

# Uloga Elektroprojekta u korištenju vodnih snaga u Hrvatskoj

Nakon Drugog svjetskog rata započela je obnova elektrana koje su bile oštećene u ratu te pripreme za izgradnju novih, tada se pristupilo smišljenoj izgradnji hidroenergetskog sustava, a hidroelektrane više nisu razmatrane kao objekti koji koriste samo lokalne povoljne uvjete na rijeci, već se pozornost posvećuje cijelome slivu i osmišljenome korištenju njegovih voda

## Uvod

U Hrvatskoj postoji duga tradicija korištenja vodnih snaga. U početku vodne snage korištene su u mlinovima, pilanama, tkaonicama i industrijskim postrojenjima. S razvojem elektrifikacije počelo je sve veće korištenje vodnih snaga za proizvodnju električne energije i do danas postalo je dominantno. Danas su, osim za proizvodnju električne energije, praktično napušteni drugi oblici korištenja vodnih snaga te je većina ranije izgrađenih objekata napuštena i propada.

Nakon Drugog svjetskog rata započela je obnova elektrana koje su bile oštećene u ratu te pripreme za izgradnju novih. U tome razdoblju pristupilo se smišljenoj izgradnji hidroenergetskog sustava. Hidroelektrane više nisu razmatrane kao objekti koji koriste samo lokalne povoljne uvjete na rijeci, već se pozornost posvećuje cijelome slivu i osmišljenome korištenju njegovih voda.

Prvi objekti koji su pridonijeli povećanju snage u energetske sustavu Hrvatske pušteni su u pogon 1952. godine. Bili su to HE Vinodol instalirane snage 84 MW, čija je izgradnja uz prekide trajala od 1939., HE Zavrle kod Dubrovnika instalirane snage 2,1 MW i HE Ozalj II. Od te godine do danas nastavlja se kontinuirana izgradnja novih hidroelektrana i rast instalirane snage.

Počeci djelatnosti *Elektroprojekta* vezani su uz projekt hidroelektrane Vinodol

i HE Zavrle. Od 1949. kada je osnovan *Elektroprojekt* izrastao je u snažnu projektantsku tvrtku s kojom je razvoj *Elektroprivrede* i *Vodoprivrede*, posebno na području Hrvatske, nerazdvojeno povezan. Uloga *Elektroprojekta* u korištenju vodnih snaga u Hrvatskoj vidljiva je kroz pregled sudjelovanja u osmišljavanju i

projektiranju hidroenergetskih sustava i hidroelektrana, što je vidljivo iz pregleda hidroelektrana koje su izgrađene na području Hrvatske:

Od 1949. kada je osnovan *Elektroprojekt* je izrastao u snažnu projektantsku tvrtku s kojom je razvoj *Elektroprivrede* i *Vodoprivrede*, posebno na području Hrvatske, nerazdvojeno povezan

Velik broj izvedenih sustava koji koriste hidroenergetski potencijal temelji se na cjelovitome sagledavanju gospodarenja



Lokacije izgrađenih važnijih hidroelektrana

Tablica 1. Važnije hidroelektrane na području Hrvatske

Hidroelektrana	Godina puštanja u pogon	Projekt izradili
HE Jaruga	1895./1904.	-
HE Miljacka	1906.	-
HE Ozalj	1908.	-
HE Kraljevac (prva i druga faza)	1912./1932.	-
HE Vinodol	1952.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Zavrle	1952.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Ozalj II	1952.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Miljacka (obnova)	1955.	<b>Elektroprojekt</b>
CHE Fužine	1957.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Gojak	1959.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Peruća	1960.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Zakućac (prva i druga faza)	1961./1981.	<b>Elektroprojekt:</b> nositelj projekta, projekta prve faze u cjelosti i hidrograđevinskog dijela druge faze <b>Projektne biro Split</b> - elektrostrojarski dio druge faze
HE Senj	1965.	<b>Elektroprojekt:</b> nositelj projekta, koncepcije postrojenja i svih projekata, osim nasutog dijela brane Sklope i nasipa Gusić polje <b>Geoexpert</b> - nasuti dio brane Sklope i nasipi Gusić polja
HE Dubrovnik	1965.	-
HE Rijeka	1968.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Sklope	1970.	<b>Elektroprojekt:</b> nositelj projekta, koncepcije postrojenja i svih projekata, osim nasutog dijela brane Sklope <b>Geoexpert:</b> nasuti dio brane Sklope
HE Orlovac	1973.	<b>Elektroprojekt, Geoexpert, Zavod za vodoprivredu Sarajevo, Projektne biro Split, Energoinvest-Sarajevo</b>
HE Varaždin	1975.	<b>Elektroprojekt</b> Suradnici: Građevinski fakultet u Zagrebu, Institut <i>Geoexpert</i> , Institut <i>građevinarstva Hrvatske</i>
HE Golubić	1981.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Čakovec	1982.	<b>Elektroprojekt</b> Suradnici: Građevinski fakultet u Zagrebu i Splitu, Institut <i>Geoexpert</i> , Institut <i>građevinarstva Hrvatske</i>
RHE Velebit	1984.	<b>Elektroprojekt:</b> nositelj projekta i hidrograđevinskog dijela <b>Projektne biro Split:</b> elektrostrojarski dio <b>Geoexpert:</b> nasute građevine
HE Lepenica	1987.	<b>Elektroprojekt</b>
MHE Krčić	1988.	<b>Elektroprojekt</b>
HE Dubrava	1989.	<b>Elektroprojekt</b> Suradnici: Građevinski fakultet u Zagrebu i Splitu, Institut <i>Geoexpert</i> , Institut <i>građevinarstva Hrvatske</i>
HE Đale	1989.	<b>Elektroprojekt:</b> nositelj posla, koncepcije i hidrograđevinskog dijela projekta <b>Projektne biro Split:</b> elektrostrojarski dio <b>Geoexpert:</b> otješnjenje akumulacije
HE Lešće	2010.	<b>Institut građevinarstva Hrvatske, Elektroprojekt, Projektne biro Split</b>

vodama te na višenamjenskom pristupu. Naprimjer, izgrađeni sustavi:

- na rijeci Cetini uključuju zaštitu od poplava, pouzdanu vodoopskrbu turističkog područja Dalmacije i otoka u sušnome razdoblju te omogućuju razvoj poljoprivrede zaštićujući polja od poplava te osiguravajući vodu za navodnjavanje;

- na Lici i Gackoj omogućuju zaštitu od poplava te pouzdanu vodoopskrbu turističkog područja Primorja i otoka u sušnome razdoblju;
- na rijeci Dravi omogućuju zaštitu od poplava i kontroliranu odvodnju zaobalnih voda te stvaraju uvjete za navodnjavanje, vodoopskrbu, ra-

- zvoj sporta, rekreacije i izletništva;
- HE Vinodol i HE Gojak stvaraju uvjete za pouzdanu vodoopskrbu, uzgoj riba, razvoj turizma, sporta rekreacije i izletništva na jezerima Lokvarka, Bajer i Sabljaci, gdje su izgrađena i vikendaška naselja te je porasla vrijednost zemljišta.

## Prikaz hidroenergetskih sustava i hidroelektrana u Hrvatskoj koje je osmišljavao *Elektroprojekt*

### Hidroenergetski sustav Vinodol

Hidroenergetski sustav Vinodol obuhvaća vodotoke Ličanku, Lokvarku, Križ potok, Potkoš, Benkovac i Potok pod grobljem. Energetski potencijal tih vodotoka koristi se na glavnoj stepenici u HE-u Vinodol, smještenoj u Vinodolskoj dolini na 56,50 m n.m. Osnovna su svojstva toga hidroenergetskog sustava velika visinska razlika između slivnoga područja vodotoka i položaja strojarnice te relativno male raspoložive količine vode koje imaju znatne varijacije protoka tijekom godine.

Osnovna su svojstva hidroenergetskog sustava Vinodol velika visinska razlika između slivnoga područja vodotoka i položaja strojarnice te relativno male raspoložive količine vode koje imaju znatne varijacije protoka tijekom godine

Rad na projektu hidroelektrane Vinodol, koji je započet još 1938., uz izmijenjenu koncepciju rješenja, nastavljen je 1945. u sklopu generalne direkcije *Elektroprivrede NRH*, a od 1. travnja 1946. u novoosnovanome poduzeću za građenje i projektiranje hidroelektrana *Hidroelektra*. U sklopu *Hidroelektra* projektantska skupina od 12 članova izradila je generalni projekt HE Vinodol, a započela je i neke druge studije i projekte (Zavrelje, Ozalj, Cetina). U siječnju 1948. tada već 16 suradnika iz građevinskog poduzeća *Hidroelektra* prelazi u *Inženjerski projektni zavod*, a iz njega u *Hidroelektroprojekt*. Ta skupina inženjera i tehničara koja je preuzela i razradila projekt HE Vinodol i HE Zavrelje kao prve hidroelektrane izgrađene nakon Drugog svjetskog rata



Akumulacija i brana Lokvarka i strojarnica HE-a Vinodol



postavila je temelje razvoja *Elektroprojekta*. Izgradnja HE Vinodol snage 84 MW i proizvodnje 183 GWh dovršena je 1952. godine. Poslije, radi boljeg korištenja voda tog sustava, *Elektroprojekt* projektirao je i prvu crpna elektranu CHE Fužine koja je izgrađena 1957., a 1987. u sustavu izgrađeni su akumulacija i RHE Lepenica, koji su također zamislili i projektirali stručnjaci *Elektroprojekta*.

Osnovna koncepcija tehničkog rješenja hidroenergetskog sustava Vinodol temelji se na zahvaćanju voda rijeke Lokvarke u akumulacijskome jezeru Lokvarka i zahvaćanju voda rijeke Ličanke u akumulacijskome jezeru Bajer, na izgradnji spojnoga tunela između tih dvaju jezera i derivacijskog dovoda od jezera Bajer do strojarnice HE Vinodol u Vinodolskoj dolini. Akumulacijsko jezero Lokvarka formirano je nasutom branom visine 48 m, najvećeg radnog uspora 772 m n.m. i korisne zapremnine  $35,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ , što omogućuje višegodišnje izravnavanje rijeke Lokvarke. Akumulacijsko jezero Bajer formirano je izgradnjom betonske gravitacijske brane visine 10,5 m iznad terena. To je jezero najniže akumulacijsko jezero u hidroenergetskome sustavu Vinodol. Zbog geoloških uvjeta najveći radni uspor ograničen je na kotu 717 m n.m., a korisna zapremnina jezera iznosi  $1,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ , pa ono nema dovoljnu zapremninu za godišnje izravnavanje protoka Ličanke.

Osnovna koncepcija tehničkog rješenja hidroenergetskog sustava Vinodol temelji se na zahvaćanju voda rijeke Lokvarke u akumulacijskome jezeru Lokvarka i zahvaćanju voda rijeke Ličanke u akumulacijskome jezeru Bajer

Jezera Lokvarka i Bajer međusobno su spojeni tunelom dužine 3456,5 m i čeličnim tlačnim cjevovodom. Da bi se omogućilo bolje iskorištavanje vodnih količina Ličanke, izgrađena je crpna hidroelektrana Fužine, koja višak vode Ličanke prebacuje u jezero Bajer pa na taj način to jezero djelomično regulira i vodne količine Ličanke. U razdoblju malih protoka iz jezera Lokvarka voda koja je energetski iskorištena u crpnoj hidroelektrani Fužine stiže u jezero Bajer i dalje derivacijskim dovodom na glavnu stepenicu, strojarnicu HE Vinodol. CHE Fužine u turbinskom radu koristi bruto pad od 49 m i uz instalirani protok  $9,9 \text{ m}^3/\text{s}$  ima snagu od 4,6 MW. Srednja godišnja proizvodnja CHE Fužine iznosi 6,7 GWh.

Na lijevoj strani jezera Bajer smještena je ulazna građevina kao početak tlačnog dovoda za strojarnicu HE Vinodol. Tlačni dovod ukupno je dug oko 10,5 km, a sastoji se od ukopanoga armiranobetona-



RHE Lepenica

skog cjevovoda, tlačnog tunela s vodom i zasunskom komorom i čeličnoga tlačnog cjevovoda. Strojarnica je smještena u podzemnoj kaverni i ima ugrađene tri proizvodne jedinice koje koriste vodu na bruto padu od 658 m i uz instalirani protok od 16,7 m<sup>3</sup>/s ostvaruje snagu od 84 MW. Obnovom proizvodnih jedinica snaga je poslije povećana na 94,4 MW.

Nakon što je 1952. HE Vinodol pušten u pogon, nastavilo se s izgradnjom toga hidroenergetskog sustava pa je 1955. s radom započela crna stanica Lič koja energetske iskorištava vode Lič polja i potoka Potkoš. Voda iz strojarnice CS Lič prolazi kroz 180 m dug armiranobetonski cjevovod u glavni dovodni cijevni vod hidroelektrane. Za ubacivanje kubika vode u tlačni dovod utroši se oko 0,057 kWh, a u strojarnici u HE Vinodol tom se vodom proizvede 1,5 kWh. Prosječni godišnji doprinos tog objekta je oko 15,0 GWh. Godine 1956. pušten je u pogon CS Križ kojim se u jezero Lokvarka dovodi voda potoka Križ. Za akumuliranje kubi-

ka vode utroši se 0,056 kWh, a ta voda daje energiju od 1,6 kWh na dvije stepenice – Fužine i Vinodol. Energetski je doprinos tog objekta prosječno oko 12,6 GWh na godinu. Vode potoka Benkovac dovode se također u glavni dovodni cijevni sustav kanalom i cijevnim vodom

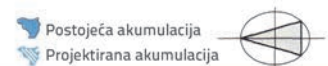
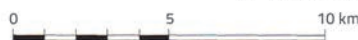
ukupne dužine 2357 m. Energetski je doprinos tog objekta oko 5,5 GWh. Godine 1975. na potoku Potkoš izgrađeno je akumulacijsko jezero zapremnine 331.000 m<sup>3</sup>, koje akumulira vode potoka Potkoš i betonskim kanalom dovodi ih do CS Lič koji ih ubacuje u glavni dovodni sustav. Doprinos je tog objekta 6 GWh. Nadvišenjem preljeva na brani Lokvarka 1976. zapremnina jezera povećana je za 4,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, što energetski znači povećanje za oko 8,8 x 10<sup>6</sup> kWh.

**Akumulacijsko jezero Lepenica zapremnine 5,67 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> s reverzibilnom hidroelektranom RHE Lepenica izgrađeno je 1987.**

Akumulacijsko jezero Lepenica zapremnine 5,67 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> s reverzibilnom hidroelektranom RHE Lepenica izgrađeno je 1987. RHE Lepenica u turbinskom radu koristi neto pad od 12,22 m i uz instalirani protok 6,2 m<sup>3</sup>/s ima snagu od 0,8 MW. Tim je objektom povećan akumulacijski prostor u slivu Ličanke i poboljšana rad hidroenergetskog sustava Vinodol. Doprinos RHE Lepenice u sustavu Vinodol iznosi 11,1 GWh. Postoji i mogućnost daljnjeg povećanja vodnih količina za korištenje u tome hidroenergetskom sustavu izgradnjom jezera Križ, CS Lokve te sustava retencija i crpnih stanica u Crnome Lugu.

LEGENDA

- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 CS Crni Lug - planirano       | 10 Retencija Potkoš            |
| 2 CS Tomac - planirano          | 11 CS Lič                      |
| 3 CS Križ                       | 12 CS Potkobiljak - planirano  |
| 4 Akumulacijsko jezero Lokvarla | 13 HE Vinodol                  |
| 5 CS Lokve - planirano          | 14 PAHE Vinodol II - planirano |
| 6 CHE Fužine                    | 15 Donji bazen                 |
| 7 Akumulacijsko jezero Lepenica | 16 Gornji bazen - planirano    |
| 8 CHE Lepenica                  | 17 CS Tribalj                  |
| 9 Akumulacijsko jezero bajer    | 18 HE Kačjak - planirano       |
|                                 | 19 Jadransko more              |



Situacija sustava hidroenergetskog korištenja u slivu rijeka Ličanke i Lokvarke



HE Zavrelje



HE Ozalj

Vode energetski iskorištene u HE Vinodol odlaze potokom Dubračina u Jadransko more.

### Hidroelektrana Zavrelje, Ozalj II. i obnova hidroelektrane Miljacka

Projektantska skupina iz koje je potekao *Elektroprojekt* i koja je izradila generalni projekt HE Vinodol započela je i neke druge studije i projekte. Ta skupina inženjera i tehničara uz projekt HE Vinodol izradila je i projekt HE Zavrelje. Tako je u 50-im godinama 20. stoljeća *Elektroprojekt*, osim što je u pogon puštao HE Vinodol, radio i na projektu HE Zavrelje, izgradnji HE Ozalj II. i obnovi HE Miljacka.

HE Zavrelje nalazi se u Župi Dubrovačkoj i koristi vode iz dijela sliva rijeke Trebišnjice koje podzemnim putem stižu do mora. HE Zavrelje izgrađen je 1952. i predstavlja početak korištenja hidroenergetskog potencijala na dubrovačkome području. Ta derivacijska hidroelektrana koristi bruto pad od 76 m i uz instalirani protok od 3 m<sup>3</sup>/s ima snagu od 1,9 MW te ostvaruje prosječnu proizvodnju od 4,5 GWh na godinu.

HE Ozalj I. jedna je od najstarijih hidroelektrana u Hrvatskoj i najstarija u njezinoj kontinentalnoj dijelu. Izgrađena je 1908. za potrebe rasvjete grada Karlovca pod nazivom *Munjara grada Karlovca*. U prvoj fazi ugrađene su dvije proizvodne jedinice, a treća je izgrađena 1913., pa je ukupna snaga elektrane u to vrijeme iznosila 3,3 MW. HE Ozalj I. smješten je

na desnoj obali rijeke Kupe, a nasuprot, na lijevoj obali, nalazi se HE Ozalj II. koji su projektirali stručnjaci *Elektroprojekta* i koji je i izgrađen 1952. godine. HE Ozalj II. ima dvije proizvodne jedinice ukupne snage 2,2 MW.

Godine 1906. na rijeci Krki izgrađena je hidroelektrana Miljacka koja je služila za snabdjevanje energijom industrije Šibenika. HE Miljacka koristi visinsku razliku od 105 m, koja je nastala kod četiri vodopada Brljana, Manojlovca, Rošnjaka i Miljacke. Instalirana snaga iznosila je 17,6 MW pri instaliranome protoku od

24 m<sup>3</sup>/s. U razdoblju od 1952. do 1956. izvedena je temeljita rekonstrukcija HE Miljacka, koju je planirao i projektirao *Elektroprojekt*. Ugrađene su nove turbine i novi generatori s pripadnim visokonaponskim postrojenjem. Zahvat vode postignut je izgradnjom brane visine 115 cm, koja tvori jezero Brljan za dnevno izravnavanje protoka, a omogućuje usmjeravanje vode prema ulaznoj građevini dovodnog tunela. Tunel dužine 1620 m sa slobodnim vodnim licem dovodi instalirani protok od 24 m<sup>3</sup>/s do tlačnih cjevovoda i strojarne. Godine 1906. HE Mi-



HE Miljacka



HE Gojak – akumulacija Sabljaci i strojarnica HE Gojak

ljacka imao je četiri agregata s turbinama Francis s dvostrukim rotorom snage 4,5 MW i 420 o/min te generatorom snage 4,4 MW i napona 30 kV. Nakon rekonstrukcije u razdoblju 1952. – 1956. ostao je samo jedan izvorni agregat, a ostala tri zamijenjena su novima veće snage. Ugrađene su turbine snage 6,7 MW i generatori snage 8 MW. Svi građevinski objekti izgrađeni 1906. (brana, vodna komora, zgrada strojarnice, brzotok i temelji agregata) izgrađeni su od kamena s vezivom od krečnog morta. Cement je jedino korišten za zalijevanje temeljnih vijaka agregata. Ti su objekti i danas u izvornome obliku, osim brane koja je 1956. povišena za 85 cm.

Danas HE Miljacka ima ukupni instalirani protok od 30 m<sup>3</sup>/s i ostvaruje snagu od 24 MW te proizvodnju od 116 GWh.

### Hidroelektrane Gojak i Lešće

Rijeka Kupa izvire na sjeveroistočnoj padini Risnjaka i utječe u rijeku Savu kod Siska. Ogulinska Dobra i Zagorska Mrežnica koje pripadaju slivu Kupe u prirodnom su stanju ponornice koje poniru u ogulinsko-oštarijskoj krškoj zaravni na nadmorskoj visini od 325 m i imaju velik srednji godišnji protok. Srednji godišnji protok Zagorske Mrežnice iznosi 21,50

m<sup>3</sup>/s, a Ogulinske Dobre 9,7 m<sup>3</sup>/s. Nakon poniranja i kratkoga podzemnog toka izviru kao stalni vodotoci Gojačka Dobra i Zvečajska Mrežnica. Na tome kratkom podzemnom putu svladavaju visinsku razliku veću od 130 m te su povoljne za energetske korištenje.

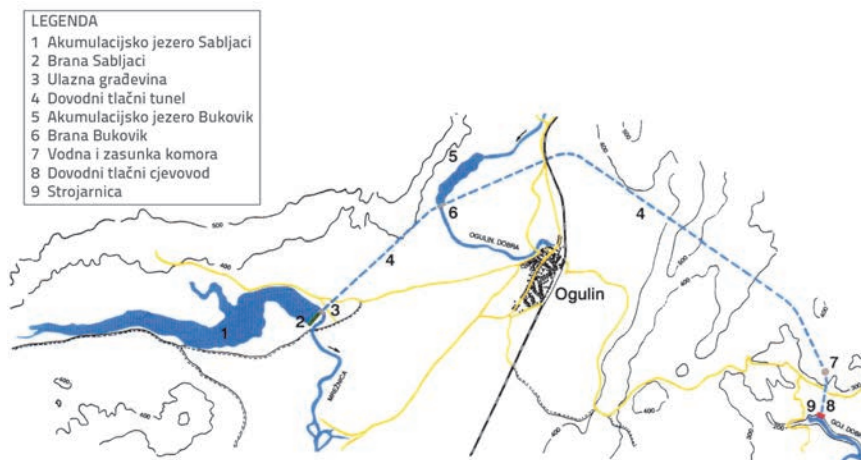
Na cijelome slivu do danas su izgrađene hidroelektrane Zeleni vir, Ozalj I. i Ozalj II., Gojak i Lešće.

**Godine 1959., na temelju zamisli i projekata *Elektroprojekta*, u blizini Ogulina izgrađen je HE Gojak koji koristi vode Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice instalirane snage 48 MW i proizvodnje 195,4 GWh**

U *Elektroprojektu* razmatrano je korištenje voda slivova Gojačke Dobre i Zagorske Mrežnice te je postavljeno rješenje za energetske korištenje u smjeru Gojačke Dobre. Godine 1959., na temelju zamisli i projekata *Elektroprojekta*, u blizini Ogulina izgrađen je HE Gojak koji koristi vode Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice instalirane snage 48 MW i proizvodnje 195,4 GWh. Osnovna je koncepcija rješenja pregrađivanje Zagorske Mrež-

nice, prevođenje njezinih voda tlačnim tunelom do zahvata Dobre te tlačnim tunelom i tlačnim cjevovodom dovođenje voda obiju rijeka do strojarnice HE Gojak. Zagorska Mrežnica zahvaćena je nasutom branom visine 9 m kod mjesta Sabljaci, gdje je formirano akumulacijsko jezero Sabljaci korisnog volumena 3,3 mil. m<sup>3</sup>. Ogulinska Dobra pregrađena je betonskom branom Bukovnik, visine 13 m, korisnog volumena 0,2 mil. m<sup>3</sup>, u čijemu se temelju nalazi tlačni tunel koji iz jezera Sabljaci dovodi vode Zagorske Mrežnice. U akumulacijskome bazenu smještena je ulazna građevina kojom se Ogulinska Dobra zahvaća i neposredno iza zatvarača ulazne građevine spaja s tunelom koji dovodi vode Zagorske Mrežnice. Od tog spoja vode Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre tlačnim derivacijskim tunelom dovode se do vodne i zasunske komore na Gojaku. Ukupna je dužina tunela 9386 m, promjer 4,5 m, a propusna moć 50 m<sup>3</sup>/s. Iza zasunske komore voda se čeličnim tlačnim cjevovodom dovodi do strojarnice u kojoj su smještene tri proizvodne jedinice s turbinama Francis, instaliranog protoka 50 m<sup>3</sup>/s, maksimalnog neto pada 118 m i instalirane snage 16,8 MW.

Razmatranje korištenja energetske potencijala rijeke Dobre nakon korištenja



Situacija HE Gojak

na HE Gojak provedeno je u studijama i projektima koje je izradio *Elektroprojekt*. Studije koje su razmatrale energetske korištenje sliva Kupe 80-ih godina 20. stoljeća i u sklopu višenamjenskoga sagledavanja sliva Kupe u Komplexnome uređenju sliva Kupe, koje je vodio *Elektroprojekt*, rezultiralo je postavljanjem rješenja koje je predviđalo energetske korištenja toka Dobre nizvodno od HE Gojak, na energetske stepenice HE Lešće. HE Lešće jedina je hidroelektrana izgrađena nakon Domovinskog rata. Puštena je u pogon 2010. godine. Izgradnjom brane formira se akumulacijsko jezero korisnog volumena 17,2 mil. m<sup>3</sup>, s maksimalnim radnim vodostajem koji seže do strojarnice HE Gojak. Hidroelektrana je pribranska, koja uz instalirani protok od 120 m<sup>3</sup>/s i neto pad od 38,18 m ima instaliranu snagu od 42,29 MW i ostvaruje prosječnu proizvodnju od 106 GWh na godinu. U sklopu elektrane ugrađen je i agregat za biološki minimum instaliranog protoka od 2,7 m<sup>3</sup>/s.

### Hidroenergetski sustav rijeke Cetine

Cetina je izrazito krška rijeka, koja je sa svojim topografskim smještajem i raspoloživim vodnim količinama, zajedno s vodotocima svojega šireg sliva, velik energetske potencijal. Sama rijeka Cetina izvire iz nekoliko jakih krških vrela u podnožju Dinare, na sjevernome dijelu Cetinskog polja kod Vrlike. Duž toka Cetine nižu se dolinska proširenja Vrličko,

Koljansko, Ribaričko, Hrvatačko i Sinjsko polje na kojemu, uzvodno od Trilja, u Cetinu utječe rijeka Ruda. Dužina Cetine od izvora do Omiša, gdje utječe u more, iznosi 100,5 km. Ukupni pad od izvora do ušća rijeke iznosi oko 380 m, od čega je oko trećine koncentrirano na slapovima Gubavica.

Slivno poručje rijeke Cetine  
obuhvaća i krška polja  
jugozapadne Bosne – Livanjsko  
s Buškim blatom, Duvanjsko,  
Šujičko, Kupreško i Glamočko,  
koja se nalaze na visinama od  
700 do 1200 m n.m.

Slivno poručje rijeke Cetine obuhvaća i krška polja jugozapadne Bosne – Livanjsko s Buškim blatom, Duvanjsko, Šujičko, Kupreško i Glamočko, koja se nalaze na visinama od 700 do 1200 m n.m. Površina sliva Cetine iznosi oko 4160 km<sup>2</sup>. Cetina je rijeka bujičnoga karaktera. Krško područje kroz koje rijeka teče karakterizira postojanje podzemnih retencija i razgranate mreže podzemnih tokova koji uzrokuju retardaciju vode u podzemlju, što donekle umanjuje njezino bujično svojstvo. Međutim, zbog nepovoljnoga je rasporeda oborina u prirodnom stanju dolazilo do povremenoga plavljenja dijelova krških polja u vrijeme kada je dotok premašivao kapacitet propuštanja podzemnih putova.

Već 1912. izgrađen je HE Kraljevac, koji koristi pad slapa Gubavice. Slap je najvažniji koncentrirani energetske potencijal Cetine i nalazi se u njezinome donjem toku. Hidroelektranom Kraljevac iskorišten je najveći pojedinačni pad korita rijeke Cetine, ali se pritom nije vodilo računa o iskoristivosti cijeloga vodotoka ni o vodnome izravnjanju. Posljedica takvog pristupa bila je neujednačena proizvodnja energije, koja je bila uzrokovana neujednačenim protokom Cetine tijekom godine, što je sa stajališta potrošnje nije bilo prihvatljivo. Stručnjaci *Elektroprojekta* su nakon opsežnih hidroloških, geoloških i hidrogeoloških studija postavili koncepciju vodoprivredno-energetskoga korištenja sliva rijeke Cetine, koja se sastoji od obrane od poplava i natapanja kraških polja te energetske korištenja voda na energetske stepenicama do Jadranskog mora. Kao energetske i ekonomske najbolje nametnulo se rješenje izgradnje nekoliko velikih daljinskih akumulacijskih jezera u gornjemu toku Cetine, odnosno u krškim poljima njezina šireg sliva, kojima bi se postiglo izravnjanje dotoka vodotoka sliva Cetine i njihovo ujednačeno korištenje za proizvodnju električne energije tijekom cijele godine. Tako je nakon izgradnje HE Kraljevac 1912. sustavno korištenje sliva Cetine započeto tek planiranjem i izgradnjom akumulacije Peruća. Uz tu akumulaciju izgrađena je i hidroelektrana Peruća snage 41,6 MW i proizvodnje 120 GWh. Ta akumulacija omogućuje izravnjanje voda Cetine i njihovo kvalitetno korištenje na nizvodnoj energetske stepenici. Akumulacija Peruća, uključujući hidroelektranu, izgrađena je 1960. godine. Glavninu energije proizvodi HE Zakućac, čija je prva faza snage 216 MW puštena u pogon 1962. Godine 1981. dovršena je izgradnja druge faze, nakon koje je snaga te elektrane povećana na 486 MW i proizvodi 1770 GWh na godinu. Kasnije, 1989., na Cetini je na relaciji između HE Peruća i brane Prančevići, na mjestu zahvata za korištenje na HE Zakućac, pušten u pogon i HE Đale snage 40,8 MW i proizvodnje 157 GWh. Na području tog sliva 1973. izgrađen je HE Orlovac sna-

ge 237 MW i proizvodnje 440 GWh, koji koristi vode šireg područja sliva Cetine, koje uključuje Livanjsko polje i Buško blato. Kako u zamisli koncepcije cjelokupnog sustava, tako i u svim pojedinačnim projektima sudjelovali su stručnjaci *Elektroprojekta* samostalno ili zajedno sa stručnjacima iz drugih projektnih tvrtki.

*Akumulacija Peruća pionirski je poduhvat inženjera Elektroprojekta kojim je u kanjonu Cetine, uzvodno od Hrvatačkog polja, ostvareno prvo akumulacijsko jezero u krškome terenu*

Akumulacija *Peruća* pionirski je poduhvat inženjera *Elektroprojekta* kojim je u kanjonu Cetine, uzvodno od Hrvatačkog polja, ostvareno prvo akumulacijsko jezero u krškome terenu. Korisni volumen jezera od oko 36 posto srednjega godišnjeg volumena dotoka znatno utječe na izravnane protoka Cetine na nizvodnim energetske stepenicama od Sinjskog polja do Jadranskog mora. U doba kada se pristupilo planiranju i provedbi te akumulacije vladalo je mišljenje da se usporavanje vode kod akumulacija u krškome terenu ne može ostvariti. Također se smatralo to da bi potapanje krških izvora uzrokovalo da oni izgube vodu. Neuspjesi kod ostvarivanja takvih rješenja uzimani su kao dokaz takvog stava, umjesto da

se takvi neuspjesi pripisuju rješenjima koja su donesena bez odgovarajućih geoloških i geotehničkih podloga. Prilikom pristupanja istražnim radovima trebalo je u stručnim krugovima savladati nevjericu u mogućnost njezina ostvarenja. Štoviše, nije se vjerovalo ni u uspješnost istražnih radova u takvu tlu, pozivajući se na iznesene bojazni te na tadašnji pristup i interpretaciju postavki o nesuvislosti gibanja vode u krškome podzemlju. U sklopu planiranja realizacije akumulacije *Peruća* osmišljen je i postavljen pristup temeljen na geološkim i hidrogeološkim istraživanjima. Rezultati tih istraživanja bili su osnovica svih daljnjih provedenih istraživanja za ispitivanje mogućnosti ostvarenja te akumulacije u krškome



Izgradnja brane Peruća





Stručnjaci *Elektroprojekta* (ing. Pavlin, ing. Žugaj i ing. Čalogović) na izgradnji brane Peruća

tlu i za donošenje tehničkog rješenja za njezino otješnjenje. Akumulacija Peruća, unatoč svim nevjericama, uspješno je ostvarena i pri usporu od 60 m ostvaruje akumulaciju volumena 541 mil. m<sup>3</sup> kojom omogućuje vodno izravnjanje za korištenje energetskog potencijala Cetine, a ujedno štiti od poplava nizvodno Hrvatačko i Sinjsko polje s više od 15.000 ha. Pristup istraživanjima i iskustvo stečeno na tome objektu bili su temelj za uspješnu realizaciju kasnijih akumulacija u kršu Hrvatske i drugdje u svijetu.

Koncentracija pada ostvarena izgradnjom brane Peruća koristi se u pribranskoj hidroelektrani Peruća koja na bruto padu od 57 m, uz instalirani protok  $Q_i=120 \text{ m}^3/\text{s}$  ostvaruje instaliranu snagu od  $P_i = 41,6 \text{ MW}$  i prosječnu godišnju proizvodnju od 120 GWh. Obnovom 2008. snaga elektrane povećana je na 60 MW. Izgradnja brane s pripadajućim objektima dovršena je 1960. i do 1993. vrlo je uspješno obavljala svoju funkciju, iako su je u razdoblju od 1991. do 1993. okupirali bivša Jugoslavenska narodna armija i srpske paravojne snage. Dana 23. siječnja 1993. brana Peruća postala je poznata širom svijeta i ušla u svjetske anale. Toga dana u 10.48 sati bivša Jugoslavenska narodna armija i srpske paravojne snage minirali su branu. Brana je teško oštećena, ali nije srušena. Istoga dana Hrvatska vojska oslobodila je branu, otvoren je temeljni ispušt i aku-

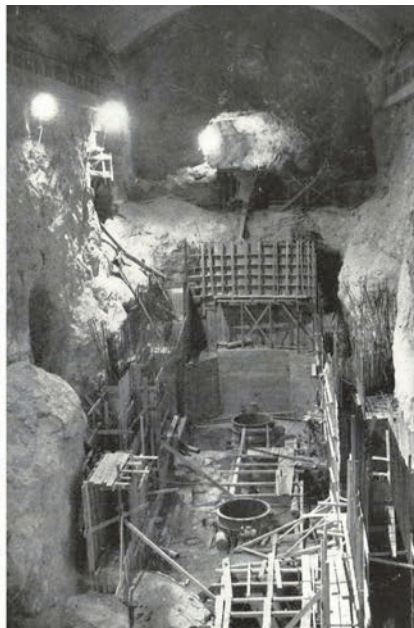
mulacijsko jezero počelo se prazniti. Na taj je način spriječeno moguće ispiranje materijala tijela brane i njezino rušenje. Strojarnica i rasklopno postrojenje bili su poplavljeni i djelomično oštećeni. Ubrzo nakon toga krenulo se sa sanacijom brane i osposobljavanjem elektrane za proizvodnju. Projekt sanacije izradio je i vodio *Elektroprojekt*. Elektrana je u kratkome vremenu osposobljena za proizvodnju pa je sa smanjenom snagom proizvodila energiju gotovo cijelo vrijeme radova na sanaciji brane. Razina jezera u to vrijeme

ovisila je o tijeku radova na sanaciji brane. Osnovna koncepcija sanacije brane bila je da se uklone i u cijelosti obnove bokovi i gornji dio brane u visini od 5 do 10 m, potpuno obnovi injekcijska galerija, a u središnji dio brane ugradi vodonepropusna dijafragma koja je trebala preuzeti funkciju oštećene glinene jezgre. Osim toga brana je povišena za 1,5 m u odnosu na izvornu branu, a samim time povećan je i najviši radni vodostaj, pa ju na taj način dobivena dodatna 24 mil. m<sup>3</sup> akumulacijskog prostora. Brana Peruća obnovljena je i puštena u pogon 29. svibnja 1996. godine. Danas akumulacijsko jezero ima korisni volumen od 565 mil. m<sup>3</sup> kod najvišega radnog vodostaja na koti od 361,50 m n.n.m. Akumulacija ima najvišu poplavnu razinu od 362 m n.n.m.

Osnovna koncepcija sanacije brane bila je da se uklone i u cijelosti obnove bokovi i gornji dio brane u visini od 5 do 10 m, obnovi injekcijska galerija, a u središnji dio ugradi vodonepropusna dijafragma koja je trebala preuzeti funkciju oštećene glinene jezgre



HE Đale



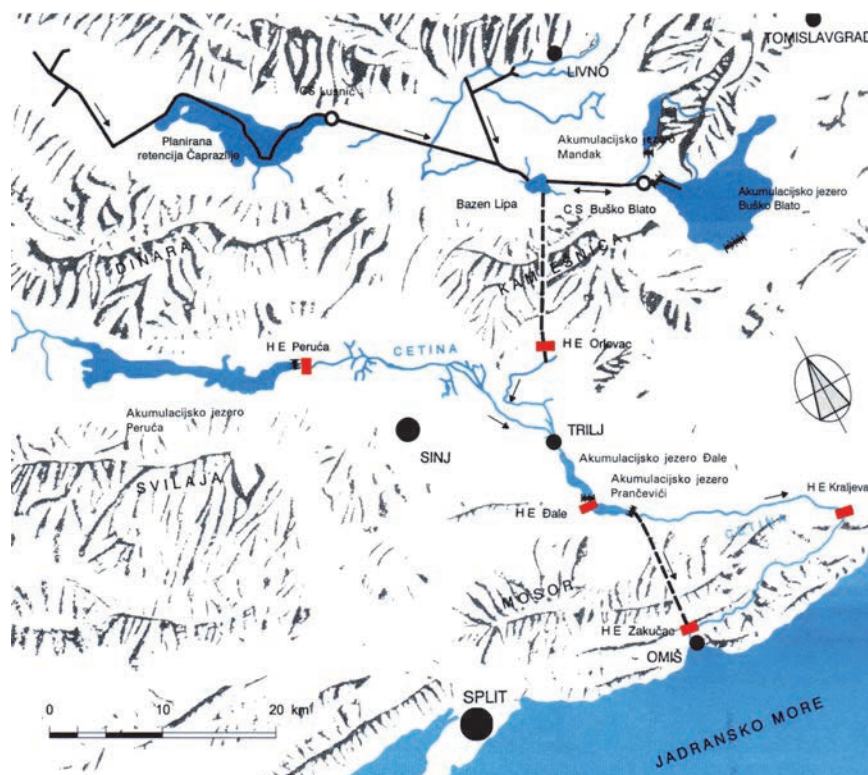
Zakućac – brana Pranjčevići i izgradnja strojarne HE Zakućac

izgradnjom brane Pranjčevići, kompenzacijski je bazen za hidroelektranu Zakućac. Iz akumulacije Pranjčevići voda se dovodi na turbine hidroelektrane Zakućac kroz dva dovodna tlačna tunela dužine 9876 m (desni tunel) i 9894 m (lijevi tunel) te kroz dva tlačna cjevovoda dužine po 289 m. Instalirani protok hidroelektrane Zakućac iznosi 220 m<sup>3</sup>/s te uz bruto pad od 270 m ima instaliranu snagu od 486 MW i ostvaruje prosječnu godišnju proizvodnju od 1770 GWh. Obnovom proizvodnih jedinica snaga te hidroelektrane povećana je na više od 500 MW.

Na kraju dovodnih tunela, u zasunskoj komori HE Zakućac nalazi se zahvat za regionalni vodoopskrbni sustav Omiš – Brač – Hvar – Šolta – Vis, planiranog kapaciteta od 630 l/s.

Na gornjemu horizontu Livanjskog polja i Buškog blata formirano je akumulacijsko jezero Buško blato, korisnog volumena od 782 mil. m<sup>3</sup>. Akumulirane vode iz akumulacije Buško blato kanalima se uvode u akumulaciju Lipa korisnog volumena 1,38 mil. m<sup>3</sup>, koja je kompenzacijski bazen za derivacijsku hidroelektranu Orlovac. Zahvat vode za hidroelektranu Orlovac nalazi se u bazenu Lipa, od kuda se voda kroz dovodni tlačni tunel dužine 12,1 km i čelični tlačni cjevovod dužine 1577 m dovodi na turbine hidroelektrane Orlovac. Instalirani protok HE Orlovac iznosi  $Q_i = 70 \text{ m}^3/\text{s}$  te na bruto padu od 403,7 m daje instaliranu snagu  $P_i = 237 \text{ MW}$  i prosječnu godišnju proizvodnju od 440 GWh. Energetski iskorištena voda u hidroelektrani Orlovac dovodi se otvorenim kanalom u rijeku Rudu, koja se kao lijeva pritoka ulijeva u Cetinu na Sinjskome polju kod Trilja.

U kanjonu Cetine, nizvodno od Trilja izgrađena je brana Đale, koja formira akumulacijsko jezero korisnoga volumena od 2,6 mil. m<sup>3</sup>. Koncentracija pada ostvarena izgradnjom brane koristi se u pribranskoj hidroelektrani Đale, čija je strojarica također dio usporne građevine. Hidroelektrana Đale ima instalirani protok  $Q_i = 220 \text{ m}^3/\text{s}$  te uz bruto pad od 21 m ostvaruje instaliranu snagu  $P_i = 40,8$



Situacija sustava hidroenergetskog korištenja u slivu rijeke Cetine

MW i srednju godišnju proizvodnju  $E = 157 \text{ GWh}$ . Neposredno nizvodno od brane Đale počinje akumulacijsko jezero Pranjčevići, korisnog volumena 6,8 mil. m<sup>3</sup>. Akumulacijsko jezero Pranjčevići, koje je nastalo

**Hidroenergetski sustav Senj**

Zamisao o korištenju voda rijeka Like i Gacke datira s početka 20. stoljeća. Godine 1922. postavljena su prva rješenja kojima se planiralo zajedničko korištenje tih



HE Sklope – izgradnja

vodotoka, no tek nakon 1953. pristupilo se sustavnijemu i organiziranijemu radu na postavljanju i izradi rješenja, u čemu je glavnu ulogu imao *Elektroprojekt*.

Rijeka Lika izraziti je bujični vodotok koji je u prirodnome stanju, prije izgradnje HES Senj, ponirao u Lipovome polju na oko 480 m n.m. Rijeka Gacka jest vodotok s prirodno izravnanim vodnim režimom, koja je u prirodnome stanju ponirala u Gackome polju u niz ponora na oko 430 m n.m.

Hydroenergetski sustav Senj koristi hidroenergetski potencijal rijeka Like i Gacke na padu od 437 m od Ličke visoravni do Jadranskog mora. Vode rijeke Like bujičnog su karaktera te ih je za korištenje potrebno izravnati, dok su vode rijeke Gacke uglavnom ujednačene. U tome sustavu akumulacija Kruščica omogućuje izravnanje voda Like koje se zatim, zajedno s vodama Gacke, sustavom kanala i tunela dovode na HE Senj, koji je izgrađen 1965. godine. Uz akumulaciju Kruščica 1970. izgrađena je i pribranska hidroelektrana Sklope.

Osnovna je koncepcija hidroenergetskog sustava Senj prevođenje vode rijeke Like u rijeku Gacku, dovođenje zajedničkim derivacijskim sustavom kroz Gacko polje i Velebit, na njegovu primorsku stranu, te energetske korištenje u hidroelektrani Senj na najvećemu bruto padu od 437 m. HE Senj uz instalirani protok od  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  daje snagu od 216 MW i proizvodnju

glavnine energije od 972,0 GWh u tom sustavu.

Za izravnanje voda Like izgrađena je nasuta brana Sklope visine 81 m, koja formira jezero Kruščica korisne zapremnine  $128 \times 10^6 \text{ m}^3$ , i to kod najvećega radnog vodostaja 554 m n.m. Koncentracija pada stvorena branom Sklope koristi se u istoimenoj pribranskoj elektrani. HE Sklope koristi bruto pad od 69,5 m i uz instalirani protok od  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  ostvaruje snagu od 22,5 MW i proizvodi energiju od 85 GWh.



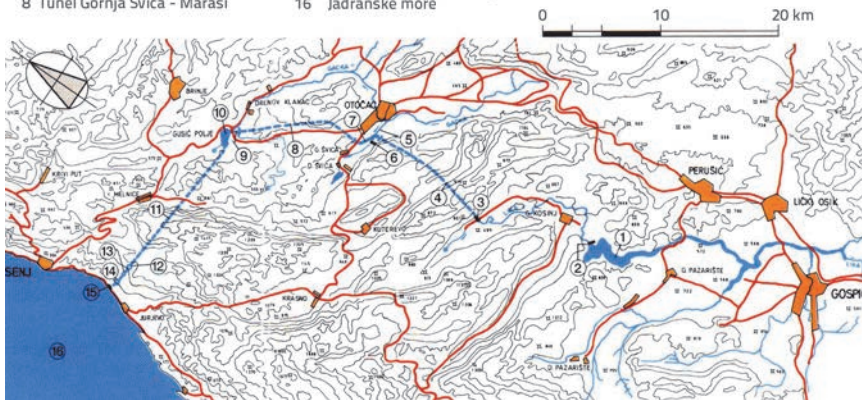
HE Sklope

Energetski iskorištena voda Like u hidroelektrani Sklope teče svojim koritom do betonske gravitacijske brane Selište visine 13,5 m, kojom je korito Like pregrađeno prema ponorima na krajnjemu zapadnome dijelu Lipova polja. Velike vode Like prelijevaju se preko brane Selište i otječu prema ponorima u Lipovu polju. Uz branu izgrađena je ulazna građevina gravitacijskog tunela Lika – Gacka kojim se vode Like prebacuju u sliv Gacke i spajaju s vodom Gacke u čvorištu Šumečica. Tunel je dug 10,5 km i protočnog kapaciteta od  $49 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Vode Gacke do čvorišta Šumečica dovode se njezinim prirodnom koritom, koje je od nasute brane Vivoze, visine 8,5 m, regulirano za velike vode. Branom Vivoze pregrađen je sjeverni krak toka Gacke te se sva njezina voda, osim biološkog minimuma, dovodi do čvorišta Šumečica. Velike vode Gacke, koje ne mogu biti energetske iskorištene, prelijevaju se preko brane Šumečica i poniru u Donjem švičkom jezeru. Od čvorišta Šumečica vode Like i Gacke zajedno teku derivacijskim dovodom do kompenzacijskog bazena Gusić polje. Dovod se sastoji od kanala Šumečica – Gornja Švica dužine 1500 m i trapeznoga poprečnog presjeka. Na taj se kanal nadovezuje gravitacijski tunel potkovastog presjeka Gornja Švica

LEGENDA

- |                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Akumulacijsko jezero Kruščica    | 9 Kanal Marasi - Gusić Polje         |
| 2 Brana i HE Sklope                | 10 Kompenzacijski bazen Gusić Polje  |
| 3 Brana i ulazna građevina Selište | 11 Tunel Gusić Polje - Hrnotine      |
| 4 Tunel Lika - Gačka               | 12 Vodna komora                      |
| 5 Regulirano korito Gacke          | 13 Zasunska komora i tlačni cjevovod |
| 6 Brana Šumečica                   | 14 Hidroelektrana Senj               |
| 7 Kanal Šumečica - Gornja Švica    | 15 Odvodni tunel i izlazna građevina |
| 8 Tunel Gornja Švica - Marasi      | 16 Jadransko more                    |



Situacija sustava hidroenergetskog korištenja u slivu rijeka Like i Gacke

– Marasi dužine 9216 m te kanal Marasi dužine 1993 m i trapeznog oblika. Cijeli derivacijski dovod od Šumečice do Gusić polja ima protočni kapacitet od 60 m<sup>3</sup>/s. Kompenzacijski bazen Gusić polje korisne je zapremnine od 1,3 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> pri najvećemu radnom vodostaju od 436,5 m n.m. i služi za dnevno reguliranje protoka za HE Senj. Na zapadnome dijelu bazena nalazi se ulazna građevina tlačnog tunela Gusić polje – Hrnotine, koji je dug 13574 m i koji dovodi vodu do vodne i zasunske komore, gdje počinje tlačni cjevovod HE Senj. Tlačni je cjevovod podzemni i njime se voda dovodi do strojarnice HE Senj, koja je smještena u podzemnoj kaverni na obali Jadranskog mora.

Na kraju dovodnog tunela, kod vodne komore nalazi se zahvat za vodoopskrbni sustav Hrvatskog primorja i otoka južno od Senja planiranog kapaciteta od 900 l/s.

O ulozi i veličini pothvata svjedoči i napis iz *Vjesnika* iz 1966. u kojemu stoji: Dovođenje HE Senj grandiozno je djelo naših graditelja i stručnjaka. U izgradnji je sudjelovalo desetak instituta i naučnih ustanova te više pojedinaca. Građevinske radove izvodilo je pet građevinskih poduzeća, a radilo je još petnaestak što manjih što većih kolektiva. Na gradilištu dugom oko 60 km radilo je od 1961. do danas neprestano 3000-4000 radnika. Za to vrijeme sagrađeno je 39,5 kilometara tunela, 11,4 km kanala i četiri brane.

U tunelima je iskopano 1.672.000 kubika kamena i zemlje, a u brane i nasipe ugrađeno je 1.800.000 kubika materijala. Osim toga upotrijebljeno je 395.000 kubika betona i 8.700.000 kilograma betonskog željeza. Ugrađena oprema teška je oko 4.500 tona. Osim toga, moralo se sa-

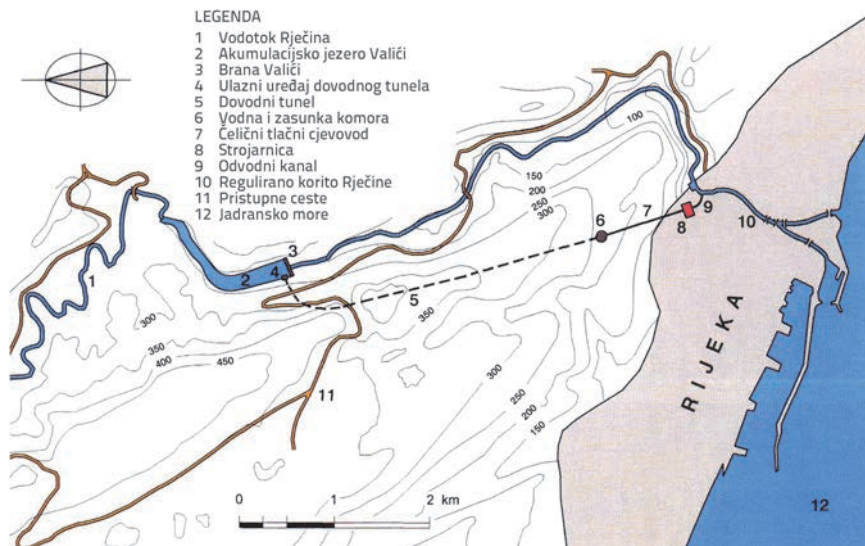
graditi 50 km pristupnih cesta 34 km vodovoda, 240 km dalekovoda i niz drugih objekata. Od cjelokupne opreme samo je 15 posto uvezeno iz inozemstva, iako je bilo predviđeno čak 38 posto.

**Hidroelektrana Rijeka**

Šezdesetih godina 20. stoljeća teška energetska situacija na tada jako industrijaliziranome području sjeverozapadne Hrvatske i Slovenije pokrenula je izgradnju HE Rijeka. Strmi krški vodotok Rječina izvire na 326 m n.m. te nakon toka do samo 18 km utječe u Jadransko more u samome gradu Rijeci. Geološke i morfološke prilike omogućile su izgradnju akumulacijskog jezera relativno male zapremnine u najgornjem dijelu toka Rječine, dok je pad koncentriran u donjem dijelu toka. Zamisao i projekt HE Rijeka djelo je *Elektroprojekta*, a elektrana je izgrađena 1968. godine. Ta hidroelektrana, smještena u blizini tada industrijskoga i prometnoga središta Rijeka, snage je oko 37 MW i proizvodi oko 98 GWh energije. HE Rijeka



Brana Valići



Situacija HE Rijeka

koristi bruto pad od 228 m, uz instalirani protok od 21 m<sup>3</sup>/s. Bazen za dnevno reguliranje protoka korisne je zapremnine od 47.000 m<sup>3</sup>, a formiran je betonskom gravitacijskom branom Valiči, visine 35,5 m. Najveći radni uspor u bazenu je 229,5 m n.m. Tlačnim se tunelom promjera 3,20 m i dužine 3290 m voda dovodi do vodne i zasunske komore, gdje počinje kosi čelični tlačni cjevovod promjera od 2,3 do 2,2 m i dužine 803 m koji završava u podzemnoj strojarnici koja je odvodnim tunelom spojena s koritom rijeke Rječine na 5 m n.m.

### Hidroelektrane na rijeci Krki i Butišnici

Rijeka Krka izvire ispod sedrene barijere slapa Topolje kod Knina. Ukupna dužina toka rijeke Krke od izvora do ušća u Jadransko more kod Skradina iznosi 56 km. Duž svojega toka Krka prima niz velikih pritoka. Veći pritoci Krke jesu Krčić, Kosovčica, Orašnica, Butišnica, Miljacka, Čikola, Goduča i Rivina Jaruga.

Osamdesetih godina 20. stoljeća *Elektroprojekt* radio je na vodoprivrednoj osnovi Krke i Zrmanje. Iako počeci energetskog korištenja Krke datiraju već od početka 20. stoljeća, vodoprivrednom osnovom planirano je sustavno korištenje voda vodotoka tog sliva. U tome razdoblju *Elektroprojekt* izradio je projekte, a poslije su izgrađeni HE Golubić i MHE Krčić kao prva faza HE Krčić, koja do danas nije ostvarena.

Na rijeci Butišnici, Krkinoj pritoci, kod Knina nakon Drugog svjetskog rata izgrađena je mala hidroelektrana Golubić snage 130 kW, koja je služila za potrebe sela Golubića. Godine 1981. prema projektu *Elektroprojekta* izgrađena je nova elektrana snage 7,5 MW. Izgrađeni su kompenzacijski bazen za izravnavanje dotoka od 0,187 mil. m<sup>3</sup> na dan i derivacijski sustav koji čine otvoreni betonski kanal i čelični tlačni cjevovod. Novoizgrađeni HE Golubić koristi bruto pad od 64,22 m i uz instalirani protok 14 m<sup>3</sup>/s ostvaruje proizvodnju od 28,5 GWh.



HE Golubić

Godine 1988. na Krčiću izgrađen je MHE Krčić, koji je označio početak izgradnje HE Krčić. MHE Krčić koristi pad slapa Krčić od 40,46 m i uz instalirani protok od 1,0 m<sup>3</sup>/s ima snagu od 0,35 MW te ostvaruje proizvodnju od 2,0 GWh.

### RHE Velebit

Na jugoistočnome dijelu Like već se 1955. započelo s prikupljanjem podataka i razmatranjem korištenja voda potoka koji su ponirali na rubu Gračačke visoravni, a 1961. završena je izrada osnovnoga projekta Hidroenergetski sustav Ričica – Zrmanja, što je bila osnova za daljnje planiranje izgradnje energetskih objekata na tome području, od kojih je do sada izgrađen RHE Velebit.

Gračačka visoravan obuhvaća područje krških polja Lovinca, Gračaca i Bruvna. Gračačka visoravan proteže se između 550 i 700 m n.m. s uzdignućima do 1000 m n.m., dok je sa zapada i juga od mora odijeljena planinskim lancem Velebita visine od 900 do 1600 m n.m. To je područje izrazito krško te ima sve karakteristike krša kao što su krška polja, vrtače, krška vrela, estavele i ponori. Na Gračačku visoravan dolaze vodotoci Ričica, Krivak i Otuča s Bašnicom, koji su se u prirodnome stanju, prije izgradnje RHE-a Velebit, gubili u



Strojarnica RHE Velebit



Spuštanje bunara strojarnice

ponorima duž južnog ruba Štikadskog i Gračačkog polja i izviralima uz obale rijeke Zrmanje, u njezinome donjem toku. Na sjeverozapadnome dijelu gornjeg platoa u području Raduč – Sv. Rok postoje još tri neovisna vodotoka, koji vodu dobivaju sa sjevernih padina Velebita. To su Opsenica s Radučicom, Krušnica i Holjevac. U prirodnom stanju, prije izgradnje RHE Velebit, ti su se vodotoci gubili u ponorima i izviralima na Jadranskoj obali, na području između Maslenice i Starigrada.

Idejni projekt koji je izradio *Elektroprojekt* razmatrao je klasičnu visokotlačnu elektranu s velikom akumulacijom od 115 km<sup>3</sup> i reverzibilno postrojenje s manjim akumulacijama. Na temelju analiza donesena je odluka o izgradnji reverzibilne hidroelektrane koja radi kao klasična visokotlačna elektrana pri normalnim uvjetima te kao crpna koja vraća vodu iz donjeg bazena u gornji kada u sustavu postoji višak energije. Glavni je razlog za tu odluku bio noćni višak energije unutar sustava. Osim toga, na odluku su utjecali visoki troškovi izgradnje velikih akumulacija. *Elektroprojekt* je bio i nositelj projekta kod izgradnje i projektant hidrograđevinskog dijela u koji je uključeno i praćenje izazovnog pothvata izgradnje strojarnice. Reverzibilna hidroelektrana Obrovac, koja je poslije dobila naziv RHE Velebit, puštena je u pogon 1984. godine. RHE Velebit koristi vode vodotoka Ričice, Opsenice, Otuče i Krivka s Gračačke visoravni. Snaga te elektrane u turbinskome

radu iznosi 276 MW, a u crpnome 240 MW. Elektrana u turbinskome radu koristi bruto pad od 550 m i uz instalirani protok od 60 m<sup>3</sup>/s ostvaruje prosječnu proizvodnju od 430 GWh na godinu. S hidrograđevinskog stajališta elektrana se može podijeliti u četiri cjeline. To su gornja akumulacijska jezera, tlačni dovodni sustav, strojarnica s pratećim objektima i donje akumulacijsko jezero.

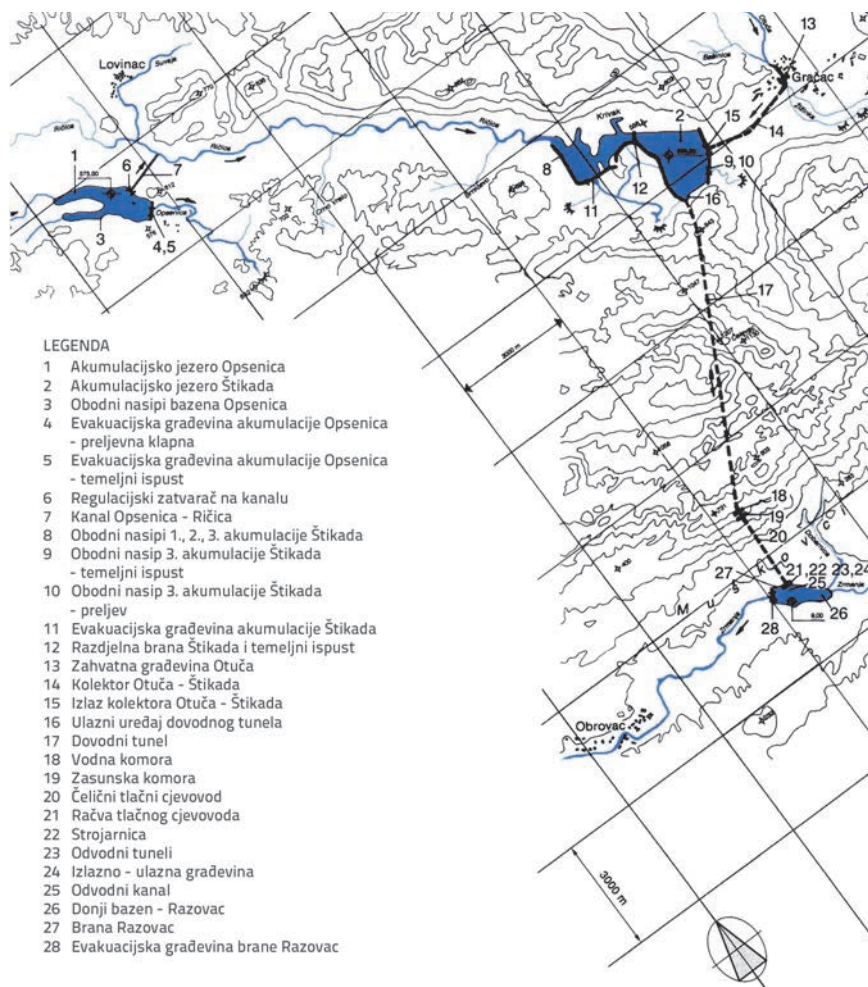
*Elektroprojekt* je bio i nositelj projekta kod izgradnje i projektant hidrograđevinskog dijela u koji je uključeno i praćenje izazovnog pothvata izgradnje strojarnice

Akumulacijsko jezero Štikada volumena 13,65 mil. m<sup>3</sup> smješteno je na Gračačkoj visoravni. Jezero prihvaća vode s Gračačke visoravni te služi kao gornje akumulacijsko jezero kada elektrana radi crpno. Jezero Štikada prihvaća i vode iz akumulacijskog jezera Opsenica volumena 2,7 mil. m<sup>3</sup> koje je s vodotokom Ričice, koji utječe u jezero Štikada, povezano kanalom. U akumulacijsko jezero Štikada prebacuju se i vode vodotoka Otuča, i to kroz podzemni betonski tunel promjera 3,0 m i dužine 2825 m. Akumulacijsko jezero Štikada podijeljeno je razdjelnom branom na dva dijela: gornje i donje jezero. Gornje jezero bilo je zamišljeno kao rekreacijska zona u kojemu se za ljetnih

mjeseci trebala održavati konstantna razina vode, međutim u praksi se odustalo od toga. Danas se oba dijela jezera koriste jednako.

Iz akumulacijskog jezera Štikada voda se do strojarnice dovodi kroz betonski tlačni tunel i čelični tlačni cjevovod. Dovodni je tunel promjera 4,5 m i dužine 8200 m, a na negovu se kraju nalazi vodna komora. Čelični tlačni cjevovod promjera od 3,9 m do 3,25 m i dužine 2170 m proteže se od zasunske komore do strojarnice te svladava visinsku razliku od 552,5 m. Cjevovod je građen bez dilatacijskih reški, oslonjen je preko kliznih ležaja na 103 betonska oslonca i sedam nepomičnih usidrenih betonskih točaka, pa u statičkome pogledu djeluje kao kontinuirani nosač. Pred strojarnicom cjevovod se račva u dva dijela, svaki prema jednoj turbini-crpki.

Velik izazov bio je izgraditi strojarnicu koja je smještena u 60 m dubokome armiranobetonskome bunaru unutarnjeg promjera 27 m. Strojarnica je izgrađena spuštanjem armiranobetonskoga kliznog bunara, što je bio poseban građevinski poduhvat. Dubina strojarnice bila je uvjetovana zahtjevom da se turbine-crpke postave na dubinu od 47,5 m ispod površine terena, jer se na taj način na najmanju moguću mjeru svode kavitacijske pojave na lopaticama turbine-crpke u turbinskome i crpnome radu. Iznad betonskog šahta nalazi se zgrada strojarnice, građena od čelika. Uz plato strojarnice smješteno je akumulacijsko jezero Ra-



### Situacija sustava hidroenergetskog korištenja voda područja Gračačke visoravni – RHE Velebit

zovac, koje je stvoreno pregrađivanjem doline rijeke Zrmanje nasutom branom. Strojarnica je s akumulacijom Razovac spojena s dva ulazno-izlazna tunela. Akumulacija Razovac volumena 13,65 mil. m<sup>3</sup> služi kao akumulacijski prostor za crpni rad elektrane. Za reguliranje toka rijeke Zrmanje, ponajprije za ispuštanje biološkog minimuma, služi betonska preljevna građevina s tri preljevna polja opremljena segmentnim zapornicama. Nakon što je izgrađen RHE Velebit vode Ričice i Krivaka izravno ulaze u akumulacijsko jezero Štikada, dok se vode Otuče u bazen Štikada uvode kroz podzemni kolektor te energetski koriste u RHE Velebit.

Vodotok Opsenica zahvaćen je u akumulaciju Opsenica, kanalom se prevodi u rijeku Ričicu i akumulacijsko jezero Štikada te energetski koristi u RHE Velebit. Kruš-

nica i Holjecac ne koriste se energetski i gube se u ponorima u blizini Svetog Roka.

### HE na rijeci Dravi

Sustavna istraživanja korištenja i uređenja rijeke Drave u Hrvatskoj počela su već u kasnim 50-im godinama prošloga stoljeća, ali je prva višenamjenska hidroelektrana Varaždin puštena u pogon tek 1975. godine.

Hidroelektrana Varaždin najuzvodnija je hidroelektrana u Hrvatskoj i ima instalirani protok od 450 m<sup>3</sup>/s, neto pad od 21,5 m, snagu od 86 MW i proizvodnju od 476 GWh. Proizvodne jedinice HE Varaždin mogu u maksimumu koristiti protok od 500 m<sup>3</sup>/s i davati snagu od 94 MW. Drugi, HE Čakovec instaliranog protoka od 500 m<sup>3</sup>/s, neto pada od 17 m, snage od 75,9 MW i proizvodnje 400 GWh pušte-

na je u pogon 1982. godine. Treća u nizu i najizvodnija do sada izgrađena hidroelektrana na Dravi Dubrava instaliranog je protoka od 500 m<sup>3</sup>/s, neto pada od 16,9 m, snage od 75 MW i proizvodnje od 385 GWh, a puštena je u pogon 1989. godine. Zamisao i projekti za sve navedene hidroelektrane potekli su iz *Elektroprojekta*, koji je i sudjelovao u njihovoj gradnji kroz projektiranje i nadzor do konačnog puštanja u pogon. Već na početku razmatranja energetskog korištenja Drave u Hrvatskoj uočeno je to da u tome slučaju rješenjima treba prići sa stanovišta cjelovitog i sveobuhvatnog uređenja i korištenja voda i zemljišta sliva Drave. Rezultat je priprema Programa za izradu kompleksnog rješenja vodoprivrednog sistema Drave (*Elektroprojekt – Zagreb*, siječanj 1973.). Taj je dokument poslije poslužio kao okosnica za odluku o tome da uređenje i korištenje velikih riječnih slivova bude jedan od osnovnih pravaca strateškog razvoja Hrvatske.

Već na početku razmatranja energetskog korištenja Drave u Hrvatskoj uočeno je to da u tome slučaju rješenjima treba prići sa stanovišta cjelovitog i sveobuhvatnog uređenja i korištenja voda i zemljišta sliva

Vode i zemljište sliva Drave uređuju se i koriste višenamjenskim hidroelektranama. Njihove su glavne namjene opskrba vodom, obrana od poplava, zaštita zemljišta od erozije, navodnjavanje, odvodnja, korištenje vodnih snaga, promet te rasonoda, izletništvo i sport. Hidroelektrane su niskotlačne, derivacijske i s akumulacijama za potpuno dnevno i djelomično tjedno uređenje dotoka. Površina jezera HE Varaždin iznosi 3 km<sup>2</sup>, a volumen 8 hm<sup>3</sup>, površina jezera HE Čakovec iznosi 10,5 km<sup>2</sup>, a volumen 51 hm<sup>3</sup>, a površina jezera HE Dubrava iznosi 16,6 km<sup>2</sup>, a volumen 93,5 hm<sup>3</sup>. S tehničkog stanovišta vrlo je zanimljivo to da su sve tri hidroelektrane derivacijske, iako je u sličnim prirodnim uvjetima uobičajeno rješenje s pribranskim elektranama. Ta



HE Dubrava



Brana HE Varaždin

derivacijska postrojenja sastoje se od pokretne brane i obodnih nasipa kojima se ostvaruje jezero i derivacijskog kanala koji strojnica dijeli na dovodni u nasipima i odvodni u dubokome iskopu. U branama ugrađena je mala hidroelektrana kojom se kroz branu propušta dio vode potreban za održavanje života u rijeci između brane i ušća odvodnoga kanala, a na drenažnim jarcima HE Čakovec i HE Dubrava izgrađene su male hidroelektrane koje koriste procjedne vode iz bazena tih elektrana.

Sve tri hidroelektrane na Dravi daljinski su upravljane iz jednog centra *Komandalanca – Varaždin* iz koje se obavlja daljin-

ski nadzor i upravlja hidroelektranama na Dravi u cilju optimalne proizvodnje električne energije u skladu s optimalnim gospodarenjem vodama, pri čemu se u obzir uzimaju plovnost, zaštita od poplava i velikih vodnih valova, održavanje biološkog minimuma, ispuštanje voda prema zahtjevima vodoprivrede i slično. Kada se govori o planiranju izgradnje hidroelektrana na Dravi, treba istaknuti to da su u *Elektroprojektu* napravljene prve studije utjecaja na okoliš u sklopu njihova razvoja, i to 1983. za HE Čakovec, a 1984. za HE Dubravu. Te aktivnosti ujedno su postavile temelje projektnoj djelatnosti zaštite okoliša i prirode te su utjecale na

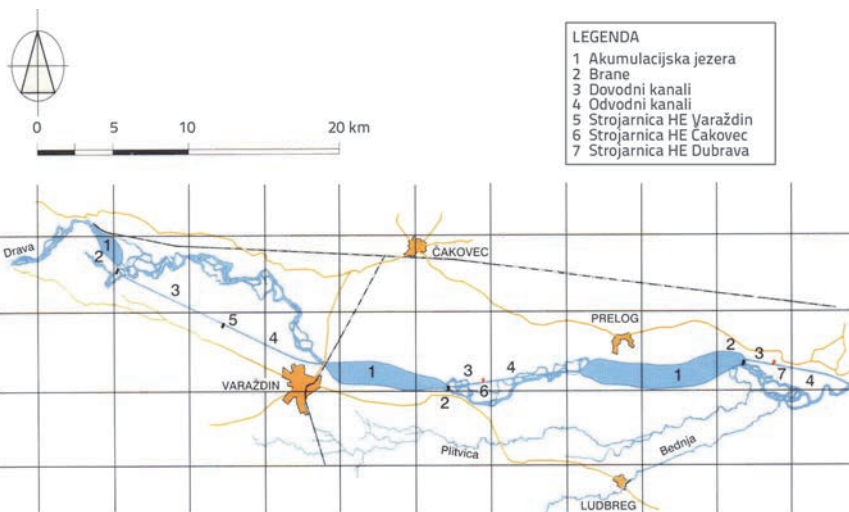
izradu regulative iz tog područja u Republici Hrvatskoj.

### Umjesto zaključka

Nakon Domovinskog rata jedina izgrađena hidroelektrana jest HE Lešće. Puštena je u pogon 2010. godine. S obzirom na to da je u pogledu korištenja vodnih snaga u Hrvatskoj stao razvoj i izgradnja hidroelektrana, aktivnost *Elektroprojekta* usmjerila se na područje Bosne i Hercegovine i Kosova. Na području HZHB-a projektirane su i izvedene dvije hidroelektrane, HE Peč Mlini i HE Mostarsko blato, a na području Kosova aktivnosti su bile usmjerene na pokretanje HE Zhur.

### LITERATURA

- Hidroelektrane u Hrvatskoj, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb 2000. (izradio Elektroprojekt)
- Građevinar 41 (1989.)
- Projekti hidroelektrana u Hrvatskoj – nove hidroelektrane, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb 1997. (izradio Elektroprojekt)
- Projekti hidroelektrana u Hrvatskoj – obnova hidroelektrana, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb 1995. (izradio Elektroprojekt)
- Male hidroelektrane, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb 2005. (izradio Elektroprojekt)



Situacija sustava hidroenergetskog korištenja u slivu rijeke Drave