

POZITIVNI I NEGATIVNI UTJECAJI HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Džambo, Ivana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:406176>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Ivana Džambo

POZITIVNI I NEGATIVNI UTJECAJI HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences
Safety and Protection Department
Professional graduate study of Safety and Protection

Ivana Džambo

**POSITIVE AND NEGATIVE IMPACTS OF
HYDROPOWER PLANTS ON THE
ENVIRONMENT**

MASTER THESIS

Karlovac, 2024

Veleučilište u Karlovcu
Odjel sigurnosti i zaštite
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Ivana Džambo

POZITIVNI I NEGATIVNI UTJECAJI HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Karlovac, 2024.



ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

* Ime i prezime	Ivana Džambo	
OIB / JMBG		
Adresa		
Tel. / Mob./e-mail		
Matični broj studenta	0422422019	
JMBAG	0248076479	
Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija)	stručni prijediplomski	X stručni diplomski
Naziv studija	Sigurnost i zaštita	
Godina upisa	2022.	
Datum podnošenja molbe	21.08.2024.	
Vlastoručni potpis studenta/studentice		

* Naslov teme na hrvatskom:

Pozitivni i negativni utjecaji hidroelektrana na okoliš

* Naslov teme na engleskom:

Positive and negative impacts of hydropower plants on the environment

Opis zadatka:

U radu će biti objašnjeni osnovni pojmovi vezani uz hidroelektrane te princip rada. Uz to, bit će prikazani pozitivni i negativni učinci hidroelektrana na okoliš. Također će biti prikazan i utjecaj drugih energetske postrojenja na okoliš, kao i primjeri hidroelektrana u svijetu i Hrvatskoj.

Mentor:

Lidija Jakšić, mag. ing. cheming., pred.

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Filip Žugčić, mag. ing. el., v. pred.

NAPOMENA: Obrazac je poželjno ispuniti elektronski. Ukoliko isti niste u mogućnosti ispuniti elektronski, podatke označene* obvezno popuniti čitko velikim tiskanim slovima

PREDGOVOR

Želim zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima na podršci i razumijevanju tijekom ovih pet godina studiranja.

Također, željela bih izraziti duboku zahvalnost mentorici ovog rada, Lidiji Jakšić, mag. ing. cheming., pred., na pomoći pri odabiru teme, neizmjernom strpljenju, stručnim savjetima i kontinuiranoj podršci tijekom pisanja ovog rada.

Zahvaljujem se i svim profesorima na Veleučilištu u Karlovcu od kojih sam stekla znanje.

Ivana Džambo

SAŽETAK

Hidroelektrane predstavljaju jedan od ključnih izvora obnovljive energije, koji ima potencijal da značajno doprinese smanjenju emisija stakleničkih plinova i ublažavanju klimatskih promjena. Međutim, njihova gradnja i rad imaju i značajne negativne posljedice, uključujući promjene u vodnim tokovima, degradaciju staništa, utjecaj na bioraznolikost i društvene posljedice za lokalne zajednice. Razumijevanje pozitivnih i negativnih utjecaja hidroelektrana ključno je za donošenje informiranih odluka u vezi s budućim energetske politikama i projektima. Kroz istraživanje ove teme, cilj je pružiti uvid u to kako možemo koristiti hidroelektričnu energiju na način koji maksimizira njene koristi, a minimalizira štetne posljedice, što je ključno za očuvanje prirode i osiguranje kvalitete života za buduće generacije.

Ključne riječi: hidroelektrane; energija; ekosustav; obnovljivi izvor energije; okoliš.

ABSTRACT

Hydropower plants represent one of the key sources of renewable energy, which has the potential to significantly contribute to reducing greenhouse gas emissions and mitigating climate change. However, their construction and operation have significant negative consequences, including changes in water flows, habitat degradation, impact on biodiversity and social consequences for local communities. Understanding the positive and negative impacts of hydropower is critical to making informed decisions regarding future energy policies and projects. Through research on this topic, the goal is to provide insight into how we can use hydroelectric energy in a way that maximizes its benefits and minimizes harmful consequences, which is key to preserving nature and ensuring the quality of life for future generations.

Key words: hydropower plants; energy; ecosystem; renewable energy source; the environment.

SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA	I
PREDGOVOR	II
SAŽETAK	III
ABSTRACT.....	III
SADRŽAJ	IV
1. UVOD	1
2. (HIDRO)ENERGIJA	2
3. HIDROELEKTRANE	4
3.1. Povijesni razvoj hidroelektrana	6
3.2. Princip rada hidroelektrana.....	7
3.3. Izgradnja hidroelektrana.....	10
3.4. Energetska statistika za proizvodnju električne energije u Republici Hrvatskoj.....	11
4. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ.....	14
4.1. Pozitivni učinci rada hidroelektrana	16
4.2. Negativni učinci rada hidroelektrana	20
4.3. Utjecaj drugih postrojenja na okoliš	26
4.4. Hidroelektrane u svijetu	28
4.5. Hidroelektrane Republike Hrvatske.....	31
5. ZAKLJUČAK	40
6. LITERATURA	42
7. PRILOZI	45
7.1. Popis slika	45
7.2. Popis tablica	45
7.3. Popis simbola.....	45

1. UVOD

Energija igra ključnu ulogu u razvoju i standardu života svake zemlje. S napretkom i industrijalizacijom raste i potražnja za energijom. Tradicionalni, neobnovljivi izvori energije poput ugljena, nafte i nuklearne energije štetno utječu na okoliš. Zbog toga se sve više koristi obnovljivi izvori energije koji su manje štetni za prirodu. Među obnovljivim izvorima, hidroenergija je najvažnija jer je ekološki prihvatljiva i ekonomski konkurentna fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji [1].

Hidroelektrane su jedan od najstarijih i najčešće korištenih izvora obnovljive energije. Korištenje energije vode za proizvodnju električne energije ima dugu povijest i pruža značajan udio globalne proizvodnje energije. Međutim, kao i svaki drugi energetska sustav, hidroelektrane imaju svoj utjecaj na okoliš. Ovaj završni rad istražiti će što su hidroelektrane, kako djeluju, te njihove pozitivne i negativne utjecaje na okoliš. Također će se razmotriti mjere koje se poduzimaju za smanjenje negativnih utjecaja na okoliš [2].

Cilj ovog rada je objasniti što su hidroelektrane, kako su se razvijale, koje su njihove osnovne komponente i kako funkcioniraju u iskorištavanju hidroenergetskog potencijala. Također, svrha rada je prikazati kako hidroelektrane utječu na okoliš te naglasiti njihove prednosti i nedostatke u proizvodnji električne energije. Metodologija ovog rada temelji se na proučavanju, kompilaciji, sintezi i dedukciji stručne literature. Završni rad je rezultat prikupljanja i analize različitih podataka i informacija o hidroenergiji, hidroelektranama i njihovom utjecaju na okoliš.

2. (HIDRO)ENERGIJA

Energija je sposobnost tijela da obavi rad i dolazi u različitim oblicima, svaki sa specifičnim kemijskim i fizikalnim svojstvima. Glavni oblici energije u prirodi uključuju potencijalnu, kinetičku, električnu, kemijsku, toplinsku i nuklearnu energiju. Izvori energije mogu se podijeliti na neobnovljive i obnovljive [2].

Neobnovljivi izvori energije uključuju fosilna goriva (nafta, ugljen i zemni plin) i nuklearna goriva (uran i torij). Količine ovih goriva na Zemlji su ograničene i kontinuirano se troše. Njihova upotreba značajno zagađuje okoliš, primjerice, spaljivanje fosilnih goriva oslobađa ugljični dioksid koji doprinosi efektu staklenika i klimatskim promjenama. Nuklearne elektrane, s druge strane, ispuštaju radioaktivni materijal u okoliš. Obnovljivi izvori energije su oni koji se prirodno obnavljaju i uključuju vodu, biomasu, vjetar, solarnu i geotermalnu energiju. Ovi izvori energije su manje štetni za okoliš i igraju ključnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida i zagađenja. Također, povećavaju energetske održivost, sigurnost opskrbe energijom i smanjuju ovisnost o uvozu energetskih sirovina [3].

Hidroenergija je oblik obnovljive energije koja koristi kinetičku energiju vode, pretvorenu iz potencijalne energije vode koja teče od viših prema nižim nadmorskim visinama. Ona je ekonomski konkurentna fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji i definira se kao oblik solarne energije jer Sunce pokreće cikluse kruženja vode na Zemlji. Također uključuje i gravitacijsku energiju Mjeseca i Sunca koja uzrokuje plimu i oseku [4].

Hidroenergija se dobiva iz gravitacijske potencijalne i kinetičke energije tekuće vode koja se koristi za različite svrhe, najčešće za proizvodnju električne energije. Energija vode potječe od sunca koje izaziva isparavanje vode. Ova voda se vraća na zemlju u obliku oborina, podižući razinu vode i stvarajući potencijalnu energiju. Kroz tehničke pretvorbene sustave poput hidroelektrana, ova energija se može pretvoriti u električnu energiju. Snaga dobivena ovim procesom ovisi o volumenu protoka vode kroz turbinu i visini pada vode [2].

Proizvodnja hidroenergije je u posljednjih trideset godina utrostručena zbog nekoliko prednosti:

- nema troškova goriva pod uvjetom da ima dovoljno vode,
- čista energija koja ne stvara otpad,
- visoka efikasnost: moderne hidroelektrane mogu pretvoriti do 90% energije vode u električnu energiju,
- pokrivanje vršnih opterećenja: hidroelektrane mogu brzo reagirati na povećanje potrošnje energije,
- višenamjenska korist: umjetna jezera nastala izgradnjom hidroelektrana mogu se koristiti za navodnjavanje, vodoopskrbu, turizam i rekreaciju [3].

Međutim, hidroenergija zaostaje za nuklearnim elektranama i termoelektranama zbog tehničkih i prirodnih ograničenja:

- Ovisnost o vodi: Postojanje stabilnog izvora vode tijekom cijele godine je ključno.
- Visoki troškovi izgradnje: Potreba za izgradnjom brana i akumulacijskih jezera može značajno povećati cijenu.
- Ekološki utjecaji: Potapanje velikih područja dolina, poremećaji u riječnim ekosustavima, promjene u sedimentaciji i eroziji.
- Seizmički rizici: U nekim zonama potrebna je dodatna protupotresna zaštita [5].

Energija je ključna za razvoj i životni standard svake zemlje. S rastom populacije i industrijalizacijom, potražnja za energijom raste, što dovodi do sve veće upotrebe obnovljivih izvora energije kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš. Hidroenergija predstavlja jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije zbog svoje čistoće, efikasnosti i ekonomičnosti, ali je važno upravljati njenim ekološkim utjecajima kako bi se osigurala održiva budućnost [2].

3. HIDROELEKTRANE

Hidroelektrane predstavljaju važan izvor obnovljive energije s brojnim prednostima, uključujući niske emisije stakleničkih plinova i pouzdanu proizvodnju energije. Međutim, njihova izgradnja i rad mogu imati značajne negativne utjecaje na okoliš, uključujući gubitak staništa, promjene u kvaliteti vode i ekološke poremećaje. Preventivne mjere i održivo upravljanje ključni su za minimiziranje tih utjecaja i osiguranje da hidroelektrane igraju pozitivnu ulogu u budućem energetsom miks [4].

Prema instaliranoj snazi

Hidroelektrane se dijele prema instaliranoj snazi na sljedeće kategorije:

1. Velike hidroelektrane: Snaga veća od 100 MW
2. Srednje hidroelektrane: Snaga između 10 i 100 MW
3. Male hidroelektrane: Snaga između 0,5 i 10 MW
4. Mini hidroelektrane: Snaga između 100 i 500 kW
5. Mikro hidroelektrane: Snaga između 5 i 100 kW
6. Piko hidroelektrane: Snaga od nekoliko stotina W do 5 kW [4].

Hidroelektrane se dijele i prema visini pada vode na:

1. Niskotlačne hidroelektrane: specifični pad do 25 m. Karakteristično je da im cjelokupni pad stoji na raspolaganju neposredno kod elektrane, bez potrebe za tlačnim dovodima i cjevovodima. Često nemaju mogućnost akumuliranja vode i koriste se kao protočne hidroelektrane za pokrivanje osnovnog opterećenja
2. Srednjetačne hidroelektrane: pad između 25 i 200 m. Mogu biti pribranske i derivacijske. Najčešće se koriste Francisove turbine.

3. Visokotlačne hidroelektrane: pad veći od 200 m. Najčešće su derivacijske, jer su zahvat i strojarnica prostorno odijeljeni, a voda se dovodi do turbina dugačkim cjevovodom [7].

Hidroelektrane se prema načinu korištenja vode dijele na:

1. Protočne hidroelektrane: koriste vodu kako dotječe. Uzvodna akumulacija može se isprazniti za manje od dva sata rada nazivne snage, ili takva akumulacija uopće ne postoji. Kinetička energija se gotovo direktno koristi za pokretanje turbina. Jednostavne su za izvođenje i imaju minimalan utjecaj na okoliš, ali ovise o trenutno raspoloživom vodenom toku.
2. Akumulacijske hidroelektrane: koriste potencijalnu energiju akumulacijskog jezera. Mogu biti pribranske ili derivacijske. Dobra strana akumulacijskih hidroelektrana je mogućnost akumulacije energije i planiranja potrošnje po potrebi, ali ljeti može doći do zastoja zbog smanjenih vodenih tokova [1].

Prema veličini akumulacijskog bazena:

- Dnevna akumulacija: punjenje akumulacije noću, pražnjenje danju.
 - Sezonska akumulacija: punjenje u kišnom razdoblju, pražnjenje u sušnom.
 - Godišnja akumulacija: punjenje u kišnom razdoblju, pražnjenje u sušnom.
3. Reverzibilne hidroelektrane: omogućavaju vraćanje iskorištene vode iz donjega bazena ponovno u gornji bazen, koristeći vodu iz gornjeg bazena za proizvodnju energije kada je potrebno (tijekom vršne potrošnje). Imaju turbinski i pumpni režim pogona. Iako mogu biti veći potrošači energije u pumpnom režimu, ekonomski su opravdane zbog ravnjanja dnevne ili sezone potrošnje energije i korištenja jeftinije energije za pumpanje u vrijeme niže tarife [8].

Hidroelektrane se dijele i prema smještaju strojarnice na:

1. Pribranske hidroelektrane: strojarnica je smještena neposredno uz branu.
2. Derivacijske hidroelektrane: zahvat vode i strojarnica su prostorno odijeljeni, a voda se do turbina dovodi cjevovodima, dugim i do nekoliko kilometara [8].

3.1. Povijesni razvoj hidroelektrana

Od najranijih dana civilizacije, hidroenergija je bila značajan izvor energije za čovječanstvo. Prva poznata upotreba snage vode datira još iz vremena starih Grka i Rimljana, koji su koristili vodene mlinove za mljevenje žitarica. Ti mlinovi su bili smješteni blizu velikih rijeka, koje su također koristili za navodnjavanje polja. Najstariji vodeni mlinovi sastojali su se od vertikalnog kotača montiranog na horizontalnu osovinu sa zupčanicima, koji su prenosili kretanje vode na vertikalnu os. Ovi vodeni kotači su bili preteče današnjih modernih turbina koje pretvaraju potencijalnu energiju vode u kinetičku energiju, a zatim u električnu energiju. Vodeni mlinovi omogućili su prvi put u povijesti korištenje nežive energije za mehanizaciju poljoprivrednih poslova, značajno povećavajući produktivnost [6].

Korištenje vodenih mlinova proširilo se izvan granica Rimskog Carstva. Mlinovi su pronađeni u Iraku, Saudijskoj Arabiji i Iranu između 3. i 8. stoljeća, a putnici iz Rimskog Carstva gradili su mlinove i kupališta u Indiji oko 325. godine. Do 11. stoljeća, mlinovi su se proširili od sjeverne Afrike, preko Bliskog Istoka, do srednje Azije. Hidroenergija je također igrala važnu ulogu u industrijskoj revoluciji, zajedno s parnim strojem, doprinoseći razvoju tekstilne, kožne i strojarske industrije. Nakon industrijske revolucije, dostupnost hidroenergije postala je ključna za razvoj ranih industrijskih gradova u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama. Prvo korištenje hidroenergije za proizvodnju električne energije zabilježeno je u Engleskoj 1870. godine. Do 1986. godine, diljem Amerike izgrađeno je 45 hidroelektrana. U Norveškoj je prva hidroelektrana izgrađena 1885. godine, a do kraja stoljeća brojala je 14 hidroelektrana [2].

Prema podacima iz 2010. godine, hidroenergija se koristi u 159 zemalja svijeta, čineći 16 % ukupne proizvodnje električne energije i 85% od svih obnovljivih izvora energije. U Hrvatskoj, razvoj hidroenergije započeo je 1895. godine izgradnjom prvih elektrana na rijeci Krki. Danas Hrvatska ima 17 velikih hidroelektrana, 20 malih, 4 mini i 4 piko hidroelektrane, raspoređenih u nekoliko glavnih proizvodnih područja: Sjever, Zapad, Jug i pogon Dubrovnik [9].

Proizvodna područja hidroelektrana u Hrvatskoj:

1. Proizvodno područje Sjever:
 - Glavne hidroelektrane: HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava na rijeci Dravi
2. Proizvodno područje Zapad:
 - Obuhvaća slivove rijeka Like, Gorskog kotara i Dalmacije
 - Glavne hidroelektrane: GHE Senj, GHE Vinodol, HE Gorski kotar, HE Rijeka, GHE Gojak
3. Proizvodno područje Jug:
 - Obuhvaća hidroelektrane na rijekama Cetini, Zrmanji i Krki te akumulacijskim jezerima Peruća i Buško blato
 - Glavne hidroelektrane: GHE Miljacka, GHE Orlovac, GHE Zakućac, CS Buško blato
4. Pogon HE Dubrovnik:
 - Sadrži hidroelektrane HE Dubrovnik i HE Zavrelj [9].

Hidroenergija je stoga postala ključan obnovljivi izvor energije, ne samo zbog svoje povijesne važnosti, već i zbog svoje ekonomske i ekološke prednosti u današnjem svijetu [9].

3.2. Princip rada hidroelektrana

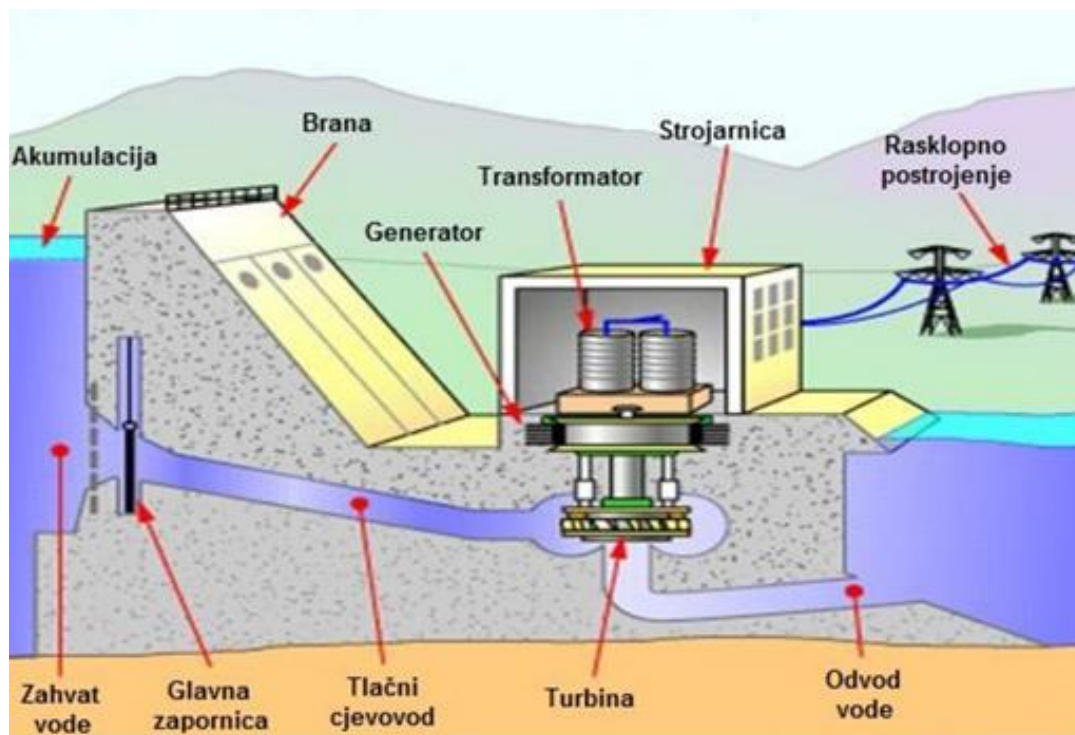
Hidroelektrane su postrojenja koja pretvaraju kinetičku energiju vode u električnu energiju. Proces se obično odvija kroz nekoliko osnovnih koraka:

1. Skupljanje vode: voda se skuplja u rezervoarima ili tokovima koji imaju dovoljan pad
2. Kretanje vode: voda se usmjerava kroz turbine koje se nalaze unutar hidroelektrane
3. Proizvodnja električne energije: kretanje vode pokreće turbine koje su povezane s generatorima, proizvodeći električnu energiju
4. Distribucija energije: proizvedena električna energija se prenosi u električnu mrežu i distribuira korisnicima [1].

Hidroelektrane koriste gravitacijsku silu padajuće vode da pokreću turbine koje proizvode električnu energiju. Postoje tri glavne vrste hidroelektrana:

1. Rezervoarske hidroelektrane: Ove hidroelektrane koriste velike brane za stvaranje rezervoara vode. Kada se voda pusti iz rezervoara, prolazi kroz turbine.
2. Riječne hidroelektrane: Koriste prirodni tok rijeke za proizvodnju energije bez velikih rezervoara.
3. Pumpe za reverzibilne hidroelektrane: Koriste dvoje rezervoare na različitim visinama. Voda se pumpa u viši rezervoar tijekom perioda niske potražnje za energijom i oslobađa se tijekom perioda visoke potražnje [4].

Hidroelektrana ima nekoliko glavnih dijelova: branu ili pregradu, zahvat, dovod vode, vodostan ili vodnu komoru, tlačni cjevovod, strojarnicu koju čine turbina i generator, rasklopno postrojenje, odvod vode (Slika 1).



Slika 1. Dijelovi hidroelektrane [28]

U hidroelektranama, potencijalna energija vode koja se nalazi na visini iznad turbine prvo se pretvara u kinetičku energiju, a zatim u električnu energiju. Snaga koju voda sadrži naziva se bruto snaga, označena kao P [W], i izračunava se pomoću sljedeće formule:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H_b$$

pri čemu je:

- ρ - gustoća vode, koja iznosi 1000 kg/m^3 , gustoća vode je standardno 1000 kg/m^3 , što je univerzalna vrijednost koja se koristi u većini hidrauličkih proračuna.
- g - ubrzanje sile teže, koje iznosi $9,80665 \text{ m/s}^2$, vrijednost ubrzanja sile teže je $9,80665 \text{ m/s}^2$. Ovo je konstantna vrijednost koja se koristi za proračunavanje snage vode koja pada pod utjecajem gravitacije

- Q - srednja vrijednost protoka vode, izražena u m^3/s , protok vode (Q) je količina vode koja prolazi kroz presjek rijeke ili cjevovoda u jedinici vremena. Izražava se u kubnim metrima po sekundi (m^3/s)
- H_b - visina vode (bruto), izražena u metrima, visina vode je razlika u visini između površine vode u rezervoaru i turbine. Ovo je ključni faktor koji određuje potencijalnu energiju vode [10].

Kombiniranjem ovih faktora, formula nam omogućava izračunavanje bruto snage vode koja se može pretvoriti u električnu energiju u hidroelektrani. Ova snaga se dalje koristi za pokretanje turbina koje proizvode električnu energiju. Ovaj način izračuna ključan je za dizajn i optimizaciju hidroelektrana kako bi se maksimizirala proizvodnja električne energije uz minimalne gubitke [10].

3.3. Izgradnja hidroelektrana

Izgradnja hidroelektrana zahtijeva detaljan plan i redoslijed aktivnosti kako bi se postigli najpovoljniji energetske-ekonomski rezultati. Ovdje su ključni koraci i faktori koje treba uzeti u obzir pri planiranju izgradnje hidroelektrane:

1. Tehnički parametri i pripremni radovi: prije početka izgradnje, potrebno je provesti detaljne pripremne radove. To uključuje analizu tehničkih parametara poput protoka voda kroz cijelu godinu, sezonskih akumulacija, potreba za regulacijom protoka te utjecaj na okoliš. Ovi parametri su ključni za određivanje optimalnog plana i redoslijeda izgradnje.
2. Planiranje trajanja izgradnje: vrijeme potrebno za izgradnju hidroelektrane ovisi o razvoju potrošnje električne energije i tehničkim karakteristikama projekta. Analiza sezonskih varijacija u protoku vode pomaže u određivanju početka i ukupnog trajanja izgradnje.
3. Financijska sredstva: osiguravanje potrebnih finansijskih sredstava ključno je za uspješnu izgradnju hidroelektrane. Osnovni plan opsega svih građevinskih radova važan je za procjenu troškova i finansijske strukture projekta.

4. Redoslijed gradnje: gradnja hidroelektrana treba biti organizirana prema relativnim energetske vrijednostima projekata. Prvo se grade hidroelektrane s većim omjerom uštede i troškova, uzimajući u obzir predviđeno trajanje izgradnje svakog projekta.
5. Lokacija: odabir lokacije hidroelektrane ovisi o nekoliko faktora kao što su protok vode, trajanje protoka, financijske mogućnosti izgradnje te utjecaj na okoliš. Za male hidroelektrane, broj potencijalnih lokacija raste proporcionalno smanjenju predviđene snage instalacije.
6. Utjecaj na okoliš: pri odabiru lokacije i planiranju izgradnje važno je pažljivo procijeniti utjecaj hidroelektrane na okoliš te primijeniti mjere zaštite okoliša kako bi se minimalizirali negativni utjecaji [11].

Ukratko, izgradnja hidroelektrana zahtijeva holistički pristup koji uključuje tehničke, financijske, ekonomske i ekološke faktore kako bi se osigurao uspješan i održiv projekat [11].

3.4. Energetska statistika za proizvodnju električne energije u Republici Hrvatskoj

Proizvodnja električne energije uključuje transformaciju različitih energenata u električnu energiju putem elektrana. U Hrvatskoj, glavni tipovi elektrana su hidroelektrane i termoelektrane. Hidroelektrane koriste potencijalnu energiju vode koja se pretvara u električnu energiju pomoću vodenih turbina i generatora. Postoje tri glavne vrste hidroelektrana: protočne, akumulacijske i crpno-akumulacijske, ovisno o načinu korištenja vode i regulaciji vodnog toka. Također se razlikuju po veličini, pri čemu male hidroelektrane imaju instaliranu snagu do 10 MW. Termoelektrane koriste fosilna goriva kao ulazne sirovine za proizvodnju električne energije. Postoje parne termoelektrane, termoelektrane-toplane koje proizvode i električnu i toplinsku energiju istovremeno, plinsko-turbinske termoelektrane te plinsko-parne termoelektrane [12].

HEP Proizvodnja d.o.o., dio HEP Grupe, odgovorna je za proizvodnju električne i toplinske energije u Hrvatskoj. U svom portfelju ima 26 hidroelektrana i 8

termoelektrana koje koriste loživo ulje, prirodni plin i ugljen kao pogonsko gorivo. Također, HEP Grupa uključuje Termoelektranu Plomin d.o.o., koja upravlja termoelektranom snage 210 MW. HEP Obnovljivi izvori energije d.o.o. fokusirani su na pripremu, izgradnju i korištenje obnovljivih izvora energije poput vjetra, biomase, Sunčeve energije, malih vodotoka i geotermalnih voda [13]. U kupna instalirana snaga HEP Grupe za proizvodnju električne energije iznosi 3995 MW, što čini značajan dio energetskeg portfelja Hrvatske. U travnju 2024. godine, količina električne energije raspoloživa za potrošnju iznosila je 1 359 GWh. U usporedbi s ožujkom 2024., ova količina je smanjena za 9,0%, a u odnosu na travanj 2023., smanjena je za 4,4% [12].

Tablica 1. Proizvedena električna energija za razdoblje 2023. i prvu polovinu 2024. godine [12]

Opskrba	Električna energija							
	2023.				2024.			
	I.	II.	III.	IV.	I.	II.	III.	IV.
Ukupna bruto proizvodnja	1 671	1 441	1 718	1 347	1 537	1 288	1 473	1 126
Hidroelektrane	856	615	847	589	800	672	785	556
Termoelektrane i CHP na fosilna goriva	446	501	547	420	350	316	320	228
Termoelektrane i CHP na obnovljiva goriva	95	85	91	86	82	76	80	79
Vjetroelektrane	260	222	207	224	296	209	250	204
Sunčane elektrane	10	13	21	24	10	14	39	59
Geotermalne elektrane	5	5	5	4	-	-	-	-
Ukupna neto proizvodnja	1 637	1 406	1 682	1 318	1 519	1 272	1 457	1 109
Hidroelektrane	853	613	844	586	797	669	782	554
Termoelektrane i CHP na fosilna goriva	423	477	520	402	340	307	310	221
Termoelektrane i CHP na obnovljiva goriva	88	79	88	79	78	73	78	73

Vjetroelektrane	259	221	206	223	294	208	248	203
Sunčane elektrane	10	13	21	24	10	14	39	59
Geotermalne elektrane	4	4	4	3	-	-	-	-
Uvoz	920	813	832	763	890	884	828	885
Izvoz	911	685	968	652	707	678	785	596
Potrošeno iz mreže za crpke u reverzibilnim elektranama	27	13	5	7	20	13	7	39
Raspoloživo za tuzemnu potrošnju	1 619	1 521	1 541	1 422	1 682	1 465	1 493	1 359

4. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Hidroelektrane predstavljaju važan izvor obnovljive energije koja se sve više istražuje kao odgovor na globalni energetska izazov. Međutim, njihov utjecaj na okoliš nije zanemariv, posebno kada se razmatraju razlike između malih i velikih hidroelektrana [1].

Mala hidroelektrana, često smatrana ekološki prihvatljivijom opcijom, ima minimalan utjecaj na okoliš. Njihova gradnja obično ne rezultira značajnim promjenama u ekosustavu i često se integriraju u postojeće riječne tokove s minimalnim zahvatima u prirodnom okruženju. Ove hidroelektrane često imaju i manju hidrološku barijeru te ne stvaraju značajne rezervoare vode, što dalje smanjuje negativne ekološke posljedice [8].

S druge strane, velike hidroelektrane mogu imati znatniji utjecaj na okoliš. Njihova izgradnja često zahtijeva stvaranje velikih rezervoara koji mogu značajno promijeniti hidrološki režim rijeka. Ovi rezervoari ne samo da mijenjaju prirodne obrasce protoka vode već i stvaraju nove uvjete za životne vrste u rijekama i njihovim pritocima. Osim toga, velike hidroelektrane mogu dovesti do emisije metana uslijed razgradnje organskog materijala u rezervoarima, što dodatno utječe na klimatske promjene [14].

U kontekstu ekoloških aspekata, važno je razumjeti i druge potencijalne negativne posljedice velikih hidroelektrana. Promjene u vodostajima mogu utjecati na migracije riba, smanjenje poplavne kontrole te gubitak biološke raznolikosti. Studije su pokazale da velike hidroelektrane često imaju i socioekonomske posljedice na lokalne zajednice, uključujući dislokaciju stanovništva i gubitak tradicionalnih načina života [10, 11, 14, 15].

Unatoč tim izazovima, postoje i naponi za minimiziranje negativnih utjecaja hidroelektrana na okoliš. Tehnološki napredak omogućava razvoj novih metoda upravljanja vodnim resursima, uključujući bolje prilagodbe u gradnji hidroelektrana koje uzimaju u obzir biološke i ekološke faktore. Primjerice, koncept "održivih hidroelektrana" naglašava integraciju ekoloških aspekata u

planiranje i dizajn hidroelektrana kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš [11, 14].

Uz to, važno je razvijati i primjenjivati strože regulative i standarde koji će osigurati da hidroelektrane budu građene i upravljane na način koji minimalizira njihov ekološki otisak. Ovo uključuje sustave praćenja, procjenu utjecaja na okoliš te uključivanje lokalnih zajednica i stručnjaka u proces odlučivanja [6].

U konačnici, dok hidroelektrane nude važan izvor obnovljive energije, njihov utjecaj na okoliš zahtijeva pažljivo planiranje, transparentnost i inovativna rješenja kako bi se osiguralo održivo korištenje vodnih resursa. Samo integriranim pristupom koji uključuje tehničke, ekonomske i ekološke čimbenike možemo osigurati energetska sigurnost bez ozbiljnih štetnih posljedica po okoliš [6].

Tablica 2. Utjecaj rada hidroelektrana – pozitivne i negativne karakteristike

UTJECAJ RADA HIDROELEKTRANA	
POZITIVNI UČINCI	NEGATIVNI UČINCI
Ne emitiraju CO ₂	Oštećenje staništa divljih životinja i migracijskih putova
Ne emitiraju SO ₂	Poremećaj riječnih sustava
Ne emitiraju NO _x	Utjecaj klimatskih promjena
Bez otpada proizvodnje	Sporovi oko prava na vodu
Obnovljivi izvor energije	Visoki troškovi izgradnje
Niski emisije stakleničkih plinova	Upotreba velikog prostora
Pouzdanost	Šteta za živi svijet u vodi
Višestruka upotreba	Društveni utjecaji
	Utjecaj na zrak u okolini izgradnje hidroelektrane

4.1. Pozitivni učinci rada hidroelektrana

Hidroelektrane predstavljaju jedan od najčišćih oblika proizvodnje energije s ekološkog stajališta. One nude niz prednosti u pogledu zaštite okoliša:

- Ne emitiraju CO₂: hidroelektrane ne koriste fosilna goriva, stoga ne ispuštaju ugljični dioksid (CO₂), koji je glavni uzročnik globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena.
- Ne emitiraju SO₂: ugljični dioksid nije jedini zagađivač koji hidroelektrane eliminiraju. Za razliku od termoelektrana na ugljen, koje ispuštaju sumporov dioksid (SO₂), hidroelektrane ne proizvode ovaj štetni plin koji može uzrokovati kisele kiše i štetiti okolišu.
- Ne emitiraju NO_x: hidroelektrane ne ispuštaju dušikove okside (NO_x), koji su glavni uzročnici smoga i kiselih kiša te mogu štetno utjecati na ljudsko zdravlje i okoliš.
- Bez otpada proizvodnje: hidroelektrane ne stvaraju čvrsti ili tekući otpad tijekom proizvodnje energije. Nema potrebe za zbrinjavanje opasnog otpada, što je veliki problem kod mnogih drugih izvora energije, poput nuklearnih elektrana ili termoelektrana na ugljen [14].

Ove karakteristike čine hidroelektrane ključnim dijelom strategije za smanjenje emisije stakleničkih plinova i borbu protiv klimatskih promjena. Osim toga, one doprinose poboljšanju kvalitete zraka i smanjenju zagađenja okoliša, što ima pozitivan utjecaj na ljudsko zdravlje i ekosustave [14].

Hidroelektrane imaju nekoliko ključnih utjecaja na okoliš, kako pozitivnih tako i negativnih.

1. Obnovljivi izvor energije: hidroelektrane koriste vodu, koja je obnovljivi resurs, za proizvodnju energije.
2. Niski emisije stakleničkih plinova: u usporedbi s fosilnim gorivima, hidroelektrane emitiraju vrlo malo stakleničkih plinova.
3. Pouzdanost: hidroelektrane mogu pružiti stabilnu i kontinuiranu proizvodnju električne energije.

4. Višestruka upotreba: rezervoari stvoreni za hidroelektrane mogu se koristiti za navodnjavanje, pitku vodu i rekreaciju [1].

Hidroelektrane su ključni igrač u globalnom energetsom pejzažu, nudeći održiv izvor električne energije s minimalnim utjecajem na okoliš. Ova tehnologija se ističe kao efikasan način proizvodnje energije bez emisije stakleničkih plinova i generiranja otpadnih produkata, što značajno doprinosi zaštiti okoliša. Osim toga, hidroelektrane koriste prirodan ciklus vode za generiranje energije, čime se osigurava kontinuiran izvor energije koji nije podložan tržišnim fluktuacijama [15].

Jedna od ključnih prednosti hidroelektrana je njihova visoka efikasnost u pretvaranju energije vode u električnu energiju. Većina hidroelektrana postiže učinkovitost od 85 % do 95 %, što je značajno veće od drugih oblika obnovljive energije poput solarne (15 % - 20 %) ili vjetroelektrana (30 % - 45 %). Ova visoka efikasnost, zajedno s niskim troškovima goriva i dugim vijekom trajanja infrastrukture, čini hidroelektrane ekonomski konkurentnima [17].

Hidroelektrane također igraju važnu ulogu u regulaciji vodostaja rijeka, sprječavanju poplava i osiguravanju stabilnosti vodoopskrbe za navodnjavanje i kućnu upotrebu. Akumulacijska jezera stvorena izgradnjom hidroelektrana često služe i kao centri za rekreaciju [18]. Izgradnja hidroelektrana ima značajan ekonomski utjecaj jer potiče razvoj različitih industrija i gospodarskih aktivnosti u okolini. Primarni ekonomski beneficiji uključuju razvoj industrije, kao što su građevinski radovi, proizvodnja opreme za elektranu i održavanje. Također, hidroelektrane potiču razvoj ribarstva zbog novih staništa koja se stvaraju oko akumulacija, a isto tako i plovidbu na rijekama gdje se grade. Rekreacija i turizam također imaju koristi od hidroelektrana jer akumulacije i okolne aktivnosti pružaju mogućnosti za sportove na vodi, ribolov, kampiranje i druge oblike odmora. Ovi aspekti pridonose poboljšanju životnog standarda lokalnog stanovništva i potiču urbanizaciju naselja u blizini hidroelektrane. Infrastrukturni razvoj je također značajan, jer izgradnja hidroelektrana često zahtijeva izgradnju ili poboljšanje cesta, mostova, i drugih poveznica. To može dalje potaknuti ekonomski razvoj i povećati mogućnosti zapošljavanja, te dovesti do promjene zanimanja i struktura lokalnog stanovništva prema industrijskim i uslužnim sektorima [14, 16].

U konačnici, hidroelektrane ne samo da pružaju ekološke i energetske koristi, već imaju i značajan doprinos gospodarskom rastu i razvoju lokalnih zajednica kroz razne sektore i infrastrukturne projekte [11].

Međutim, postoji i tamna strana hidroelektrana koja zahtijeva pažljivo upravljanje. Velike hidroelektrane često zahtijevaju izgradnju velikih rezervoara, što može dramatično promijeniti prirodne ekosustave i uzrokovati dislokaciju lokalnog stanovništva. Stvaranje rezervoara također može dovesti do emisije metana iz vode, što pridonosi klimatskim promjenama [16].

Ekološki aktivisti također upozoravaju na potencijalne štete na biološkoj raznolikosti, posebno kada su hidroelektrane smještene u područjima visoke biološke vrijednosti ili migracijskih ruta riba. Prema tome, gradnja hidroelektrana zahtijeva balansiranje između energetske potrebe i očuvanja prirodnih ekosustava [18].

U pogledu globalnih utjecaja, hidroelektrane su ključne u smanjenju globalnih emisija stakleničkih plinova. Prema podacima, hidroelektrane su odigrale ključnu ulogu u sprječavanju emisija stakleničkih plinova ekvivalentnih emisiji izgaranja 4,4 milijuna barela nafte dnevno diljem svijeta. Ovo čini hidroelektrane vitalnim alatom u globalnim naporima za borbu protiv klimatskih promjena [19].

Dok hidroelektrane nude brojne ekonomske i ekološke prednosti, njihova izgradnja i operacija zahtijevaju pažljivo planiranje i upravljanje kako bi se maksimizirale koristi uz minimalne negativne posljedice. Integritet prirodnih ekosustava mora biti ključni faktor u svim fazama razvoja hidroelektrana kako bi se osiguralo održivo korištenje ovog važnog izvora obnovljive energije u budućnosti. Energija koja dolazi iz hidroelektrana predstavlja ključni dio globalne transformacije prema čistoj i zelenoj energiji u borbi protiv globalnog zatopljenja. Prema procjenama Međunarodne agencije za energiju (IEA), hidroenergija će zadržati svoj status kao najveći izvor obnovljive energije i dalje će biti od vitalnog značaja za globalno energetske opskrbljivanje u godinama koje dolaze, posebno do 2024. godine [17]. Razlog tomu leži u nizu prednosti koje hidroelektrane nude u usporedbi s drugim oblicima obnovljive energije:

- Prvo, hidroelektrane su izuzetno efikasne u pretvaranju energije vode u električnu energiju, s visokim stupnjem učinkovitosti koji doseže između 85 % i 95 %. Ova visoka efikasnost čini ih atraktivnim izborom za stabilno i pouzdano opskrbljivanje električnom energijom, bez obzira na sezonske varijacije ili promjene u potražnji.
- Drugo, hidroelektrane pružaju fleksibilnost u upravljanju elektroenergetskim sustavima. Mogu brzo odgovoriti na promjene u potražnji električne energije, što je ključno za održavanje stabilnosti mreže i ravnoteže između ponude i potražnje. Ovo svojstvo čini ih idealnim za pružanje pomoćnih usluga poput regulacije frekvencije i stabilnosti napona.
- Treće, hidroelektrane imaju dugi vijek trajanja i nisku stopu emisije stakleničkih plinova tijekom operativnog razdoblja. One pomažu u smanjenju globalnih emisija, sprječavajući potrebu za fosilnim gorivima za proizvodnju električne energije. Osim toga, hidroelektrane igraju važnu ulogu u zaštiti vodnih resursa, kontroliranju poplava i promicanju održivog korištenja vodnih resursa za navodnjavanje i druge svrhe.
- Četvrto, hidroenergija je lokalni izvor energije, što pomaže u smanjenju ovisnosti o uvozu energije i osigurava energetske sigurnost država. To je osobito važno u kontekstu sve veće potrebe za diversifikacijom energetske izvora radi smanjenja ranjivosti i stabilizacije cijena energije [11].

U kontekstu globalnog prijelaza prema 100% čistoj energiji, hidroelektrane su ključni stup u energetske miksusu koji može poduprijeti ambiciozne klimatske ciljeve. Njihova prednost leži ne samo u ekološkoj održivosti već i u ekonomskoj isplativosti i socijalnim koristima koje pružaju zajednicama koje ih koriste. Hidroelektrane predstavljaju temelj energetske tranzicije prema održivijoj budućnosti. Njihova sposobnost da pruže stabilnost, učinkovitost i čistu energetske alternativu čini ih ključnim čimbenikom u ostvarenju globalnih ciljeva za smanjenje emisija stakleničkih plinova i ograničavanje globalnog zatopljenja [2,4].

4.2. Negativni učinci rada hidroelektrana

Različite vrste hidroelektrana imaju značajan utjecaj na okoliš, što je tema brojnih rasprava i istraživanja. Velike hidroelektrane često uzrokuju značajne promjene u ekosustavima i moguće su emisije metana, posebice zbog akumulacije vode. S druge strane, male hidroelektrane, iako manje emisije, mogu imati kumulativni utjecaj na riblje populacije i okolišne sustave, posebno na ihtiologiju i migracije riba. Izgradnja hidroelektrana zahvaća velike prostore, mijenja okoliš i stvara nova staništa na koja se flora i fauna moraju prilagoditi. To može dovesti do nestanka lokalnih staništa i stvaranja novih, što jasno pokazuje da je utjecaj na okoliš vrlo izražen tijekom procesa izgradnje i kasnijeg rada hidroenergetskih objekata. U pogledu operativnog rada, hidroelektrane imaju manji utjecaj na okoliš u usporedbi s termoelektranama zbog nultih emisija CO₂ i minimalnog stvaranja otpada. Međutim, potrebno je sustavno praćenje utjecaja nakon izgradnje kako bi se osiguralo da se negativni efekti na okoliš svedu na minimum. Upravljanje hidroelektranama često naglašava njihove pozitivne strane kao što su proizvodnja energije, zaštita od poplava, osiguravanje vodoopskrbe i poticanje turizma, dok se negativni aspekti kao što su promjene u hidrološkom režimu voda i staništima često zanemaruju [6]. Stoga, razumijevanje kompleksnog utjecaja hidroelektrana na okoliš zahtijeva integrirani pristup koji uzima u obzir sve faktore i interese zajednice kako bi se postigao održivi balans između energetske potreba i zaštite okoliša.

Hidroelektrična energija, iako tehnički čist izvor energije, nosi sa sobom niz ekoloških posljedica koje mogu značajno utjecati na okoliš i društvo. Ključne posljedice koje dolaze s razvojem hidroenergetskih sustava su:

1. **Oštećenje staništa divljih životinja i migracijskih putova:** izgradnja velikih akumulacijskih hidroelektrana često uključuje blokiranje, preusmjeravanje ili promjenu prirodnog toka rijeka. To može ozbiljno oštetiti staništa divljih životinja i poremetiti migracijske putove riba, što dovodi do smanjenja ribljih populacija i negativnih posljedica na riječne ekosustave. Brane smetaju kontinuitetu životnog prostora za ribe i druge vrste cijelom dužinom rijeka, sprječavajući njihovu migraciju i prirodne

izmjene dijelova toka, što negativno utječe na razmnožavanje tih vrsta. Iako neke brane imaju riblje staze ili prolaze za migraciju, one su često nefunkcionalne, pa ih ribe malo koriste. Još uvijek nije pronađeno pravo rješenje za ovaj problem. Brane značajno narušavaju riječnu ekologiju i biološku raznolikost, uz nepovratne posljedice. Riječni ekosustavi spadaju među najugroženije, što pokazuje i velik broj vrsta ovisnih o prirodnim, slobodno tekućim rijekama koje su na crvenoj listi ugroženih vrsta. Jedan od najvećih utjecaja hidroelektrana na prirodu je prekid riječnog kontinuiteta, koji stvara prepreke za kretanje životinja, prvenstveno riba. Migratorne vrste riba trebaju različita staništa u različitim fazama životnog ciklusa, a slobodno kretanje im je ključno [14].

Ako nije izgrađena riblja staza, ribe ne mogu migrirati uzvodno oko hidroelektrane (Slika 2). Bez alternativnog prolaza, ribe često moraju proći kroz turbine, gdje mnoge stradavaju, ozlijeđene su ili pod stresom. Osim ozljeda od dijelova turbina, ribe trpe i zbog promjena tlaka, kavitacije (isparavanje vode i stvaranje mjehurića zbog rotacije turbina), turbulencije i trenja zbog velike brzine vode. Riječne jединke mogu se ozlijediti na rešetki na ulazu u vodozahvat, osobito pod jakim pritiskom vode ili prilikom čišćenja rešetke. Ovi problemi značajno narušavaju ekologiju rijeka i biološku raznolikost, s nepovratnim posljedicama [20].



Slika 2. Prikaz riječne brane i riblje staze [29]

2. **Poremećaj riječnih sustava:** hidroelektrane mijenjaju prirodne tokove rijeka, što može promijeniti koncentraciju hranjivih tvari, temperaturu vode i općenito kvalitetu vode nizvodno od brane. Ovo direktno utječe na autohtone biljne vrste i ribe koje ovise o stabilnom ekosustavu rijeke. Kakvoća vode obično se ne mijenja pri protoku kroz turbine, no utjecaji ovise o načinu rada i vrsti hidroelektrane. Smanjeni protok može povećati osjetljivost vodotoka na onečišćenje. Biocidi i sredstva za sprječavanje obraštanja, korišteni za čišćenje postrojenja, mogu onečistiti vodu. Također, izljevanje ulja, koje se koristi za regulaciju turbine i zapornica, može negativno utjecati na kvalitetu vode. Promjene temperature vode u akumulacijama također su značajne, jer ljeti voda postaje hladnija, a zimi toplija nego u prirodnim uvjetima, što može utjecati na migracijske obrasce i životinjske vrste koje ovise o specifičnim temperaturnim uvjetima [7].
3. **Utjecaj klimatskih promjena:** promjene u hidrološkim ciklusima zbog klimatskih promjena mogu utjecati na kapacitet hidroelektrana da proizvode energiju. Nizak protok vode ili česte ekstremne vremenske prilike mogu ugroziti stabilnost hidroelektrične proizvodnje, kao što je nedavni primjer niskih razina jezera Powell.
4. **Sporovi oko prava na vodu:** izgradnja brana može dovesti do međunarodnih ili unutarnjih sporova oko prava na vodu, kao što je slučaj Velike etiopijske renesansne brane na rijeci Plavi Nil. Ovi sporovi često su povezani s količinom vode koja se otpušta nizvodno i može imati ozbiljne posljedice na poljoprivredu i ekosustave nizvodno.
5. **Visoki troškovi izgradnje:** izgradnja hidroelektrana, osobito velikih brana, zahtijeva znatne početne kapitalne investicije. Ovi visoki troškovi mogu biti financijski teret za države ili investitore te mogu imati dugoročne ekonomske implikacije [20].
6. **Upotreba velikog prostora:** hidroelektrane s branama i akumulacijama zauzimaju velika područja zemlje. To može ugroziti postojeće stanište, poljoprivredna zemljišta ili kulturne lokacije, što ima šire društvene i kulturne posljedice. Indirektni utjecaji izgradnje hidroenergetskih objekata obuhvaćaju širok spektar aktivnosti koje se odvijaju tijekom faze

planiranja, građenja i operativnog razdoblja. Građevinske aktivnosti kao što su izgradnja derivacijskih kanala, akumulacija, dovodnih tunela, tlačnih cjevovoda i brana imaju značajan utjecaj na okoliš. Ovakvi projekti u većini slučajeva zahtijevaju izgradnju dodatne infrastrukture kao što su prometnice i komunalnu infrastrukturu, što dalje implicira dodatne zahvate u prirodnom okolišu kao što su krčenje šuma ili preusmjeravanja vodotoka [23]. Energetski zahtjevi za radnu mehanizaciju, proizvodnju građevinskih materijala kao što je beton i metalne konstrukcije također doprinose indirektnim negativnim utjecajima. Proizvodnja ovih materijala zahtijeva eksploataciju prirodnih resursa poput mineralnih sirovina i vode, što može dovesti do iscrpljivanja resursa ili promjene lokalnog ekološkog balansa. Korištenje energenata kao što su fosilna goriva za napajanje građevinske mehanizacije i procesa proizvodnje također ima svoj ekološki trošak, uključujući emisije stakleničkih plinova i drugih zagađivača. Potrošnja vode za potrebe gradnje hidroenergetskih objekata također može imati značajan utjecaj na lokalni hidrološki ciklus i dostupnost vode za lokalne zajednice i ekosustave [11].

Ukupno gledano, izgradnja hidroenergetskih objekata ima niz indirektnih utjecaja na okoliš koji se protežu od potrošnje prirodnih resursa i energenata do promjena u lokalnom ekosustavu i hidrološkim uvjetima. Stoga je važno provoditi sveobuhvatan procjenu utjecaja na okoliš prilikom planiranja i izgradnje hidroenergetskih projekata kako bi se minimalizirali negativni efekti na prirodni okoliš i lokalne zajednice.

7. **Šteta za živi svijet u vodi:** blokade na rijekama mogu otežati pristup ribama njihovim mrijestilištima, što može imati kaskadne efekte na cijeli ekosustav rijeke. Ovo također može utjecati na lokalne zajednice koje ovise o ribarstvu kao izvoru hrane i prihoda.
8. **Društveni utjecaji:** izgradnja hidroelektrana može dovesti do raseljavanja lokalnih zajednica i kršenja ljudskih prava, posebno kada se izgrađuju u područjima koja su već naseljena ili su važna za lokalne kulture i tradicije [16].

9. **Utjecaj na zrak u okolini izgradnje hidroelektrane:** tijekom planiranja i izgradnje hidroelektrana, mehanizacija i aktivnosti koje uzrokuju raznošenje prašine imaju potencijalno najveći utjecaj na kvalitetu zraka na gradilištima. Ovaj utjecaj je koncentriran na područje samog gradilišta i može biti značajan, osobito tijekom aktivnih građevinskih faza. Direktni utjecaj na kvalitetu zraka na lokaciji gdje je smještena hidroelektrana može se smatrati zanemarivim, jer sam pogon hidroelektrane ne uključuje procese koji direktno emitiraju značajne količine zagađivača u zrak. No, važno je imati na umu da se za pogonsko gorivo za mehanizaciju i transport tijekom izgradnje često koriste fosilna goriva. Ovo povezivanje s fosilnim gorivima ukazuje na indirektni utjecaj hidroelektrana na iskorištavanje neobnovljivih resursa i emisije stakleničkih plinova koje nastaju prilikom proizvodnje i uporabe tih goriva. Pojedinačno gledano, emisije iz pojedinih vozila i mehanizacije mogu se činiti zanemarivima, ali kumulativno, tijekom dugog razdoblja izgradnje i uz veliku količinu aktivnosti, te emisije mogu imati značajan utjecaj na okoliš. Stoga je važno sveobuhvatno procijeniti i pratiti emisije tijekom izgradnje kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš, uključujući i kvalitetu zraka [22].

Dok hidroelektrane pružaju stabilan i čist izvor energije, važno je uzeti u obzir njihove potencijalne ekološke i društvene posljedice. Izgradnja hidroelektrana ima značajan utjecaj na okoliš koji se očituje na više razina. Direktni utjecaj hidroenergetskih objekata vidljiv je tijekom njihovog rada, koji uključuje proizvodnju električne energije te dodatne uloge poput obrane od poplava, osiguranja vodoopskrbe, navodnjavanja, športsko-rekreacijskih aktivnosti te ribarstva. Ovi objekti su važni za ekonomski razvoj, ali istovremeno mijenjaju hidromorfologiju vodenih tijela i utječu na okolni ekosustav. Jedan od najnepovoljnijih efekata izgradnje hidroelektrana je izmjena hidromorfologije vodenog tijela, što uključuje stvaranje novih sekundarnih staništa. Ovakve promjene mogu imati trajne posljedice na lokalnu floru i faunu te na kulturno-povijesne spomenike. Prostor koji zauzima akumulacija hidroelektrane ostaje trajno zauzet, često na račun šuma, pašnjaka ili obradivog zemljišta [16].

Pored fizičkih promjena u prostoru, izgradnja hidroelektrana utječe na hidrodinamiku vode u akumulacijama, što može utjecati na morfološke promjene korita rijeka nizvodno od brane. Promjene u razini podzemnih voda u zoni akumulacije također su česte, što može dalje utjecati na hidromorfologiju vodenog tijela. Ekološki utjecaji uključuju promjenu kvalitete vode zbog skupljanja nanosa i koncentracije organskog materijala, što može dovesti do starenja vode i promjene ekološke ravnoteže. Ovi procesi mogu značajno utjecati na biološku raznolikost i ekosustav vodenih tijela [9].

Utjecaj na društvenom i psihološkom planu manifestira se kroz probleme preseljenja stanovništva i sigurnosne mjere zaštite nizvodnih područja. Ovo je posebno izraženo u slučaju velikih brana koje mogu predstavljati rizik od poplava ili rušenja. Sve navedene promjene zahtijevaju sustavan monitoring kako bi se pratili utjecaji hidroelektrana na okoliš te kako bi se adekvatno upravljalo ovim infrastrukturnim projektima radi minimiziranja njihovih negativnih posljedica. Planiranje, upravljanje i praćenje hidroenergetskih projekata moraju uključivati sveobuhvatan pristup kako bi se minimizirali negativni utjecaji na okoliš i zajednice koje su pogođene [9, 11].

Kako bi se smanjili negativni utjecaji hidroelektrana na okoliš, poduzimaju se različite mjere:

1. Ekološke prolaze: izgradnja ribljih prolaza i stepenica kako bi se omogućila migracija riba.
2. Kontrola sedimentacije: redovito održavanje i uklanjanje sedimenta iz rezervoara.
3. Održivo upravljanje vodom: planiranje i upravljanje korištenjem vode kako bi se minimizirali negativni utjecaji na ekosustave.
4. Revitalizacija ekosustava: programi za obnovu prirodnih staništa i pošumljavanje potopljenih područja.
5. Seizmička istraživanja: provođenje detaljnih seizmičkih istraživanja prije izgradnje velikih brana [11].

4.3. Utjecaj drugih postrojenja na okoliš

Za razliku od prirodnih nepogoda koje se događaju same od sebe, za antropogeno zagađenje okoliša odgovorni su ljudi. Onečišćivači okoliša dijele se u pet osnovnih skupina: prirodni onečišćivači poput otpadnih voda, mineralni onečišćivači poput teških metala (živa, kadmij, olovo, cink), izgaranje goriva (ugljen, nafta, plin, biomasa), upotreba kemikalija i nuklearni otpad. Razvoj tehnologija u industriji proizvodnje električne energije povećava efikasnost proizvodnje, transporta i potrošnje energije, ali također dovodi do povećanja zagađenja okoliša. Područja s najvećim zagađenjem su ona s visokom koncentracijom industrijskih pogona i intenzivnim prometom [22].

- Elektrana na fosilna goriva: elektrane koje koriste fosilna goriva značajno zagađuju okoliš. Izgaranjem fosilnih goriva ispuštaju se zagađivači zraka poput dušikovih oksida, sumporovih dioksida, hlapljivih organskih spojeva i teških metala. Ove tvari stvaraju sumporne, ugljične i dušične kiseline koje uzrokuju kisele kiše, štetne za prirodu i građevine. Fosilna goriva također sadrže radioaktivne tvari poput uranija i torija, koje se ispuštaju u atmosferu; primjerice, 2000. godine u atmosferu je ispušteno oko 12.000 tona torija i 5.000 tona urana. Osim izgaranja, sječa, prerada i distribucija fosilnih goriva također štete okolišu. Bušenje nafte ugrožava vodenu floru i faunu, dok rafinerije zagađuju vodu i zrak. Prijevoz ugljena vlakovima i transport nafte tankerima dodatno povećavaju potrošnju fosilnih goriva i doprinose zagađenju [23].
- Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš: najveća opasnost od nuklearnih elektrana dolazi od radioaktivnog materijala nastalog nuklearnim reakcijama u reaktoru. Iako su nuklearne elektrane projektirane da spriječe ispuštanje radioaktivnog materijala, postoje druge ekološke prednosti i izazovi. Za razliku od fosilnih goriva, nuklearne elektrane ne ispuštaju štetne produkte sagorijevanja poput ugljičnog dioksida, dušičnih oksida i sumpornih dioksida [24].
- Utjecaj elektrana na biomasu na okoliš: elektrane na biomasu mogu značajno zagađivati okoliš, ovisno o vrsti korištene biomase. Bioenergija

dobivena iz biomase može se koristiti kao toplinska energija, biogorivo ili za proizvodnju električne energije, što je ekološki povoljnije od fosilnih goriva. Međutim, spaljivanje biomase stvara emisije u atmosferu te proizvodi kruti otpad, otpadne vode i maglicu od rashladnih tornjeva. Također, može doći do vizualnog utjecaja na okolinu [24].

- Utjecaj geotermalnih elektrana na okoliš: geotermalnu energiju je teško transportirati, pa se koristi lokalno za opskrbu toplinom i proizvodnju električne energije. Problemi nastaju zbog ispuštanja materijala i plinova iz dubine zemlje, koji mogu biti štetni. Najopasniji je vodikov sulfid, koji je vrlo korozivan i teško ga je pravilno odložiti. Također, povećava se učestalost potresa u regijama gdje se iskorištava geotermalna energija [24].
- Utjecaj vjetroelektrana na okoliš: vjetroelektrane ne zahtijevaju gorivo za proizvodnju energije i ne zagađuju zrak. Međutim, istraživanja su pokazala negativne utjecaje na ljudsko zdravlje, poljoprivredu i životinje. Vjetroturbine mogu stvarati poteškoće za pilote letjelica koje zaprašuju usjeve, a postoji i rizik od stradavanja ptica i šišmiša [23].
- Utjecaj solarnih elektrana na okoliš: tijekom izgradnje solarnih elektrana može doći do negativnog utjecaja na tlo zbog radova na uklanjanju vegetacije i kopanja temelja. Dugoročno, solarne elektrane mijenjaju vizualne značajke krajobraza i mogu uzrokovati gubitak staništa te uznemiravanje faune zbog prisutnosti ljudi i mehanizacije. Izgradnja također uzrokuje emisije prašine i ispušnih plinova, ponajviše tijekom građevinskih radova i transporta materijala [24].

Kada se uspoređuju različite vrste elektrana po njihovom utjecaju na okoliš, važno je razmotriti nekoliko ključnih čimbenika. Hidroelektrane se često smatraju ekološki prihvatljivima zbog nultih emisija CO₂ tijekom operativnog rada i relativno niskog utjecaja na okoliš u usporedbi s drugim izvorima energije. Međutim, izgradnja brana može značajno utjecati na lokalne ekosustave, uključujući promjene u vodostaju i migracijske puteve riba. Nuklearne elektrane također imaju nulte emisije CO₂ i visoku energetska učinkovitost, ali nose rizike od

ozbiljnih nesreća poput nuklearnih havarija te dugotrajnog upravljanja nuklearnim otpadom. Elektrane na biomasu koriste obnovljive izvore, ali mogu imati utjecaj na lokalnu ekologiju zbog emisija i konkurencije s poljoprivredom [25].

Geotermalne elektrane nude stabilan izvor energije s niskim emisijskim profilom, ali mogu utjecati na lokalnu geološku stabilnost. Vjetroelektrane su čiste i ne proizvode emisije CO₂, no mogu imati negativan utjecaj na ptice i šišmiše te izazvati vizualno zagađenje. Solarni elektrane također su čisti izvor energije, ali zahtijevaju velike površine i mogu utjecati na lokalnu flor i faunu. Odabir najbolje opcije za izgradnju elektrane ovisi o specifičnim uvjetima lokaliteta, energetske potrebe i ciljevima zaštite okoliša. Svaka vrsta elektrane ima svoje prednosti i nedostatke, pa je važno temeljito razmotriti sve aspekte pri donošenju odluke o najprikladnijem energetske izvoru [26].

4.4. Hidroelektrane u svijetu

Hidroelektrična energija je ključni dio globalnog portfelja obnovljivih izvora energije, čineći gotovo 60% svjetske zelene energije prema podacima Međunarodne energetske agencije (IEA) iz 2020. godine. Iako hidroenergija pruža stabilan izvor električne energije s relativno niskim emisijama CO₂ u usporedbi s fosilnim gorivima, postoji niz ekoloških i društvenih izazova povezanih s njezinim iskorištavanjem. Hidroelektrane su važan dio energetske portfelja zbog svoje pouzdanosti i relativne čistoće u usporedbi s fosilnim gorivima. Međutim, njihov utjecaj na okoliš i društvo zahtijeva pažljivo planiranje, upravljanje i modernizaciju kako bi se smanjile negativne posljedice. U kontekstu rastuće globalne potražnje za električnom energijom i potrebe za smanjenjem emisija stakleničkih plinova, hidroelektrane će i dalje igrati ključnu ulogu, ali uz naglasak na održivosti i zaštiti okoliša [25]. Postoji nekoliko velikih hidroelektrana u svijetu koje se ističu po svojoj snazi i kapacitetu [26]:

1. Tri brane (Three Gorges) - smještena na rijeci Yangtze u Kini, ova hidroelektrana je najveća na svijetu prema instaliranoj snazi. Duga je 2,335 metara, visoka 185 metara i ima kapacitet od 22.500 MW



Slika 3. Najveća hidroelektrana na svijetu: Tri klanca u Kini [30]

2. Itaipu - hidroelektrana se nalazi na rijeci Paraná između Brazila i Paragvaja. Itaipu je druga po veličini na svijetu s kapacitetom od 14.000 MW



Slika 4. Itaipu hidroelektrana [30]

3. Xiluodu - Također smještena na rijeci Yangtze u Kini, Xiluodu hidroelektrana ima kapacitet od 13.860 MW



Slika 5. Xiluodu hidroelektrana [30]

Belomonte (Belo Monte) - Ova hidroelektrana se nalazi na rijeci Xingu u Brazilu i ima kapacitet od oko 11.000 MW.



Slika 6. Belomonte hidroelektrana [30]

4. Guri - Guri hidroelektrana se nalazi na rijeci Caroni u Venezueli i ima kapacitet od 10.235 MW



Slika 7. Guru hidroelektrana [30]

Ove hidroelektrane ne samo da proizvode značajnu količinu električne energije, već često imaju i veliki utjecaj na okoliš i lokalne zajednice zbog izgradnje brana i promjena u vodnom ekosustavu [26].

4.5. Hidroelektrane Republike Hrvatske

U Republici Hrvatskoj postoje nekoliko značajnih hidroelektrana koje igraju ključnu ulogu u proizvodnji električne energije.



Slika 8. Hidroelektrane u Republici Hrvatskoj [31]

1. **HE Zakučac** - Nalazi se u donjem toku rijeke Cetine, blizu Omiša. Predstavlja najveću hidroelektranu na slivu rijeke Cetine s instaliranom snagom od 486 MW. Hidroelektrana Zakučac je impresivan energetska objekt smješten na ušću rijeke Cetine, blizu grada Omiša, u Splitsko-dalmatinskoj županiji. S instaliranom snagom od 576 MW, ona je najveća hidroelektrana u Hrvatskoj po instaliranoj snazi i mogućoj proizvodnji električne energije. Ova visokotlačna derivacijska hidroelektrana koristi vode sliva rijeke Cetine dinamički povezane s dvije akumulacije, Perućom i Buškim Blatom. Akumulacija Peruća služi za sezonsko vodno izravnaje protoka, dok Buško Blato omogućuje potpuno godišnje izravnaje. Osim proizvodnje električne energije, ova hidroelektrana ima kapacitet pokrivanja vršnog opterećenja elektroenergetskog sustava RH veći dio godine. Glavni dio hidroelektrane Zakučac čine četiri proizvodne jedinice opremljene turbinama tipa Francis. U prvoj fazi izgradnje (1961./1962. godine) ugrađene su dvije jedinice snage po 110,5 MW, dok su u drugoj fazi (1979./1980. godine) dodane dvije jedinice snage po 138,3 MW. Revitalizacija hidroelektrane odvijala se u razdoblju od 2012. do 2017. godine, tijekom koje su sve četiri proizvodne jedinice zamijenjene novim, tehnološki unaprijeđenim turbinama i generatorima. Nakon revitalizacije, ukupna instalirana snaga hidroelektrane Zakučac iznosi 576 MW (4x144 MW), s komercijalno raspoloživom snagom od 538 MW. Hidroelektrana osim proizvodnje električne energije pruža i pomoćne usluge elektroenergetskom sustavu kao što su automatska sekundarna regulacija, tercijarna regulacija i crni start. Također je sposobna za otočni rad. Osim glavnih proizvodnih jedinica, nizvodno od brane Prančevići, u blizini izlaza rijeke Cetine u Omišu, izgrađena je i mala hidroelektrana biološkog minimuma (MHE ABM Prančevići) snage 1,15 MW, koja je povezana na akumulaciju Prančevići tlačnim cjevovodom. Hidroelektrana Zakučac posjeduje certificirani Integrirani sustav upravljanja kvalitetom, okolišem, energijom te zaštitom zdravlja i sigurnosti sukladno normama ISO 9001:2015, 14001:2015, 50001:2018 i 45001:2018. Organizacijski, ona je vodeća hidroelektrana u grupi Glavnih hidroelektrana (GHE) te dio Proizvodnog područja Jug, čije upravljanje provodi Centar proizvodnje Dalmacije [21].



Slika 9. HE Zakušac [27]

2. **RHE Velebit** - Ova reverzibilna hidroelektrana smještena je na rijeci Zrmanji, 10 km uzvodno od Obrovca. Koristi vodne tokove s Gračačkog polja za proizvodnju električne energije, s kapacitetom koji varira ovisno o potrebama. Hidroelektrana Velebit je značajan hidroenergetski objekt smješten na donjem toku rijeke Zrmanje, blizu grada Obrovca, u Zadarskoj županiji. S reverzibilnim derivacijskim proizvodnim postrojenjem snage 276 MW u generatorskom i 240 MW u motornom režimu, ona predstavlja ključni element u elektroenergetskom sustavu Hrvatske. Hidroelektrana se sastoji od gornjih akumulacijskih jezera (Štikada i Opsenica), tunela, tlačnog cjevovoda, strojarnice te donjeg akumulacijskog jezera Razovac na rijeci Zrmanji. Branom Opsenica je formirana akumulacija zapremnine 2,7 hm³, koja vodu usmjerava prema akumulaciji Štikada zapremnine 13,65 hm³. Akumulacija Štikada prima vodu od rijeka Ričica i Krivak, dok se rijeka Otuča preusmjerava podzemnim kolektorom. Voda se zatim dovodi do turbina kroz tlačni tunel duljine 8.191 m i čelični tlačni cjevovod duljine 2.108 m. Izgradnja RHE Velebit započela je 1978. godine, a puštena je u pogon 1984. godine kao jedna od najvećih reverzibilnih hidroelektrana u Europi. Prošla je kroz revitalizaciju kako bi se modernizirala oprema i unaprijedile hidrotehničke karakteristike. Hidroelektrana ima certificirani Integrirani sustav upravljanja kvalitetom, okolišem, energijom te zaštitom zdravlja i sigurnosti prema normama ISO 9001:2015, 14001:2015, 50001:2018 i 45001:2018.

Organizacijski, RHE Velebit je dio Proizvodnog područja Jug, a upravljanje proizvodnjom provodi se kroz Centar proizvodnje Dalmacije [21].



Slika 10. RHE Velebit [27]

3. **HE Orlovac** - Ova hidroelektrana se nalazi na granici između Bosne i Hercegovine i Hrvatske. Koristi vodne resurse s Livanjskog polja i Buškog blata za proizvodnju energije, koristeći reverzibilne procese za optimizaciju iskorištenja vode. Hidroelektrana Orlovac je značajan energetska objekt smješten u Županiji Splitsko-dalmatinskoj, blizu rječice Rude u mjestu Ruda, Općina Otok. Svojom snagom od 237 MW i složenom integracijom s hidroenergetskim sustavom Buško blato, Orlovac igra ključnu ulogu u proizvodnji električne energije, upravljanju vodnim resursima i podržavanju elektroenergetskog sustava regije. HE Orlovac koristi vode sliva Livanjskog polja i propušta ih u sliv rijeke Cetine, nizvodno od akumulacije Peruća. Sustav je tehnički povezan s Crpnom stanicom Buško blato, koja upravlja vodama Buškog blata i služi za gospodarenje vodama, energetska proizvodnju te podršku sustavu na konstruktivnom padu od oko 380 m između Livanjskog i Sinjskog polja. Prosječna godišnja proizvodnja HE Orlovac iznosi 353.000 MWh, čime značajno doprinosi elektroenergetskom sustavu Hrvatske, posebice u vršnim potrebama i tercijarnoj regulaciji. HE Orlovac ne samo da proizvodi električnu energiju, već i pruža ključne hidrološke funkcije za zaštitu od

poplava, gospodarenje vodama te podršku poljoprivredi i drugim sektorima. Njezina integracija s Crpnom stanicom Buško blato dodatno optimizira upravljanje vodama i energetske učinkovitost na širem području. HE Orlovac predstavlja vitalnu komponentu infrastrukture Hrvatske, koja spaja ekonomsku učinkovitost s održivim korištenjem prirodnih resursa, što je ključno za dugoročnu energetske sigurnost i održivost regije [21].



Slika 11. HE Orlovac [27]

4. **HE Dubrava** - Višenamjenska protočno-derivacijska hidroelektrana na Dravi, koja igra važnu ulogu u zaštiti od poplava, poboljšanju odvodnje i proizvodnji električne energije. Hidroelektrana Dubrava je važan energetske objekt smješten u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske, na području Međimurske, Varaždinske i Koprivničko-križevačke županije, duž rijeke Drave. Svojom snagom od 79,78 MW i specifičnim funkcionalnostima, HE Dubrava igra ključnu ulogu ne samo u proizvodnji električne energije, već i u zaštiti okoliša, obrani od poplava te drugim hidrološkim funkcijama. HE Dubrava se prostire duž dionice rijeke Drave od riječnog kilometra 267 do riječnog kilometra 242. Glavni dijelovi hidroelektrane uključuju akumulacijsko jezero s obodnim nasipima, dovodni i odvodni kanal, pokretni i nasuti dio brane te strojarnicu. Prosječna godišnja

produkcija električne energije HE Dubrava iznosi 350 GWh, dok je rekordna maksimalna godišnja proizvodnja zabilježena 2014. godine s 544 GWh. Elektrana pruža tercijarnu regulaciju kao pomoćnu uslugu elektroenergetskom sustavu. Osim što je ključni proizvođač električne energije, HE Dubrava igra važnu ulogu u očuvanju okoliša, zaštiti od poplava te podršci poljoprivredi i drugim sektorima koji ovise o vodi. Njezina funkcionalnost doprinosi stabilnosti elektroenergetskog sustava i održivosti regije. HE Dubrava, kao dio mreže hidroelektrana na Dravi, predstavlja integrirani sustav koji spaja ekonomsku korist s ekološkom odgovornošću, čineći je vitalnim dijelom infrastrukture sjeverozapadne Hrvatske [21].



Slika 12. HE Dubrava [27]

5. **HE Dubrovnik** - Ova hidroelektrana se nalazi u dvije države (Hrvatska i Bosna i Hercegovina), koristeći vodu rijeke Trebišnjice iz akumulacijskog jezera Bileća. Ima instaliranu snagu od 216 MW i posebno je poznata po svojoj lokaciji, uključujući i strojarnicu smještenu duboko ispod zemlje. Hidroelektrana Dubrovnik je ključni energetska objekt smješten između Dubrovnika i Cavtata, u Dubrovačko-neretvanskoj županiji, te se proteže preko granice između Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Ova akumulacijska visokotlačna derivacijska hidroelektrana koristi vode sliva rijeke Trebišnjice i sastoji se od niza građevinskih

dijelova i tehnoloških sustava koji omogućuju proizvodnju električne energije, kao i pružanje pomoćnih usluga elektroenergetskim sustavima obje države. HE Dubrovnik je povezana s elektroenergetskim sustavom Republike Hrvatske putem kabela veze do transformatorske stanice Plat u duljini od 950 metara. Također, povezana je s elektroenergetskim sustavom Republike Bosne i Hercegovine putem dalekovodne veze do rasklopnog postrojenja Mokro polje u duljini od 12 kilometara. Organizacijski, HE Dubrovnik je samostalni pogon unutar Sektor za hidroelektrane, povezan s HE Zavrle koja se nalazi u blizini strojarnice. HE Dubrovnik igra ključnu ulogu u osiguravanju energetske stabilnosti i održivosti regije, pružajući stabilan izvor električne energije te važne pomoćne usluge elektroenergetskim sustavima obje države na čijem se teritoriju nalazi [21].



Slika 13. HE Dubrovnik [27]

6. **HE Varaždin:** Hidroelektrana Varaždin je važan energetska objekt smješten na rijeci Dravi, na području Varaždinske županije u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske. Ova hidroelektrana, koja je počela s radom 1975. godine, igra ključnu ulogu u proizvodnji električne energije, ali i u brojnim drugim funkcijama kao što su opskrba vodom, obrana od poplava, zaštita zemljišta od erozije, navodnjavanje, odvodnja i promet. HE Varaždin je protočna, niskotlačna i derivacijska hidroelektrana s akumulacijom. Njeno akumulacijsko jezero, čiji je

dio u Republici Sloveniji, ima površinu od 2,8 km² i kapacitet od 8 hm³ za dnevno uređenje protoka vode. Sastoji se od akumulacijskog jezera s obodnim nasipima i dovodnim kanalom, pokretnog i nasutog dijela brane, ulazne građevine, strojnarnice te odvodnog kanala. Glavna postrojenja hidroelektrane uključuju dva glavna agregata s Kaplan turbinama, svaki s raspoloživom snagom od 47 MW, te malu rekonstruiranu hidroelektranu (MHE) s Kaplan agregatom snage 0,635 MW. Ova mala hidroelektrana služi za ispuštanje biološkog minimuma nizvodno u staro korito rijeke. Ukupna instalirana snaga HE Varaždin iznosi 94,635 MW, s ukupnim instaliranim protokom od 450 m³/s (operativno 500 m³/s). Prosječna godišnja proizvodnja električne energije iznosi 450 GWh, dok je rekordna maksimalna proizvodnja zabilježena 2014. godine s 636 GWh, a minimalna 2003. godine s 370 GWh. HE Varaždin ima certificirani Integrirani sustav upravljanja kvalitetom, okolišem, energijom te zaštitom zdravlja i sigurnosti prema normama ISO 9001:2015, 14001:2015, 50001:2018 i 45001:2018. Također, pruža pomoćne usluge sustavu kao što su tercijarna regulacija, crni start i otočni pogon. Organizacijski, HE Varaždin pripada grupi Glavne elektrane Drava i dio je Proizvodnog područja Sjever, a upravljanje proizvodnjom provodi se kroz Centar proizvodnje Sjever [21].



Slika 14. HE Varaždin [27]

7. **HE Lešće:** Hidroelektrana Lešće je akumulacijsko pribransko postrojenje snage 42,29 MW na rijeci Donja Dobra u Karlovačkoj županiji. Izgrađena je

nizvodno od Ogulina, blizu mjesta Lešće i Generalskog Stola. Donja Dobra nastaje spajanjem Ogulinske Dobre i Zagorske Mrežnice koje regulira HE Gojak. HE Lešće koristi vodni potencijal rijeke Dobre, stvarajući akumulacijsko jezero iza HE Gojak. Elektrana je visoko automatizirana i upravlja se daljinski iz HE Gojak. Izgradnja je počela 2005., a puštena je u rad 2010. Ima dvije glavne proizvodne jedinice snage 20,6 MW svaka i agregat biološkog minimuma snage 1,09 MW. Proizvedena električna energija prenosi se preko 110 kV za glavne jedinice i 35 kV za ABM. Izgradnjom HE Lešće poboljšana je lokalna infrastruktura, što je unaprijedilo gospodarsku iskorištenost područja, posebno u uslužnim djelatnostima. Godišnja proizvodnja električne energije u razdoblju 2010-2016 iznosila je 102 GWh. Elektrana ima certificiran integrirani sustav upravljanja kvalitetom, okolišem, energijom te zaštitom zdravlja i sigurnosti prema normama ISO 9001:2015, 14001:2015, 50001:2018 i 45001:2018. HE Lešće je dio grupe Glavne elektrane Gojak, zajedno s HE Gojak i HE Ozalj 1 i 2, i spada u Proizvodno područje Zapad, s upravljanjem kroz Centar proizvodnje Zapad [21].



Slika 15. HE Lešće [27]

Svaka od ovih hidroelektrana ima svoje specifičnosti i važnu ulogu u energetsom sustavu Hrvatske, koristeći potencijal vodotoka za proizvodnju električne energije uz minimalan utjecaj na okoliš, u usporedbi s drugim oblicima proizvodnje energije poput fosilnih goriva [21].

5. ZAKLJUČAK

Zaključak ovog rada sugerira da hidroelektrane, iako predstavljaju značajan izvor obnovljive energije, dolaze s nizom ekoloških i društvenih izazova. Hidroelektrane su visoko efikasne u proizvodnji električne energije i doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova, što ih čini ključnim igračem u globalnom energetsom miksu. Elektrane pružaju pouzdanu i stabilnu opskrbu energijom, imaju nizak ekološki otisak u smislu emisije CO₂, SO₂, NO_x, i stvaranja otpada, te nude brojne ekonomske koristi, uključujući poticanje razvoja lokalne infrastrukture i turizma.

Međutim, njihov utjecaj na okoliš i društvo ne može se zanemariti. Velike hidroelektrane mogu značajno promijeniti prirodne ekosustave stvaranjem velikih rezervoara koji mijenjaju hidrološki režim rijeka, uzrokujući promjene u kvaliteti vode i gubitak staništa za mnoge vrste. Ove promjene mogu ometati migraciju riba, uzrokovati smanjenje biološke raznolikosti i imati dugoročne posljedice za ekosustave. Također, izgradnja velikih brana često uključuje visoke kapitalne troškove i može uzrokovati socioekonomske probleme poput dislokacije lokalnih zajednica.

S druge strane, manje hidroelektrane, iako manjih razmjera, također mogu imati kumulativne negativne utjecaje na okoliš, kao što su promjene u ribljim populacijama i lokalnim ekosustavima. Stoga, iako male hidroelektrane nude manje utjecaja na okoliš u usporedbi s velikim sustavima, važno je pažljivo razmotriti njihove ekološke posljedice i primijeniti mjere za minimiziranje negativnih efekata.

Integrirani pristup u planiranju, dizajnu i upravljanju hidroelektranama ključan je za osiguranje održivosti. Tehnološki napredak i inovacije, poput održivih hidroelektrana i strožih regulativa, mogu pomoći u minimiziranju negativnih utjecaja. Praćenje i evaluacija utjecaja na okoliš te uključivanje lokalnih zajednica i stručnjaka u donošenje odluka također su važni za postizanje ravnoteže između energetske proizvodnje i zaštite okoliša.

U konačnici, hidroelektrane imaju potencijal da značajno doprinesu globalnoj energetske sigurnosti i održivosti, ali samo ako se razvijaju i upravljaju uz punu svijest o njihovim ekološkim i društvenim posljedicama. Održivo korištenje ovog važnog izvora energije bit će ključno za ostvarenje ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova i očuvanja prirodnih ekosustava u budućnosti.

6. LITERATURA

- [1] Režek D.: „*Hidroelektrane na Dravi*”, Građevinar, 55 (2003.) 11, 647-653.
- [2] Markovinović, B.: „*Utjecaj hidroelektrana na okoliš*”, završni rad, Sveučilište u Rijeci, 2019.
- [3] Józsa L.: „*Energetski procesi i elektrane*”, interna skripta, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.
- [4] Pandžić H., Rajšl I., Capuder T., Kuzle I.: „*Obnovljivi izvori energije*”, priručnik, Slavonski brod, 2016.
- [5] Nadilo B.: „*Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce*”, Građevinar, 54 (2002.), 4, 244-245.
- [6] Markovčić B., Prpić I., Plic F., Busatto A.: „*Razvoj elektrifikacije Hrvatske I dio*”, Institut za elektroprivredu, Zagreb (1984.)
- [7] de Araujo J. L., Rosa L. P., da Silva N. F.: „*Hydroelectricity: Future Potential and Barriers*”, Generating electricity in a carbon-constrained world, (2009.), 323.
- [8] Požar H.: „*Osnove energetike*”, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Školska knjiga, Zagreb, (1987.)
- [9] Sever Z.: „*Hidroelektrane u Hrvatskoj*”, Elektroprojekt, Zagreb, 2000.
- [10] Rajković D.: „*Proizvodnja i pretvorba energije*”, skripta, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011.
- [11] Papišta, A.: „*Utjecaj hidroelektrana na okoliš*”, završni rad, Istarsko veleučilište, 2019.
- [12] Energetska statistika u 2022., Energetski institut "Hrvoje Požar". Statistički podatci proizvedene i utrošene energije u Republici Hrvatskoj., Zagreb, 2023., ISSN 1334 – 5834, dostupno na https://podaci.dzs.hr/media/2ngi45d0/si-1717_energetska-statistika-u-2022.pdf, pristupljeno 03.06.2024.

- [13] HEP – Hidroelektrane, dostupno na <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528>, pristupljeno 03.06.2024.
- [14] Stojić P.: „*Hidroenergetika, Energetsko iskorištavanje vodnih resursa*”, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Split (1995.), ISBN 953-6116-03-0
- [15] Maričević S.: „*Određivanje osnovnih komponenti za izgradnju male hidroelektrane*”, diplomski rad, Građevinski fakultet Osijek, 2017.
- [16] Jašaragić-Rako, T.: „*Utjecaj izgradnje hidroelektrana i brana na okoliš*”, diplomski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2013.
- [17] Dostignuća hidroelektrana, dostupno na <http://www.waterencyclopedia.com/Ge-Hy/Hydroelectric-Power.html>, pristupljeno 03.06.2024.
- [18] Čižmešija G.: „*Nedostaci hidroelektrana predočeni na primjeru HE Dubrava*”, 2012.
- [19] Feretić D. i sur.: „*Elektrane i okoliš*”, Element, Zagreb, (2000.), ISBN 978-953-197-127-0
- [20] IPA program za Republiku Hrvatsku. Twinning Light projekt EU HR/2011/IB/EN/02 TWL. Jačanje stručnih znanja i tehničkih kapaciteta svih relevantnih ustanova za Ocjenu prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu. , dostupno na <https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/publications/2017-12/STRUCNE%20SMJERNICE%20-%20MALE%20HIDROELEKTRANE.pdf>, pristupljeno 03.06.2024.
- [21] HEP – Proizvodnja d.o.o. Hidroelektrane Republike Hrvatske. dostupno na <https://www.hep.hr/proizvodnja/elektrane/hidroelektrane-1528/he-varazdin/1532>, pristupljeno 03.06.2024.
- [22] Udovičić B.: „*Čovjek i okoliš*”, Kigen, Zagreb, (2009.), str. 99-100, ISBN 978-953-6970-89-6

- [23] Udovčić B.: „*Neodrživost održivog razvoja*“, Kigen, Zagreb, 2004., ISBN 913-6970-10- 4
- [24] Filip R.: „*Utjecaj elektrana na okoliš*“, završni rad, Veleučilište u Karlovcu, 2024.
- [25] Sito S.: „*Utjecaj hidroelektrana na okoliš*“, završni rad, Veleučilište u Šibeniku, 2018.
- [26] Potočnik V.: „*Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj*“, Zagreb: Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog planiranja Republike Hrvatske, Zagreb, (2002.), ISBN 953-6793-17-2
- [27] HE Zakušac; RHE Velebit; HE Orlovac; HE Dubrava; HE Dubrovnik; HE Varaždin; HE Lešće, dostupno na https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrane_u_Hrvatskoj, pristupljeno 03.06.2024.
- [28] Dijelovi hidroelektrane, dostupno na <https://core.ac.uk/download/pdf/80293312.pdf>, pristupljeno 03.06.2024.
- [29] Prikaz riječne brane i riblje staze, dostupno na <https://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/publications/2017-12/STRUCNE%20SMJERNICE%20-%20MALE%20HIDROELEKTRANE.pdf>, pristupljeno 03.06.2024.
- [30] Najveća hidroelektrana na svijetu: Tri klanca u Kini; Itaipu hidroelektrana; Xiluodu hidroelektrana; Belomonte hidroelektrana; Guru hidroelektrana, dostupno na <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana#>, pristupljeno 03.06.2024.
- [31] Hidroelektrane u Republici Hrvatskoj, dostupno na <https://www.poslovni.hr/hrvatska/hep-u-investicijskom-ciklusu-vrijednom-36-milijardi-kuna-284273>, pristupljeno 03.06.2024.

7. PRILOZI

7.1. Popis slika

Slika 1. Dijelovi hidroelektrane [28]	9
Slika 2. Prikaz riječne brane i riblje staze [29]	21
Slika 3. Najveća hidroelektrana na svijetu: Tri klanca u Kini [30]	29
Slika 4. Itaipu hidroelektrana [30]	29
Slika 5. Xiluodu hidroelektrana [30]	30
Slika 6. Belomonte hidroelektrana [30]	30
Slika 7. Guru hidroelektrana [30]	31
Slika 8. Hidroelektrane u Republici Hrvatskoj [31]	31
Slika 9. HE Zakušac [27]	33
Slika 10. RHE Velebit [27]	34
Slika 11. HE Orlovac [27]	35
Slika 12. HE Dubrava [27]	36
Slika 13. HE Dubrovnik [27]	37
Slika 14. HE Varaždin [27]	38
Slika 15. HE Lešće [27]	39

7.2. Popis tablica

Tablica 1. Proizvedena električna energija za razdoblje 2023. i prvu polovinu 2024. godine [12]	12
Tablica 2. Utjecaj rada hidroelektrana – pozitivne i negativne karakteristike	15

7.3. Popis simbola

MW – Megavat
kW – kilovat
M – metar
HE – hidroelektrane
GHE – glavne hidroelektrane
W – vat
P – gustoća vode
kg/m³ – kilograma po metru kubnom
g – ubrzanje sile teže
m/s² – metara u sekundi na kvadrat
Q – srednja vrijednost protoka vode
m³/s – kubnih metara u sekundi
H_b - visina vode (bruto)
HEP – Hrvatska elektroprivreda
CHP – Combined Heat and Power
IEA – Međunarodne energetske agencije