

Hidroelektrane u sklopu Proizvodnog područja Zapad

Ištef, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:287461>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dino Ištef

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Dino Ištef

Hidroelektrane u sklopu Proizvodnog područja Zapad
ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: prof. dr. sc. Igor Sutlović

Članovi ispitnog povjerenstva: prof. dr. sc. Igor Sutlović

prof. dr. sc. Veljko Filipan

izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Zagreb, rujan 2021.

Zahvaljujem svom mentoru prof. dr. sc. Igoru Sutloviću na vrlo zanimljivoj temi, razumijevanju i ukazanim smjernicama u vezi pisanja završnog rada.

Također, beskrajno sam zahvalan svojoj obitelji na strpljenju i potpori koju su mi pružili tijekom studiranja.

SAŽETAK RADA

Iskorištavanje vodnih potencijala datira unatrag nekoliko tisućljeća. Izrada elektromotora i vodnih turbina omogućila je djelotvornije iskorištavanje vode u svrhu dobivanja električne energije. Upravo su hidroelektrane postrojenja koja koriste potencijalnu i/ili kinetičku energiju vode i u kojima, ovisno o neto padu turbne i raspoloživoj količini vode, dolazi do transformacije navedenih oblika energije u mehaničku, te konačno u električnu energiju. Hidroelektrane, odnosno hidroenergija spada u obnovljive izvore energije jer se voda neprekidno obnavlja kroz svoj hidrološki ciklus. Republika Hrvatska njeguje dugu tradiciju iskorištavanja vodnih potencijala kroz niz hidroelektrana rasprostranjenih po čitavom teritoriju. Danas su hidroelektrane u Hrvatskoj zaslužne za većinu proizvedene električne energije. S ciljem optimalnog upravljanja i nadziranja, hidroelektrane u Hrvatskoj su svrstane u proizvodna područja te pripadajuće Centre proizvodnje. Proizvodno područje Zapad obuhvaća deset hidroelektrana u sklopu Glavnih hidroelektrana Vinodol, GHE Senj i GHE Gojak.

Ključne riječi: vodni potencijal, električna energija, hidroelektrane, obnovljivi izvor energije, Proizvodno područje Zapad

ABSTRACT

The exploitation of water potentials dates back several millennia. The construction of electric motors and water turbines enabled the efficient use of water for the purpose of obtaining electricity. It is hydropower plants that use the potential and / or kinetic energy of water and in which, regardless of the net drop in turbine and available water, there is a transformation of these forms of energy in mechanical, finally in electrical energy. Hydropower plants, ie hydropower, are renewable energy sources because water is constantly renewed throughout its hydrological cycle. The Republic of Croatia nurtures a long tradition of exploiting water potentials through a series of hydroelectric power plants spread throughout the territory. Today, hydropower plants in Croatia are responsible for most of the electricity produced. With the aim of optimal management and monitoring, hydropower plants in Croatia are classified in production areas that belong to the Production Center. The Region West production area includes ten hydropower plants within the Main Hydro Power Plants Vinodol, Senj and Gojak.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. OPĆI DIO	2
2.1. Osnovni dijelovi hidroelektrane	2
2.2. Kategorizacija hidroelektrana	3
2.3. Značaj hidroelektrana.....	5
3. HIDROELEKTRANE U HRVATSKOJ	9
4. PROIZVODNO PODRUČJE HIDROELEKTRANA ZAPAD	11
4.1. GHE Vinodol.....	13
4.1.1. Hidroelektrana Vinodol	13
4.1.2. Hidroelektrana Rijeka.....	14
4.1.3. Hidroelektrana Fužine	15
4.1.4. Hidroelektrana Lepenica.....	17
4.1.5. Hidroelektrana Zeleni Vir.....	18
4.2. GHE Senj.....	19
4.2.1. Hidroelektrana Senj	19
4.2.2. Hidroelektrana Sklope	21
4.3. GHE Gojak.....	22
4.3.1. Hidroelektrana Gojak	22
4.3.2. Hidroelektrana Lešće.....	24
4.3.3. Hidroelektrane Ozalj 1 i 2	25
5. ZAKLJUČAK	27
6. LITERATURA	28

1.UVOD

Već se u Antičkom Rimu razvila potreba o dobivanju mehaničke energije iskorištavanjem vodnih snaga pomoću mliniskog kola. Hrvatska se isto tako može pohvaliti sa dugom tradicijom korištenja vodnih snaga. Iskorištavanje doživljava vrhunac početkom 19. st. kada je konstruiran prvi elektromotor i razvijene prve vodne turbine. Štoviše, upravo je HE Jaruga, na rijeci Krki, jedna od prvih izgrađenih hidroelektrana u svijetu. U pogon je puštena 28.08.1895. godine. Za daljni razvoj industrije, pa tako i hidroelektrana zaslužan je hrvatski znanstvenik Nikola Tesla. On je 1882. godine otkrio rotirajuće magnetsko polje te polifazni sustav za proizvodnju, prijenos, distribuciju i uporabu električne energije.

Hidroenergija je prvi i najvažniji izvor obnovljive proizvodnje energije, konkurentan proizvodnji električne energije iz fosilnih goriva . Hidroenergija ima jednu od najboljih učinkovitosti pretvorbe od svih poznatih izvora energije (oko 90% učinkovitosti). Primarna energija proizvedena iskorištavanjem hidropotencijala ovisi o raspoloživoj količini vode u određenoj godini, pa ako je ona dostatna troškovi rada i održavanja su vrlo niski, a prednost je i ta što nema otpada i troškova goriva. Za dobivanje električne energije koristi se energija oslobođena nakon smanjenja rada vode u prirodi. To se najčešće postiže pregradnjom vodotoka tj. njegovim usporavanjem izgradnjom brane u svrhu koncentriranja pada u jednoj točki. Što je taj pad veći, veća je i potencijalna energija vode koju iskorištava turbina za pretvorbu iste u mehaničku energiju vrtnje, koja pokreće elektrogenerator proizvodeći električnu energiju. Dobro izvedene hidroelektrane ostvaruju omjer povrata energije do 300 puta.

U Hrvatskoj su danas u funkciji niz hidroelektrana, uključujući mikro, mini, male i velike hidroelektrane, a 28 ih je u stopostotnom vlasništvu HEP- a d.d. HEP Proizvodnja d.o.o. je trgovačko društvo koje u njihove ime organizira i provodi proizvodnju električne energiju u hidroelektranama, a nadzor i upravljanje istih vrše kroz tri centra proizvodnje. Centar proizvodnje Sjever koji obuhvaća hidroelektrane na Dravi, Centar proizvodnje Jug hidroelektrane u Dalmaciji, Centar proizvodnje Zapad te HE Dubrovnik koja predstavlja neovisni organizacijski pogon.

2.OPĆI DIO

2.1. Osnovni dijelovi hidroelektrane

- **Brana** je prepreka izgrađena za pregradnju vodotoka tj. da zadrži vodu i podigne njezinu razinu, a samim se time tvori rezervoar koji se koristi za pohranjivanje vode koju će kasnije iskoristiti turbina za transformaciju energije ili kao vodoopskrba. Predstavlja temeljni dio hidroelektrane kojim se omogućava skretanje vodotoka ka zahvatu vode. Osnovne vrste brana su nasute (izrađene od zemljanih ili kamenih materijala) i betonske. [1]
- **Zahvat vode** vodu iz akumulacije odvodi prema strojarnici, odnosno prema turbinama. Kod hidroelektrana s niskim branama zahvat vode se uglavnom nalazi na površini vode, a kod onih s velikim branama ispod površine vode.
- **Dovod vode** povezuje zahvat vode sa vodenom komorom. Ovisno o pogonu i vrsti okolnog tla, dovod vode se ostvaruje u obliku tunela ili kanala. Odvodni kanal završava u **vodenoj komori**, elementu u sustavu hidroelektrane kojim se smanjuju opterećenja uzrokovana pritiskom vode na dovodna tijela. Vodenom komorom se ostvaruje da voda potrebna za proizvodnju električne energije u dovoljno kratkom roku dođe do turbine i osigura optimalnu snagu turbine.
- **Tlačni cjevovod** usmjerava vodu iz vodene komore prema turbini. Zbog naglih promjena brzine voda dolazi do značajnih promjena tlaka, koji se očituju u obliku vodnog ili hidrauličkog udara. Vrijednost efekta hidrauličkog udara može poprimiti vrijednost od nekoliko desetaka bara. Takve promjene odvijaju se uslijed spuštanja i podizanja predturbinskih zatvarača. Uobičajeno je čelični ili betonski. [1]
- **Turbina je** rotacijski mehanički stroj koji predstavlja osnovu svaku hidroelektrane. Njome oduzimamo energiju vodi tj. u njoj se energija vode pretvara u mehanički rad ovisno o raspoloživoj energiji za iskorištenje u vodnoj turbini tj. neto padu turbine (predstavlja razliku bruto pada te lokalnih i linijskih gubitaka). Energija vode može biti potencijalna i/ili kinteička. Izvedba turbine prvenstveno ovisi o raspoloživom padu vodotoka i protoku vode. Turbine su smještene u strojarnici hidroelektrane. **Strojarnica** je pogon u kojem se ablaze turbine i generatori te svi upravljački i pomoćni uređaji koji su neophodni za funkcioniranje hidroelektrane. Preferira se ugradnja više od jedne

turbine da se izbjegne obustava rada hidroelektrane u slučaju kvara turbine. Radno kolo turbine koje koristi samo kinetičku energiju mlaza naziva se **akcijsko**, a kola koja koriste kinetičku energiju i energiju tlaka od vode nazivaju se **reaktivnim**. Temeljne vrste turbina su Pelton, Francis i Kaplan turbine. Odabir turbine ovisi o visini i protoku.[2]

- **Generator** je uređaj koji pretvara mehaničko rotacijsko gibanje u električnu energiju. Generatori za hidroelektrane često su individualno projektirani za određenu elektranu. Mnoge hidroenergetske turbine rotiraju relativno niskom brzinom i potrebni su im generatori s više polova kako bi mogli proizvoditi izmjeničnu struju na frekvenciji mreže.
- **Odvod vode** se najčešće odnosi na kanal koji vodu odvodi natrag do korita rijeke ili s kojim se voda odvodi do druge hidroelektrane ili nekog drugog elementa u hidroenergetskom sustavu. [1]

2.2. Kategorizacija hidroelektrana

Hidroelektrane se tradicionalno dijele na kategorije ovisno o njihovoj veličini. Uobičajena kategorizacija je prikazana u tablici 1. Najmanja postrojenja, snage između 1 i 100 MW, nazivaju se mikro hidroelektrane, a između 100 kW i 1 MW mini hidroelektrane. Male hidroelektrane općenito su one s kapacitetima između 1 i 10 MW, ali ta gornja granica može varirati od zemlje do zemlje, a u nekim slučajevima može biti i do 30 MW. Postrojenja s kapacitetima većim od 10 MW (ili do 30 MW ovisno o nadležnosti) klasificiraju se kao velike hidroelektrane. [1]

Tablica 1. Kategorizacija hidroelektrana s obzirom na instalirane kapacitete [1]

Tip hidroelektrane	Instalirana snaga
Velika	Iznad 10-30 MW
Mala	1 MW do 10-30 MW
Mini	100 kW do 1 MW
Mikro	1 kW do 100 kW

Ponekad se uvodi i kategorija za srednje hidroelektrane između malih i velikih hidroelektrana. Ako se koristi, to je tipično za postrojenja između 5 i 50 MW; gornji su veliki, a donji mali. Sa globalne perspektive, kategorija u kojoj spadaju velike hidroelektrane je najvažnija kategorija jer njih odlikuju najveći hidroenergetski kapaciteti. Tehnički, velike hidroelektrane su najsofisticiranije i općenito su individualno projektirane za svako mjesto pomoću turbina koje su također izrađene posebno za svaku elektranu. Male hidroelektrane slične su velikim elektranama, ali neke koriste turbine i druge komponente koje nisu u ponudi za velike hidroelektrane. Mini i mikro hidroelektrane obično koriste standardne turbine, a mnoge uključuju nove, često isplative dizajne koji se ne koriste u većim postrojenjima. [1]

Hidroelektrane, s obzirom na raspoloživi pad, dijelimo na:

- **Visokotlačne** – karakteristične za padove iznad 200 m uz instaliranje Pelton turbine
- **Srednjetačne** – grade se za padove od 25 do 200 metara uz korištenje Francis turbine
- **Niskotlačne** – hidroelektrane kod kojih se pad nalazi u blizini elektrane, odnosno kod kojih nije potrebno graditi tunele za povezivanje turbine s branom. Za ovakve se hidroelektrane s padom do 25 m primjenjuju Kaplan turbine. [3]

Ovisno o regulaciji protoka tj. načinu korištenja vode razlikujemo:

- **Protočne** – hidroelektrane bez ili s malom količinom dnevne/satne akumulacije
- **Akumulacijske** – hidroelektrane s ostvarenom akumulacijom i ostalim osnovnim dijelovima poput brane, zahvata vode, vodene komore, strojarnice itd.
- **Reverzibilne** – hidroelektrane koje proizvode električnu energiju u razdobljima više tarife, a u razdobljima niže tarife pumpaju vodu u akumulaciju. Sastoje se od dvije akumulacije (gornje i donje) između kojih se voda izmjenjuje ovisno o potražnji. Električnu energiju proizvode padom vode iz gornje u donju akumulaciju, a u crpnom režimu rada se voda crpi iz donje akumulacije u gornju. Takav način rada omogućuje dodatno iskorištavanje vodnog potencijala.
- **Crpne** – hidroelektrane čiji je primarni zadatak crpiti vodu kao crpka za potrebu neke druge hidroelektrane u čijem su sastavu, ali mogu raditi i kao klasične hidroelektrane. [3]

Daljna podjela se odnosi na udaljenost strojarnice od brane hidroelektrane, pa tako razlikujemo:

- **Pribranske** – strojarnica hidroelektrane se nalazi u njenoj neposrednoj blizini
- **Derivacijske** – strojarnica je smještena dalje od brane, voda do strojarnice dolazi cjevovodima [2]

2.3. Značaj hidroelektrana

Hidroelektrane su ključni dio elektroenergetskog sustavu, a predstavljaju postrojenja kojima se osigurava siguran izvor električne energije iz kinetičke i/ili potencijalne energije vode. Siguran je izvor iz tog razloga, što se voda kao kroz svoj hidrološki ciklus neprekidno obnavlja. Iz tog se razloga hidroelektrane i hidroenergija ubrajaju u obnovljive izvore energije. Neki od negativnih učinaka koji se povezuju s hidroelektranama su negativan utjecaj na okoliš. Zbog nedostatka prirodnih rezervoara koji će poslužiti kao akumulacije za hidroelektrane, često se mora narušiti prirodni vodotok rijeka, što može dovesti do uništavanja prirodnih staništa životinja, problema s kvalitetom vode i migracija ljudi ili divljih životinja. Nadalje, hidroelektrane predstavljaju velike infrastrukturne projekte koji uključuju izgradnju brane, rezervoara i turbina za proizvodnju energije, a oni pak zahtijevaju značajna početna novčana ulaganja. To, u kombinaciji s činjenicom da su prikladna mjesta za akumulacije s vremenom sve rjeđa, znači da bi troškovi izgradnje velikih hidroelektrana mogli nastaviti rasti. Štoviše, ukoliko raspoloživa količina vode u određenoj godini nije zadovoljiva, proizvodnja električne energije neće biti kao očekivana. Nepovoljne utjecaje također može uzrokovati suša ili kvar uređaja u hidroelektrani.

S druge strane, hidroelektrane su višefunkcionalna postrojenja koja često imaju ulogu prometa, obrane od poplava, odvodnje, opskrbe vodom, zaštite od erozije i dr. Kao prilog u tome ističu se mnogobrojne pozitivne strane jer za razliku od fosilnih goriva, biomase i nuklearne energije, hidroelektrane predstavljaju čisti i siguran izvor energije. Kao što je i već spomenuto hidroelektrična energija smatra se obnovljivom jer koristi vodu za proizvodnju električne energije. Zbog prirodnog ciklusa vode, voda se reciklira natrag u zemlju i nikada se neće potrošiti.

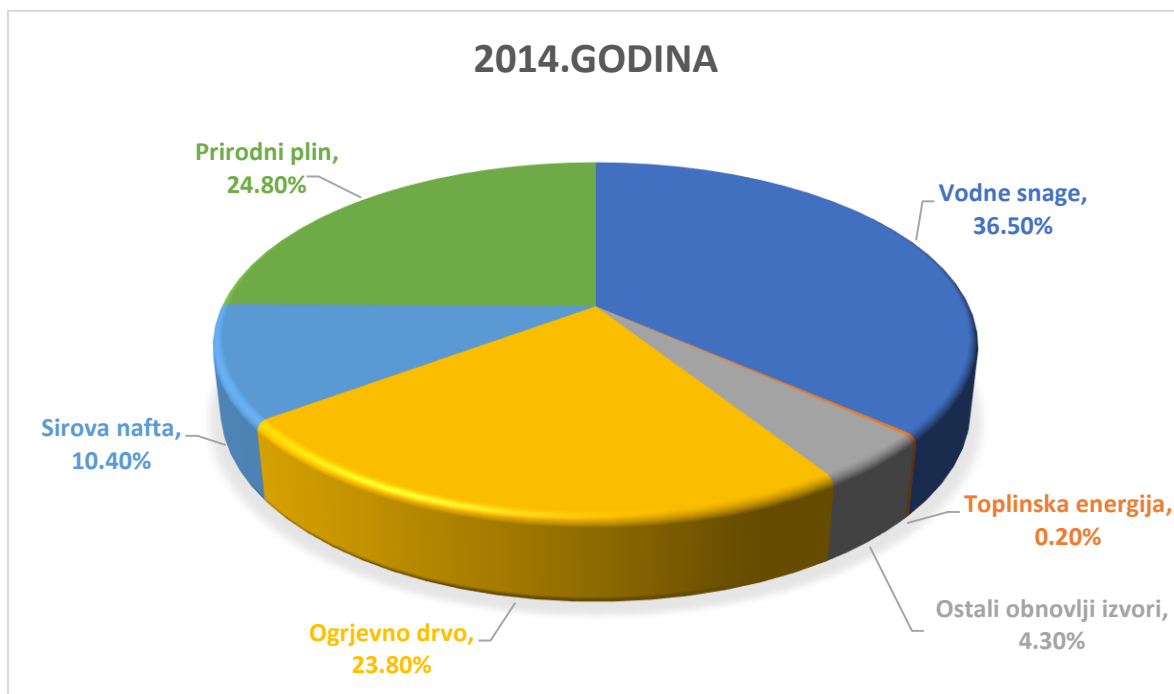
Hidroenergija je fleksibilan izvor električne energije koji se može dobro ukomponirati s ostalim izvorima energije, a proizvodnja u hidroelektranama se može brzo povećavati i smanjivati tj. optimizirati s mogućnošću preciznog predviđanja buduće proizvodnje kako bi se zadovoljile

promjenjive potrebe za energijom. Rezervoari nastali hidroenergetskim projektima često sami po sebi postaju turističke atrakcije. Jezero koje se formira iza brane može se koristiti u rekreacijske svrhe, poput vodenih sportova i aktivnosti u slobodno vrijeme, poput ribolova i plovidbe, a voda jezera se može koristiti i za navodnjavanje i akvakulturu.

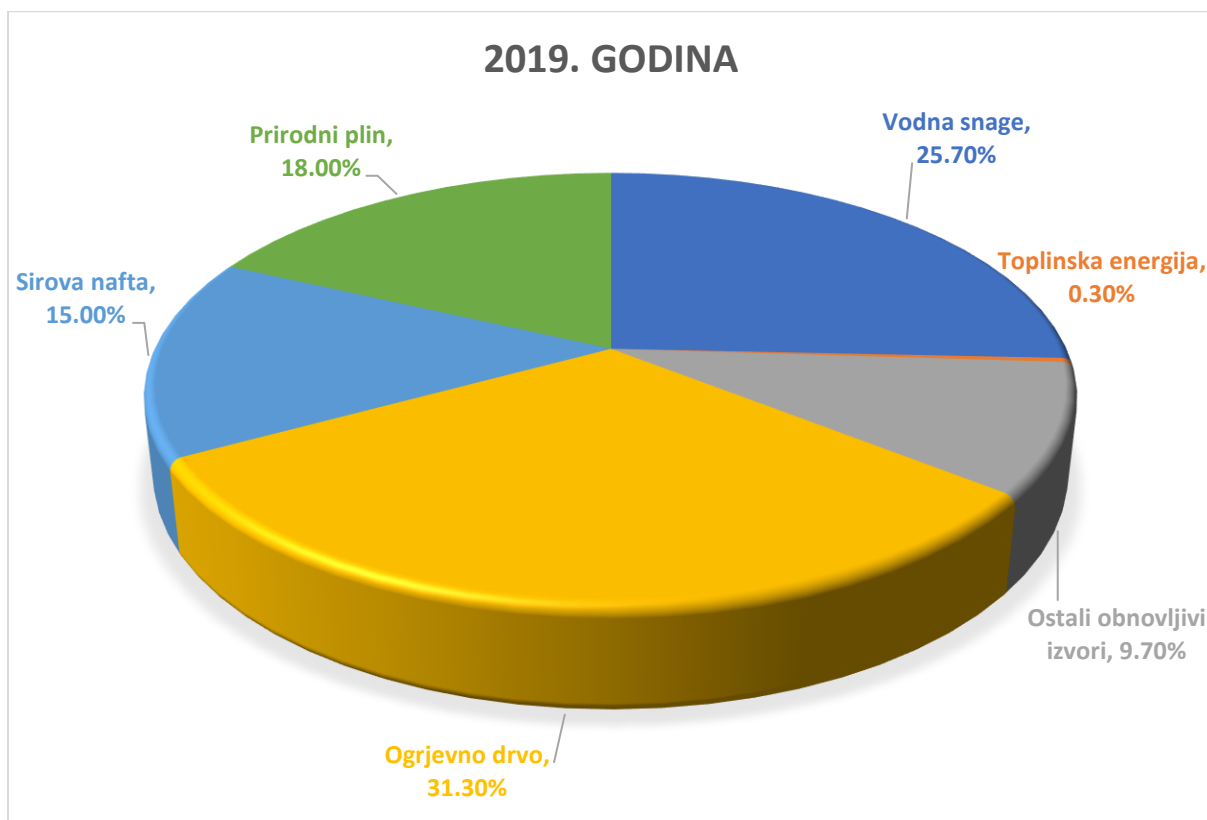
Povrh toga, hidroelektrane imaju najniže operativne troškove i najdulji vijek trajanja u usporedbi s drugim velikim proizvodnim postrojenjima. Nakon početnog ulaganja u potrebne građevinske radove, životni vijek postrojenja može se ekonomski produžiti relativno jeftinim održavanjem i povremenom zamjenom elektromehaničke opreme. Dobro izvedene hidroelektrane ostvaruju omjer povrata energije do 300 puta, pa će vrijednost dobivene energije vrlo brzo nadmašiti ulaganja.

Koliko iskorištavanje hidroenergije, u svrhu proizvodnje električne energije, globalno zauzima utjecajno mjesto pokazuje podatak da je u hidroenergetskim postrojenjima u 2018. proizvedeno 16,18 % ukupno proizvedene električne energije u svijetu. Hrvatska ne zaostaje za svjetskim brojkama, štoviše važnost hidroelektrana sje još izraženija. [4]

Koliko je iskorištavanje hidropotencijala u RH važno pokazuju slika 4. i slika 5.



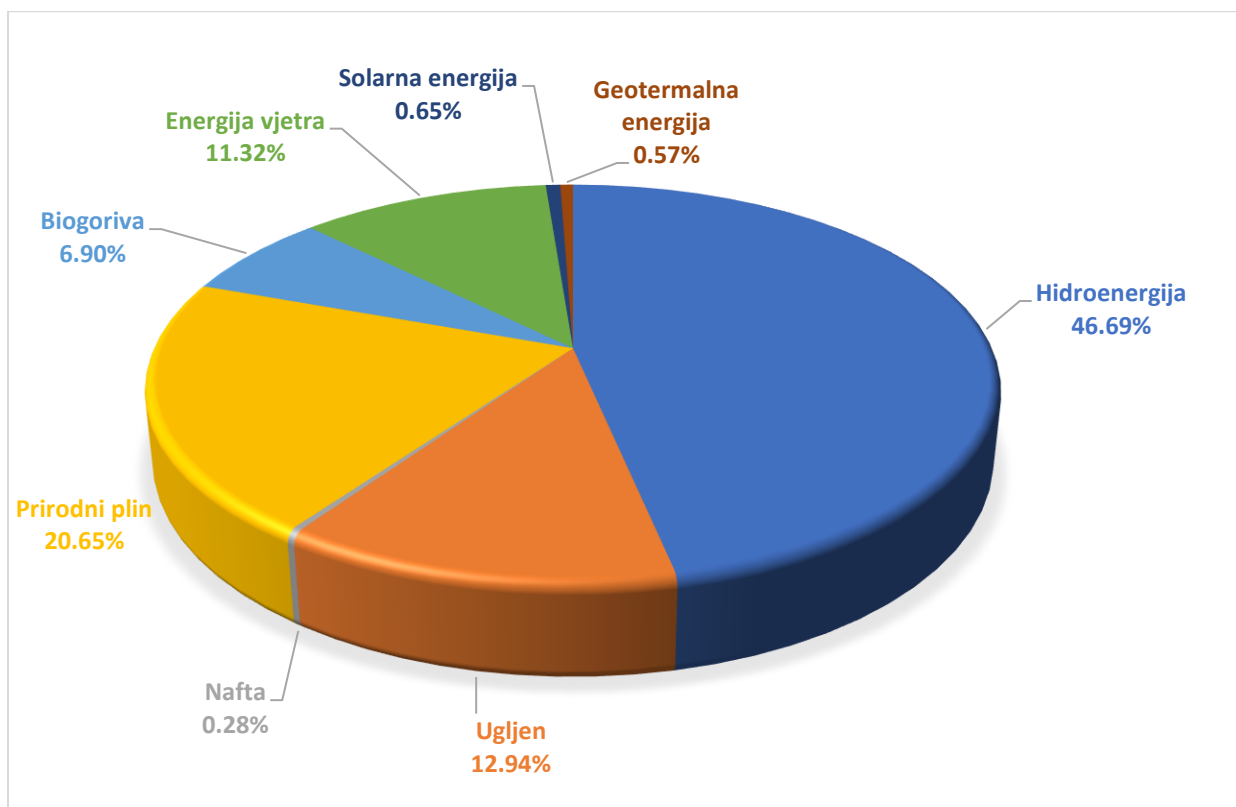
Slika 1. Udjeli pojedinih izvora energije u ukupnoj proizvedenoj primarnoj energiji u Hrvatskoj u 2014. Godini [5]



Slika 2. Udjeli pojedinih izvora energije u ukupnoj proizvedenoj primarnoj energiji u Hrvatskoj u 2019. godini [5]

Iako je udio vodnih snaga u proizvodnji primarne energije smanjen s 36,5 % na 25,7 % u periodu od 2014.-2019. godine, iskorištavanje hidroenergije je zaslužno za više od četvrtine proizvedene primarne energije i stoga predstavlja ključnu ulogu u proizvodnji iste. Pad udjela vodnih snaga kompenziran je razvojem ostalih obnovljivih izvora energija koji uključuju energiju vjetra, biodizel, energiju Sunca, geotermalnu energiju i bio plin.

Činjenici da Hrvatska ima izvrsno iskorišten hidropotencijal, dodatno u prilog ide podatak da je hidroenergija zaslužna za 5923 GWh proizvedene električne energije u Hrvatskoj 2019. godine, odnosno 46,69% što predstavlja gotovo polovicu sveukupne proizvedene električne energije u Hrvatskoj.



Slika 3. Udjeli pojedinih izvora energije u ukupnoj proizvedenoj električnoj energiji u 2019. godini [4]

3. HIDROELEKTRANE U HRVATSKOJ

Od 28.08.1895. kada je u pogon puštena prva hrvatska, ali i svjetska hidroelektrana HE Jaruga, do danas je u Hrvatskoj upogonj velik broj energetske značajnih hidroelektrana.



Slika 4. Lokacije izgrađenih važnijih hidroelektrana [6]

S ciljem njihovog optimalnog iskorištavanja i nadziranja, društvo HEP proizvodnja d.o.o. i pripadajući Sektor za hidroelektrane su hidroelektrane u njihovoj ingerenciji svrstali u proizvodna područja tj. centre proizvodnje. **Proizvodno područje Sjever** predstavlja segment u organizacijskoj strukturi Sektora za hidroelektrane koje obuhvaća hidroelektrane koje iskorištavaju vodni potencijal rijeke Drave. Centar proizvodnje Sjever upravlja i koordinira radom trima hidroelektranama: HE Čakovec, HE Dubrava i HE Varaždin. Takvo održavanje sustava odvija se kroz daljinsko praćenje rada navedenih hidroelektrana(i njihovih agregata), te kroz suradnju sa centrima proizvodnje u Sloveniji kako bi se maksimalno iskoristio potencijal voda rijeke Drave.

Dio Sektora za hidroelektrane, **Proizvodno područje Jug**, nadzire rad 13 hidroelektrana te se sastoji od RHE Velebit i glavne hidroelektrane Miljacka (obuhvaća HE Miljacku, HE Jarugu, HE Golubić i MHE Krčić), GHE Zakućac (HE Zakućac, HE Kraljevac, MHE Prančevići), GHE Orlovac (HE Orlovac, HE Đale, HE Peruća) i CS Buško blato. Hidroelektrana Zakućac je visokotlačna hidroelektrana derivacijskog tipa smještena u Splitsko-dalmatinskoj županiji kod grada Omiša na ušću rijeke Cetine. Najveća je hidroelektrana u Hrvatskoj po svojoj proizvodnji i instaliranoj snazi od 576 MW (instalirane u četiri agregata s 4 Francis turbine uslijed revitalizacije do 2017. godine.). **HE Dubrovnik** predstavlja neovisni pogon unutar Sektora za hidroelektrane zbog svog posebnog značaja. Organizacijski sustav čine hidroelektrana Dubrovnik i hidroelektrana Zavrelje. Unutar **proizvodnog područja Zapad**, na slivovima rijeka Kupe, Dobre, Like, Gacke, Rječine, Like i Gacke, nalaze se 10 hidroelektrana od izrazitog potencijala. Svaki centar proizvodnje ima certificiran Sustav upravljanja okolišem, kvalitetom i energijom usklađen sa europskim normama prema kojima upravlja hidroelektranama. Nadalje, svaki centar ima mogućnost daljinskog vođenja i nadzora pomoću kojeg se regulira rad hidroelektrana i njihovih agregata sa svrhom što djelotvornijeg i kvalitetnijeg iskorištavanja vodnih potencijala za proizvodnju električne energije. [3]

4. PROIZVODNO PODRUČJE HIDROELEKTRANA ZAPAD

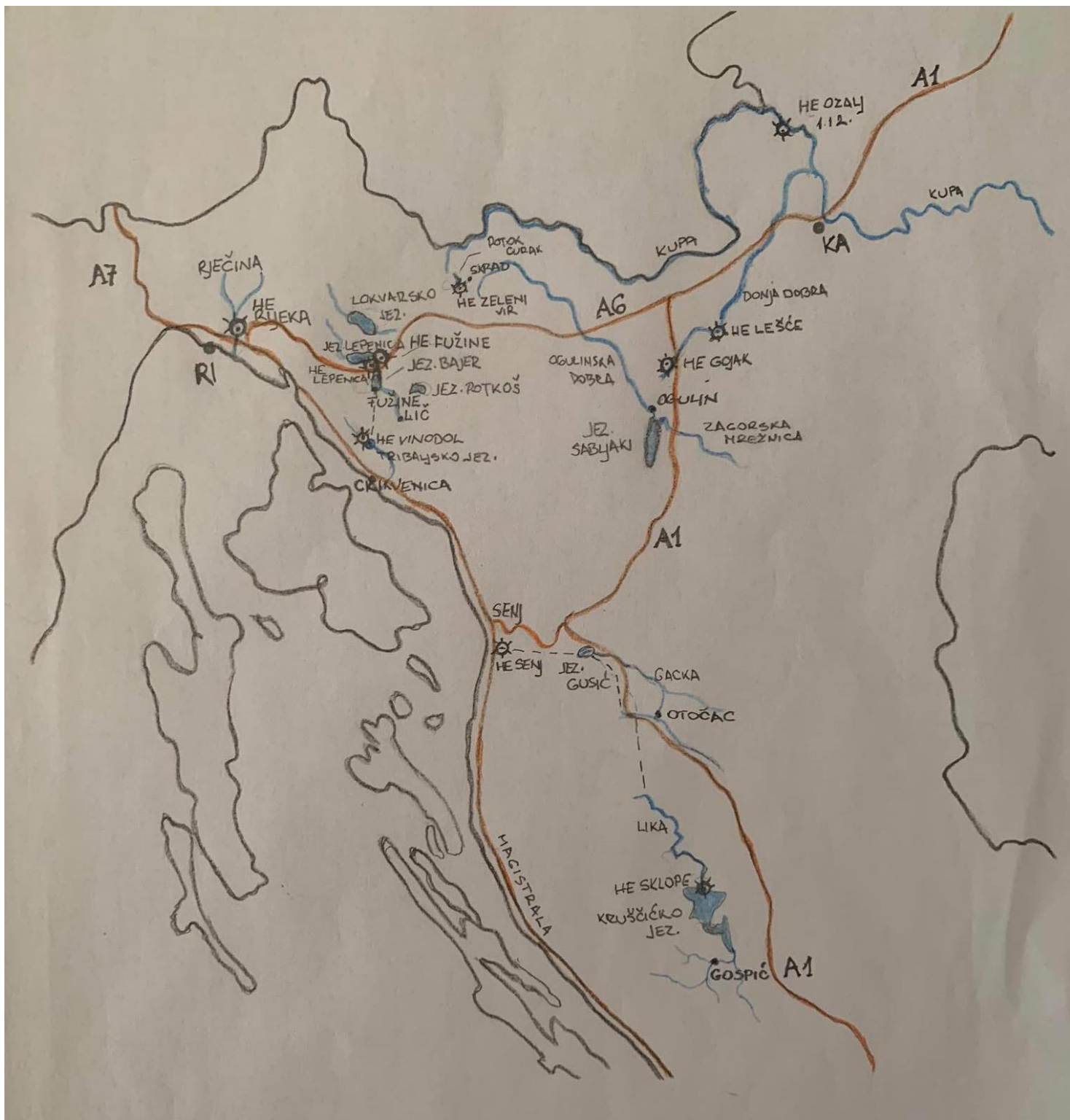
Proizvodno područje Zapad pod ingerencijom je trgovačkog društva HEP proizvodnje d.o.o i čini organizacijsku jedinicu unutar Sektora za hidroelektrane. Sastoji se od Centra proizvodnje Zapad koje nadzire i upravlja procesima očuvanja i proizvodnje 10 hidroelektrana koji iskorištavaju vodne potencijale rijeke Dobre (Donja i Gornja), Kupe, Zagorske Mrežnice, Like, Gacke, Rječine, ponornica Lokvarke i Ličanke i dr.

Proizvodno područje Zapad obuhvaća: Glavnu hidroelektranu Vinodol (koju line HE Vinodol i sustav hidroelektrana HE Gorski Kotar (RHE Lepenica, CHE Fužine, HE Zeleni Vir)), GHE Senj (HE Senj i HE Sklope) te GHE Gojak (HE Gojak, HE Ozalj 1 i 2 i HE Lešće).

PP HE Zapad i pripadajući Centar proizvodnje najmlađi je organizacijski dio unutar Sektora za hidroelektrane. Tek je nedavno počeo s pokusnim radim, a razlog tome su procesi rekonstrukcije i revitalizacije kroz koje su prošle hidroelektrane u ovom području.

Obuhvaćene elektrane imaju uveden Sustav upravljanja okolišem, kvalitetom i energijom, što znači da funkcionira po europskim regulativama čime se osigurava izvrsnost u radu.

Hidroelektrane u proizvodnom području Zapad predstavljaju esenciju u proizvodnji električne energije zbog svoh izrazito važnog geološkog položaja koji omogućuje iskorištavanje brojnih lokalnih rijeka i njihovih slivova. [3]



Slika 5. Proizvodno područje Zapad

4.1. GHE Vinodol

4.1.1. Hidroelektrana Vinodol

Glavna hidroelektrana Vinodol je hidroenergetski sustav kojeg čine hidroelektrana Vinodol, hidroelektrana Rijeka i sustav hidroelektrana Gorski Kotar (RHE Lepenica, CHE Fužine i HE Zeleni Vir). HE Vinodol je vodeća elektrana u spomenutoj strukturi, locirana u Triblju, u Primorsko-goranskoj županiji. Hidroelektrana Vinodol je visokotlačna elektrana akumulacijskog tipa koja koristi vode vodotoka rijeke ponornice Ličanke (zajedno s umjetnim jezerom Bajer, Lepenica i Potkoš) i ponornice Lokvarke (sustav s Lokvarskim jezerom i potokom Križ). Slivno područje navedenih rijeka nije veliko ($\sim 80\text{km}^2$), no hidropotencijal i energetska vrijednost ovog područja je vrlo velika zbog toga što ti vodotoci izvire na nadmorskim visinama višim od 700m, a samim time imaju i vrlo veliki konstruktivan pad. Za HE Vinodol karakteristični su instalirani volumni protok od $18,6\text{ m}^3/\text{s}$ i bruto pad od 658,5 metara, što predstavlja jedan od najviših bruto padova u hidroelektranama u Europi. Sastoji se od 3 agregata (svaki s 2 Pelton turbine i generatorom) zajedničke raspoložive snage od 90 MW pomoću kojih se godišnje prosječno proizvede oko 136,66 GWh električne energije. U sklopu strojarnice još se nalazi jedan kućni agregat s Pelton turbinom i generatorom. [3]

HE Vinodol je s proizvodnjom električne energije započela 1952. godine, a isprva je bila poznatija kao HE Nikola Tesla. Ona je bila prva hidroelektrana koja nije zadovoljavala samo lokalne potrebe, već je bila namijenjena ispunjenju energetske potrebe na državnoj razini. Potom, kako bi se riješio problem neravnomjernih prirodnih dotoka, izrađena su umjetna jezera Bajer i Lokvarsko jezero.

Lokvarsko jezero umjetno je jezero koje se nalazi u Gorskom Kotru blizu mjesta Lokve. Radne akcije koje su se odvijale na tom području u 50-im godinama prošlog stoljeća uzrokovale su zaustavljanje rijeke Lokvarke, što je posljedično dovelo do akumulacije vode i formiranja Lokvarskog jezera. Ono je danas također mjesto okupljanja brojnih izletnika i prirodna atrakcija poznata po ribolovu, ronjenju, regatama itd. Jezero Bajer je umjetno jezero izgrađeno 1952. godine, što ga čini najstarijim hrvatskim umjetnim jezerom. Nastalo je izgradnjom brane na rijeci Ličanki uz Fužine. Nalazi se 717 metara nadmorske visine i može pohraniti gotovo milijun i pol m^3 vode. Kako je jezero Bajer kao manje jezero na većem dotoku (rijeka Ličanka), a veće Lokvarsko jezero na manjem dotoku (rijeka Lokvarka), ta su se dva jezera povezala 3456 metara

dugim tunelom. Na taj način omogućio se prijenos viška vode crpkom s akumulacijskog jezera Bajer u Lokvarsko jezero. U tu svrhu kod Fužina je sagrađena i strojarnica Vrelo kao RHE, crpna postaja Križ te dva umjetna jezera Potkoš i Lepenica. [3], [6]

Tablica 2. Osnovne karakteristike hidroelektrane Vinodol [3]

Proizvodno postrojenje	HE VINODOL A, B, C
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	90
Sliv	Slivno područje Gorskog Kotara
Tip elektrane	Akumulacijska derivacijska visokotlačna HE
Tip agregata	3 Pelton turbine
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (tercijarna regulacija, crni start, otočni pogon)
Instalirani protok	2x6,2
Godina puštanja u pogon	1952.

4.1.2. Hidroelektrana Rijeka

HE Rijeka jest visokotlačna derivacijska hidroelektrana čija se strojarnica nalazi na 5 metara nadmorske visine u blizini korita rijeke Rječine, rijeke čiji vodotok upskrbljuje samu hidroelektranu. Rječina je rijeka bujičnog karaktera, srednjeg godišnjeg protoka $7,85 \text{ m}^3/\text{s}$. Betonska gravitacijska brana nalazi se na Rječini kod sela Grohovo, a prostire se na visinu od 35m. Njena izgradnja omogućila je ostvarivanje akumulacije u obliku umjetnog jezera korisnog obujma od 470000 m^3 , pa je tako došlo i do realizacije zahvata vode za HE Rijeka. Maksimalni radni vodostaj je 229,50 m nadmorske visine na umjetnom jezeru. U pogon je puštena 1968. godine. Glavni dijelovi koji čine hidroelektranu su: brana Valići čijom je izgradnjom nastala istoimena akumulacija, dovodni tunel koji završava sa vodenom komorom, tlačni cjevovod od čelika s kojim je povezana strojarnica koja je smještena dalje od brane te odvodni kanal koji vodu vraća natrag u korito rijeke. Hidroelektrana sadrži 2 agregata koji zajedno generiraju

raspoloživu snagu od 36,8 MW. U oba agregata se nalazi generator koji je pogonjen s Francis turbinom. Ovakvo postrojenje godišnje proizvede prosječno 84,45 GWh električne energije. U sklopu strojarnice osposobljen je i kućni agregat (instalirane snage od 350 kVA). [3]

Tablica 3. Osnovne karakteristike hidroelektrane Rijeka [3]

Proizvodno postrojenje	HE RIJEKA A, B
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	36,8
Sliv	Sliv Rječine
Tip elektrane	Protočna visokotlačna HE sa satnom akumulacijom
Tip agregata	3 Pelton turbine
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (tercijarna regulacija, crni start, otočni pogon)
Instalirani protok	2x10,5
Godina puštanja u pogon	1968.

4.1.3. Hidroelektrana Fužine

CHE Fužine je visokotlačna hidroelektrana crpno-derivacijskog tipa čija je funkcija opskrbljivanje vodom HE Vinodol. Spada u skupinu HE Gorski Kotar koja pripada cjelovitom hidroenergetskom sustavu glavne hidroelektrane Vinodol. Nalazi se neposredno uz jezero Bajer, u blizini naselja Fužine. Izgradnja brane Lokvarka omogućila je iskorištavanje bruto pada od 23 do 59 metara. S ciljem maksimalnog iskorištavanja potencijala, CHE Fužine regulira količinom vode u jezeru Bajer i vodne količine rijeke Ličanke.

U periodu velikih dotoka prilikom crpnog režima rada, hidroelektrana prebacuje vodu iz akumulacijskog jezera Bajer u umjetno Lokvarsko jezero kako bi se spriječilo preljevanje, a u turbinskom režimu se odvija suprotno tj. iz akumulacija Lokvarka ili Lepenica se voda dobavlja u akumulaciju Bajer. Optimalna regulacija osigurava se crpnim stanicama Križ (dobava vode iz potoka Križ u akumulaciju Lokvarke) i Lič (dobava iz akumulacije Ličanke te odvod i dovod

vode iz akumulacije Potkoš i potoka Benkovac. CHE Fužine je u pogon puštena 1957. godine. Hidroelektrana Fužine obuhvaća akumulaciju i branu Lokvarka, tunel Lokvarka-Ličanka koji povezuje rijeku Ličanku i Lokvarku, dovodni kanal i vodnu komoru i strojarnicu s trojnim agregatom. Crpno-turbinski trojni agregat sačinjava Francis turbina, generatora nazivne snage od 4,5 do 6,5 MW i centrifugalne crpke koja pokreće generator. Navedeni sustav omogućuje da HE Fužine godišnje proizvede oko 2,89 GWh električne energije. [3]

U okviru Programa obnove hidroelektrana, Hrvatska elektroenergetska uprava - HEP - proizvodnja, sektor hidroelektrana i Končar - termoelektrana i inženjering električne energije (Končar - KET) sklopili su ugovor krajem 2015. o obnovi hidroelektrane Fužine. Končar - KET dovršio je process revitalizacije te obavili sve potrebne radove, postavljanje i montažu, ispitivanja i preglede u listopadu 2017. prema planu kojim je HE Fužine bila spremna za probni rad. Obnova opreme hidroelektrana rezultirala je povećanjem instalirane snage bloka, produljenjem vijeka trajanja elektrane, povećanjem pouzdanosti i sigurnosti rada te smanjenjem troškova održavanja. Zamjenom zastarjelih i dotrajalaih dijelova smanjuje se rizik dugotrajnog mirovanja, kao i većih i ozbiljnih oštećenja tijekom. Bez obzira na relativno malu instaliranu snagu elektrane, HE Fužine važna je hidroelektrana za hidroenergetski sustav Vinodol. Pumpa preko 8300000 m³ vode godišnje. Njegove crpne aktivnosti rezultiraju s 11700 MWh električne energije proizvedene u HE Vinodol u dijelu elektrane smjštene u Triblju. Što se tiče rada turbine, njegova prosječna generirana snaga iznosi 4040 MWh, a zajedno s radom pumpanja ukupni pridonosi ukupnoj godišnjoj proizvodnji GHE Vinodol s 15,740 MWh. [7]

Tablica 4. Osnovni podaci hidroelektrane Fužine [3]

Proizvodno postrojenje	CHE FUŽINE A
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	4,5/6,5
Sliv	Slivno područje Gorskog Kotara
Tip elektrane	Crpna derivacijska visokotlačna HE
Tip agregata	Trojni crpno-turbinski Francis agregat
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m ³ /s]:	9,9/-9,6
Godina puštanja u pogon	1957. / R 2017

4.1.4. Hidroelektrana Lepenica

U blizini Fužina nalazi se još jedna hidroelektrana, RHE Lepenica. Radi se o reverzibilnoj pribranskoj hidroelektrani u dolini jezera Lepenica. Izgrađena je 1985. godine, a njenom se izgradnjom osigurao proširen rad GHE Vinodol i povećanje akumulacijskog prostora u slivu Ličanke. Kao i kod CHE Fužine, ova hidroelektrana radi u dva režima. U crpnom režimu rada vode se prebacuje iz akumulacijskog jezera Bajer u jezero Lepenica pri volumnom protoku od 5,3 m³/s i snazi od 1,2 MW, a u turbinskom režimu voda ide u suprotnom smjeru tj. voda se dobavlja u jezero Bajer snagom od 0,8 MW uz protok od 6,2 m³. Hidroelektrana koristi bruto pad u rasponu od 5-20,2 metara koji se razvija između akumulacijskog jezera Lepenica i jezera Bajer. RHE Lepenica s proizvodnjom električne energije započinje 1996. godine. Na godišnjoj bazi se otprilike ostvari 0,267 GWh električne energije uz doprinos sustavu Vinodol do 11 GWh. Sustav RHE Lepenice čini kanal gornja Lepenica, nasuta brana i bočni nasip, akumulacija, bočni preljev s brzotokom, temeljni ispust, tlačni dovod, reverzibilna hidroelektrana, slapište te odvodni kanal. [3]

Tablica 5. Osnovne karakteristike hidroelektrane Lepenica [3]

Proizvodno postrojenje	RHE LEPENICA A
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	0,8/-1.2
Sliv	Slivno područje Gorskog Kotara
Tip elektrane	Reverzibilna pribranska HE s dvije akumulacije
Tip agregata	Kaplan turbina
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m ³ /s]:	6,2/-5,3
Godina puštanja u pogon	1985.

4.1.5. Hidroelektrana Zeleni Vir

Hidroelektrana Zeleni Vir jest visokotlačna hidroelektrana smještena nadomak Skrada, u Primorsko-goranskoj županiji. Hidroelektrana Zeleni Vir bazira se na iskorištavanju voda koje nudi potok Curak Iako je većina lokalnih tokova suha, odnosno bez vode, bar u jednom dijelu godine, potok Curak nije. Razlog tome je izvor Zeleni Vir koji se nalazi u obližnjoj spilji, dakle voda u samom potoku je porijeklom podzemna. Osigurava čak više od 400 L/s vode zahvaljujući strmoj stijenu koja se u obliku slapa ruši u ovaj pećinski potok.

Ovakav prirodni fenomen omogućio je iskorištavanje vodnog potencijala još 1921. godine kada hidroelektrana počinje s proizvodnjom električne energije. HE Zeleni Vir obuhvaća zahvatnu građevinu, dovodni kanal zajedno s vodenom komor, tlačni cjevovod povezan sa strojarnicom u kojoj se nalazi Francus turbine, te odvodni kanal. HE Zeleni Vir je derivacijska, što znači da je strojarnica udaljena od brane i nužno ju je povezati cjevovodom.

Hidroelektrana se sastoji od dva agregata s dvije Francis turbine i dva generatora (nazivne snage 0,9+0,8 MW) ukupne instalirane snage od 1,7 MW, pomoću kojih se godišnje prosječno ostvaruje 7,39 GWh električne energije.

Zajedno s CHE Fužine i RHE Lepenica sačinjava hidroenergetski sustav HE Gorski Kotar, koji predstavlja osnovu Glavne hidroelektrane Vinodol. [3]

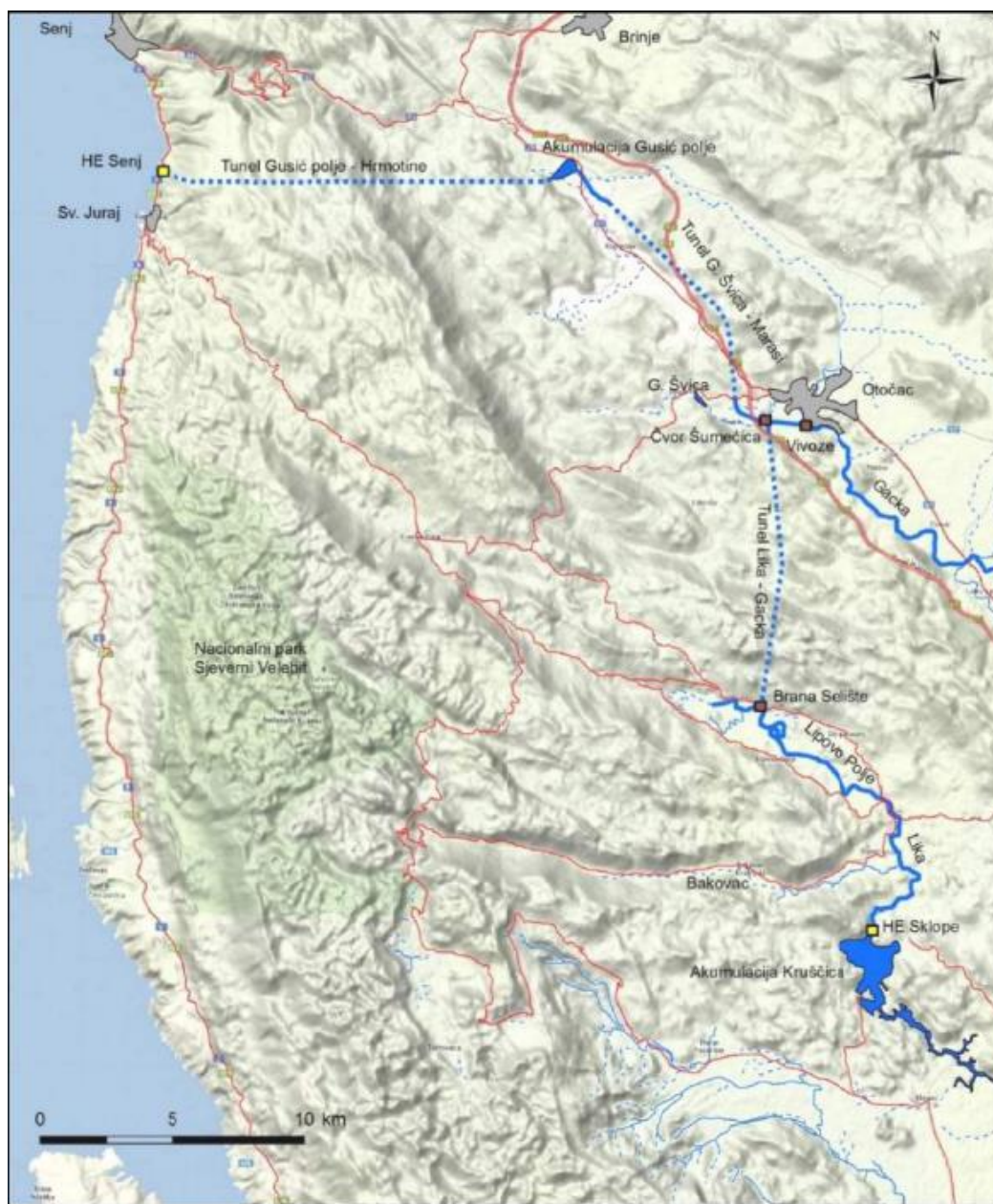
Tablica 6. Osnovne karakteristike hidroelektrane Zeleni Vir [3]

Proizvodno postrojenje	HE ZELENi VIR A, B
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	1,7
Sliv	Potok Curak, sliv Kupe
Tip elektrane	Protočna visokotlačna HE
Tip agregata	2 Francis turbine
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m ³ /s]:	2x2
Godina puštanja u pogon	1921.

4.2. GHE Senj

4.2.1. Hidroelektrana Senj

Jedna od najvažnijih hidroelektrana u proizvodnom području Zapad, pa i u Hrvatskoj je upravo hidroelektrana Senj. Nalazi se u Ličko-senjskoj županiji, 7 kilometara južno od grada Senja. Još se početkom 20. Stoljeća pojavila zamisao o iskorištavanju potencijala rijeke Gacke, a prve ideje kako to izvesti su objavljene u studijama koje su izradili „Primorsko društvo za vodne sile i elektriku“ iz Sušaka u periodu između 1907. i 1909. godine. S vremenom taj je projekt dobio na značaju, pa je tako 1956. godine odlučeno i realizirano da se osim iskorištavanja hidropotencijala rijeke Gacke upotrijebi i hidropotencijal rijeke Like. Projekt se proveo na način da su akumulacijsko jezero Kruščica i HE Sklope predstavljale polazišnu točku. Jezero Kruščica nalazi se na koti 554 metara nad morem, a nastalo je izgradnjom nasute brane Sklope. Iskorištavanjem bruto pada od oko 70 metara hidroelektrana Sklope proizvodi električnu energiju koristeći vode rijeke Like akumuliranih u jezeru Kruščica, a potom se dio voda rijeke Like zajedno s pritokom potoka Bakovac odvodi nizvodno prema zahvatnoj brani Selište. Na branu se nadovezuje gravitacijski tunel Lika-Gacka koji omogućuje prevođenje voda rijeke Like u sliv rijeke Gacke. Na izlazu iz tunela smještena je brana Šumečica koja pregrađuje korito rijeke Gacke, a ujedno su njome stvoreni uvjeti za formiranje zahvata vode. Izlaz tunela i takvo regulirano korito spojeni su kanalom kojim počinje derivacijski sustav rijeka Gacke i Like, a njihove se vode dovode do akumulacijskog bazena Gusić Polje. Tunelom Gusić Polje-Hrmatine vode navedenih rijeka se dovode do najbitnijeg postrojenja u ovom hidroenergetskom susavu, HE Senj. [3], [8]



Slika 6. Sustav hidroelektrane Senj [8]

HE Senj je visokotlačna derivacijska hidroelektrana te ujedno vodeća hidroelektrana sustava GHE Senj, a sastoji se od sljedećih objekata: brane Sklope i akumulacijskog jezera Kruščica, HE Sklope, brane i kompenzacijskog bazena Selište, derivacijskog sustava dugog približno 41 km do hidroelektrane Senj koji uključuje tunel Lika-Gacka koji povezuje te dvije rijeke i tunel Gornja Švica-Marasi koji rijeke povezuje s bazenom Gusić polje. Gusić polje predstavlja akumulaciju za HE Senj s kojom je povezan tunelom Gusić polje-Hrmatine. U sklopu HE Senj još se nalazi

tlačni cjevovod Hrmatine-HE Senj, strojarnica HE Senj i odvodni tunel do Jadranskog mora. 1965. godine kada je HE Senj puštena u pogon, bila je poznata na globalnoj razini. Naime, u njoj je bila ugrađena Francis turbina na padu od preko 400 metara, što je tada predstavljalo svjetski record. Danas se u sklopu HE Senj nalaze tri agregata sa Francis turbinama i godišnje prosječno proizvedu oko 970 GWh električne energije, što predstavlja gotovo 10% ukupne proizvodnje HEP-a i približno 20% proizvodnje električne energije unutar hidroenergetskih postrojenja. Značaj HE Senj još se očituje u ključnoj ulozi vodoopskrbe otoka (prvenstveno Raba, Paga i Krka) i bitnom čimbeniku u dovodu vode za GHE Vinodol. [3], [8]

Tablica 7. Osnovni podaci hidroelektrane Senj [3]

Proizvodno postrojenje	HE SENJ A, B, C
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	216
Sliv	Sliv Like i Gacke
Tip elektrane	Akumulacijska visokotlačna derivacijska HE
Tip agregata	3 Francis turbine
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (automatska sekundarna regulacija; tercijarna regulacija; crni start; otočni pogon)
Instalirani protok [m^3/s]:	3x20
Godina puštanja u pogon	1965.

4.2.2. Hidroelektrana Sklope

HE Sklope je pribranska hidroelektrana, kojoj je strojarnica smještena uz samu branu. Dio je sustava GHE Senj kojeg čini zajedno sa hidroelektranom Senj. Izgradnja hidroelektrane Sklope odvila se u ekspresnom periodu od samo godinu dana i 6 mjeseci. Izgradnje je završena 1969., a u pogon je puštena 1970. godine.

Temelj hidroelektrane čini već spomenuto akumulacijsko jezero Kruščica, nastalo uslijed izgradnje nasute brane Sklope visine 81m i dužine 210m u kanjonu rijeke Like, u Kosinjskom polju. Zbog akumulacijskog jezera moralo se potopiti mjesto Sveti Ilija i obližnji zaseoci. Kako bi se postigao optimalan način iskorištavanja hidropotencijala rijeke Like, nužno je usaglasiti se s

potrebama HE Senj za vodom I bujičnim karakterom rijeke Like. Njen sliv se prostire na 480 metara nadmorske visine, a do akumulacije Kruščica teče 975 km². Jezero Kruščica nalazi se na koti 554 metara nad morem pri maksimalnom random vodostaju, a odlikuje se korisnom zapremninom od 128x106 m³.

Kako bi se osigurala vodoodrživost akumulacije i smanjenje tlaka vode u branu je ugrađena injekcijska galerija, a na brani instaliran dodatni preljev kojim se voda odvodi od HE Sklope. HE Senj sačinjava jedan agregat vertikalne izvedbe, instalirane snage od 22,5 MW te spiralna Francis turbina volumnog protoka 45 m³/s i snage od 23,5 MW. Ovakvo postrojenje je 2014. Imalo najvišu proizvodnju od 132 GWh električne energije, a prosječna godišnja proizvodnja iznosi otprilike 85 GWh. [3]

Tablica 8. Osnovni podaci hidroelektrane Sklope

Proizvodno postrojenje	HE SKLOPE A
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	22,50
Sliv	Sliv Like
Tip elektrane	Akumulacijska pribranska HE
Tip agregata	Francis turbina
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (tercijarna regulacija)
Instalirani protok [m ³ /s]:	45
Godina puštanja u pogon	1970.

4.3. GHE Gojak

4.3.1. Hidroelektrana Gojak

Hidroelektrana Gojak jest visokotlačna hidroelektrana derivacijskog tipa koja se nalazi u Karlovačkoj županiji, 5km od grada Ogulina. Predstavlja jedan značajan izvor električne energije u PP HE Zapad ponajprije zato što je počela s radom još 1954. godine. HE Gojak ima glavnu ulogu u skupini Glavne hidroelektrane Gojak, u koju još spadaju HE Lešće i HE Ozalj 1 i 2. Proizvela je zasigurno preko 12 TWh, a karakterizira ju instalirani volumni protok od 50m³/s i neto pad od 118 m osiguran izgradnjom brane.

HE Gojak iskorištava potencijal dviju rijeka ponornica, Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice, a njihovom su pregradnjom nastala akumulacijska jezera Bukovnik i Sabljaci. Zagorska Mrežnica izvire u blizini sela Desmerice kraj Ogulina, a skuplja se u jezero Sabljaci, nakon čega se odvodi do jezera Bukovnik i dalje prema HE Gojak, pa je tako njen tok preusmjeren u rijeku Dobru. U slučaju bez preusmjerenja, svojim prirodnim koritom bi završila u Oštarijama, gdje ponire. S druge strane, rijeka Ogulinska Dobra ponire u Đulinom ponoru. Rijeke Ogulinska Dobra i Zagorska Mrežnica, odnosno odgovarajuća akumulacijska jezera međusobno su povezani betonskim tunelima (dugim preko 9km) koji započinju u akumulacijskom jezeru Sabljaci, a završavaju u zajedničkom tlačnom cjevovodu koji njihove vode dovodi do turbina.

U periodu od 2000.-2014. godine HE Gojak je prošla kroz proces revitalizacije sustava i gotovo sve opreme. Uspješnom zamjenom cjelokupnog sustava upravljanja i nadzora koji uključuje zamjenu turbina, blok transformatora i sinkronih generatora zaključan je ciklus obnove HE Gojak. Samim procesom se postiglo povećanje njezine snagu i proizvodnje, pouzdanost i dostupnost generatora, poboljšana protočnost tunela dovoda vode te elektrane u cjelini, kao i stupnja zaštite okoliša, uz smanjenje troškova održavanja i gubitaka. Ovom obnovom osigurana bolja regulacija vodotoka, što rezultira boljom zaštitom od poplava, a samim time su se minimalizirali štetnih utjecaju uzrokovani potapanjem obližnjih poljoprivrednih površina. Sustav HE Gojak danas obuhvaća 3 agregata s raspoloživim agregatnom snagom od 59,7 MW s 3 vertikalne Francis turbine te kućni agregat snage 320 kW. Revitalizirana hidroelektrana Gojak godišnje proizvede otprilike 213,5 GWh električne energije. [3]

Tablica 9. Osnovne karakteristike hidroelektrane Gojak [3]

Proizvodno postrojenje	HE GOJAK A, B, C
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	56
Sliv	Sliv Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice
Tip elektrane	Akumulacijska visokotlačna derivacijska HE
Tip agregata	3 Francis turbina
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (tercijarna regulacija; crni start; otočni pogon)
Instalirani protok [m^3/s]:	3x19
Godina puštanja u pogon	1954./ R 2006.-2019.

4.3.2. Hidroelektrana Lešće

Hidroelektrana Lešće je hidroelektrana akumulacijskog pribranskog tipa koja iskorištava potencijal vode rijeke Donje Dobre, koja pripada slivu rijeke Kupe. Hidroelektrana se smjestila u okolici mjesta Lešće i Generalskog Stola u Karlovačkoj županiji, a njena se akumulacija, nastala pregrađivanjem korita Donje Dobre, nastavlja na akumulaciju HE Gojak. Rijeka Donja Dobra se stvara nakon spajanja rijeke Zagorske Mrežnice i Ogulinske Dobre tunelom, a potom prolaska kroz kilometarsko podzemlje Đulinog ponora i usmjeravanja kroz izlaz iz HE Gojak.

Nakon hidroelektrane Gojak, HE Lešće predstavlja drugu energetska razinu iskorištavanja hidropotencijala rijeke Dobre. U pogon je puštena 2010. godinu, što ju čini prvom izgrađenom hidroelektranom u Republici Hrvatskoj nakon osamostaljenja. Gotovo je kompletno automatizirana, a upravljanje istom se vrši u upravljačnici hidroelektrane Gojak. Zamišljena je kao jednonamjensko postrojenje s funkcijom izravnjavanja voda na dnevnoj ili tjednoj bazi. HE Lešće je postrojenje ukupne raspoložive snage od 42,29 MW kojeg čine dva agregata instaliranog volumnog protoka $2 \times 60 \text{ m}^3/\text{s}$ s dve Francis turbine te jedan ABM tj. agregat biološkog minimuma instaliranog protoka $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$ s jednom Francis turbinom. U periodu od 2010.-2016. se njome prosječno proizvelo 102 GWh električne energije, čiji se prijenos odvio preko 110 kV, a energija dobivena ABM-om preko 35 kV. [3]

Tablica 10. Osnovni podaci hidroelektrane Lešće [3]

Proizvodno postrojenje	HE Lešće A, B
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	41,20
Sliv	Sliv Donje Dobre
Tip elektrane	Akumulacijska pribranska HE
Tip agregata	2 Francis turbina
Proizvod	Električna energija, pomoćne usluge (tercijarna regulacija)
Instalirani protok [m^3/s]:	2×60
Godina puštanja u pogon	2010.

Tablica 11. Osnovne karakteristike agregata biološkog minimuma Lešće [3]

Proizvodno postrojenje	MHE LEŠĆE ABM
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	1,09
Sliv	Sliv Donje Dobre
Tip elektrane	Akumulacijska pribranska HE
Tip agregata	Francis turbina
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m^3/s]:	2,7
Godina puštanja u pogon	2010.

4.3.3. Hidroelektrane Ozalj 1 i 2

Hidroelektranu Ozalj zapravo sačinjavaju dvije odvojene hidroelektrane, Ozalj 1 i Ozalj 2. Smještena su na dvije suprotne obale rijeke Kupe, u gradu Ozlju, unutar Karlovačke županije. i jedna i druga hidroelektrana su po instaliranim kapacitetima male hidroelektrane, pribranskog protočnog tipa. Koriste vode gornjeg i srednjeg toka Kupe površine otprilike 2200 km^2 .

Iskorištavanje rijeke Kupe ostvareno je nakon izgradnje gravitacijske brane s preljevom visoke 7,5m dužine 77m u samom koritu rijeke, što je omogućilo stvaranje akumulacijskog bazena koji se nalazi na koti 120,6 metara nadmorske visine, volumena gotovo 1,4 milijuna m^3 (od čega je 0,55 milijuna korisnog). Brana je izrađena od kamena povezanih mortom. Hidroelektrane karakterizira instalirani volumni protok od 85 m^3/s s neto padom od 9,2 m.

HE Ozalj 1 je u pogon puštena još početkom prošlog stoljeća, davne 1908. godine, a tada proizvodila električnu energiju koja se upotrebljavala za uličnu rasvjetu. I dan danas hidroelektrana Ozalj 1 predstavlja turističku atrakciju, a svrstana je i u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske 2017. godine, što ju čini zaštićenim kulturnim dobrom. Strojarnica koja se nalazi u blizini brane, izgrađena je u duhu neoromantizma. Izgradnja hidroelektrane Ozalj 1 odvila se u dva ciklusa (prvi 1908., a drugi 1913. godine), čime je osigurana s tri proizvodne jedinice s tri Francis turbine i tri generatora. HE Ozalj jedan prolazu kroz fazu rekonstrukcije, s ciljem produljenja vijeka i povećanja kapaciteta hidroelektrane te smanjenja troškova održavanja. Danas hidroelektrane raspolaže s instaliranom snagom od 3,54 MW, dok Ozalj 2

raspolaže s 2,20 MW. Hidroelektrana Ozalj 2 u pogon je puštena 1952. godine, a sastoji se od dva agregata koji posjeduju dvije Kaplan turbine ukupne snage 2,2 MW. [3]

Tablica 12. Temeljni podaci hidroelektrane Ozalj 1 [3]

Proizvodno postrojenje	HE OZALJ 1 – A, B, C
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	3,54
Sliv	Sliv Kupe
Tip elektrane	Protočna pribranska HE s dnevnom akumulacijom
Tip agregata	3 Francis turbine
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m ³ /s]:	3x17
Godina puštanja u pogon	1908. / R 1991-1997.

Tablica 13. Temeljni podaci hidroelektrane Ozalj 2 [3]

Proizvodno postrojenje	HE OZALJ 2 – D, E
Aktualno raspoloživi proizvodni kapacitet [MW]	2,20
Sliv	Sliv Kupe
Tip elektrane	Protočna pribranska HE s dnevnom akumulacijom
Tip agregata	2 Kaplan turbine
Proizvod	Električna energija
Instalirani protok [m ³ /s]:	2x17
Godina puštanja u pogon	1952.

5. ZAKLJUČAK

U vrijeme sve veće potrošnje električne energije, uloga obnovljivih izvora energije i hidroelektrana bit će ključna za adekvatnu opskrbu energijom. Hidroelektrane u sklopu Proizvodnog područja Zapad predstavljaju vrlo važnu ulogu u hidroenergetskom sustavu Republike Hrvatske. Zahvaljujući povoljnom geografskom području sa mnoštvom rijeka koje izvire na visokim nadmorskim visinama, omogućeno je iskorištavanje energetske izrazito značajnog područja. Hidroelektrane u RH su zaslužne za gotovo polovicu sveukupne proizvedene električne energije u Hrvatskoj, a osjetan doprinos deset hidroelektrana unutar Proizvodnog područja Zapad osiguran je kroz optimiziran sustav gospodarenja energijom. Hidroenergija, kao čist i siguran izvor električne energije, će sve više dobivati na značaju zbog rekonstrukcija, revitalizacija i izgradnji hidroelektrana u ovom području. Iako je količina vode tijekom godine varijabilna, proizvodnja energije se može efikasno regulirati. Razvijena mreža povezanih hidroelektrana i cjevovoda pogoduju izgradnji malih hidroelektrana na malim vodotocima za čiju izgradnju nije potreban pronalazak novih akumulacija. Modernizacijom hidroelektrana unutar Centra proizvodnje Zapad smanjit će se negativni utjecaji na okoliš, a poboljšati daljinski nadzor i upravljanje hidroelektranama, što će rezultirati povećanjem energetske učinkovitosti.

6. LITERATURA

- [1] Breeze, P., Power Generation Technologies, Newnes, Cambridge, 21.2.2019, 173-201.
- [2] Sutlović, I., Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 9. Hidroenergetska postrojenja, Predavanje po poglavljima.
- [3] HEP proizvodnja, <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/1720> (pristup 1.7.2021.)
- [4] Internation Energy Agency, <https://www.iea.org/data-and-statistics> (pristup 10.8.2021.)
- [5] Energija u Hrvatskoj, http://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1_Energija_u_Hrvatskoj_2019-compressed-1.pdf (pristup 12.8.2021.)
- [6] Uloga Elektroprojekta u korištenju vodnih snaga u Hrvatskoj, <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-71-2019-03-6-HE.pdf> (pristup 12.8.2021.)
- [7] Vitaprojekt, <https://www.vitaprojekt.hr/en/references/list> (pristup 15.8.2021.)
- [8] Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/ARHIVA%20DOKUMENATA/ARHIVA%20---%20OPUO/2017/elaborat_zastite_okolisa_180.pdf