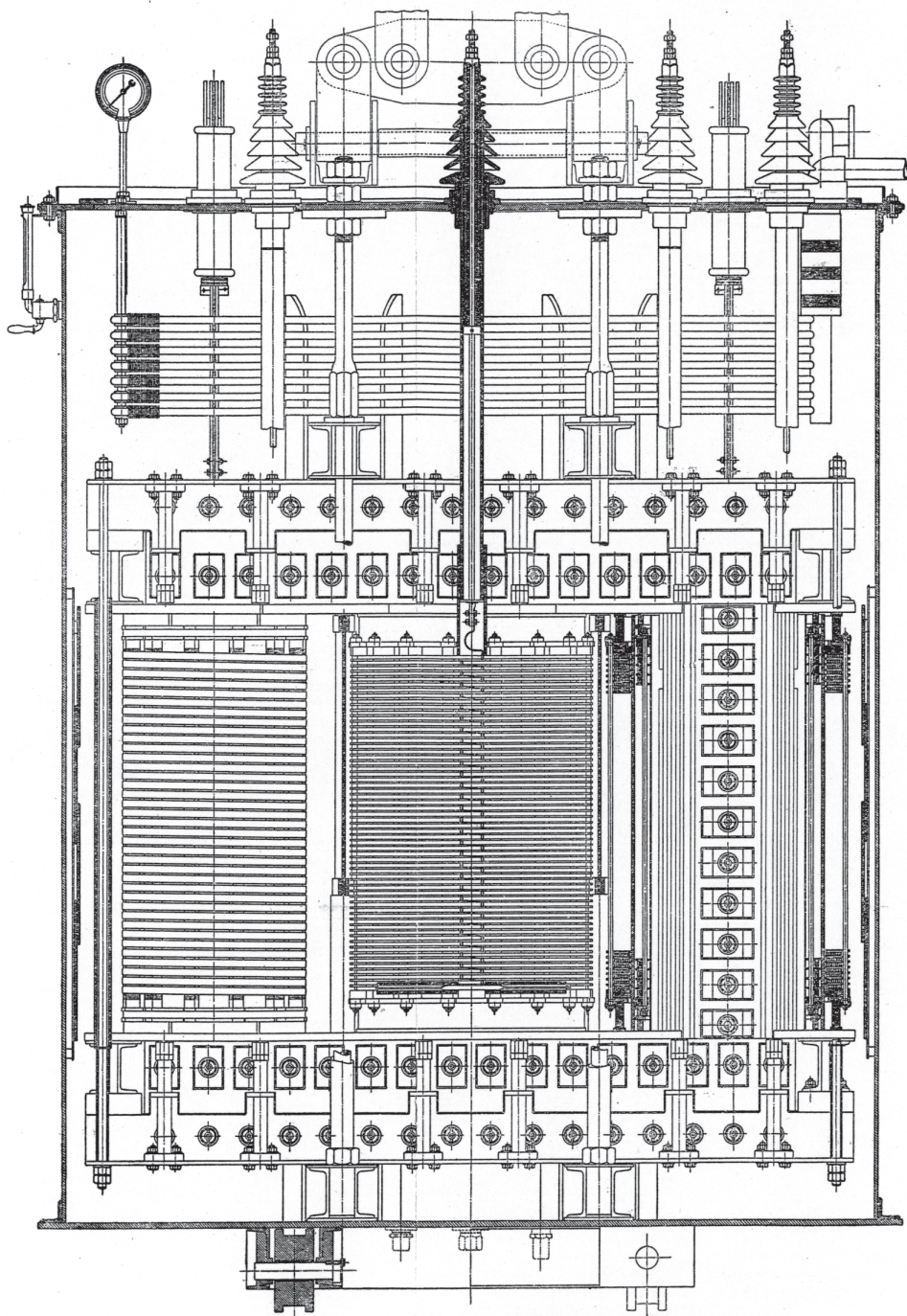
Transformator je ključni element elektroenergetskog sustava, jer omogućuje prijenos snage na veliku udaljenost pomoću visokog napona. Prvi trofazni transformator proizveden je 1890. u tvrtki *Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG)* u Berlinu. Konstruirao ga je inženjer Michael von Dolivo-Dobrowolsky (1862–1919); prema zamisli inženjera Charlesa E. L. Browna (1863–1924) za izolaciju i hlađenje namota transformatora upotrijebljeno je ulje. Taj transformator je ugrađen u prvi trofazni prijenos Lauffen–Frankfurt u okviru Međunarodne elektrotehničke izložbe u Frankfurtu 1891.

Gradnja energetskih transformatora dugo je bila otvoreno i nerazjašnjeno područje elektrotehnike. Opširne odgovore na skoro sva pitanja dala je knjiga *Die Transformatoren* profesora Milana Vidmara, koja je u nakladi Juliusa Springera u Berlinu imala dva izdanja: prvo 1921.¹ i drugo 1925.² Knjiga sadrži, između ostaloga, detaljni opis trofaznoga uljnog transformatora s unutarnjim hlađenjem vodom. Podaci transformatora su: nazivna snaga 16.000 kVA, naponi (prijenosni omjer) 4000/56.000 V, frekvencija 50 Hz, gubici u željezu 82 kW, gubici u bakru 134 kW, korisnost 98,65% (kod $\cos \varphi = 1$). Ako se protok rashladne vode poveća od 200 l/s na 300 l/s, onda je maksimalna trajna snaga (*höchste Dauerleistung*) 20.800 kVA. Unutarnje dimenzije kotla transformatora su 2900 × 1350 × 3600 mm. Ukupna težina s uljem iznosi 35.000 kg, a specifična težina 2,2 kg/kVA.

Taj primjer je uzet iz prakse, a odnosi se na veletransformator (*Grosstransformator*), koji je 1911. konstruiran u tvornici tvrtke *Ganz & Co.* u Budimpešti. To je tada bio najveći transformator na svijetu; dvije jedinice su 1912. instalirane u HE Kraljevac u funkciji generatorskog transformatora. O tom transformatoru je bila riječ u jednoj polemici o metodama proračuna transformatora, koja je vođena u časopisu *Elektrotechnische Zeitschrift* (1925). Vidmar je tada ustvrdio da je svaka konstrukcija transformatora u stvarnosti kompromis između različitih zahtjeva, te “da je spomenuti transformator 16.000 kVA dr. Bláthya izvanredno svrsishodno sagrađen” (*dass der erwähnte 16.000 kVA-Transformator von Dr. Bláthy ausserordentlich geschickt aufgebaut wurde*).³

U knjizi *Veletransformatorski problemi* (1943) Vidmar se opet bavi idejom velikog transformatora, a kao primjer mu je poslužio transformator 16.000 (20.800) kVA, iako su proteklih 30 godina građeni transformatori većih snaga i viših napona.⁴ Kada je Vidmar 6. studenoga 1957. u Elektrotehničkom društvu u Beču održao predavanje *Pedeset godina gradnje transformatora*, njegov životni put se zatvorio: težište toga povijesnog prikaza je ponovno bio transformator iz 1911.⁵

Milan Vidmar (1885–1962) je rođen u Ljubljani. Na Tehničkoj visokoj školi u Beču 1907. je diplomirao strojarstvo, a 1910. je stekao naslov doktora.⁶ Četiri godine je radio u tvornici *Elin* u Weizu kod Graza kao konstruktor centrifugalnih pumpi, a



Vidmar, Transformatoren.

Uzdužni presjek transformatora 4000/56.000 V, snage 16.000 (20.800) kVA

onda se posvetio električnim strojevima. Od siječnja 1912. do studenoga 1913. bio je zaposlen u tvrtki *Ganz & Co.* u Budimpešti kao osobni asistent inženjera O. T. Bláthya, izumitelja i graditelja transformatora. Od 1919. do 1957. je bio redoviti profesor na Sveučilištu u Ljubljani. Njegovi sustavno publicirani izvorni radovi i brojne knjige (velikim dijelom na njemačkom jeziku) svjedoče o teoriji i praksi električne transformacije i električnog prijenosa u prvoj polovici 20. stoljeća. Godine 1948. Vidmaru je povjereno osnivanje ljubljanskog *Elektroinstituta*, koji od 1968. nosi njegovo ime.

Milan Vidmar je knjigu *Die Transformatoren*, koja je rezultat desetogodišnjega predanog rada, posvetio O. T. Bláthyu, dvorskom savjetniku i počasnom doktoru Tehničkih visokih škola u Beču i Budimpešti, u znak zahvalnosti za “najčešće, najveće i najljepše poticaje”.¹ Vidmar se često poziva na Bláthya i njegova tehnička rješenja u gradnji transformatora, radostan što je imao “jednog rijetko velikoga stručnog učitelja” (*einen selten grossen Lehrmeister*). Međutim, 1913. je došlo do nesporazuma između Vidmara i njegova mentora, jer je Bláthy “malo dvosmisleno” odgovorio iz Rima na jedno Vidmarovo “uznemireno pismo”.⁷ Tako je okončana karijera jednog mladog inženjera u austrougarskom *elektropolisu*. Vidmar je odlučio vratiti se u Ljubljanu, ali dvije godine provedene u Budimpešti odredile su čitav njegov život. (Zanimljivo je da su Bláthy i Vidmar bili šahovski velemajstori međunarodne reputacije.)

Ottó Titusz Bláthy (1860–1939) je rođen u mađarskom gradiću Tata.⁸ Studij strojarstva je završio 1881. u Beču, a sredinom 1883. se zaposlio u Elektrotehničkom odjelu tvrtke *Ganz & Co.* u Budimpešti. Taj odjel je osnovan 1878. kada se u Europi još nije razmišljalo o upotrebi električne energije. Bláthy se smatra pionikom elektrotehničke industrije, jer je stekao osobite zasluge za primjenu izmjeničnog sustava. Njegova ideja o zatvorenoj željeznoj jezgri omogućila je konstrukciju prvog tehnički upotrebljivog transformatora, kao i izvedbu razdjelnog sustava s paralelnim spajanjem (patent Zipernowsky–Déri–Bláthy, 1885). U početku je tvrtka *Ganz & Co.* gradila elektrane jednofazne struje; najznačajnije ostvarenje je bila elektrifikacija grada Rima, a nakon toga i jednofazni prijenos Tivoli–Rim (1892). Kada je 1893. inženjer Károly Zipernowsky (1853–1942) prihvatio mjesto profesora na novoosnovanoj katedri za elektrotehniku na Tehničkoj visokoj školi u Budimpešti, vodeću ulogu u Elektrotehničkom odjelu preuzeo je Bláthy.

Najveća trofazna postrojenja tvrtke *Ganz & Co.* izgrađena do Prvoga svjetskog rata nalaze se u Italiji i Dalmaciji. Bláthy – koji je preferirao hidroelektrane s visokim generatorskim naponom – u slučaju HE Kraljevac je odlučio povisiti napon pomoću transformatora, jer je za prijenos snage trebao napon viši od 30.000 V. Stoga je trebalo nadoknaditi zaostajanje u razvoju i proizvesti veliki transformator, što je za tvrtku *Ganz & Co.* bilo ne samo pitanje konstrukcije nego i prestiža.

Vidmar piše: “Godine 1910. je Bláthy projektirao jedan transformator s unutarnjim hlađenjem za 8000 kVA, koji se mogao trajno opteretiti, ili bolje rečeno pre-

opoteriti, sa 16.000 kVA. Transformator je 1911. stavljen u pogon i tada je bio najveći transformator na svijetu.”¹ To se odnosi na trofazni uljni transformator napona 50.000/8400 V i frekvencije 45 Hz, koji se nalazio na kraju dalekovoda 50.000 V Terni–Rim, duljine 80 km.⁹ Prethodno je taj isti mrežni transformator, koji je bio zanimljiv zbog relativno malih dimenzija, predstavljen na Međunarodnoj industrijskoj izložbi u Torinu 1911. Naime, tvrtka *Ganz & Co.* imala je vrlo razvijene poslovne odnose s Italijom, tako da je u Milanu još 1907. osnovano *Società Italiana Ganz di elettricità*, a za predsjednika društva je izabran O. T. Bláthy.¹⁰

Nakon toga je Bláthy sebi postavio zadaću da konstruira trofazni transformator dvostruke nazivne snage (16.000 kVA).¹ Budući da je kod velikih transformatora glavni problem zagrijavanje, a voda djelotvorno sredstvo za odvođenje topline, izvedeno je unutarnje hlađenje vodom, koja cirkulira u cijevima uronjenima u ulje. Kada je početkom 1912. u Budimpeštu doputovala jedna talijanska komisija radi preuzimanja transformatora, pri ispitivanju je utvrđeno da se transformator može – uz pojačano hlađenje vodom – trajno opoteriti 30% više nego što je to bilo predviđeno.⁵ Stoga su na natpisnoj pločici transformatora upisane obje snage: 16.000 (20.800) kVA.

Početkom Prvoga svjetskog rata nalazilo se u pogonu sedam primjeraka ove “moćne konstrukcije” (*gewaltige Konstruktion*).¹ U jednoj publikaciji tvrtke *Ganz & Co.* prikazani su veletransformatori koje je Bláthy, na osnovu narudžbe društva *Anglo-Romana*, konstruirao za opskrbu grada Rima.¹¹ “Slični transformatori su istovremeno proizvedeni za postrojenje Omiš.” (*Ähnliche Transformatoren wurden gleichzeitig für die Anlage Almissa hergestellt.*)

Milan Vidmar piše: “Med prvo svetovno vojno so na temelju Bláthyevih idej v nemških tovarnah zrastle nadaljni transformatorski velikani. Dosegli so 30.000 kVA. Potrebni so bili za ogromne tvornice za dušik, ki jih je ustvarila vojna.”¹⁴ Naime, novi rekord u gradnji energetskih transformatora postavljen je u rujnu 1915. kada je u tvornici *AEG* u Berlinu dovršen prvi od četiri trofazna transformatora za TE Golpa, snage 22.000 kVA, prijenosnog omjera 6300/84.200 V i frekvencije 50 Hz.¹² Odvođenje topline je ostvareno tlačenjem ulja u rashladni uređaj s vodom, koji je smješten izvan transformatora. Krajem 1918. je tvrtka *AEG* izvijestila o isporuci drugog trofaznog uljnog transformatora za TE Goldenberg, snage 60.000 kVA i prijenosnog omjera 6250/110.000 V, izvedenog s vanjskim hlađenjem vodom.¹³

Njemačka tvrtka *Siemens-Schuckert* također nije zaostajala u gradnji velikih transformatora. Godine 1910. spominje se jedinica od 12.500 kVA hlađena vodom,¹⁴ a početkom 1915. je predstavljen trofazni uljni transformator snage 23.500 kVA i prijenosnog omjera 6150/26.000 V.¹⁵ Švicarska tvrtka *Brown Boveri & Cie.* je tek 1925. proizvela trofazni uljni transformator snage 12.500 kVA, prijenosnog omjera 56.000/8700 V i frekvencije 50 Hz; transformator je bio s vanjskim hlađenjem vodom, ukupne težine 31.000 kg i specifične težine 2,5 kg/kVA.¹⁶

Amerika je prednjačila u pogledu snaga generatora i visokih prijenosnih napona, ali ne i transformatora, jer su se postrojenja uglavnom izvodila s tri jednofazne jedinice. Međutim, zabilježeno je da je godine 1911. tvrtka *General Electric Co.* u jednoj hidroelektrani, građenoj za opskrbu 136 km udaljenog Montreala, instalirala tri trofazna uljna transformatora nazivne snage 14.000 kVA, prijenosnog omjera 6600/100.000 V i frekvencije 60 Hz, koji su hlađeni vodom.¹⁷

Dana 1. srpnja 1933. je “poznati elektrotehnički velemaistor” (*der bekannte Grossmeister der Elektrotechnik*) O. T. Bláthy slavio 50. obljetnicu rada u tvrtki *Ganz & Co.* u Budimpešti.¹⁸ Tom prigodom je Vidmar za časopis *Elektrotechnik und Maschinenbau* napisao njegov životopis u vidu kronološkog opisa njegovih djela, počevši od postanka izmjeničnog sustava (1885). Njegovo zanimanje za velike strojeve nije bilo slučajno, jer “on je uvijek volio pravocrtost i veličinu” (*er liebte immer Geradlinigkeit und Grösse*). Posvetivši se transformatorima, Bláthy je 1911. konstruirao jedinicu trajne snage 21.000 kVA “i postigao time svjetski rekord” (*und erringt damit einen Weltrekord*). (Vidmar je ovdje snagu zaokružio na 21.000 kVA po ugledu na *Ganzove* publikacije.) “Bláthy je uvijek mnogo eksperimentirao i mjerio”, ali zbog njegove nesklonosti književnom radu javnost nije dovoljno upoznata s njegovim dostignućima.

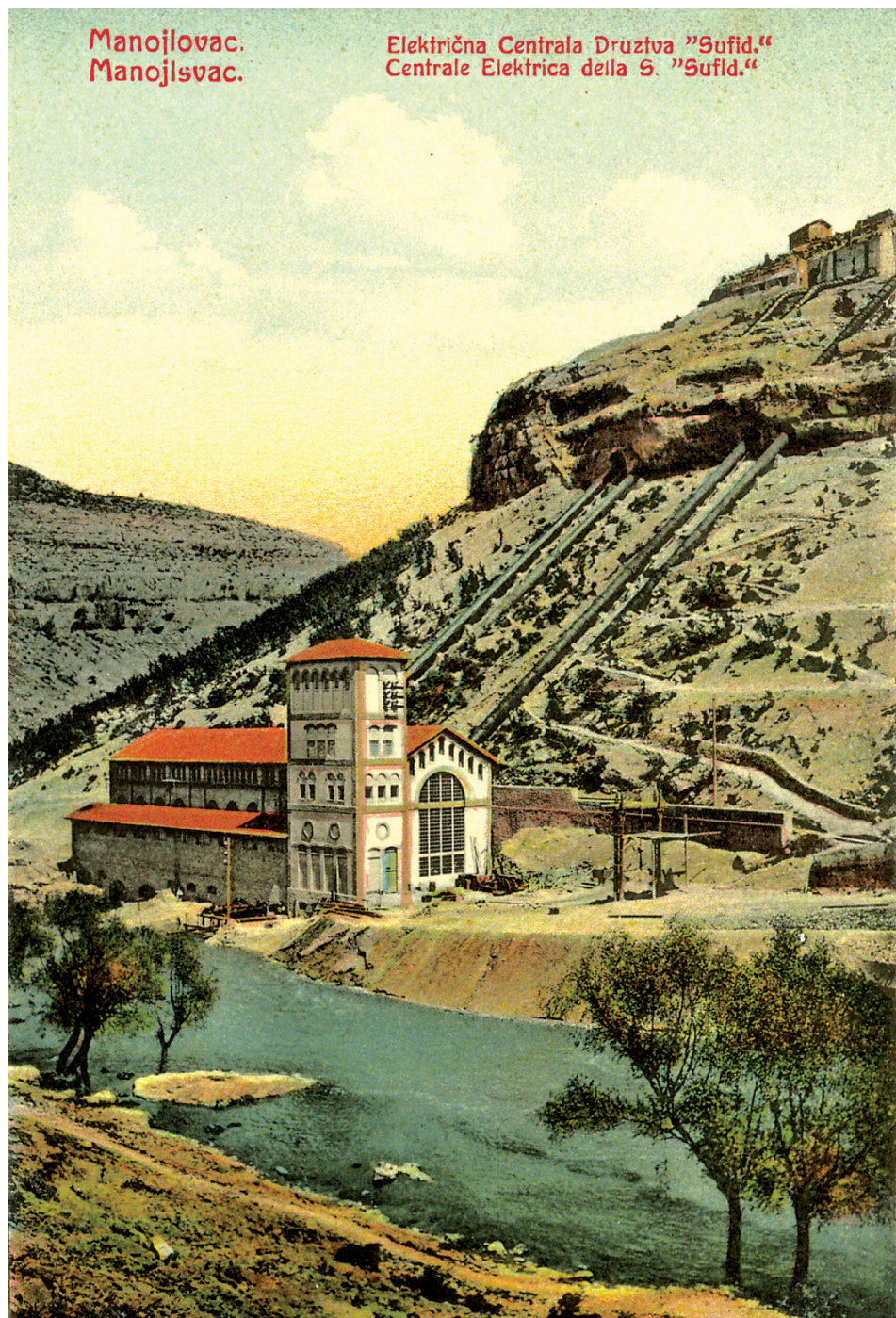
U časopisu *Elektrotechnische Zeitschrift* je istom prigodom konstatirano: “Premda je Bláthy svoje radove malo publicirao, njegova znanstvena istraživanja i pronalasci kao i njegova ostvarenja u gradnji električnih strojeva i aparata bili su poznati daleko izvan granica njegove domovine.”¹⁹

Milan Vidmar u svojim tekstovima ne spominje HE Kraljevac, ali to ne znači da nije bio upoznat s ovim najvećim i najznačajnijim postrojenjem tvrtke *Ganz & Co.* Na taj zaključak upućuje i njegov *Izveštaj o sporu između omiške, krajiške i poljičke općine te društva ‘La Dalmatienne’* (1938).

USPOREDBA VELIKIH ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA, 1914.

Projektiranje i građenje jedne velike hidroelektrane je moguće samo zajedničkim radom inženjera svih struka (hidrotehnike, geotehnike, graditeljstva, strojarstva, elektrotehnike), koji taj objekt tretiraju kao organsku cjelinu. Ovdje je riječ o HE Kraljevac kao uzornom ostvarenju u kontekstu razvoja elektrotehnike u Europi i Americi uoči Prvoga svjetskog rata. Károly Weltzl je u svojem predavanju (1914) usporedio tri najveća hidrogeneratora na svijetu (HE Kraljevac, HE Rjukan, HE Big Creek).¹ Međutim, stvarni značaj HE Kraljevac u trenutku stavljanja u pogon može se shvatiti samo usporedbom cjelovitih elektroenergetskih sustava.

U tom smislu je također zanimljiva HE Manojlovac (koja se sada zove HE Miljacka), jer je u svakom pogledu bila prethodnica HE Kraljevac: isti proizvođač



HE Miljacka/Manojlovac na Krki, razglednica, 1907.

opreme (*Ganz & Co.*), isti investitor (*Sufid*), ista namjena (proizvodnja karbida). HE Manojlovac (građena 1903–1906, u pogonu od 1907) je protočna elektrana koja koristi pad od 105 m, koji tvore četiri vodopada (Brljan, Manojlovac, Rošnjak, Miljacka).² Budući da na tom mjestu rijeka Krka naglo zaokreće, derivacijom kroz tunel duljine 1,6 km ostvaren je protok od 24 m³/s. HE Manojlovac je bila prva elektrana trofazne struje u Hrvatskoj, a po instaliranoj snazi od 20.800 kVA je spadala u velike elektrane. Četiri generatora nazivne snage 5200 kVA (napon 30.000 V, frekvencija 42 Hz, brzina vrtnje 420 min⁻¹, cos φ = 0,8) radili su paralelno. Proizvedena električna energija prenosila se dvostrukim dalekovodom na drvenim stupovima, napona 30.000 V i duljine 35 km, do jednog jedinog potrošača, tvornice karbida u Šibeniku.

Hugo Tenzer ovako opisuje postanak tehničke osnove HE Manojlovac: “Na poticaj šefa Elektrotehničkog odjela tvrtke *Ganz & Co.* O. T. Bláthya odustalo se od primjene transformatora i naručen je generator za direktnu proizvodnju struje visokog napona.” Profesor Hrvoje Požar (1916–1991) piše da je ta elektrana “u vrijeme izgradnje bila vrhunsko tehničko ostvarenje, koje u jednoj karakteristici nije ni do danas premašeno”.³ Ova konstatacija se odnosi na namote generatora, koji su bili konstruktivno i izolacijski izvedeni za napon 30.000 V. Budući da su generatori bili direktno spojeni s nadzemnim vodom, atmosferski prenaponi izazivali su proboje izolacije na namotima generatora. Dobro uvježbana posada elektrane je oštećene namote godinama sama zamjenjivala.

Krajem 19. stoljeća proslavila se tvrtka *Ganz & Co.* izgradnjom dviju hidroelektrana u Tivoliju na rijeci Aniēne, koje su služile za opskrbu grada Rima.⁴ Početkom 20. stoljeća je ista tvrtka na istoj rijeci u istu svrhu instalirala još tri hidroelektrane, koje su bile koncipirane kao i trofazni sustav Manojlovac–Šibenik. Prva je HE Subiaco (u pogonu od 1906) s dva generatora iste snage (5200 kVA), istog napona (30.000 V), ali različite frekvencije (45 Hz); dvostruki dalekovod 30.000 V Subiaco–Rim bio je duljine 54 km. Druga je HE Arci (u pogonu od 1912) instalirane snage 2 × 5200 kVA i napona 30.000 V. Treća je HE Castel Madama (u pogonu od 1915) instalirane snage 2 × 7500 kVA, napona 30.500 i 33.000 V. Kada je 1909. rimsko električno društvo (*Società Anglo-Romana per la illuminazione di Roma*) naručilo generatore za novu HE Arci to se u Budimpešti smatralo kao “najbolji dokaz za pogonsku izvrsnost (*Betriebstüchtigkeit*) generatora 30.000 V, koji su trenutačno proizvodni specijalitet *Ganzove* tvornice”.⁵

Primjena generatorskog napona 30.000 V, umjesto tada uobičajenih 6600 ili 11.000 V, bila je pogodna zbog ušteda (pogotovo kod strojeva većih snaga), pa se o tome raspravljalo u stručnim krugovima (na primjer, 1929. u londonskom Institutu elektroinženjera).⁶ Zanimljivo je također da je profesor Georg Forbes (1849–1936) za HE Niagara Falls (u pogonu od 1895) predlagao generatore napona 20.000 V, “ali ni jedna američka tvornica nije htjela graditi strojeve za takav pogonski nesiguran visoki napon”.⁷

U norveškoj pokrajini Telemark, na rijeci Måna nalazi se znameniti vodopad Rjukan (*Rjukanfossen*), visine 105 m; po tom vodopadu su nazvane dvije hidroelektrane.⁸ Måna je kratka rijeka (32 km), s relativno malim protokom i velikim padom (540 m), koji je energetske podijeljen u dva dijela. Derivacijom kroz tunel duljine 4,2 km ostvaren je protok $47 \text{ m}^3/\text{s}$ i pad 280 m), a u Vermoku je podignuta HE Rjukan I. (građena 1907–1911, u pogonu od 1912) instalirane snage 170.000 kVA. To je tada bila najveća hidroelektrana na svijetu.⁹ Njezinu gradnju je uglavnom financirala njemačka kemijska industrija (*Badische Anilin- und Sodafabrik*). “Budući da tada još nije bilo iskustva s tako velikim snagama, elektrana je izgrađena na pola visine cijelog pada.” Nakon što je u 6,5 km udaljenom Saaheimu izgrađena HE Rjukan II. instalirane snage 150.000 kVA konstantirano je (1923): “Kada bi se elektrana danas gradila iskoristio bi se cijeli pad u jednoj jedinosti stepenici sa strojarnicom smještenom u Saaheimu.”

Iscrpni opis električnog dijela HE Rjukan I. (Vermok) objavljen je već u svibnju 1912. u pariškom časopisu *La Lumière Électrique*.¹⁰ Autor članka Fritz Marguerre (1878–1964) je studirao elektrotehniku u Aachenu i Karlsruheu, gdje je i doktorirao 1904.¹¹ Zaposlivši se u švicarskoj tvrtki *Brown Boveri & Cie.* iskazao se kao “vrlo daroviti inženjer” te je 1909. imenovan glavnim inženjerom (*Chefingenieur*) na gradilištu hidroelektrane u Norveškoj.

HE Rjukan I. je sadržavala deset agregata s horizontalnim dvojnim Peltonovim turbinama snage 14.300 KS (ukupno 143.000 KS). Devet agregata je izvedeno s dvojnimi generatorima nazivne snage $2 \times 8500 \text{ kVA}$ (napon 10.000–11.000 V, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 250 min^{-1} , $\cos \varphi = 0,6$).¹⁰ Od toga je pet dvojnih generatora proizvedeno u Švedskoj (*Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget*), a četiri dvojna generatora u Švicarskoj (*Brown Boveri & Cie.*). Jedino je deseti agregat imao generatorsku jedinicu građenu za snagu 17.000 kVA (*Brown Boveri & Cie.*), što ukazuje na oklijevanje europske industrije u gradnji velikih hidrogenatora.

Snaga se direktno prenosila naponom 11.000 V preko pet četverostrukih nadzemnih vodova (20 trojki po 8500 kVA) do 4,5 km udaljene tvornice salitre. Salitra proizvedena u norveškim brdima prevozila se željeznicom do 16 km udaljene luke, gdje se pretovarivala na brodove. Elektroenergetski sustav HE Rjukan I. je izveden bez transformatora i zato nije bio praktičan: umjesto da se transportira električna energija – transportirala se proizvedena roba.

Kod projektiranja HE Kraljevac konačno je prihvaćena izvedba cjelovitog elektroenergetskog sustava po uzoru na prijenosnu tehniku definiranu epohalnim eksperimentom Lauffen–Frankfurt (1891). U tu svrhu je trebalo proizvesti velike generatorske i mrežne transformatore, što je za tvrtku *Ganz & Co.* – gdje je prije 25 godina stvoren prvi tehnički upotrebljivi transformator – bilo ne samo pitanje konstrukcije nego i prestiža.

U prvoj etapi izgradnje HE Kraljevac je dvostruki nadzemni vod 56.000 V, izveden s potpornim izolatorima, služio u prvom redu za opskrbu 23 km udaljene tvornice karbida u Dugom Ratu. Dakle, ne dva jednostruka trofazna voda (što više odgovara koncepciji s dva neovisna energetska sustava), nego dva trofazna voda na istim stupovima (što je jednostavnije za realizaciju). Prijenosna moć dalekovoda 56.000 V bila je usklađena s instaliranom snagom elektrane (2×16.000 kVA).

Ovdje valja posebno istaknuti dobro odabranu lokaciju tvornice, udaljene 5 km od Omiša prema Splitu, na morskoj obali s dubokim pristaništem. To je bolje rješenje nego da je tvornica smještena u neposrednoj blizini grada kao što je to slučaj u Šibeniku, gdje je bila izvor zagađenja i prepreka širenju grada.

Godine 1920. je u većini zemalja napon 60.000 V bio jedan od tri standardna prijenosna napona.¹² Napon 60.000 V je bio praktična granica upotrebe potpornih izolatora, a smatrao se i kao prikladna granica za ekonomičnu konstrukciju transformatora. U tom smislu je zanimljiv komentar znamenitog elektrotehničkog teoretičara Charlesa Proteusa Steinmetza (1865–1923): “Nekoć je granica visokonaponskog prijenosa snage bila određena s izolatorima na nadzemnom vodu, jer se sa starim potpornim izolatorima (*Stützenisolatoren*) nisu mogli dostići naponi viši od 60.000 V.”¹³

Američki časopis *Electrical World* objavio je 25. travnja 1914. jedinstveni dokument: kompilaciju svih svjetskih elektroenergetskih sustava prijenosnog napona od 70.000 V naviše.¹⁴ Pregledna tablica sadrži kompletne podatke ukupno 55 elektroenergetskih sustava od kojih se većina nalazi u Sjevernoj Americi. U Europi je s uvođenjem visokih napona prednjačila Njemačka, gdje je u siječnju 1912. stavljen u pogon dalekovod 110.000 V Lauchhammer–Riesa duljine 56 km.¹⁵

HE Big Creek na istoimenoj rijeci u Kaliforniji bila je glasovita ne samo po najvećem hidrogeneratoru nego i po najvišem prijenosnom naponu.¹⁶ Ukupni pad vode je podijeljen (625 m, 565 m) i iskorišten u dvije odvojene elektrane. U prvoj etapi izgradnje (1913) instalirana su četiri agregata; svaki agregat se sastojao od dvojne turbine snage 2×10.000 KS, koja je spojena s generatorom nazivne snage 17.500 kVA (napon 6600 V, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 375 min^{-1} , $\cos \varphi = 0,85$). Svaki generator je imao transformaciju 6600/150.000 V izvedenu pomoću tri jednofazna uljna transformatora nazivne snage 5833 kVA. Do Los Angelesa su izgrađena dva jednostruka dalekovoda 150.000 V duljine 386 km; ovaj napon i ova duljina voda su predstavljali svjetski rekord.

Frekvencija je od početka primjene izmjenične struje predstavljala složeno pitanje, ali se oko 1900. nastojalo ujednačiti frekvenciju (u Europi 50 Hz, u Americi 60 Hz). “Mađarska je bila zemlja rođenja izmjeničnog sustava; zato je lako razumljivo da u električnim postrojenjima koje je svojodobno izvela tvrtka *Ganz & Co.* prevladava frekvencija 42 Hz.”¹² Zapravo, šibenske elektrane (HE Jaruga, HE Manojlovac) bile su građene za frekvenciju 42 Hz,² dok su rimske elektrane (HE Tivoli II, HE Subiaco, HE Arci, HE Castel Madama) imale frekvenciju 45 Hz.⁴



Hidroelektrana Kraljevac, 1960.

Kada je došla na red HE Kraljevac tvrtka *Ganz & Co.* je konačno odlučila prijeniti frekvenciju 50 Hz; to je bilo moguće, jer je omiški elektroenergetski sustav radio odvojeno od šibenskog sustava. Budući da je u Njemačkoj prevladala frekvencija 50 Hz, Savez njemačkih elektrotehničara (VDE) u Berlinu je uoči Prvoga svjetskog rata tu frekvenciju preporučio za sva nova postrojenja. Krajem rata u Austriji se također razmišljalo o ujednačavanju frekvencije, pa je Elektrotehničko društvo u Beču 1920. normiralo frekvenciju 50 Hz.¹⁷ Budući da Mađarska nije htjela biti odvojena od zapadnoeuropskih normi, Elektrotehničko društvo u Budimpešti je 1920. također propisalo frekvenciju 50 Hz.¹²

ERNÖ WILCZEK, DRUGA ETAPA IZGRADNJE, 1926–1932.

Hidroelektrana Kraljevac je bila ponos tvrtke *Ganz & Co.* u Budimpešti i njezina najbolja referenca, a za mnoge konkurentske elektroindustrije je predstavljala nedostižni ideal. Kada je 1924. tvrtka *Ganz & Co.* objavila lijepo ilustriranu brošuru *Iskorištavanje vodnih snaga Dalmacije (Ausnützung der Wasserkräfte Dalmatiens)* veći dio teksta odnosio se na postrojenje Kraljevac: *Die Anlage Almissa (Kraljevac)*.¹ Budući da je na tome mjestu bilo najracionalnije iskoristiti protok 75 m³/s i pad 110 m, vodograđevni dio je izveden u skladu s konačnim programom gradnje, dakle za skoro 100.000 KS, “iako sama elektrana za sada umjesto pet jedinica sadrži samo dvije jedinice” (*obwohl das Kraftwerk selbst vorläufig anstatt 5 Einheiten nur 2 Einheiten in sich bergreift*), koje zajedno koriste 30 m³/s vode.

Prema tome, HE Kraljevac je koncipirana s pet turbina konstruiranih za protok po 15 m³/s, što je bilo u skladu s tada maksimalnim snagama vodnih turbina (18.000 KS) i hidrogenerators (16.000 kVA). Ovu početnu i logičnu osnovu ne navode drugi autori, jer je preinačena za vrijeme gradnje i to zbog budućeg porasta jediničnih snaga strojeva. Hugó Tenzer piše da su planirana četiri tlačna cjevovoda; u prvoj etapi su postavljena dva cjevovoda dimenzionirana za protok po 15 m³/s, dok su u drugoj etapi predviđena još dva cjevovoda po 25 m³/s.² Paul Zigerli spominje proširenje HE Kraljevac s dvije turbine protoka po 25 m³/s, što znači povećanje snage od 36.000 KS na ukupno 96.000 KS.³ U tom smislu su na tlocrtu vodne komore prikazana dva manja i dva veća ulaza u tlačne cjevovode.

Strojevi za drugu etapu izgradnje također su proizvedeni u tvornicama tvrtke *Ganz & Co.* Na crnim kućistima turbina *Ganz-Danubius* ističe se bijelom bojom godina 1926. U budimpeštanskom časopisu *Elektrotechnika* objavljena je u lipnju 1926. informacija da će HE Kraljevac nakon ugradnje dva nova agregata imati ukupnu snagu 100.000 KS.⁴ Navedeni su neki tehnički podaci turbina (snaga 30.500 KS, brzina vrtnje 375 min⁻¹) i generatora (napon 3800 V, frekvencija 50 Hz). Budući da će se prijenosni napon povisiti na 80.000 V, predviđena je ugradnja novih transformatora

nazivne snage 42.000 kVA; prijenosni omjer u Kraljevcu bit će 3800/80.000 V, a u Dugom Ratu 80.000/15.000 V.

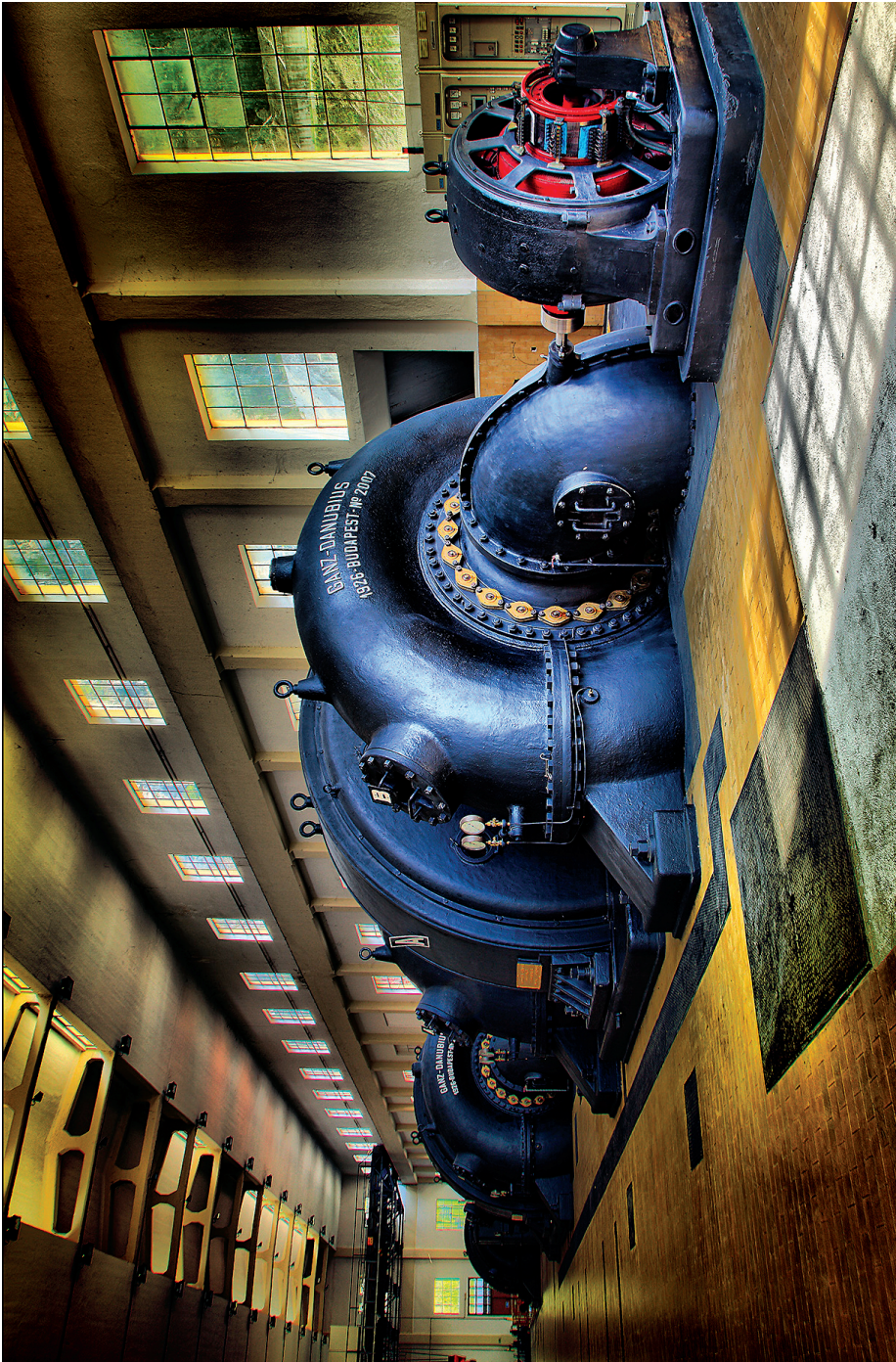
U članku *Hidroelektrična postrojenja na rijekama Krki i Cetini* (*Die hydroelektrischen Anlagen an den Flüssen Kerka und Cetina*) objavljenom u svibnju 1930. riječ je o dalmatinskim hidroelektranama izvedenim s opremom *Ganz & Co.*⁵ U poglavlju *Die Anlage Almissa* spominje se *Zentrale Kraljevac*. Autor članka Ernő Wilczek (1883–1950), inženjer tvrtke *Ganz & Co.* i urednik časopisa *Elektrotechnika*, objašnjava nove okolnosti: “Daljnja izgradnja omiškog postrojenja, koje je trenutačno prešlo u vlasništvo francuskog društva *La Dalmatienne (Société Française des Forces Hydroélectriques de la Dalmatie)*, ponovno je započela 1929. i treba – prema informacijama direktora ing. A. von Gaibla u Splitu – u proljeće 1931. biti u pogonu.”

Novo postrojenje je potvrdilo mit o savršenstvu *Ganzovih* strojeva. Agregati su po konstrukciji i rasporedu u načelu isti kao agregati proizvedeni 1912. Svaki agregat se sastoji od jedne Francisove dvojne turbine, koja kod pada 107 m i brzine 375 min^{-1} postiže 30.500 KS (protok turbine $25 \text{ m}^3/\text{s}$ nije naveden). Turbina je preko horizontalne osovine spojena s trofaznim 16-polnim generatorom nazivne snage 26.000 kVA (napon 3800 V, frekvencija 50 Hz, $\cos \varphi = 0,8$). U budućnosti je predviđen paralelni rad sva četiri generatora, piše Wilczek. Ukupna instalirana snaga elektrane iznosit će 84.000 kVA. Za prijenos te snage postaviti će se u elektrani i tvornici po dva trofazna transformatora jedinične snage 42.000 kVA.

“Budući da bi izradnja novog dalekovoda u nedostatku zakona o eksproprijaciji (*Enteignungsgesetz*) bila povezana s velikim troškovima, morao se napon voda povisiti na 80.000 V, kako bi se ukupna snaga mogla prenijeti pomoću postojećega dvostrukog dalekovoda. S obzirom na bogato dimenzionirane željezne stupove bila je moguća zamjena izolatora 50.000 V s izolatorima 80.000 V. Novi transformatori su stoga isporučeni za 80.000 V.”

Druga etapa izgradnje HE Kraljevac dovršena je 1932.⁶ Povišenje prijenosnog napona, koje opisuje Wilczek, nije sprovedeno. Novi transformatori izvedni za gornji napon 80.000 V prerađeni su za 61.500 V. Pri rekonstrukciji sklopnog postrojenja u generatorske odvođe su ugrađeni prekidači, ali je obustava pogona zbog loše konstrukcije prekidača bila nadalje sniženjem uzbude generatora. Sustavi su radili odvojeno: jedan veći generator je preko jednoga većeg transformatora i jednoga trofaznog voda dvostrukog dalekovoda napajao lučne peći, a drugi generator je preko drugog voda napajao pomoćne pogone u tvornici i ostale potrošače izvan tvornice.

Zanimljiva je usporedba s HE Fala na Dravi kod Maribora (instalirana snaga $5 \times 5200 \text{ kVA}$), koja je uz velike napore građena tijekom Prvoga svjetskog rata i stavljena u pogon 1918. Prema pisanju zagrebačkog *Tehničkog lista* (1923), “centrala u Fali spada u onu grupu centrala, koje su kao Gubavica, Manojlovac i Jajce bile u



Strojarnica HE Kraljevac, 2009. (foto: Darko Rom)

glavnome stvorene za određeni elektrokemički konzum, no koje su računale i sa znatnim proširenjem svog djelokruga, a danas su neizrabljene”.⁷ Nakon toga je izgrađen dvostruki nadzemni vod 80.000 V Fala–Laško duljine 79 km; izveden je s bakrenim užetom presjeka 60 mm² i ovjesnim izolatorima na čeličnim rešetkastim stupovima.

Budući da je velika instalirana snaga HE Kraljevac zahtijevala odgovarajući konzum, godine 1932. se radilo na “jadranskom dalekovodu”.⁸ Društvo *La Dalmatienne* je predložilo gradu Zagrebu izgradnju o svojem trošku dalekovoda 100.000 V Kraljevac–Zagreb ako se grad obveže preuzimati određene količine električne energije. Zagreb je bio spreman prihvatiti tu ponudu, ali projekt nije realiziran zbog pomanjkanja kapitala uslijed svjetske ekonomske krize.

Nije izgrađen ni predviđeni dalekovod do Makarske. Pitanje opskrbe Makarske električnom energijom proučio je inženjer Pierre Marie Auguste Douverne, generalni direktor društva *La Dalmatienne*.⁹ Uprava društva u Parizu je početkom 1934. prihvatila njegov prijedlog i odlučila da u svojoj režiji izgradi dalekovod 15.000 V Kraljevac–Makarska. Istodobno je jedna belgijska grupa, s kojom su bili povezani braća Škrivanić iz Omiša, predložila izvedbu dalekovoda 15.000 V Ravnice–Makarska. Taj dalekovod bi doduše omogućio elektrifikaciju sela u Rogoznici, ali je bio znatno dulji jer se nastavljao na dalekovod Dugi Rat–Ravnice.

Između dva rata priključen je na HE Kraljevac praktički samo grad Split i njegova industrijska zona s tvornicama cementa. Ugovor *Sufida* i splitske općine od 23. studenoga 1923. odnosi se na opskrbu električnom energijom iz HE Kraljevac (*centrale di Kraljevac*).¹⁰ Radi se o trofaznoj struji maksimalne snage 4000 kW, napona oko 50.000 V, frekvencije 50 Hz. U jednom članku se spominje snaga 1000 KS, koja se već isporučuje omiškoj općini.

U to doba je direktor splitskog društva *Električna poduzeća* bio inženjer Jerko Jerić (1888–1964).¹¹ Rođen je u Metkoviću, realnu gimnaziju završio je u Splitu, a diplomirao je na Tehničkoj visokoj školi u Zürichu (1911). Mladi Jerić je od ožujka 1912. do ožujka 1913. sudjelovao na izgradnji HE Kraljevac. Nakon uspješne elektrifikacije Splita napisao je jedan članak, koji je objavljen u časopisu *Elektrotechnik und Maschinenbau* (1930).¹²

Od tvornice karbida u Dugom Ratu do transformatorske stanice u Dujmovači kod Splita izgrađen je jednostruki dalekovod 50.000 V, duljine 17 km, izveden s bakrenim užetom presjeka 35 mm² i potpornim izolatorima na čeličnim rešetkastim stupovima. TS 50.000/10.000 V Dujmovača, koja se nalazila pored ceste Split–Solin imala je instalirana dva transformatora nazivne snage 2700 kVA. Opremu su isporučile dvije bečke tvrtke; postrojenje 50.000 V (*AEG-Union*) i transformatori (*Siemens-Schuckert*) smješteni su na otvorenom, a postrojenje 10 kV (*Siemens-Schuckert*) u zgradi. U prvoj etapi je priključeno pet nadzemnih vodova 10.000 V od čega su dva voda služila za opskrbu grada Splita. Prema pisanju splitskog *Novog doba* svečano otvaranje transformatorske stanice predviđeno je za svibanj 1927.¹³

Godine 1948. je izgrađen dalekovod 110.000 V Kraljevac–Lozovac (privremeno pod naponom 56.000 V) i ostvaren paralelni rad dalmatinskih elektrana (HE Kraljevac, HE Manojlovac, HE Jaruga).⁶ Priključak HE Kraljevac na mrežu 110.000 V izveden je 1955.

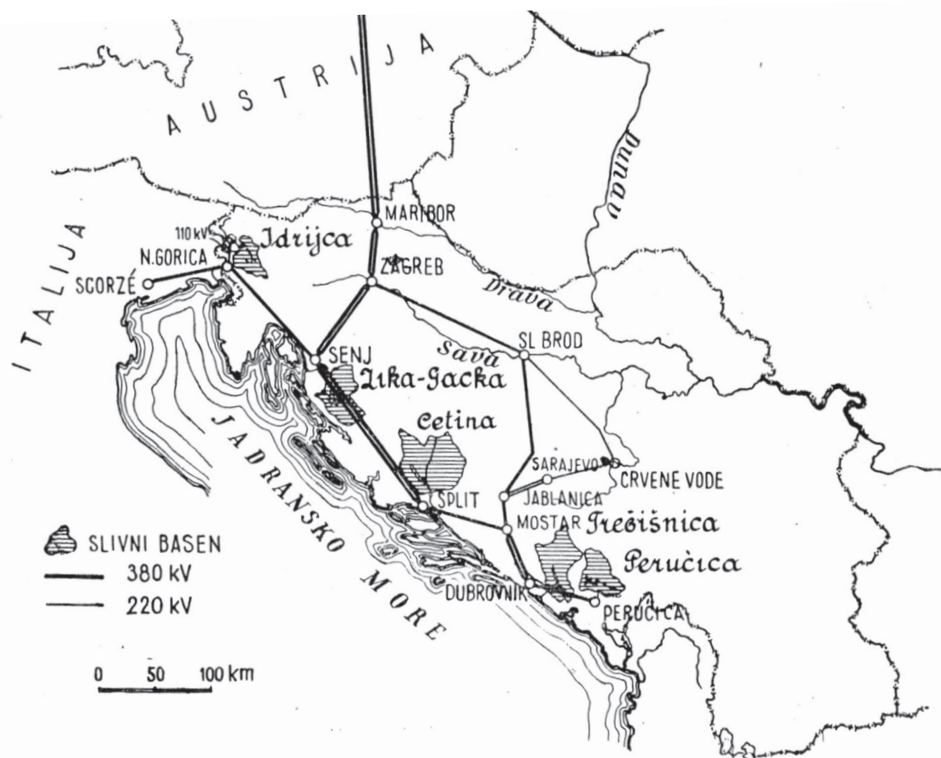
Prije Drugoga svjetskog rata je godišnja proizvodnja HE Kraljevac kao protočne elektrane postupno rasla od 67,3 GWh (1931) do 165,6 GWh (1939).¹⁴ Taj porast je najviše ovisio o glavnom konzumentu, tvornici karbida i cijanamida u Dugom Ratu, koja je 1939. imala potrošnju 128,5 GWh.¹⁵ Poslije rata je razvoj prijenosne mreže pratio porast konzuma, pa je nastavljen rast godišnje proizvodnje: 182,3 GWh (1948), 212,4 GWh (1950), 264,4 (1952), 296,6 GWh (1955), 334,3 GWh (1957).¹⁴ Međutim, najveća godišnja proizvodnja HE Kraljevac je ostvarena uoči stavljanja u pogon HE Zakućac, jer je tada korištena voda iz akumulacije Peruća: 471,6 GWh (1960).

MOGUĆNOSTI ENERGETSKOG KORIŠTENJA CETINE, 1945–1955.

Cetina je izrazito kraška rijeka.¹ Duljina njezina toka je 105,5 km. U gornjem dijelu protječe pretežno širokim i ravnim poljima, a u donjem dijelu uglavnom kroz duboke i uske klance. Protok Cetine je stalan zahvaljujući podzemnom pritjecanju vode iz velikih kraških polja jugozapadne Bosne. To su izdašna vrela koja se nalaze u gornjem toku, dok je u donjem toku jedino značajnije stalno vrelo Studenci. Ukupni pad Cetine iznosi 382 m (od izvora do ušća), od čega je pad u donjem toku 292 m (od Trilja do ušća); najveći pad je koncentriran na slapovima Gubavice (110 m). Ovakav raspored (mnogo vode na velikom padu) je idealan za energetske korištenje, a nagla promjena smjera Cetine kod Zadvarja omogućava izvedbu povoljne derivacije. Budući da se na Cetini pojavljuju protoci u vidu bujica i znatna kolebanja protoka u pojedinim hidrološkim godinama, gradnjom velike akumulacije u gornjem toku može se postići godišnje vodno izravnjanje u donjem toku.

Između dva svjetska rata nije izgrađena ni jedna veća hidroelektrana, pa je HE Kraljevac bila najveća jugoslavenska elektrana sve do stavljanja u pogon HE Jablanica (1955). Poslije Drugoga svjetskog rata – kada je elektrifikacija postala jedan od najvažnijih gospodarskih i političkih ciljeva – konačno je došla na red HE Zakućac. Međutim, na samome početku su razmatrani neki drugi projekti (HE Vrulja, HE Solin).

Električno poduzeće Hrvatske (Elpoh) je već 15. prosinca 1945. objavilo *Plan elektrifikacije Hrvatske* u kojem je predviđeno korištenje vodne snage Cetine u tri stepenice (HE Bisko, HE Kraljevac, HE Vrulja); ove elektrane su protočne, jer nije predviđena akumulacija vode.² HE Kraljevac (koja se tada zvala HE Tito) je postojeća elektrana (protok 75 m³/s, bruto pad 110 m) s instaliranom snagom 84 MVA, dok su planirane HE Bisko (125 m³/s, 54 m) i HE Vrulja (125 m³/s, 55 m) s instaliranom



Planirana prijenosna mreža 380 kV za izvoz električne energije, 1954.

snagom po 67,5 MVA. Podaci za HE Vruška su konkretni i vjerojatno potječu iz projekta koji je razrađen ranije. Voda se zahvaća na odvodu HE Kraljevac i vodi tunelom duljine 3,2 km do vodne komore postavljene tik ispod ceste, dok je strojarnica smještena na samoj morskoj obali. Predviđeno je pet agregata s horizontalnim dvojnim Francisovim turbinama snage po 10 MW. Nazivna snaga trofaznih generatora je 13,5 MVA (napon 10 kV, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 250 min^{-1} , $\cos \varphi = 0,75$). Iako je ovaj na brzinu izrađeni plan imao svoju svrhu, za hidroelektrane na Cetini nije mogao biti konačan.

Od 1947. do 1951. su obavljeni opsežni studijski i istražni radovi na području šireg sliva Cetine. Na osnovu toga je zagrebačko poduzeće *Elektroprojekt* (koje se do tada zvalo *Hidroelektroprojekt*) objavilo tehničko-ekonomsku studiju o mogućnostima energetskeg korištenja rijeke Cetine i kraških polja jugozapadne Bosne. Engleska verzija ovog izvješća (*report*) iz siječnja 1952. (*Possibilities of the energetic utilization of Cetina-river and karst-fields in southwestern Bosnia*) bila je namijenjena

inozemnim poslovnim i financijskim krugovima.³ U tom izvješću su opisane karakteristike sliva Cetine (geološke, topografske, hidrološke), prikazani osnovni projekti svih postrojenja i procijenjeni investicijski troškovi.

Predviđena je izgradnja dviju akumulacija (Peruća na Cetini, Buško blato u Bosni), tri hidroelektrane (HE Peruća, HE Jabuka, HE Solin), kao i prijenosne mreže visokog napona. HE Peruća je pribranska elektrana (protok 70 m³/s, bruto pad 37 m) instalirane snage 28 MVA, a HE Jabuka koristi vodu iz Buškog blata (80 m³/s, 415 m) i ima instaliranu snagu 270 MVA. Najveći objekt je HE Solin (protok 160 m³/s, bruto pad 285 m) s instaliranom snagom 440 MVA. To je derivacijska elektrana s dva paralelna tunela od Trilja do Klisa, duljine po 15,65 km i podzemnom strojarnicom s osam agregata. Nazivna snaga trofaznih generatora je 55 MVA (napon 13 kV, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 428 min⁻¹).

Uspoređeni su troškovi gradnje i troškovi prijenosa za dalekovode 380 i 220 kV od Solina do austrijske i talijanske granice (420 km). Polovica proizvedene snage i energije je bila namijenjena izvozu (300 MW, 1300 GWh). Naime, područje Dinarskog gorja obiluje vodom u zimskom razdoblju (studeni–travanj) kada susjedne zemlje oskudijevaju električnom energijom, jer je najveći protok alpskih rijeka u ljetnom razdoblju (svibanj–listopad). Od izgradnje HE Solin se ubrzo odustalo, ali ovu zanimljivu epizodu iz povijesti hidroelektrana na Cetini ne treba zaboraviti. Ovo izvješće je imalo odjeka u stručnom svijetu, jer je izrađeno u skladu s najnovijim švicarskim smjernicama (*Richtlinien für die vergleichende Beurteilung der relativen Wirtschaftlichkeit von Wasserkraft-Vorprojekten*, 1949).⁴

Budući da je elektroenergetsko povezivanje alpskog i dinarskog područja bilo u obostranom ekonomskom interesu, u okviru Komisije za električnu energiju pri Europskoj ekonomskoj komisiji Ujedinjenih naroda (*Commission économique pour l'Europe des Nations Unies*) u Ženevi je osnovana organizacija nazvana *Yougelexport*.⁵ Početkom 1953. su formirane ekspertne grupe za tehnička, ekonomska, financijska i pravna pitanja. U radu tih grupa su sudjelovali predstavnici Savezne Republike Njemačke, Austrije, Italije i Jugoslavije. Suradnjom domaćih i stranih stručnjaka izrađene su opsežne studije, a rezultati su publicirani u Ženevi. Tehničko izvješće o mogućnosti izvoza električne energije iz Jugoslavije (*Possibilités d'exportation d'énergie électrique en provenance de la Yougoslavie*) objavljeno je početkom 1955. Predviđena je izgradnja četiri ekonomski najpovoljnije hidroelektrane – koje koriste vode Idrijice, Like i Gacke, Cetine, Trebišnjice – kao i odgovarajuća prijenosna mreža.

Eksploatacija do tada neiskorištenih vodnih snaga zahtijevala je ne samo velika financijska sredstva, nego i odgovarajuća stručna znanja. Stoga je bilo korisno iskustvo niza istaknutih stranih inženjera, koji su aktivno sudjelovali u radu *Yougelexport*a. Tako je Carlo Semenza (1893–1961) iz Venecije (*Società Adriatica di Elettricità*) u splitskom Društvu inženjera i tehničara održao 27. travnja 1954. predavanje o tehnici

građenja alpskih hidroelektrana.⁶ Iz iste tvrtke je bio ekspert za vodne snage Dino Tonini (1905–1975)⁷ po kojemu je poslije nazvan centar za hidrologiju Sveučilišta u Padovi (*Centro Internazionale di Idrologia Dino Tonini*).

Značajan je također doprinos Rudolfa von Millera (1899–1996) iz Münchena, zaposlenog u poduzeću svojega glasovitog oca (*Ingenieurbüro Oskar von Miller*), koji je izradio prijedlog kompletne prijenosne mreže 380 i 220 kV (*Bericht über Stromtransport aus Jugoslawien*, 1954).⁸ (Prva dionica njemačke mreže 380 kV bio je dalekovod Rommerskirchen–Hoheneck duljine 340 km, koji je stavljen u pogon 1957.)⁹

Inženjer Stjepan Han, koji je predsjedavao Tehničkom komisijom *Yougelexporta*, u jednom izvješću je izrazio nadu da su ove studije uvertira intenzivnije razmjene električne energije između europskih zemalja odnosno početak jednoga novog vida međunarodne suradnje.⁵ Pored svih optimističkih prognoza, ovaj zajednički program – u koji je uloženo mnogo truda i vremena – iz više razloga nije ostvaren. Međutim, definirani osnovni projekti bili su poticajni (a možda i presudni) za izgradnju tri velike hrvatske hidroelektrane: HE Zakućac (1961), HE Senj (1965), HE Dubrovnik (1965). Danas se fenomen *Yougelexporta* navodi ne samo u kontekstu postanka europske elektroenergetske mreže, nego i gospodarske suradnje između Istoka i Zapada u doba hladnog rata kada je Jugoslavija bila posebno zanimljiva zbog svojega geopolitičkog položaja.¹⁰

Sudeći po svemu, u *Yougelexportu* se više vodilo računa o inozemnim nego o tuzemnim energetske potreba. U to vrijeme Hrvatska nije proizvodila dovoljno električne energije, pa je svoj deficit rješavala uvozom iz susjednih jugoslavenskih republika koje su imale suficit.¹¹ Budući da je već 1955. zaključeno da će to vrlo teško stanje potrajati do ulaska u pogon HE Zakućac, izvoz velikih količina električne energije tada nije dolazio u obzir.

ZAKUĆAC, OMIŠKA KATEDRALA ELEKTRICITETA, 1961.

“Od pedeset prve godine poduzeća rade uz Cetinu, a još prije toga vrzmali su se kršem inženjeri, doktori, profesori, sijedi naučenjaci, u svojim kabinetima izrađivali su studije, donosili geološke interpretacije terena, projekte”, pisalo je u travnju 1953. u *Slobodnoj Dalmaciji* u jednoj reportaži s gradilišta na kojem se izvode opsežne pripreme “za nova poduzeća i hiljadu radnika, koji će dizati veliku branu na Perući”.¹

Prvi realizirani objekt hidroenergetskog sustava na Cetini bila je akumulacija Peruća stvorena izgradnjom gravitacijske nasute brane. To je bio u tehničkom svijetu dokaz da je u kršu moguća izvedba velikoga umjetnog jezera. Izvješće o svečanom stavljanju u pogon HE Peruća, pribranske elektrane instalirane snage 2 × 26 MVA, dne 25. studenoga 1960. sadrži izvadak iz pisma profesora Dina Toninija iz Padove:

“Vidjevši ostvarenim, i to na tako sjajan način, onaj projekt Cetine, koji je prije mnogo godina bio ‘motiv’ za međunarodne rasprave, zaista sam ganut.” (*Il veder realizzato, e in modo così brillante, quel progetto della Cetina, che sembrava molti anni fa, un ‘motivo’ di conversazioni internazionali, mi fa veramente commosso.*)²

Nedostatak projekta HE Solin bila je relativno velika duljina dovodnih tunela i nedovoljna dnevna akumulacija na mjestu zahvata vode.³ Energetsko-ekonomska usporedba je pokazala da je dvostepeno korištenje pada (HE Đale, HE Zakućac) znatno povoljnije od jednostepenog (HE Solin). To se zapravo svodi na poznati Macquetov projekt hidroelektrane u Zakuću kod Omiša iz 1898. Sada je konačno – u sasvim drukčijim okolnostima i zahvaljujući napretku svih tehničkih grana – mogla biti ostvarena ova velegradnja.

Glavni projekt HE Zakućac (koja se tada zvala HE Split) razmotren je na sjednici Komisije za reviziju projekata održanoj u Splitu od 10. do 12. listopada 1955.⁴ Osim redovnih članova komisije u radu je sudjelovalo i tridesetak najuglednijih domaćih stručnjaka. Projekt izrađen u *Elektroprojektu* predstavili su glavni projektanti: građevinski dio inženjer Stjepan Reštarović, a elektrostrojarski dio inženjer Fedor Jelušić. Projekt je prihvaćen uz pohvalu! Komisija je zaključila da je projekt ostvarljiv s geološkog, hidrološkog i energetskog gledišta, te da može poslužiti za ugovaranje glavne opreme. Na kraju je konstatirano “da se ovdje radi o jednome od najrentabilnijih postrojenja u našoj zemlji”.

Brana smještena u kanjonu Cetine kod mjesta Prančevići omogućuje akumulaciju za dnevno vodno izravanjanje. Derivacija se izvodi pomoću dva paralelna tunela od Prančevića do Gata, duljine po 9,8 km; svaki dovodni tunel ima protok 100 m³/s. Četiri tlačna cjevovoda dolaze u veliku podzemnu strojarnicu, gdje su smještene četiri vertikalne Francisove turbine (protok turbine 50 m³/s, maksimalni bruto pad 273 m). Odvod je tunelom i otvorenim kanalom do Cetine nedaleko njezina ušća u more. HE Zakućac će se realizirati u dvije etape; u prvoj etapi se gradi jedan dovodni tunel i instaliraju dva agregata. Napredak se ogleda u veličini strojeva: HE Zakućac će imati četiri generatora nazivne snage 120 MVA, dok je HE Solin bila zamišljena s osam generatora nazivne snage 55 MVA.

Gradnja hidroelektrane započela je krajem 1957. i završena je u rekordno kratkom roku. Prvi generator snage 120 MVA pušten je u redovni pogon 16. rujna 1961.⁵ HE Zakućac, koja je u prvoj etapi izgradnje (2 × 120 MVA) bila najveća jugoslavenska hidroelektrana, djelo je domaćih poduzeća i domaće industrije.³ Turbine, koje su građene za protok 50 m³/s i neto pad 250,4 m, proizvedene su u tvornici *Litostroj* u Ljubljani po licenci *Voith*. Podaci trofaznog generatora su: nazivna/prividna snaga 120 MVA, djelatna snaga 108 MW, $\cos \varphi = 0,9$, napon 16 kV, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 300 min⁻¹; generatori su proizvedeni u tvornici *Končar* u Zagrebu.

Napon generatora je relativno visok, jer se težilo što ekonomičnijoj izvedbi stroja. Odabrana brzina vrtnje je 300 min⁻¹ (20 polova), iako varijanta s 333 min⁻¹

(18 polova) ima nešto manju težinu stroja, ali zahtijeva skuplju konstrukciju rotora. Hidrogeneratori HE Zakućac se “uzevši u obzir brzinu vrtnje od 300 okretaja u minuti svrstavaju među najveće generatore tog tipa na svijetu”. U to doba je u Europi najveća jedinica bila instalirana u Švedskoj (nazivna snaga 150.000 kVA, brzina vrtnje 125 min⁻¹).⁶

Generatorski transformatori su jednofazni nazivne snage 40 MVA.³ Transformatori 16/121/√3 kV su proizvedeni u tvornici *Končar*, dok je transformatore 16/242/√3 kV isporučila tvrtka *Siemens*. Premda je bilo zagovornika prijenosnog napona 380 kV (a spominje se i u glavnom projektu iz 1955), odabran je napon 220 kV. Ali ne na osnovu nekih posebnih studija, nego zato što se smatralo da će domaća elektroindustrija znatno lakše usvojiti proizvodnju opreme za 220 kV.⁷

Hrvatska elektrotehnička industrija počela se razvijati odmah poslije Drugoga svjetskog rata kada je u *Tvornici električnih strojeva Rade Končar* u Zagrebu u kratkom vremenu ostvarena proizvodnja velikih generatora.⁸ To je u prvom redu djelo nekoliko sposobnih i odvažnih inženjera. Anton Dolenc (1905–1984), koji je prije rata bio upravitelj tvornice *Siemens* u Zagrebu, zaslužan je za prvi generator nazivne snage 24 MVA i brzine vrtnje 125 min⁻¹. Taj generator je za vrijeme rata započet u Njemačkoj, a 1948. dovršen u Zagrebu i ugrađen u HE Mariborski otok. Najvećim uspjehom tvornice *Končar* smatra se generator nazivne snage 120 MVA, koji je za HE Zakućac konstruiran na osnovu vlastitog projekta: Tomo Bosanac (1918–2003) je izradio elektromagnetski, a Zvonimir Sirotić (1921–2013) mehanički proračun. To je bio zvjezdani trenutak hrvatske elektrotehnike! O tome javnost malo zna, jer naši stari profesori nisu bili – kako bi rekao Vidmar – skloni književnom radu.

Godine 1980. je dovršena druga etapa izgradnje HE Zakućac.⁹ Drugi dovodni tunel je izveden za protok 120 m³/s, jer je predviđena ugradnja većih agregata. Podaci trofaznog generatora su: nazivna/prividna snaga 150 MVA, djelatna snaga 135 MW, cos φ = 0,9, napon 16 kV, frekvencija 50 Hz, brzina vrtnje 330 min⁻¹. Sada je ukupna instalirana snaga porasla na 540 MVA (prva etapa 2 × 120 MVA, druga etapa 2 × 150 MVA). HE Zakućac kao akumulacijska elektrana imala je godišnju proizvodnju: 1742 GWh (2009), 2430 GWh (2010).¹⁰

Budući da se inženjerska dostignuća često prepuštaju zaboravu, na kraju valja navesti jedan dobar, iako sporedan primjer. Nedavno je objavljena monografija o arhitektu Lavoslavu Horvatu (1901–1989) u kojoj je, između ostaloga, prikazan njegov rad na projektiranju i građenju HE Zakućac. Horvat je za to djelo (futuristički zamišljen interijer strojarnice smještene u jedinstvenoj podzemnoj kaverni, prilazni tunel k strojarnici, zgrada uklopnice) od Saveza arhitekata Hrvatske dobio nagradu *Viktor Kovačić* (1962).¹¹

Katedrala elektriciteta iz podnaslova odabrana je prema *katedrali kruha* iz pjesme Krune Quiena (1917–1990), koja govori o staroj trogirskoj mlinici na Pantani.¹²

LITERATURA

- 1 Tonko Fagarazzi, *Slikoviti zemljopis Omiša i Cetine od 1772. do 1845*, Omiški ljetopis, 5 (2009), 39–78.
- 2 Tonko Fagarazzi, *Slikoviti zemljopis Omiša i Cetine (drugi dio)*, Omiški ljetopis, 6 (2011), 5–56.
- 3 *Meyers Grosses Konversations-Lexikon*, sechste Auflage, Leipzig–Wien, 1902–1909.

ANTE DEŠKOVIĆ, OMIŠ KAO UPORIŠTE IZVOZNE INDUSTRIJE, 1904.

- 1 Ante Dešković, *La Dalmatie comme point d'appui pour l'industrie autrichienne d'exportation*, Verlag des Österreichischen Orient-Vereines, Wien, 1904.
- 2 W., *Dalmatien und die österreichische Industrie*, Illustrierte oesterreichische Riviera-Zeitung, 1 (1904), 77–78.
- 3 *Važnost Dalmacije za austrijsku izvoznu trgovinu*, Narodni list, 27. 7. 1904.

WALTER CONRAD, CETINA KAO EUROPSKA TEMA, 1908.

- 1 Walter Conrad, *Die kaufmännische Bedeutung der österreichischen Alpenwasserkräfte, ihre Rentabilität, Finanzierung und Besteuerung*, Sonderabdruck aus Elektrotechnik und Maschinenbau, 28 (1910), Heft 22, 23, 24, 25.
- 2 W. [Walter] Conrad, *Die Auswahl und der Ausbau alpiner Wasserkräfte zum Zweck des elektrischen Vollbahnbetriebes*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 40 (1908), 237–240, 259–264.
- 3 W. [Walter] Conrad, *Die Auswahl und der Ausbau alpiner Wasserkräfte zum Zweck des elektrischen Vollbahnbetriebs*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 26 (1908), 307–311, 333–338.
- 4 Josef Röttinger–Friedrich Kittner, *Bericht über die Versammlung vom 8. März 1909*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 41 (1909), 456–457.
- 5 C. v. Popp, *Protokoll der 10. ausserordentlichen Haupt-Versammlung der Tagung 1908/1909*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 40 (1908), 64–67.
- 6 V. L., *Izrabljivanje vodnih sila u Austriji*, Vijesti Društva inženira i arhitekata, 29 (1908), 62–63.
- 7 M. S., *Zivilingenieur Dr. Walter Conrad †*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 50 (1918), 305–306.
- 8 *Österreichisches biographisches Lexikon 1815–1950*, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1957–2004.
- 9 Theodor Schenkel, *Karstgebiete und ihre Wasserkräfte*, A. Hartlebens Verlag, Wien–Leipzig, 1912.

- 10 Walther Killy–Rudolf Vierhaus (Hg.), *Deutsche biographische Enzyklopädie*, Band 6, K. G. Saur, München, 1997.
- 11 Miljenko Nadinić, *Izgradnja hidroelektrane Senj*, Energija, 8 (1959), 203–205.
- 12 http://de.wikipedia.org/wiki/Adolf_Ludin
- 13 Adolf Ludin, *Die Wasserkräfte, ihr Ausbau und ihre wirtschaftliche Ausnutzung*, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1913.
- 14 K. Strecker, *Das Kilowatt als allgemeine Einheit der Leistung*, Elektrotechnische Zeitschrift, 41 (1920), 125.
- 15 R., *Leistungseinheit 'Kilowatt'*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 66 (1914), 412.

PAUL ZIGERLI, HIDROELEKTRANA 100.000 KS, 1908–1912.

- 1 P. [Paul] Zigerli, *Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Gubavica in Duare, Dalmatien*, Schweizerische Bauzeitung, 76 (1920), 3–6, 11–15, 23–26, 35–39.
- 2 J. Ledvinka–K. Majcen, *Popis električnih centrala Jugoslavije*, Klub strojarskih i elektrotehničkih inženjera, Zagreb, 1925.
- 3 Felix Reich, *Statistika električnih centrala Kraljevine Jugoslavije. Stanje u julu 1932. godine*, Savez električnih centrala Savske banovine–Klub strojarskih i elektrotehničkih inženjera, Zagreb, 1933.
- 4 P. Ziegerli [Paul Zigerli], *Hidroelektrična centrala Gubavica u Dalmaciji*, Tehnički list, 4 (1922), 20–26, 33–37, 42–44.
- 5 † Stephan Szavits-Nossan, Schweizerische Bauzeitung, 88 (1970), 514.
- 6 W. [Walter] Conrad, *Die Auswahl und der Ausbau alpiner Wasserkräfte zum Zweck des elektrischen Vollbahnbetriebes*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 26 (1908), 307–311, 333–338.
- 7 *Fortführung von Bauarbeiten im Ausland*, Schweizerische Bauzeitung, 64 (1914), 163.
- 8 † Paul Zigerli, Schweizerische Bauzeitung, 74 (1956), 725–726.
- 9 G. Narutowicz, *Das Elektrizitätswerk Andelsbuch im Bregenzer Wald*, Schweizerische Bauzeitung, 55 (1910), 1–6, 15–19, 33–36, 61–63, 78–82.
- 10 Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 73 (1921), Heft 1/2.
- 11 *Akcija za podizanje Dalmacije*, Sloboda, 29. 11. 1913.
- 12 *Akcija za podizanje Dalmacije*, Sloboda, 5. 12. 1913.
- 13 G. Z., *Schiffe aus Eisenbeton*, Schweizerische Bauzeitung, 71 (1918), 272–274.

CHARLES DE HALLER, ENRICO CAIRO, KARLO ČIČIN, IVAN VILIČIĆ

- 1 P. [Paul] Zigerli, *Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Gubavica in Duare, Dalmatien*, Schweizerische Bauzeitung, 76 (1920), 3–6, 11–15, 23–26, 35–39.
- 2 *Nécrologie*, Bulletin technique de la Suisse romande, 64 (1938), 376–377.

- 3 *Nouveau projet de ligne électrique à fortes rampes de Turin à Martigny*, Bulletin technique de la Suisse romande, 30 (1904), 139–142.
- 4 L. Lombardi, *Das erweiterte Programm der Elektrifizierung der Eisenbahnen in Italien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 51 (1933), 227–229.
- 5 J. B., *Veliko industrijalno poduzeće u Dalmaciji*, Novi list, 30. 10. 1906.
- 6 *Ing. Comm. Enrico Cairo*, Rivista tecnica delle ferrovie italiane, 12 (1923), 112–115.
- 7 Pravaši, *Zadvarje kod Omiša na Miholjdan*, Narod, 15. 10. 1884.
- 8 T. Vrančić–B. Nadilo, *Proslava stote obljetnice Zajednice druge inženjera Splita*, Građevinar, 61 (2009), 223–224.
- 9 *Imenik Društva inženjera i arhitekata u kraljevini Dalmaciji*, Vijesti Društva inženjera i arhitekata, 34 (1913), 31.

HUGÓ TENZER, MONUMENTALNO POSTROJENJE, 1912.

- 1 *Manojlovac*, Narodni list, 17. 12. 1906.
- 2 Hugo Tenzer, *Hydroelektrische Anlagen am Kerkaflusse in Dalmatien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 26 (1908), 853–856, 882–887.
- 3 Hugo Tenzer, *Wasserkraft-Elektrizitätswerke am Kerkaflusse in Dalmatien*, Elektrotechnische Zeitschrift, 30 (1909), 251–254, 280–283.
- 4 *Vereins-Nachrichten. Neue Mitglieder*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 30 (1912), 136.
- 5 *Vereins-Nachrichten. Neue Mitglieder*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 32 (1914), 64.
- 6 *Vereins-Nachrichten. Neue Mitglieder*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 32 (1914), 648.
- 7 *Vereinsversammlung*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 35 (1917), 16.
- 8 *Lokalbericht*, Neue Freie Presse, 19. 2. 1919.
- 9 *Lokalbericht*, Neue Freie Presse, 26. 2. 1919.
- 10 E. Honigmann, *Leiden und Hoffnungen der deutschösterreichischen Elektroindustrie*, Elektrotechnische Zeitschrift, 41 (1920), 1034–1036.
- 11 H. [Hugó] Tenzer, *Das 100.000 PS-Kraftwerk bei Almissa in Dalmatien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 37 (1919), 173–176, 185–190, 199–203.
- 12 P. [Paul] Zigerli, *Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Gubavica in Duare, Dalmatien*, Schweizerische Bauzeitung, 76 (1920), 3–6, 11–15, 23–26, 35–39.
- 13 Ante Celegin, *Počeci energetskog korištenja vodnih snaga na području Dalmacije*, Energija, 11 (1962), 7–11.
- 14 *Fusion der Ganzschen und Danubius-Fabrik*, Export-Revue, 25. 3. 1911.
- 15 H. Lipschütz, *Ein Gang durch die Kalkstickstoffwerke Dalmatiens*, Wiener Landwirtschaftliche Zeitung, 18. 6. 1913, 21. 6. 1913.
- 16 *Tvornica karbida u Poljicima*, Narodni list, 21. 3. 1914.

- 17 Omiš, Naše jedinstvo, 23. 11. 1914.
- 18 Prenos električne struje sa Dugog Rata u Split, Narodni list, 1. 10. 1913.
- 19 Hugó Tenzer, *A kalciumkarbidgyártás és a Felső-Galla-i kalciumkarbidgyár*, Elektrotechnika, 15 (1922), 17–20.
- 20 Dr. Seidner Mihály és Tenzer Hugó mérnöki irodája, Elektrotechnika, 15 (1922), 46b.

KÁROLY WELTZL, HYDROGENERATOR GANZ & CO., 1912.

- 1 *Az almissai hydroelektromos mü*, Elektrotechnika, 4 (1911), 259–260.
- 2 *Wasserkraftanlage bei Almissa*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten Vereines, 64 (1912), 57.
- 3 E. Honigmann, *Das Wirtschaftsjahr 1911 in Österreich*, Elektrotechnische Zeitschrift, 33 (1912), 487–488.
- 4 A. [Artur] Budau, *Die Entwicklung der Wasserkraftmaschinen und Wasserkraftanlagen*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 31 (1913), Festnummer, 19–25.
- 5 Karl Weltzl, *Richtlinien für den Bau grosser Wasserkraftgeneratoren*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 32 (1914), 437–442, 464–469.
- 6 Károly Weltzl, *Modern szempontok vízturbinával közvetlenül kapcsolt generátorok szerkesztésénél*, Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye, 47 (1913), 597–605, 609–614, 627–632.
- 7 Károly Weltzl, *Nagy generátorok és azok teljesítményhatárai*, Elektrotechnika, 8 (1915), 29–33, 41–45, 85–90.
- 8 *The 150.000-Volt Big Creek Development-I*, Electrical World, 63 (1914), 33–37.
- 9 *The 150.000-Volt Big Creek Development-II*, Electrical World, 63 (1914), 85–88.
- 10 Selby Haar, *High-Voltage Transmission Systems of the World*, Electrical World, 63 (1914), 925–926.
- 11 H. [Hugó] Tenzer, *Das 100.000 PS-Kraftwerk bei Almissa in Dalmatien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 37 (1919), 173–176, 185–190, 199–203.
- 12 Antal Ildikó, *Foreign patents of Ottó Bláthy*, Journal of History of Culture, Science and Medicine, 4 (2013), 147–163.
- 13 W. M. White, *The Modern Trend of Hydro-Electric Engineering*, Electrical World, 75 (1920), 651–653.

MILAN VIDMAR, BLÁTHY I NJEGOV VELETRANSFORMATOR, 1912.

- 1 Milan Vidmar, *Die Transformatoren*, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1921.
- 2 Milan Vidmar, *Die Transformatoren*, zweite verbesserte und vermehrte Auflage, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1925.
- 3 M. Vidmar, *Beitrag zur Berechnung von Transformatoren*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 43 (1925), 1172.
- 4 Milan Vidmar, *Veletransformatorski problemi*, Akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 1943.

- 5 Milan Vidmar, *Pedeset godina gradnje transformatora*, Elektrotehnički vjesnik, 10 (1958), 1–6.
- 6 *Slovenski biografski leksikon*, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, 1980–1991.
- 7 Milan Vidmar, *Spomini*, prvi del, Založba obzorja, Maribor, 1964.
- 8 Kurt Jäger (Hg.), *Lexikon der Elektrotechniker*, VDE-Verlag, Berlin–Offenbach, 1996.
- 9 Karl Weltzl, *Die Ganzsche Elektrizitäts-Aktiengesellschaft auf der Internationalen Ausstellung für Arbeit und Gewerbe zu Turin 1911*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 30 (1912), Anhang 241–247.
- 10 *Società Italiana Ganz di elettricità*, Export-revue, 25. 4. 1907.
- 11 *Die vierzigjährige Geschichte des Transformators 1885–1925*, Ganz'sche Electricitäts Actiengesellschaft, Budapest, 1925.
- 12 *22.000 kVA-Transformator der Allgemeinen Electricitäts-Gesellschaft*, Elektrotechnische Zeitschrift, 36 (1915), 515–516.
- 13 *Riesentransformator für 60.000 kVA*, Elektrotechnische Zeitschrift, 40 (1919), 31.
- 14 E. Arnold–J. L. la Cour, *Die Transformatoren. Ihre Theorie, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise*, zweite Auflage, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1910.
- 15 *Transformatoren für grosse Leistungen der Siemens-Schuckert-Werke*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 33 (1915), Anhang 1–5.
- 16 W. Wyssling, *Die Entwicklung der elektrischen Hauptbestandteile unserer hydro-elektrischen Werke*, Schweizerische Bauzeitung, 89 (1927), 43–46.
- 17 *Die 100.000 PS Wasserkraftanlage der Shawingian Water Power Co*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 30 (1912), 526–527.
- 18 Milan Vidmar, *Otto Titus Bláthy. Zum 50 jährigen Arbeitsjubiläum*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 51 (1933), 474–475.
- 19 *O. T. Bláthy*, Elektrotechnische Zeitschrift, 54 (1933), 641.

USPOREDBA VELIKIH ELEKTROENERGETSKIH SUSTAVA, 1914.

- 1 Karl Weltzl, *Richtlinien für den Bau grosser Wasserkraftgeneratoren*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 32 (1914), 437–442, 464–469.
- 2 Hugo Tenzer, *Hydroelektrische Anlagen am Kerkaflusse in Dalmatien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 26 (1908), 853–856, 882–887.
- 3 Hrvoje Požar–Mile Previšić–Nikola Bilčar, *U povodu 70-godišnjice hidroelektrane Manjlovac*, Energija, 26 (1977), 34–42.
- 4 *Die elektrischen Anlagen der Stadt Rom*, Ganzsche Electricitäts Actiengesellschaft, Budapest, 1927.
- 5 *Grosse italienische Bestellungen bei der Ganzschen Fabrik*, Export-Revue, 9 (1910), 3130–3131.
- 6 Hum., *Direkte Erzeugung von hochgespanntem Wechselstrom*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 47 (1929), 970.

- 7 F. Tischendörfer, *Einige Bemerkungen zur Niagara-Kraftübertragung*, Elektrotechnische Zeitschrift, 16 (1895), 651–652.
- 8 B. Raffay, *Eine 250.000 PS-Elektrizität-Anlage in Norwegen*, Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines, 62 (1910), 413.
- 9 C. N. Anderson, *Die Wasserkräfte Norwegens*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 41 (1923), 532–533.
- 10 F. [Fritz] Marguerre, *Établissement hydro-électrique de Rjukanfos*, La Lumière Électrique, 18 (1912), 131–148, 163–172, 227–234.
- 11 <http://www.leo-bw.de/guest/detail/-/Detail/details/PERSON/kg...>
- 12 J. Liska–E. Wilczek, *Die Spannungsnormalien des Ungarischen Elektrotechnischen Vereins*, Elektrotechnische Zeitschrift, 41 (1920), 1052–1054.
- 13 Km., *Einige Probleme der Hochspannungsfernleitung*, Elektrotechnische Zeitschrift, 33 (1912), 747.
- 14 Selby Haar, *High-Voltage Transmission Systems of the World*, Electrical World, 63 (1914), 925–926.
- 15 *Die erste 110.000 V-Kraftübertragung in Europa*, Elektrotechnische Zeitschrift, 31 (1910), 1121.
- 16 Ptz., *Die 150.000 V-Anlage am Big Creek*, Elektrotechnische Zeitschrift, 35 (1914), 1107.
- 17 *Normen für Periodenzahl und Spannungen elektrischer Anlagen (ausgenommen elektrische Bahnanlagen)*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 38 (1920), 477.

ERNÖ WILCZEK, DRUGA ETAPA IZGRADNJE, 1926–1932.

- 1 *Ausnützung der Wasserkräfte Dalmatiens*, Ganz-sche Electricitäts Actiengesellschaft, Budapest, 1924.
- 2 H. [Hugó] Tenzer, *Das 100.000 PS-Kraftwerk bei Almissa in Dalmatien*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 37 (1919), 173–176, 185–190, 199–203.
- 3 P. [Paul] Zigerli, *Die 100.000 PS-Wasserkraftanlage Gubavica in Duare, Dalmatien*, Schweizerische Bauzeitung, 76 (1920), 3–6, 11–15, 23–26, 35–39.
- 4 *Az Almissa-i telep bővítése*, Elektrotechnika, 19 (1926), 79–80.
- 5 Ernő Wilczek, *Die Energieversorgung Dalmatiens. Die hydroelektrischen Anlagen an den Flüssen Kerka und Cetina*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 48 (1930), 474–477.
- 6 Hrvoje Požar–Slavko Butara, *Proizvodnost hidroelektrane Kraljevac i njezina uloga u razvoju elektrifikacije Dalmacije*, Energija, 11 (1962), 19–25.
- 7 J. K., *Hidroelektrična centrala u Fali*, Tehnički list, 5 (1923), 129–130.
- 8 Vladimir Žepić, *Snabdjevanje zagrebačkog područja električnom energijom i razvoj mreže od 1930. do 1945*, Energija, 7 (1958), 361–367.
- 9 *Elektrifikacija jednog dijela srednjeg Primorja*, Jadranska straža, 12 (1934), 167.
- 10 *Contratto Sufid–Comune di Spalato d.d. 23 Novembre 1923 rig. fornitura energia elettrica*, Arhiv dr. Ive Tartaglie u Sveučilišnoj knjižnici u Splitu.

- 11 Ernest Radetić, *Umro je ing. Jerko Jerić*, Energija 13 (1964), 126–127.
- 12 Jerko Jerić, *Die Elektrizitätsversorgung der Stadt Split (Spalato) und ihrer Umgebung*, Elektrotechnik und Maschinenbau, 48 (1930), 478–480.
- 13 *Svečani otvor transformatorske stanice u Dujmovači*, Novo doba, 30. 4. 1927.
- 14 Marin Čizmić, *Statistički podaci za HE Kraljevac*, Energija, 11 (1962), 53–54.
- 15 Ivan Lučev, *Elektrotermija i elektrokemija s gledišta elektroprivrede*, Energija, 6 (1957), 147–148.

MOGUĆNOSTI ENERGETSKOG KORIŠTENJA CETINE, 1945–1955.

- 1 Stjepan Reštarović, *Hydroenergetsko rješenje područja Cetine i kraških polja*, Građevinar, 8 (1956), 12–25.
- 2 *Plan elektrifikacije Hrvatske*, Električno poduzeće hrvatske (ELPOH), Zagreb, 15. 12. 1945.
- 3 *Possibilities of the energetic utilization of Cetina-river and karst-fields in southwestern Bosnia*, Hidroelektroprojekt, Zagreb, January 1952.
- 4 E. Stambach, *Einige Erfahrungen über die vergleichende Bewertung von Wasserkraft-Anlagen*, Schweizerische Bauzeitung, 71 (1953), 156–158.
- 5 Stjepan Han, *Yougelexport*, Elektroprivreda, 7 (1954), 43–47.
- 6 Carlo Semenza, *Najnoviji razvoj u tehnici građenja hidroelektrana u Italiji*, Elektroprivreda, 7 (1954), 299–302.
- 7 Slobodan Despotović, *IV. sastanak Tehničkog komiteta za izvoz energije iz Jugoslavije*, Elektroprivreda, 7 (1954), 33.
- 8 Boris Markovčić, *Studijski rad na problemima superponirane mreže Jugoslavije*, Elektroprivreda, 11 (1958), 528–536.
- 9 Boris Markovčić, *Njemački prijenos na 380 kV*, Energija, 8 (1959), 193–195.
- 10 Vincent Christiaan Lagendijk, *Electrifying Europe. The power of Europe in the construction of electricity networks*, Aksant, Amsterdam, 2008.
- 11 Hrvoje Požar, *Elektroenergetske prilike u Hrvatskoj*, Ekonomski pregled, 6 (1955), 553–575.

ZAKUČAC, OMIŠKA KATEDRALA ELEKTRICITETA, 1961.

- 1 Miljenko Smoje, *Na dnu budućeg jezera*, Slobodna Dalmacija, 11. 4. 1953.
- 2 *Puština u pogon hidroelektrana Peruća*, Energija, 9 (1960), 299–301.
- 3 Ante Busatto (ur.), *Hidroelektrana Split*, Dalmatinske hidroelektrane, Split, 1962.
- 4 M. L., *Revizija generalnog projekta HE Split*, Elektroprivreda, 8 (1955), 381–382.
- 5 *bt, HE 'Split' uključena u elektroenergetsku mrežu*, Slobodna Dalmacija, 18. 9. 1961.
- 6 *Hidrogeneratori za HE Split*, Elektroprivreda, 14 (1961), 494.
- 7 Božidar Stefanini, *Problematika jugoslavenske superponirane mreže 220 kV*, Jedinstvena mreža najvišeg napona Jugoslavije, Zajednica elektroprivrednih poduzeća Hrvatske, Zagreb, 1959.

- 8 http://www.croatianhistory.net/etf/bosanac_tomo.html
- 9 *Elektroprivreda Dalmacije 1966–1986*, Elektroprivreda Dalmacije, Split, 1986.
- 10 <http://www.hep.hr/proizvodnja/osnovni/hidroelektrane/jug/zakucac.aspx>
- 11 Zrinka Paladino, *Lavoslav Horvat. Kontekstualni ambijentalizam i moderna*, Meander media, Zagreb, 2013.
- 12 Kruno Quien, *U staroj trogirskoj mlinici, katedrali kruha*, Radovan, 2 (1998), 107.

KRALJEVAC HYDROELECTRIC POWER PLANT 1912. IN EUROPEAN CONTEX

T o n k o F a g a r a z z i

Summary

Picturesque Geography of Omiš and the Cetina – containing a series of travel texts written mostly in the 19th century – describes the Cetina river valley and canyon from the waterfall Velika Gubavica to its mouth in Omiš. This paper can be considered a continuation because it is about the first hydroelectric power plant on the “nordically magnificent” Cetina.

When, at the end of 1912, after several years of preparation and construction, the power plant was finished on the concentrated fall at Zadvarje, it was a first class sensation. The Kraljevac hydroelectric power plant was not only a major hydraulic plant (100,000 HP) but it also marked a stage in the development of European electrical engineering (16,000 kVA generator, 21,000 kVA transformer). It was built to supply electrical energy to the calcium carbide and calcium cyanamide factory at Dugi Rat, and also provided electric power to Omiš (1914) and Split (1927).

The text describes the circumstances of the origin of this unique structure in the context of time and space, the European centre and the Dalmatian outback, the foreign and local economic and political interests. This is also a story of technical optimism which prevailed at the turn of the 20th century, about engineers forgotten today, who were particularly responsible for this big project. The only ones who are not forgotten are the *Wasserkraftpionier* Ante Dešković and the *Grossmeister der Elektrotechnik* Ottó Titusz Bláthy, whose enterprises helped to pass the narrow doors of time.

Since the issue of rational utilizing the power force of the Cetina has been the topic of international professional discussions, the end of this paper presents the alternative power plant with much greater installed power. By putting the Zakučac hydroelectric power plant into operation (1961), the Kraljevac hydroelectric power plant has been left with the role of secondary energetic importance, and today it is one of the most beautiful examples of Croatian industrial heritage.

Translation: Iskra Pavlović