

Utjecaj hidroelektrana na okoliš

Papišta, Alen

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:872873>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown

**ISTARSKO VELEUČILIŠTE
UNIVERSITÀ ISTRIANA
DI SCIENZE APPLICATE**

ALEN PAPIŠTA

UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

ZAVRŠNI RAD

PULA, 2019.

**ISTARSKO VELEUČILIŠTE
UNIVERSITÀ ISTRIANA
DI SCIENZE APPLICATE
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ POLITEHNIKE**

**UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ
ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Energijske tehnologije

Profesorica: mr.sc. Marijana Živić Đurović v.pred.

Student: Alen Papišta

Matični br.: 0062003727

Pula, kolovoz, 2019

SAŽETAK

Hidroenergija je energija dobivena iz gravitacijske potencijalne i kinetičke energije tekuće vodene mase koja se zatim koristi u različite svrhe. Hidroenergija predstavlja najznačajniji obnovljivi izvor energije koji je ujedno i ekonomski konkurentan fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji. Hidroelektrane su energetska postrojenja u kojima se hidroenergetski potencijal pretvara u električnu energiju. Učinak hidroelektrana na okoliš drastično je manji od utjecaja tradicionalnih izvora energije. Proizvodnjom električne energije iz hidroelektrana umjesto iz ugljena se u 2017. godini spriječilo oko četiri milijarde tona stakleničkih plinova i izbjegao 10% -tni porast globalnih emisija iz fosilnih goriva i industrije. Također se izbjeglo emitiranje 148 milijuna tona čestica koje zagađuju zrak, 62 milijuna tona sumpornog dioksida i osam milijuna tona dušičnog oksida. Svaka metoda proizvodnje električne energije ima prednosti i nedostatke, kao i značajno različite učinke na okoliš. Hidroelektrane imaju veliki potencijal zbog mogućnosti proizvodnje električne energije s najmanjim utjecajem na okoliš. Kako bi se utvrdilo koje su prednosti i nedostaci izgradnje nekog postrojenja, energetska učinkovitost, utjecaj na okoliš i razina emitiranja stakleničkih plinova, važno je uzeti u obzir cijeli „životni ciklus“ projekta; istraživanje, planiranje, izgradnja, proizvodni pogon, održavanje, obnova i na kraju raspad.

Ključne riječi: hidroenergija, hidroelektrane, utjecaj na okoliš

SUMMARY

Hydropower is energy obtained from the gravitational potential energy and kinetic energy of liquid water mass, which is then used for various purposes. Hydropower is the most significant renewable energy source that is also economically competitive with fossil fuels and nuclear energy. Hydroelectric power plants are energy plants where the hydroelectric potential is converted into electricity. The environmental impact of hydroelectric power plants is drastically less than that of traditional energy sources. By generating electricity from hydropower instead of coal, in 2017 the world prevented approximately four billion tonnes of greenhouse gases and avoided a 10% rise in global emissions from fossil fuels and industry. It also avoided 148 million tonnes of air polluting particulates, 62 million tonnes of sulphur dioxide, and eight million tonnes of nitrogen oxide from being emitted. Each method of electricity production has advantages and disadvantages, as well as significantly different environmental effects. Hydroelectric power plants have great potential because of the possibility of producing electricity with the least environmental impact. In order to determine the advantages and disadvantages of building a plant, energy efficiency, environmental impact and the level of greenhouse gas emissions, it is important to take into account the whole "life cycle" of the project; exploration, planning, construction, manufacturing facility, maintenance, renovation and eventually decay.

Key words: hydropower, hydroelectric power plants, environmental impact

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Opis i definicija problema.....	1
1.2. Cilj i svrha rada.....	1
1.3. Hipoteza rada.....	1
1.4. Metodologija.....	1
1.5. Struktura rada.....	2
2. HIDROENERGIJA I RAZVOJ HIDROELEKTRANA.....	3
2.1. Hidroenergetski potencijal.....	6
2.2. Razvoj hidroelektrana.....	7
2.3. Razvoj hidroelektrana u Hrvatskoj.....	8
3. HIDROELEKTRANE.....	10
3.1. Brane ili pregrade.....	11
3.2. Zahvat.....	13
3.3. Dovod vode.....	13
3.4. Vodostan ili vodna komora.....	13
3.5. Tlačni cjevovod.....	14
3.6. Turbina i vrste turbina.....	15
3.7. Generator.....	18
3.8. Rasklopno postrojenje.....	19
3.9. Odvod vode.....	19
4. IZGRADNJA I PODJELA HIDROELEKTRANA.....	20
4.1. Podjela hidroelektrana.....	21
4.2. Podjela hidroelektrana prema načinu korištenja vode.....	23
4.2.1. Protočne hidroelektrane.....	23
4.2.2. Akumulacijske hidroelektrane.....	24
4.2.3. Reverzibilne hidroelektrane.....	24

4.3. Ostale hidroelektrane	25
4.3.1 Hidroelektrane na plimu i oseku	25
4.3.2. Hidroelektrane na valove	26
5. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ	28
5.1. Izvori onečišćenja okoliša	28
5.2. Prednosti hidroelektrana.....	35
5.3. Nedostaci hidroelektrana.....	40
6. NAJVEĆE HIDROELEKTRANE SVIJETA I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ	44
6.1. Hidroelektrana Tri klanca	44
6.2. Hidroelektrana Itaipu	48
6.3. Hidroelektrana Hoover Dam	50
7. UTJECAJ HIDROELEKTRANE LEŠĆE NA OKOLIŠ	52
7.1. HEP i zaštita okoliša	54
7.1.1. Zaštita zraka i atmosfere	55
7.1.2. Zaštita i korištenje voda	56
7.1.3. Gospodarenjem otpadom	58
7.1.4. Gospodarenje kemikalijama.....	58
7.1.5. Zaštita biološke raznolikosti	58
8. ZAKLJUČAK	60
LITERATURA	61
POPIS SLIKA I TABLICA	65

1. UVOD

1.1. Opis i definicija problema

Energija ima ključnu ulogu u razvoju i standardu pojedine države. Sve većim napretkom i industrijalizacijom značajno raste i potražnja za energijom. Neobnovljivi izvori energije poput ugljena, nafte i nuklearne energije ugrožavaju okoliš te se stoga sve više iskorištavaju obnovljivi izvori energije koji nisu štetni za okoliš. Hidroenergija predstavlja najznačajniji obnovljivi izvor energije, a ujedno i ekonomski konkurentan fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji.

1.2. Cilj i svrha rada

Cilj ovog rada je definirati pojam hidroelektrana, njihov razvoj, osnovne dijelove i funkciju u iskorištavanju hidroenergetskog potencijala. Svrha rada je prikazati utjecaj hidroelektrana na okoliš te istaknuti prednosti i nedostatke takvog načina dobivanja električne energije.

1.3. Hipoteza rada

Hidroelektrane imaju veliki potencijal zbog mogućnosti proizvodnje električne energije s najmanjim utjecajem na okoliš.

1.4. Metodologija

Metodologija izrade ovog rada temelji se na proučavanju, kompilaciji, sintezi i dedukciji stručne literature. Završni rad je rezultat prikupljanja različitih podataka i informacija o hidroenergiji, hidroelektranama i njihovom utjecaju na okoliš.

1.5. Struktura rada

Ovaj završni rad se sastoji od 8 cjelina. U uvodu se iznosi problem i definicija problema, cilj i svrha rada, hipoteza te metodologija i struktura rada. Druga cjelina opisuje hidroenergiju i razvoj hidroelektrana. Treća cjelina prikazuje hidroelektranu kao postrojenje s njenim osnovnim funkcionalnim dijelovima. Četvrta cjelina obrađuje podjelu hidroelektrana prema vrsti. Peta cjelina prikazuje utjecaj hidroelektrana na okoliš te prednosti i nedostatke hidroelektrana. Šesta cjelina donosi pregled na najveće hidroelektrane u svijetu i njihov utjecaj na okoliš. Sedma cjelina prikazuje hidroelektranu Lešće, njen utjecaj na okoliš te provođenje zaštite okoliša od strane HEP-a. Osma cjelina je zaključak u kojem su prikazane i objedinjene ključne misli i dan je osvrt na hipotezu rada.

2. HIDROENERGIJA I RAZVOJ HIDROELEKTRANA

Energija je sposobnost tijela da obavi rad. Pojavljuje se u različitim oblicima, odnosno s različitim kemijskim i fizikalnim svojstvima. Osnovni oblici energije u prirodu jesu potencijalna, kinetička, električna, kemijska, toplinska i nuklearna energija. Izvori energije ili energenti mogu se podijeliti na neobnovljive ili ograničene izvore i obnovljive ili neograničene.

¹

U neobnovljive izvore energije ubrajaju se fosilna (nafta, ugljen i zemni plin) i nuklearna goriva (uran i torij). Količina tih goriva na Zemlji je ograničena i stoljećima se sve više iskorištava. Osim toga, neobnovljivi izvori energije zagađuju okoliš svojih otpadcima, odnosno otrovnim plinova pri gorenju, kao što je to ugljični dioksid koji najviše uzrokuje efekt staklenika i brojne klimatske promjene. Korištenje nuklearnog goriva u nuklearnim elektranama ispušta se radioaktivni materijal u okoliš. Zbog tih i drugih razloga sve se više prelazi na obnovljive izvore. Obnovljivi izvori energije su voda, biomasa, vjetar, solarna i geotermalna energija. ²

Obnovljivi, odnosno prirodni izvori energije su oni izvori energije koji se u prirodi stalno nadomještaju. Glavni predstavnici su Sunce, vjetar, voda, biomasa i toplina Zemljine kore, a iskorištavaju se u svrhu stvaranja električne struje, topline i goriva. Dije se u dvije glavne kategorije. Biomasa i energija vode (hidroenergija) čine skupinu tradicionalnih obnovljivih izvora energije, dok energija vjetra, solarna i geotermalna energija čine tzv. „nove obnovljive izvore energije”. ³

¹ Singh V. K, Singal S. K., Operation of hydro power plants – a review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017., 69; str. 610

² Šljivac D, Šimić Z., Obnovljivi izvori energije s osvrtom na štednju, ETF, Osijek, 2007.

³ Potočnik V., Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb, 2002.

Korištenje obnovljivih izvora energije važno je zbog nekoliko razloga: ⁴

- imaju vrlo važnu ulogu u smanjenju emisije ugljičnog dioksida u atmosferi i zagađenja okoliša,
- povećanje udjela iskoristivosti obnovljivih izvora energije povećava energetske održivost sustava za pretvorbu energije,
- povećava sigurnost dostave energije potrošačima,
- smanjuje ovisnost o uvozu energetskih sirovina i električne energije obnovljivi izvori energije postaju ekonomski konkurentni konvencionalnim izvorima energije.

Energija predstavlja jednu od ključnih uloga u razvoju i standardu pojedine države. Zbog brzog porasta stanovništva i sve veće industrijalizacije, potražnja za energijom, kao i izvorima energije, značajno raste te se tako i troše zalihe konvencionalnih, neobnovljivih izvora energije poput ugljena, nafte i nuklearne energije. No, takvi izvori energije značajno ugrožavaju okolišnu atmosferu te se stoga sve više iskorištavaju obnovljivi izvori energije koji nisu štetni za okoliš. Od svih obnovljivih izvora energije, hidroenergija predstavlja čist, učinkovit i jednostavan izvor energije. ⁵

Hidroelektrična energija, kasnije nazvana hidroenergija, je obnovljiv izvor energije gdje je kinetička energija dobivena pretvorbom iz potencijalne energije koju voda proizvodi krećući se od viših prema nižim nadmorskim visinama. ⁶ Hidroenergija označava energiju dobivenu iz gravitacijske potencijalne i kinetičke energije tekuće vodene mase koja se zatim koristi u različite svrhe. ⁷

Hidroenergija predstavlja najznačajniji obnovljivi izvor energije, a ujedno i jedini koji je ekonomski konkurentan fosilnim gorivima i nuklearnoj energiji. Definirana je i kao jedan oblik solarne energije jer Sunce pokreće cikluse kruženja vode na Zemlji, ali predstavlja i jedan oblik gravitacijske energije Mjeseca i Sunca (plima i oseka).

⁴ Potočnik V. Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj. Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja: Zagreb; 2002.

⁵ Singh V. K, Singal S. K. Operation of hydro power plants – a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017: 69; str. 610

⁶ Killington A., Hydroelectric Power, The future of energy, Chapter 21, Elsevier, 2014., str. 453

⁷ Požar H., Osnove energetike, Školska knjiga, Zagreb, 1987.

Naime, Sunčeva energija koja dopire do površine Zemlje izaziva isparavanje vode na površinama oceana, jezera i rijeka te na površini tla iz biljaka. Voda koja ispari zatim se podiže u obliku vodene pare od koje se u visinama formiraju oblaci. Kondenzacijom se ta voda u obliku oborina vraća na tlo te se time razina vode na tlu podigne u odnosu na morsku razinu (Slika 1). Time voda dobiva energiju zbog svog položaja (potencijalna) i energiju zbog kretanja (kinetička).⁸

Slika 1. Kruženje vode u prirodi



Izvor: <https://vodaizvorzivota.weebly.com/kru381enje-vode-u-prirodi.html>

Energija položaja vode je početni oblik energije vode u prirodi koji se može iskoristiti u tehničkim pretvorbenim sustavima, odnosno hidroelektranama. Snaga koja se dobije ovisi o volumnom protoku vode kroz turbinu i visini njenog vertikalnog pada. Što je veći protok i što je viši pad, to će proizvodnja energije biti veća.⁹

Zadnjih trideset godina proizvodnja u hidroelektranama je utrostručena, a njen udio u iskorištavanju povećan je za 50%. Proizvodnja energije u hidroelektranama brzo se povećava iz više razloga:¹⁰

- nema troškova goriva pod uvjetom da ima dovoljno vode,
- energija dobivena iz vode je čista i nema otpada,

⁸ Udovičić B., Energija i izvori energije, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.

⁹ Pandey B, Karki A., Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017., str. 15

¹⁰ Sever Z. i dr., Hidroelektrane u Hrvatskoj, Elektroprojekt, Zagreb, 2000.

- moderne hidroelektrane i do 90% energije vode mogu pretvoriti u električnu energiju
- hidroelektrane se koriste za pokrivanje naglih povećanja potrošnje energije
- umjetna jezera nastala izgradnjom hidroelektrana doprinose lokalnoj ekonomiji i omogućavaju navodnjavanje, vodoopskrbu, turizam i rekreaciju mjesta u kojem se nalaze

Hydroenergija ipak značajno zaostaje u proizvodnji s obzirom na nuklearne elektrane i termoelektrane. Razlog tome je činjenica da iskorištavanje energije vode uvjetuju tehnička i prirodna ograničenja. Glavno ograničenje je postojanje obilnog izvora vode kroz cijelu godinu jer je skladištenje električne energije skupo i štetno za okoliš. Potrebno je izgraditi brane i akumulacijska jezera na lokacijama gdje su moguće oscilacije vodostaja rijeke kako bi se tok vode bolje iskorištavao. Izgradnja često zahtijeva potapanje velikih dijelova dolina, ponekad i cijelih naselja, pa se na taj način povećava cijena izgradnje i javlja se problem podizanja razine podzemnih voda koja utječe na biljni i životinjski svijet. Dolazi i do promjena odnosa sedimentacije i erozije unutar riječnog korita. Veliku opasnost za okoliš mogu predstavljati i potresi pa je u nekim zonama potrebna dodatna protupotresna zaštita.¹¹

2.1. Hidroenergetski potencijal

U hidroelektranama, potencijalna energija dospjele vode do svoje visine iznad turbine prvo se pretvara u kinetičku energiju, a zatim u električnu.¹² Snaga koju voda sadrži naziva se bruto snaga P [W] i jednaka je:

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

gdje je:¹³

- ρ - gustoća vode [kg/m^3], iznosi $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$,
- g - ubrzanje sile teže [m/s^2], $9,80665 \text{ m}/\text{s}^2$,
- Q - srednja vrijednost protoka [m^3/s],
- H_b - gornja visina vode (bruto) [m].

¹¹ Rajković D., Proizvodnja i pretvorba energije, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 2011.

¹² Brian F. Towler, The Future of Energy, Chapter 10, 2014., str. 215

¹³ Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017., str. 16

2.2. Razvoj hidroelektrana

Od početka razvoja civilizacije, hidroenergija je bila važan izvor energije za čovječanstvo. Najranija zabilježena primjena vode kao izvora energije datira iz doba Grka i Rimljana koji su snagu vode iskorištavali kao gorivo za mlinove za prerađu brašna. Smješteni su bili u blizini velikih rijeka koje su koristili i za prerađu žitarica i navodnjavanje.¹⁴

Najstariji mlinovi sastojali su se od vertikalnog kotača postavljenog na horizontalnu osovinu sa zupčanicima za prijenos kretanja vode na vertikalnu os. Takvi vodeni kotači preteča su današnjih modernih turbina koje se koriste za pretvorbu potencijalne energije vode u kinetičku energiju koja zatim pokreće turbine za proizvodnju električne energije. Prvi put u ljudskoj povijesti, vodeni kotači pružili su mogućnost korištenja neživog izvora energije za mehanizirane poljoprivredne poslove. Korištenjem malih i srednjih mlinova za mljevenje žitarica posao bi se obavio 10 puta brže i s 30 do 60 radnika manje, nego što bi se obavio tradicionalnom ručnom obradom.¹⁵

Korištenje mlinova proširilo se i van granica Rimskog Carstva. Prvi mlinovi pronađeni su u Iraku, Saudijskoj Arabiji i Iranu između 3. i 8. stoljeća, a spominju se i putnici iz Rimskog Carstva koji su gradili mlinove i kupališta u Indiji oko 325 godine te je počelo masovno iskorištavanje vode kao jednog od glavnih izvora energije diljem svijeta. Do 11. stoljeća, izgradnja mlinova širila se od sjeverne Afrike preko Bliskog Istoka do srednje Azije.¹⁶ Uz izum parnog stroja u 18. stoljeću, hidroenergija je također odigrala važnu ulogu u jačanju industrijske revolucije, odnosno korištenje parnog stroja i hidroenergije doprinijelo je razvoju tekstilne, kožne i strojarske industrije početkom 19. stoljeća. Iako je tada parni stroj bio u potpunosti razvijen i u upotrebi, voda je bila važan izvor energije jer je ugljen bio slabo dostupan, a drvo je često bilo nedovoljno kao gorivo.

¹⁴ De Araujo L, Rosa L. P, Da Silva N. F. Hydroelectricity: Future Potential and Barriers. Elsevier: 2010., str. 32

¹⁵ Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017., str. 1

¹⁶ Ibidem, str. 5

Nakon industrijske revolucije, dostupnost hidroenergije postala je glavna odrednica u razvoju ranih industrijskih gradova u Europi i Sjedinjenim Američkim Državama. Kasnije se razvoj industrijskih gradova premješta uz kanale za transport ugljena.¹⁷ Prvo korištenje hidroenergije za proizvodnju električne struje zabilježeno je u Engleskoj 1870. godine. Do 1986. godine izgrađeno je 45 hidroelektrana diljem Amerike. U Norveškoj je prva hidroelektrana izgrađena 1885. godine te do kraja stoljeća, država broji 14 hidroelektrana za proizvodnju električne energije. Prema podacima iz 2010. godine, energija vode iskorištava se u 159 zemalja svijeta, što čini 16% ukupnog udjela u proizvodnji električne energije u svijetu i 85% od svih obnovljivih izvora za proizvodnju električne energije.¹⁸

2.3. Razvoj hidroelektrana u Hrvatskoj

Razvoj hidroenergetske potrošnje u proizvodnji električne energije u Republici Hrvatskoj počinje 1895. godine kada se grade prve dvije elektrane na Skradinskom buku na rijeci Krki. Zatim slijede HE Jaruga, HE Miljacka, HE Ozalj na rijeci Kupi i HE Kraljevac na rijeci Cetini u vremenskom razdoblju od 1904. do 1912. godine. Prve hidroelektrane s jačom instaliranom snagom izgrađene su nakon Drugog svjetskog rata i to su bile HE Vinodol, HE Zavrelje i HE Ozalj.¹⁹

Hrvatska početkom 21. stoljeća bilježi godišnji rast energije 1 – 3% koji se temelji uglavnom na potrošnji fosilnih goriva. Tehnološki i opći razvoj zemlje i poboljšanje stanja u ekonomiji i standardu života građana Republike Hrvatske, dovode do povećanja potreba za većim količinama energije. Povećanje svijesti građana o štetnim utjecajima velikih elektrana koje proizvode električnu energiju iz fosilnih goriva dovodi do sve veće uporabe obnovljivih izvora energije.²⁰

¹⁷ Ibidem, str. 6

¹⁸ Killingtveit A., Hydroelectric Power, The future of energy, Chapter 21, Elsevier, 2014., str. 453

¹⁹ Energija vode, http://www.izvorienergije.com/energija_vode.html (01.07.2019.)

²⁰ Potočnik V., Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj, Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb, 2002.

Hrvatska u svom sastavu energetske mreže danas broji 17 velikih hidroelektrana, 20 malih, 4 mini i 4 piko hidroelektrana. Kategorizirane su u nekoliko glavnih proizvodnih područja, a to su PP HE Sjever, PP HE Zapad, PP HE Jug i pogon HE Dubrovnik.²¹

Proizvodno područje Sjever organizirano je oko glavne hidroelektrane za proizvodnju energije na rijeci Dravi, a čine ga HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava. Proizvodno područje Zapad obuhvaća brojne slivove rijeka Like, Gorskog kotara i Dalmacije. Sastoji se od sljedećih glavnih hidroelektrana: GHE Senj (sadrži HE Senj i HE Sklope), GHE Vinodol, HE Gorski kotar (CHE Fužine, RHE Lepenica i HE Zeleni vir), HE Rijeka, GHE Gojak (HE Gojak, HE Lešće i HE Ozalj 1 i 2). Proizvodno područje Jug predstavljaju hidroelektrane na slivovima rijeke Cetine, Zrmanje i Krke te hidroelektrane na akumulacijskim jezerima Peruća i Buško blato. Glavne hidroelektrane su GHE Miljacka (u sklopu nje su HE Golubić, MHE Krčić, HE Miljacka i HE Jaruga), GHE Orlovac (HE Peruća, HE Orlovac i HE Đale), GHE Zakučac, najveća hrvatska hidroelektrana prikazana na Slici 2 (HE Zakučac, MHE Prančevići i HE Kraljevac), a crpna stanica CS Buško blato organizirana je posebno, ali je povezana s HE Orlovac. Pogon HE Dubrovnik sadrži dvoje hidroelektrane, HE Dubrovnik i HE Zavrelje.²²

Slika 2. Hidroelektrana Zakučac



Izvor: <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-jug/he-zakucac/1555>

²¹ HEP Proizvodnja, <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (18.07.2019.)

²² HEP Proizvodnja, <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (18.07.2019.)

3. HIDROELEKTRANE

Hidroelektrane predstavljaju energetska postrojenja u kojima se potencijalna i kinetička energija vode pomoću turbine pretvaraju u mehaničku energiju, koja se zatim u električnom generatoru koristi za proizvodnju električne energije.²³

Hidroelektranu u širem smislu čine svi objekti i postrojenja koje služe za prikupljanje, dovođenje i odvođenje vode, objekti za pretvorbu energije, objekti za transformaciju i razvod električne energije te objekti za smještaj i upravljanje cijelim sustavom hidroelektrane.²⁴

Hidroelektrana ima nekoliko glavnih dijelova:²⁵

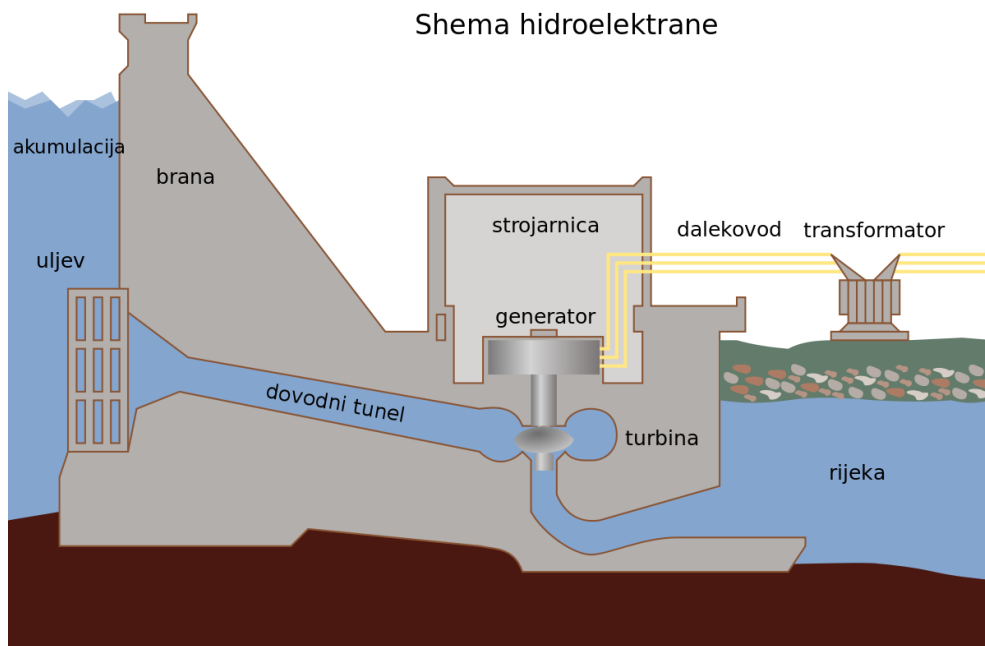
- branu ili pregradu,
- zahvat,
- dovod vode,
- vodostan ili vodnu komoru,
- tlačni cjevovod,
- strojarnicu koju čine turbina i generator,
- rasklopno postrojenje,
- odvod vode.

²³ Józsa L., Energetski procesi i elektrane, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera, Osijek, 2008.

²⁴ Ibidem

²⁵ Ibidem

Slika 3. Shematski prikaz dijelova hidroelektrane



Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Velike_hidroelektrane

3.1. Brane ili pregrade

Brane ili pregrade predstavljaju građevine koje skreću vodu s njezinog prirodnog toka prema zahvatu hidroelektrane, povisuju razinu vode te tako povećavaju gustoću gravitacijske potencijalne energije i omogućuju akumuliranje vode. Sastavne dijelove brane čine tijelo pregrade i elementi za regulaciju vodenog tijeka (preljevi, ispusti, preljevna polja i temeljni ispust).²⁶

Dva su osnovna tipa brana – visoke i niske. U visoke brane ubrajaju se one brane čija visina od temelja do krune prelazi 15 metara, brane više od 10 metara čija je dužina po kruni veća od 500 metara, veća umjetna jezera od 100 000 m³ ili ako je njihov protok vode veći od 2 000 m³ /s. Sve ostane brane smatraju se niskima.²⁷

²⁶ Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

²⁷ Hrvoje Pandžić, Ivan Rajšl, Tomislav Capuder. Igor Kuzle, Obnovljivi izvori energije, Slavonski brod, 2016., str. 31

Također, brane mogu biti nasute ili masivne, tj. armirano – betonske. Nasute brane izgrađuju se od prirodnih materijala (zemlje ili kamenja) koji omogućava izdrživost vode i hidrauličnu stabilnost. Masivne brane konstruiraju se u tri različita oblika, kao gravitacijska, lučna ili raščlanjena. Gravitacijska se brana vlastitom težinom suprotstavlja tlaku vode pa ima široki temelj i veliki obujam. Lučna brana je tanja i zakrivljena, učvršćuje se za okolni teren te je veći dio opterećenja prenesen na bokove uz stijene. Raščlanjena brana sastoji se od teških stupova utemeljenih u koritu velikih dolina.²⁸

Hooverova brana, građena od 1931. do 1936. godine, najpoznatija je masivna svjetska brana koja zatvara akumulacijsko jezero površine 640 km². Ime je dobila prema tadašnjem američkom predsjedniku Herbertu Clarku Hooveru. Nalazi se na rijeci Colorado, istočno od Las Vegasa, na granici američkih saveznih država Arizone i Nevade. Glavne svrhe su joj regulacija vodostaja jezera, natapanje, opskrba vodom i proizvodnja električne energije.²⁹

Slika 4. Hooverova brana



Izvor: <https://www.britannica.com/topic/Hoover-Dam>

²⁸ Brown J. G, Jackson D. C. Dam, <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering> (18.07.2019.)

²⁹ Hooverova brana, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=26106> (18.07.2019.)

3.2. Zahvat

Dio hidroelektrane koji vodu zaustavljenju branom usmjerava prema dovodu, odnosno strojarnici naziva se zahvat. Razlikuju se dva osnovna tipa – zahvat na površini i zahvat ispod površine vode. Zahvat na površini vode izvodi se ukoliko je pregrada niska pa je razina vode iza brane konstantna. Prolaz vode kroz zahvat regulira se zapornicama. Zahvat ispod površine vode izvodi se kada se količina vode tijekom godine mijenja i to na najnižoj razini do koje će se spustiti voda.³⁰

3.3. Dovod vode

Dovod vode spaja zahvat s vodostanom, tj. vodnom komorom. Dva su tipa dovoda, otvoren – kanal ili zatvoren – tunel. Koji dovod će se izgraditi, ovisi o topografiji područja na kojem se izgrađuje te o pogonskim zahtjevima hidroelektrane. Tunel može biti gravitacijski ili tlačni. Gravitacijski tunel djelomično je ispunjen vodom pa je za promjenu protoka vode potrebno mijenjati visinu i otvor zahvata kako bi se u njemu mogle pohraniti veće količine vode u slučaju naglih promjena opterećenja hidroelektrane. Kod tlačnog tunela voda ispunjava cijeli profil tunela i za promjenu dotjecanja vode nije potrebno nikakvo djelovanje na zahvatu. Hidroelektrane su znatno elastičnije u pogonu jer se opterećenje mijenja obzirom na otvora ispred turbine.³¹

3.4. Vodostan ili vodna komora

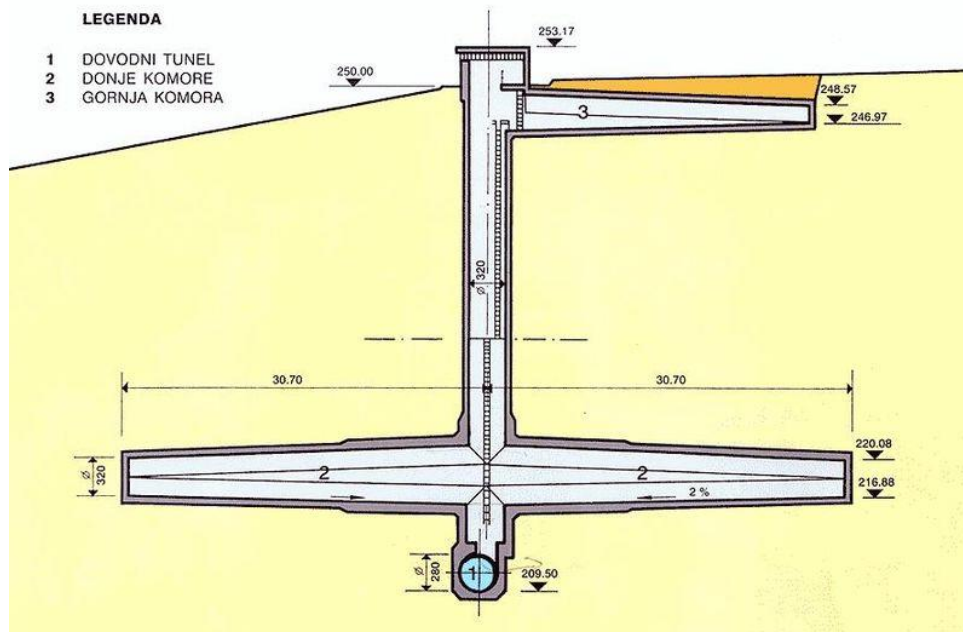
Vodostan ili vodna komora nalazi se na kraju dovoda, a služi za ublažavanje posljedica naglih promjena opterećenja. Gradi se i kod dugih tunela jer se pri pokretanju hidroelektrane voda ne može brzo pokrenuti i dobiti određenu brzinu da bi se u turbinama stvorila dovoljna snaga za proizvodnju električne energije. Do pražnjenja vodostana dolazi pri pokretanju turbine, a voda se u tunelu ubrzava sve dok je protok u dovodu veći od protoka u turbinama.

³⁰ Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

³¹Ibidem

Razina vode u vodostanu raste zbog čega se tlak na kraju dovoda smanjuje i time do smanjenja protoka.³²

Slika 5. Vodna komora u Hidroelektrani Rijeka



Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana>

3.5. Tlačni cjevovod

Cjevovod koji služi za dovođenje vode iz vodostana ili vodne komore do turbina naziva se tlačni cjevovod. Izrađen je od čelika, a za manje padove može biti izgrađen i od betona. Prema svom smještaju, tlačni cjevovod može biti položen na površini ili postavljen u tunelu. Cjevovod u tunelu može biti slobodno položen ako tunel služi samo kao prostor za smještaj cjevovoda ili prilijegati uz stijene tunela. Na ulazu u cjevovod uvijek postoji zaporni organ čije postavljanje ovisi o tlaku na početku cjevovoda. Najvažniji je sigurnosni zaporni organ koji automatski sprječava daljnje dotjecanje vode u cjevovod u slučaju puknuća cijevi. Ispred sigurnosnog zapornog organa, postavlja se pomoćni zaporni organ koji omogućuje pregled i popravke na sigurnosnom organu bez pražnjenja dovodnog tunela ili kanala. Postavljanje zapornih organa na dnu tlačnog cjevovoda ovisi o broju turbina spojenih na jedan cjevovod te o pogonskim zahtjevima hidroelektrane. Obilazni cjevovod nalazi se na početku glavnog

³² Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

cjevovoda i predviđen je za postupno punjenje glavnog cjevovoda te za izjednačavanje tlakova ispred i iza zapornog organa na ulazu u cjevovod.³³

3.6. Turbina i vrste turbina

Turbina predstavlja jednu od najvažnijih aktivnih komponenti hidroelektrane. Turbina je mehanički uređaj koji „izvlači“ energiju iz tekućeg fluida te ju pretvara u koristan rad. Sadrži pokretnu komponentu, tzv. rotor s lopaticama, koji je pričvršćen za osovinu. Tekući fluid, odnosno voda, pokreće lopatice turbine koje daju rotacijsku snagu rotoru. Sklop je spojen na indukcijski motor ili generator koji mehaničku energiju pretvara u električnu.³⁴

Podjela turbina temeljena je na osnovnom djelovanju vode na turbinu, odnosno načinu pretvorbe energije i promjeni tlaka vode na turbinu. Dvije osnovne vrste turbina su turbine slobodnog mlaza (akcijske, impulsne turbine) i pretlačne (reakcijske).³⁵ Kod impulsnih turbina potencijalna energija vode pretvara se u kinetičku u mlaznicama turbine. Impuls, odnosno mlaz vode, služi za pokretanje rotora te se koristi kada je potencijalna energija visoka, a protok (ispust) vode relativno nizak. Reakcijske turbine raspoloživu potencijalnu energiju postupno pretvaraju u kinetičku te tako pokreće rotor. Mogu koristiti radijalni, mješoviti ili aksilarni protok vode.³⁶

Najpoznatije turbine kod velikih postrojenja su Pelton, Francis i Kaplan turbine. Razlika turbina u principu djelovanja odražava se na optimalni raspon protoka i pada vode. Za velike padove najprimjerenija je Pelton turbina (kod hidroelektrana od 20 metara visine). Kod srednje velikih padova primjerena je Francis turbina (od 3 do 600 metara). Na malim padovima i za veće protoke najbolje je koristiti Kaplan turbinu (za vertikalnu izvedbu od 10 do 60 metara te za horizontalnu od 2 do 20 metara).³⁷

³³ Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

³⁴ Murthy S. S, Hegde S. Hydroelectricity. Electric Renewable Energy Systems. 2016; 82.

³⁵ Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017.

³⁶ Murthy S. S, Hegde S., Hydroelectricity, Electric Renewable Energy Systems, 2016., str. 82.

³⁷ Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

Jedna od najčešće korištenih impulsnih turbina je Pelton turbina. Koristi slobodan mlaz vode velike brzine za punjenje lopatica na rotoru. Postavlja se na višim položajima koje druge hidraulične turbine ne mogu pokriti, čak i kod hidroelektrana preko 1500 metara. Kod manjih hidroelektrana, turbina se nalazi na nižim položajima, od 30 do 300 metara.³⁸

Mlaz vode može dolaziti iz jedne ili više mlaznica. Kod promjene opterećenja ili potrebe za naglim zaustavljanjem turbine, potrebno je zaustaviti ili preusmjeriti mlaz prema lopaticama. Promjena smjera mlaza vode je bolje rješenje jer naglo zaustavljanje protoka može izazvati tzv. vodni udar. Ponekad se primjenjuje i protumlaz kao vodna kočnica. Jednostavnost izvedbe i pristupa osigurava lagano održavanje Pelton turbine.³⁹

Slika 6. Pelton turbina (lopatice i rotor)



Izvor: <https://theconstructor.org/practical-guide/pelton-turbine-parts-working-design-aspects/2894/>

Francis turbina primjenjuje se za srednje padove kod kojih provodni dio s lopaticama okreće rotor. U provodnom dijelu potencijalna energija vode djelomično se pretvara u

³⁸ Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017., str. 239

³⁹ Horvat D., Vodne turbine, Tehnička knjiga, Zagreb, 1955., Pilić – Rabadan Lj., Vodne turbine, pumpe i vjetroturbine, Sveučilište u Splitu, 1999.

kinetičku. Dovod vode u turbinu omogućuje spirala koja osigurava pravilnu raspodjelu vode na svome izlazu pomoću poprečnog presjeka. Na izlazu rotora, voda se difuzorom odvodi u odvodni kanal i time povećava ukupna iskoristivost.⁴⁰

Francis turbina postavlja se horizontalno ili vertikalno. Horizontalno postavljena turbina ima prednost zbog spajanja s generatorom, dok je vertikalna izvedba skuplja zbog veće ukupne mase postrojenja, složenija je za održavanje i time je povećan trošak izgradnje. Francis turbina ima više nedostatak nego prednosti u odnosu na Pelton turbinu – osjetljivija je na problem kavitacije i nečistoće u vodi efikasnost značajno opada kod manjeg protoka od predodređenog, brzo zatvaranje protoka izaziva veći vodni udar, kompleksnija izvedba i kontrola zahtijevaju složeno održavanje. Prednost Francis turbine u odnosu na Pelton isključivo je u iskorištavanju pada vode.⁴¹

Kaplan turbina aksijalna je hidraulična turbina koja se koristi za male padove i protočne hidroelektrane.⁴² Prednosti Kaplan turbine u odnosu na druge slične turbine za male padove su u pozicioniranju elektromehaničkog dijela izvan vode, manjim troškovima postavljanja i održavanja, ne zahtijeva akumulaciju vode te zauzima manji prostor i manje šteti okolišu. Ovisno o protoku vode, postoje turbine s fiksnim i pomičnim lopaticama rotora.⁴³ Broj lopatica na rotoru Kaplan turbine varira između 4 i 8, s tim da se manji broj lopatica koristi kod manjeg pada. Kaplan turbina predstavlja propelernu turbinu sa zakretnim rotorskim lopaticama. Veća iskoristivost postiže se zakretanjem lopatica u smjeru mlaza vode.⁴⁴

⁴⁰ Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017., str. 267, Breeze P., Hydropower, Power Generation Technologies, 2014: 2; 153 – 179.

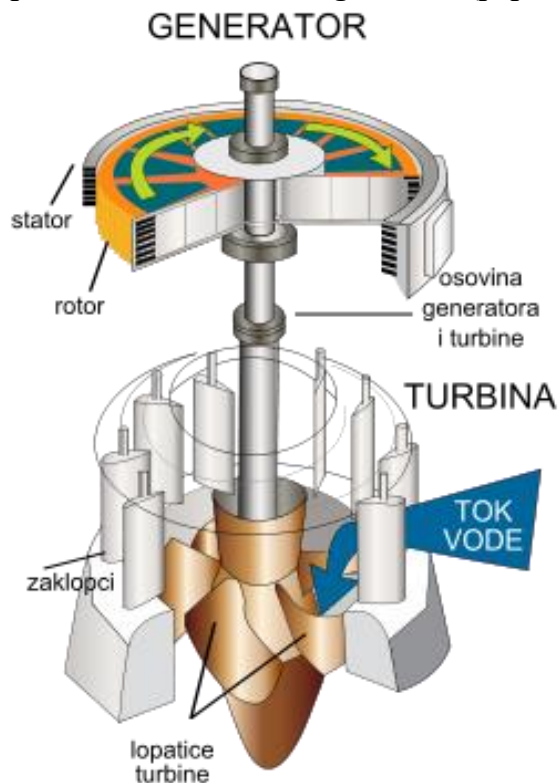
⁴¹ Horvat D., Vodne turbine, Tehnička knjiga, Zagreb, 1955., Pilić – Rabadan Lj., Vodne turbine, pumpe i vjetroturbine, Sveučilište u Splitu, 1999.

⁴² Mishra G. Kaplan Turbine – its Components, Working and Application, <https://theconstructor.org/practical-guide/kaplan-turbine-component-working/2904/> (18.07.2019.)

⁴³ Horvat D., Vodne turbine. Tehnička knjiga: Zagreb; 1955., Pilić – Rabadan Lj., Vodne turbine, pumpe i vjetroturbine, Sveučilište u Splitu, 1999.

⁴⁴ Mishra G. Kaplan Turbine – its Components, Working and Application, <https://theconstructor.org/practical-guide/kaplan-turbine-component-working/2904/> (18.07.2019.)

Slika 7. Kaplan turbina i električni generator (poprečni prikaz)



Izvor: Brian F. Towler, *The Future of Energy*, Chapter 10, 2014., str. 217

3.7. Generator

Generatori zajedno s turbinama nalaze se u strojarnici. Najčešće korišteni generatori su sinkroni generatori izmjenične struje koji pretvaraju mehaničku energiju u električnu. Izvedba hidrogeneratora je većinom u vertikalnom položaju zbog ekonomičnijeg postavljanja hidrauličnog dijela strojarnice. Općenito generatori predstavljaju strojeve za dobivanje električne energije iz mehaničke. Izvor magnetskog polja kod generatora je u samom rotoru, a električni napon se inducira u zavojnicama na statoru.

S obzirom na odnos između brzine kretanja okretnog magnetskog polja i brzine rotora turbine, generatori se dijele na sinkrone i asinkrone. Sinkroni generator predstavlja generator u kojem je rotor stalni magnet ili elektromagnet te se sa svakim pojedinim okretom rotora dobiva isti broj perioda induciranih napona, odnosno, inducirani napon mijenja se sinkrono ovisno o zakretanju osovine rotora.

Kod asinkronih generatora rotor okreće brže od okretnog magnetskog polja, što u konačnici dovodi do induciranja napona unutar samog rotora, struja protječe kroz rotor i time proizvodi magnetsko polje. Asinkroni generatori su ekonomičniji od sinkronih.⁴⁵

3.8. Rasklopno postrojenje

Rasklopno postrojenje čini poveznicu između hidroelektrane i elektroenergetskog sustava koje se izvodi u blizini strojarnice. Osnovna zadaća je transformacija proizvedene električne energije sukladno zahtjevima sustava i potrošnji energije.⁴⁶

3.9. Odvod vode

Odvod vode služi za vraćanje vode u korito vodotoka ili je odvodi do zahvata sljedeće hidroelektrane kada je energija vode iskorištena u turbinama. Izgrađuje se u obliku kanala ili tunela.⁴⁷

⁴⁵ Nikolovski S. Zaštita u elektroenergetskom sustavu. Osijek: ETF; 2007.

⁴⁶ Jerkić L. Načini pretvorbe energije vodotoka u električnu energiju, <http://www.obnovljivi.com/energija-vode/57-nacini-pretvorbe-energije-vodotoka-u-elektricnu-energiju?showall=1> (18.07.2019.)

⁴⁷ Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

4. IZGRADNJA I PODJELA HIDROELEKTRANA

Porastom potrošnje električne energije raste i potreba za izgradnjom novih hidroelektrana. Pri njihovoj izgradnji vodi se prvenstveno računa o izgradnji hidroelektrane koja će rezultirati najpovoljnijim energetske – ekonomskim rezultatima. Kako bi se taj cilj postigao, potreban je povoljan plan i redosljed izgradnje elektrane te se provode detaljni pripremni radovi. Promatra se i razvoj potrošnje jer o tome ovisi vrijeme potrebno za izgradnju cijelog postrojenja. Osim tehničkih parametara, moraju se poznavati i prosječni protoci voda u svim vremenskim razdobljima, uključujući i utjecaj sezonskih akumulacija. Time se dobivaju podaci o početku i predviđenom ukupnom trajanju izgradnje. Također, potrebno je osigurati i potrebna financijska sredstva na način da se izradi osnovni plan opsega svih građevinskih radova na hidroelektrani.⁴⁸

Redosljed gradnje hidroelektrana određuje se prema relativnim energetske vrijednostima koji predstavlja omjer uštede i troškova na novim postrojenjima. Prvo se grade one s većim omjerom, zatim one s manjim, uzimajući u obzir vrijeme trajanja izgradnje. Određuju se približne energetske vrijednosti dobivene u prvoj godini planiranja (u smislu izračuna troškova prije i poslije izgradnje) te se na taj način proračunava ušteda u sustavu hidroelektrana. Predviđanjem ograničenja, kao npr. snaga agregata sustava ili korištenje određene vrste turbine, može se pravovremeno produžiti vrijeme dovršetka izgradnje hidroelektrane.⁴⁹

Lokacija na kojoj će se graditi hidroelektrana ovisi nam o više faktora. Kod malih hidroelektrana broj potencijalnih lokacija raste proporcionalno smanjenju predviđene snage instalacije. Kako bi se odredile potencijalne lokacije, potrebno je izmjeriti protok vode tijekom duljeg vremenskog razdoblja, odrediti ukupno trajanje protoka, ispitati financijske mogućnosti izgradnje cijelog postrojenja te procijeniti utjecaj na okoliš.⁵⁰

⁴⁸ Požar H. Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima. Informator. 1985., str. 2.

⁴⁹ Ibidem

⁵⁰ Šljivac D., Osnove energetike i ekologije, ETF, Osijek, 2005.

4.1. Podjela hidroelektrana

Podjela hidroelektrana prema instaliranoj snazi:⁵¹

- mikrosustavi (do 100 kW),
- male (od 100 kW do 10 MW),
- velike (iznad 10 MW)

Male hidroelektrane imaju mnoge prednosti zbog kojih se koriste. Iako su financijski troškovi izgradnje relativno visoki, izgrađuju se jednostavno i u vrlo kratkom roku. Lako se održavaju, brzo se prilagođavaju promjenama opterećenja hidroelektrane i imaju niske pogonske troškove.

Podjela hidroelektrana prema smještaju i položaju strojarnice:⁵²

- pribranske – strojarnica je smještena neposredno uz branu,
- derivacijske – strojarnica je smještena odvojeno od brane
- podzemne – položaj strojarnice je ispod razine tla,
- nadzemne – položaj strojarnice je iznad razine tla.

Podjela hidroelektrana prema obujmu akumulacijskog jezera:⁵³

- hidroelektrane s dnevnom akumulacijom, gdje se punjenje akumulacijskog jezera odvija noću, a pražnjenje danju,
- hidroelektrane sa sezonskom akumulacijom,
- hidroelektrane s godišnjom akumulacijom, kod kojih se punjenje akumulacije odvija u kišnom, a pražnjenje u sušnom razdoblju.

⁵¹ Razvoj hidroelektrana i tehnološke opreme, url: <http://energy.gov/eere/water/hydropowertechnology-development>

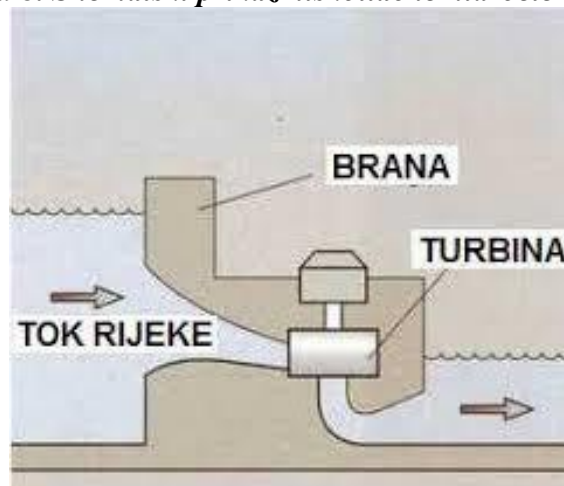
⁵² Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008

⁵³ Ibidem

Podjela hidroelektrana prema raspoloživom padu: ⁵⁴

- Niskotlačne hidroelektrane su riječne, pribranske i derivacijske hidroelektrane visine do 25 metara u krajevima sa specifičnim padom do 1 m/km. Dostupan je cjelokupni pad vode koji se nalazi neposredno uz elektranu, što ne zahtijeva dodatne troškove u vidu izgradnje tlačnih dovoda i cjevovoda.

Slika 8. Shematski prikaz niskotlačne hidroelektrane

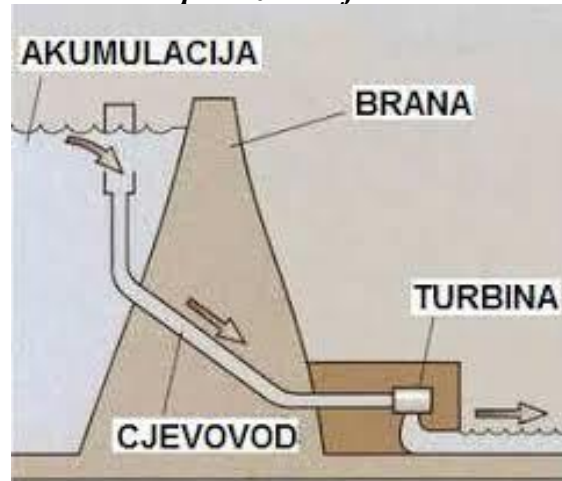


Izvor: <http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/FRI14.pdf>

- Srednjotlačne hidroelektrane rade se u visinama od 25 do 200 metara. Mogu biti pribranske i derivacijske. Najčešće se grade na mjestima riječnih zavoja kod kojih se tada gradi kanal ili cjevovod.

⁵⁴ Ibidem

Slika 9. Shematski prikaz srednjotlačne hidroelektrane



Izvor: <http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/FRI14.pdf>

- Visokotlačne hidroelektrane mogu također biti pribranske i derivacijske na visinama iznad 200 metara, obično u brdovitim krajevima za padove veće od 5 m/km. Pribranske hidroelektrane obično su i akumulacijske s djelomičnom ili potpunom regulacijom protoka tijekom godine. Najčešće građene su derivacijske hidroelektrane kod kojih se voda dovodi do turbina cjevovodom dugačkim nekoliko kilometara jer su zahvat i strojnica odvojeni.

Slika 10. Shematski prikaz visokotlačne hidroelektrane



Izvor: <http://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/FRI14.pdf>

4.2. Podjela hidroelektrana prema načinu korištenja vode

4.2.1. Protočne hidroelektrane

Protočne hidroelektrane služe za proizvodnju električne energije uglavnom na riječnom protoku vode. Kratkoročno se može iskoristavati protok ribnjaka.⁵⁵ Ne posjeduju uzvodnu akumulaciju ili se njihova akumulacija može isprazniti za manje od dva sata rada, tj. protočne hidroelektrane koriste gotovo direktnu kinetička energije vode za pokretanje turbina. Voda iz akumulacijskog jezera protječe kroz turbine i nastavlja svojim prirodnim riječnim tokom. Iako ih je najjednostavnije izgraditi, u velikoj mjeri su ovisne o trenutnom protoku vode. Prednost nad ostalim hidroelektranama im je vrlo mali utjecaj na okoliš i održavanje povoljne razine podzemnih voda.⁵⁶

4.2.2. Akumulacijske hidroelektrane

Akumulacijske hidroelektrane su najčešće izgrađivane hidroelektrane. To su hidroelektrane s izgrađenim rezervoarima koji mogu pohranjivati vodu za kasniju upotrebu, obično uštedom vode tijekom sezone visokog protoka vode (kišna razdoblja) i ispuštanjem vode tijekom sezone niskog protoka (suša razdoblja). Rezervoari pružaju veću iskoristivost hidroelektrane tijekom cijele godine i prilagodbu na potražnju korisnika električne energije.⁵⁷

Izgrađuju se kao pribranske i derivacijske. Pribranska se hidroelektrana nalazi ispod same brane, a derivacijska je smještena niže od brane i cjevovodima spojena na akumulaciju. Potrošnja električne energije dobivene iz hidroelektrana ovisi o dobu dana, danu u tjednu, godišnjem dobu i drugim čimbenicima. Glavni nedostatak ovakvih hidroelektrana odražava se u ljetnim mjesecima kad prirodni dotok vode postane premali za funkcioniranje elektrane kada se brana mora zatvoriti i potrebno je održavati minimalnu biološku razinu vode. Drugi nedostatak je i podizanje razine podzemnih voda što ugrožava prirodno stanje okoliša.⁵⁸

4.2.3. Reverzibilne hidroelektrane

Kako bi se uravnotežile dnevne oscilacije u potrošnji električne energije, grade se reverzibilne ili crpne hidroelektrane. Sadrže dva rezervoara koja su spojena pomoću cjevovoda

⁵⁵ Killingtveit A., *Hydroelectric Power, The future of energy*, Chapter 21, Elsevier, 2014., str. 460

⁵⁶ Józsa L. *Energetski procesi i elektrane*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

⁵⁷ Killingtveit A., *Hydroelectric Power, The future of energy*, Chapter 21, Elsevier, 2014., str. 460

⁵⁸ Józsa L. *Energetski procesi i elektrane*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

ili tunela. Gornja akumulacija (viši rezervoar) istovjetna je akumulacijskom jezeru kod klasično građenih hidroelektrana. Brana osigurava akumulaciju vode koja zatim protječe kroz turbine i rezultira proizvodnjom potrebne energije. Donja akumulacija (niži rezervoar) obuhvaća vodu koja izlazi iz hidroelektrane, ulijeva se u donje akumulacijsko jezero tako da se ne vraća u osnovni tok rijeke. Glavni princip je skupljanje vode u gornjem rezervoaru tijekom perioda niskog opterećenja i ispuštanje vode u turbinu tijekom perioda visoke potražnje za električnom energijom.⁵⁹ Reverzibilna Francis turbina korištena u izgradnji ovakve hidroelektrane ima svrhu i pumpe i turbine. Za vrijeme proizvodnje električne energije, prazni se gornja akumulacija, voda prolazi kroz turbinu u niži rezervoar i pritom se generira energija.⁶⁰

4.3. Ostale hidroelektrane

Osim navedenih, postoje i hidroelektrane koje koriste valove kao izvor energije te hidroelektrane na plimu i oseku⁶¹. Oceani sadrže veliku količinu energije koja se može podijeliti na dva tipa – termalnu energiju Sunca i mehaničku energiju morskih mijena i valova. Energija valova dobivena je prolaskom vjetra nad morem, stvarajući tako valove koji se pomoću moderne tehnologije mogu iskoristiti u proizvodnji potrebne količine energije. Takva energija smatra se glavnim obnovljivim izvorom energije budućnosti.⁶²

4.3.1 Hidroelektrane na plimu i oseku

Gibanje mora rezultat je utjecaja mjesečevih mijena na Zemlju ili pada i porasta razine mora. Energija plime i oseke iskoristiva je samo u određenim dijelovima svijeta gdje razlike između morskih mijena velike, između 4,5 do 12 metara. Za optimalnu proizvodnju i isplativost izgradnje hidroelektrane na moru, razlika između plime i oseke trebala bi biti barem 7 metara, što se procjenjuje da je svega 40 takvih lokacija diljem svijeta. Predvidivost morskih mijena ključna je stavka za razvoj ovakvih vodenih turbina.⁶³ Slika 11 prikazuje najveću svjetsku

⁵⁹ Killington A. *Hydroelectric Power, The future of energy*, Chapter 21, Elsevier, 2014. str. 460.

⁶⁰ Józsa L. *Energetski procesi i elektrane*. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.

⁶¹ Ibidem

⁶² Nazir C. P. Offshore hydroelectric plant: A techno-economic analysis of a renewable energy source. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 34: 175.

⁶³ Ibidem, str. 176

hidroelektranu na plimu i oseku – Sihwa u Južnoj Koreji. Izgrađena je 2011. godine, a svoj rad započela je godinu dana kasnije.

Slika 11. Hidroelektrana Shiwa



Izvor: <https://tethys.pnnl.gov/annex-iv-sites/sihwa-tidal-power-plant>

4.3.2. Hidroelektrane na valove

Valovi su rezultat razlike tlakova zraka koja nastaje zbog različitog zagrijavanja Zemljine površine. Pripadaju obnovljivim izvorima energije koji se mijenjaju s obzirom na vremenske prilike, godišnja doba i brzinu vjetra. Energija valova predstavlja transformiranu Sunčevu energiju koja nastaje zahvaljujući planetarnim vjetrovima. Osnovne karakteristike valova o kojima ovisi količina proizvedene energije su visina, duljina i brzina. Valovi sadrže potencijalnu energiju zbog različitih reljefa površine, odnosno mora, i kinetičku energiju gibanja vode, koje u konačnici dovode do snage vala čak do 10 kW/m^2 . Energija vala manja je što je i dubina vala manja pa je tako najveća snaga na površini. Energija valova dobiva se preko plutača, pomičnih klipova, njihalica ili lopatica. U novije vrijeme razvijaju se crijevna i McCabova pumpa, tzv. morska zmija i ostali pomoćni dijelovi. Najisplativije iskorištavanje energije vala je uz obalu. Procjenjuje se da je ukupna energija valova što udaraju u svjetsku

obalu 2 – 3 milijuna MW, što predstavlja velik potencijal za izgradnju takvih hidroelektrana na svim potencijalnim lokacijama u budućnosti.⁶⁴

⁶⁴ Energetske transformacije, Elektrane na valove, http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Elektrane_na_valove (18.07.2019.)

5. UTJECAJ HIDROELEKTRANA NA OKOLIŠ

Okoliš je skupni pojam za sva prirodna okruženja (zrak, tlo, voda, klima i živa bića) koja su međusobno u uzajamnom djelovanju. U pojam okoliša svrstava se i kulturna baština kao dio umjetnog okruženja kojeg je stvorio čovjek.⁶⁵

5.1. Izvori onečišćenja okoliša

Svaka promjena bioloških, fizičkih i kemijskih svojstava okoliša predstavlja onečišćenje okoliša, a nastaje prirodnim putem ili djelovanjem ljudskog faktora. Onečišćenje okoliša prirodnim putem nastaje utjecajem sila prirode s negativnim učincima, kao što su to potresi, poplave, suše, uragani, odroni zemljišta i erupcije vulkana. Njihovo djelovanje se ne može spriječiti, no postoje mjere zaštite koje umanjuju njihov utjecaj, npr. izrada planova evakuacije, izgradnja nasipa i/ili sustava za navodnjavanje i slično. S druge strane, čovjek svojom neracionalnom uporabom kemijskih sredstava, izgradnjom pogona s velikom emisijom štetnih plinova i direktnim odlaganjem otpadnih tvari u okoliš, mijenja prirodni sastav tla i voda u neposrednoj blizini, što dovodi do značajnih ekoloških katastrofa – kisele kiše, požari, zagađenje voda i dr.⁶⁶

Onečišćivači okoliša mogu se podijeliti u pet osnovnih skupina:⁶⁷

- prirodni onečišćivači (otpadne vode)
- minerali kao onečišćivači (olovo, živa, cink, kadmij, teški metali)
- izgaranje goriva (plin, ugljen, nafta i naftni derivati, biomasa)
- upotreba kemikalija
- nuklearni otpad, odnosno nuklearna goriva

⁶⁵ Đikić D. i sur., Ekološki leksikon, Barbat, Zagreb, 2001., str 283

⁶⁶ Đikić D. i sur., Ekološki leksikon, Barbat, Zagreb, 2001., str 285

⁶⁷ Udovičić B., Čovjek i okoliš, Kigen, Zagreb, 2009., str. 99-100

Otpadne vode su najrasprostranjeniji oblik onečišćenja okoliša u svijetu. Predstavljaju tekući ili poluraspadnuti kruti otpad otopljen u vodi, najčešće iz kućanstva (organski i fekalni otpad), industrijskih pogona i različitih poljoprivrednih djelatnosti. Ispuštanjem otpadnih voda u okoliš putem kanalizacije ili izravnim ispiranjem tla (oborinske otpadne vode), zagađuje se uporabna vrijednost voda u koje se ulijevaju. Kako bi se spriječila opasnost onečišćenja okoliša, uvedeni su različiti tehnološki postupci pročišćivanja otpadnih voda kao i posebni zakoni za regulaciju ispuštanja otpadnih voda u okoliš. Prvi sustav pročišćivanja taloženjem poluraspadnutih krutih čestica otpada pročišćuje vodu iz otpadnih voda. Drugi sustav izlaže otpadne vode prozračivanju, odnosno oksidaciji otopljenih tvari, ili se na njih djeluje različitim kemikalijama. Treći je sustav biološko pročišćivanje organskih tvari iz otpadnih voda uz pomoć posebno odabranih bakterija.⁶⁸

Otpadne vode iz kućanstava sadrže velik udio organskoga otpada te se razgrađuje učestalom oksidacijom. Industrijske otpadne vode sadrže kemikalije otrovne za bakterije te je onemogućeno biološko uklanjanje štetnih tvari. Otpadne vode s poljoprivrednih površina nastaju ispiranjem tla oborinama koje sadrže velike količine fosfornih i dušičnih gnojiva, herbicida i pesticida za čije je uklanjanje potreban poseban postupak.⁶⁹

Plinovi kod izgaranja fosilnih i bio goriva šire se u atmosferu, štetno djeluju na biljni i životinjski svijet, dovode do zagađenja zraka i stvaranja smoga u velikim gradovima, razgrađuju ozonski omotač i stvaraju ozonske rupe te dovode do sve većeg učinka staklenika na Zemlju. Najopasniji onečišćivači atmosfere su dušikovi oksidi, sumporov dioksid, ugljični monoksid i ugljični dioksid te lebdeće čestice metala, prašine i kiselina. Sve veća je upotreba obnovljivih izvora energije zbog minimalnog učinka na okoliš, ali ni on nije zanemariv.⁷⁰

Dušikovi oksidi najčešće nastaju sagorijevanjem fosilnih goriva, a nalaze se i u dimu drugih goriva i otapala. Ugljikov monoksid (ugljikov (II) oksid, CO) kemijski je spoj koji se sastoji od jednog atoma ugljika i jednog atoma kisika. Plin je bez mirisa i boje, lako zapaljiv te sa čistim kisikom stvara eksplozivnu reakciju.⁷¹

⁶⁸ Otpadne vode, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45899> (13.08.2019.)

⁶⁹ Otpadne vode, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45899> (13.08.2019.)

⁷⁰ Brian F. Towler, *The Future of Energy*, Chapter 10, 2014. str. 39

⁷¹ Ugljikov monoksid, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63002> (13.08.2019.)

Ugljikov dioksid (ugljikov (IV) oksid, CO₂) kemijski je spoj dva atoma ugljika i jednog atoma kisika, bez mirisa i boje, nije otrovan, ali u većim količinama nagriza sluznice. CO₂ gušći je od kisika, zbog čega se zadržava na tlu te istiskivanjem kisika s nižih visina može uzrokovati gušenje i na otvorenim prostorima. CO₂ predstavlja jedan od konačnih produkata izgaranja ugljika i organskih tvari te u atmosferu dolazi u sastavu ispušnih plinova, vulkanskim i drugim geotermalnim procesima. Najčešće nastaje djelovanjem čovjeka, odnosno uporabom fosilnih goriva i biomase u industrijskim postrojenjima.⁷²

U zadnjih 200 godina razina CO₂ u Zemljinoj atmosferi porasla je s 280 ppm (engl. *parts per million*; nenormirani znak za milijuntinku) na 400 ppm. Ledeno doba odvijalo se u prosjeku svakih 100 000 godina. Svaki put kad bi se Zemljina površina ohladila, razina CO₂ pala bi na 200 ppm, a kada bi se ponovo zagrijavala, dosegla bi vrlo brzo 300 ppm. 1958. godine mjerenja na Havajima pokazala su razinu CO₂ od 318 ppm. Do 2010. godine razina CO₂ dosegla je 390 ppm. Rast koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi odvio se brzo. U tom vremenskom razdoblju iskorištavali su se brojni spojevi ugljikovodika koji su svojim izgaranjem ispuštali velike količine CO₂ u atmosferu.⁷³ Njegova povećana koncentracija uzrokuje sve veće zagrijavanje Zemljine površine što rezultira brojnim klimatskim promjenama, kao što su to otapanje ledenjaka, poplave i slično. Koncentracija CO₂ u troposferi bila je uravnotežena do početka industrijalizacije 1850. godine te se od tad njegova razina povećala za oko 35%.⁷⁴

Zbog svog nepovoljnog učinka na zagrijavanje Zemlje, sve više se obraća pažnja na smanjenje emisija CO₂. Izvori ugljikovodika, ne samo da dovode do onečišćenja zraka, nego i rezultiraju ispuštanjem ugljikovog dioksida u atmosferu. No, i čovjek i biljke neprestano proizvode određene količine CO₂. Staničnim disanjem u organizam ulazi kisik, a izlazi CO₂. Raspadanjem životinjskog organizma i biljnih čestica ispušta se CO₂. Biljke za rast i proces fotosinteze također koriste CO₂ pa su tako npr. šume glavno „sredstvo“ uklanjanja CO₂ iz atmosfere. S druge strane, šume starog hrasta mogu biti ugljično neutralne jer se apsorbirani CO₂ za rast stabala uravnotežuje s količinom CO₂ dobivenog iz raspada stabala svake godine.⁷⁵

⁷² Ugljikov dioksid, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63000> (13.08.2019.)

⁷³ Brian F. Towler, *The Future of Energy*, Chapter 10, 2014. str. 41

⁷⁴ Ugljikov dioksid, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63000> (13.08.2019.)

⁷⁵ Brian F. Towler, *The Future of Energy*, Chapter 10, 2014. str. 41.

Oceani također sadrže ogromne zalihe CO₂ otopljenog u vodi. Količina CO₂ otopljenog u oceanu obrnuto je proporcionalna njegovoj temperaturi, odnosno kako temperatura vode raste, oceani ispuštaju CO₂ u atmosferu; kako se temperatura vode smanjuje, ona apsorbira CO₂ iz atmosfere.

Značajan utjecaj na razinu ugljikovog dioksida ima Sunčeva energija. Kako se povećava solarna energija koja prati ciklus Zemljinog okretanja oko Sunca, tako se povećava i temperatura Zemljine površine te sukladno tome, raste i razina CO₂ u atmosferi zbog ispuštanja CO₂ iz oceana. Ovakvo kruženje plina u prirodi potvrđuje činjenice da je u prošlosti razina CO₂ bila niža nego što je to danas, upravo zbog temperaturnih razlika u zagrijavanju Zemlje. Više temperature i više razine CO₂ dovele su i do porasta biljnog i životinjskog svijeta. Većina ugljikovog dioksida dolazi iskorištavanjem ugljena, no u zadnjih 50 godina nafta je postala glavni energetska izvor i tako izvor CO₂, iako novija istraživanja pokazuju podjednake emisije CO₂ u atmosferu.⁷⁶

Gorenjem ugljena, emitiraju se određene količine ugljikovog dioksida, sumporni oksidi, dušikovi oksidi i sitne čestice ugljena, pepela, žive, kadmija i drugih toksina. Ugljen proizvodi dvostruko više CO₂ kada izgara, nego kada se nalazi kao prirodan plin s jednakom količinom proizvedene energije. Razlog tome je što ugljen ima niži omjer vodika i ugljika, nego što to ima metan. Zbog ovih nusprodukata, sagorijevanje ugljena značajno je ograničeno smanjenim korištenjem ugljena u industrijskim pogonima i korištenjem novih tzv. tehnologija hvatanja, kojima bi se što više spriječilo ispuštanje toksina u atmosferu. Prije tehnologija hvatanja ugljen je bio „prljavo“ gorivo, taložila se čađa i pepeo u mjestima industrijskih pogona te je uzrokovao kisele kiše koje su oštetile brojne rijeke, tla, zgrade i naselja. Tako smanjena emisija „prljavog“ ugljena umanjuje direktni staklenički učinak CO₂, ali i dalje postoji njegov štetni učinak na okoliš.⁷⁷

Nafta na okoliš jednako djeluje kao i ugljen. Omjer vodika i ugljika je 2:1, što znači da emitira oko 2/3 ugljikovog dioksida po jedinici proizvedene energije u odnosu na ugljen. 50% više emisije CO₂ oslobodi se iz prirodnog plina nego sagorijevanjem. U svijetu se nafta više

⁷⁶ Ibidem, str. 41 – 43

⁷⁷ Ibidem, str. 51

iskorištava u industriji nego ugljen pa je i oslobođena količina CO₂ veća tijekom gorenja nafte, nego tijekom gorenja ugljena.

Također, većina nafte koja sagorijeva pretvara se u tzv. transportna goriva koja sama po sebi sadrže više čestica CO₂ koja se teže mogu uhvatiti novim tehnologijama. Rješenje ovog problema je proizvodnja automobila, kamiona i vlakova na električni ili hidroelektrični pogon. Zrakoplovi kao pogon koriste energiju vodika. Vodik je jako skup, teško se skladišti i transportira, a njegova gustoća energije po volumenu odgovara jednoj šestini energije benzina. Zanimljivost kod vodika je ta što kad se zapali, izgara samo u obliku vode, no to dovodi do drugog problema za okoliš. Vodena para jači je staklenički plin od CO₂. Kada bi sva vozila koristila vodik kao pogonsko gorivo, nastao bi još veći problem utjecaja stakleničkim plinova. Neka ulja sadrže značajne količine sumpora pa izgaranjem nastaju sumporovi i dušični oksidi. Ti nusprodukti lako se uklanjaju u rafinerijama, tako da je većina pogonskih goriva danas proizvedeno od rafiniranog ulja.⁷⁸

Prirodnog plina u okolini ima više od nafte, stoga se on sve više koristi, kako u svrhe grijanja prostora, tako i u proizvodnji električne energije, a može se prerađivati za pogonska goriva, kao što su to benzin, dizel i mlazno gorivo. Omjer vodika i ugljika iznosi 4:1, što znači da se emitira polovica CO₂ po jedinici proizvedene energije u odnosu na antracit ugljena, odnosno ta količina emitiranog CO₂ odgovara $\frac{3}{4}$ emisije nafte po jedinici proizvedene energije. Zbog toga se prirodni plin promovira kao čisto gorivo koje je bolje za okoliš od drugih goriva. CO₂ koji se stvara izgaranjem, može se uhvatiti novijim tehnologijama na jednak način kao i kod hvatanja nusprodukata izgaranja ugljena. S druge strane, neka polja prirodnog plina imaju veće količine sumpora nego što to imaju nafta ili ugljen te ako se spaljuju u svom nepromijenjenom stanju, mogu proizvoditi sumporne i dušične okside štetne po okoliš. Takve zagađivače potrebno je ukloniti posebnom obradom u proizvodnim pogonima na način da su skladišteni u posebnim cjevovodima za prijevoz do korisnika te se kasnijim izgaranjem dobiva samo CO₂.⁷⁹

Efekt staklenika ili staklenički učinak obilježava zagrijavanje Zemljine površine selektivnim propuštanjem zračenja. „Atmosfera propušta velik postotak vidljive Sunčeve svjetlosti koja zagrijava Zemlju, a dio te energije reemitira se u obliku dugovalnoga toplinskog

⁷⁸ Ibidem, str. 53

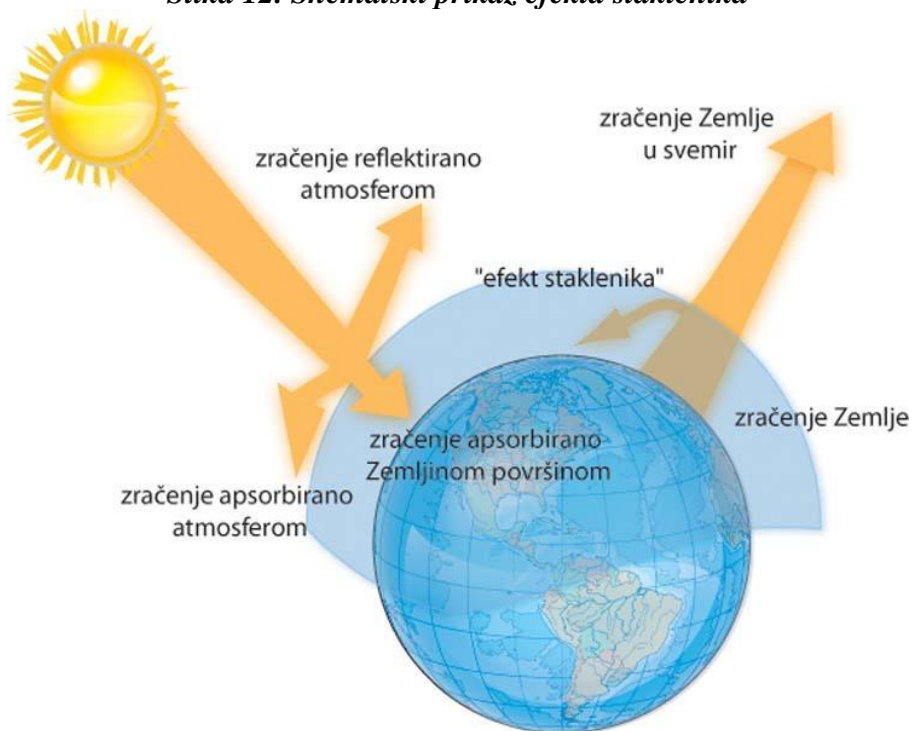
⁷⁹ Ibidem, str. 53 – 54

zračenja natrag u atmosferu. Najveći dio te energije apsorbira se u atmosferi molekulama vodene pare, ugljikova dioksida, klorofluorouglijka (freona), metana, dušikova oksida, heksafluorida i reflektira natrag prema Zemlji“.

Devedesetih godina prošlog stoljeća, efekt staklenika prepoznat je kao problem diljem svijeta te je 1997. godine u Japanu postignut sporazum, tzv. Protokol iz Kyota, kojim se nalaže smanjivanje emisije stakleničkih plinova, ponajviše CO₂.⁸⁰

Općenito je prihvaćeno da je ugljikov dioksid staklenički plin, odnosno plin koji pomaže zadržati toplinu Sunca na površini i spriječiti njegovo otpuštanje dalje u atmosferski zrak. Metan, dušični oksid, spojevi ugljikovodika s klorom i fluorom te vodena para imaju značajni staklenički učinak od ugljikovog dioksida. Tijekom posljednjih 35 godina, kako su rasle razine CO₂, tako su i rasle razine metana i ostalih stakleničkih plinova. Spojevi ugljikovodika uvelike su se koristili kao pogonsko gorivo u posudama za raspršivanje aerosola i kao rashladno gorivo, do trenutka kad je zabranjeno njegovo korištenje zbog učinka staklenika i uništavanja ozonskog omotača.

Slika 12. Shematski prikaz efekta staklenika



⁸⁰ Efekt staklenika, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17109> (13.08.2019.)

Izvor: http://www.alfaportal.hr/phocadownload/osnovna_skola/8_razred/kemija/galerija_slika/10.%20Kru%C5%BEenje%20ugljika%20u%20prirodi/slides/10.5%20Efekt%20staklenika.html

Vjetroelektrane promoviraju se kao čist obnovljiv izvor energije. No, glavni problemi koji se javljaju pri izgradnji vjetroelektrana su materijali korišteni za izgradnju, vizualno uništavanje okoliša, proizvodnja buke i negativan utjecaj na ljudsko zdravlje.⁸¹

Također, energije vjetra ne može biti pouzdan način dobivanja električne energije jer vjetar ne puše konstantnom jačinom koja je potrebna za pokretanje postrojenja. Moderne vjetroelektrane sastoje se od velikih turbina koje proizvode osjetan šum u rasponu niskih frekvencija. Buka nije veća od one koju uzrokuje gust promet, ali ljudima buka na toj frekvenciji smeta i uzrokuje smetanje spavanja i glavobolje. Brojni su prigovori i na račun smanjenja ptičje populacije. Broj ubijenih ptica u propelerima vjetroelektrana znatno je manji od broja ubijenih životinja u cestovnom prometu.⁸²

Solarna energija je također vrlo popularan i čist obnovljiv izvor energije. Ona je vrlo difuzna i da bi se koncentrirala u iskoristiv oblik energije, potrebne su velike kopnene površine, bilo da se koriste fotonaponski uređaji ili veliki solarni kolektori. To može uništiti cijeli ekosustav područja na kojem se postavljaju, najčešće u pustinjama. Odabiru se pustinjska područja i područja sa što manje vegetacije jer sav biljni i životinjski svijet ispod solarnih kolektora odumire. Drugi utjecaj na okoliš je postavljanje manjih solarnih kolektora na krovove kuća i manjih zgrada. U slučaju da se drveće priječi na toj površini, potrebno ga je ukloniti, a novo se ne smije zasaditi kako ne bi smanjili površinu prikupljanja energije.⁸³

Radioaktivni otpad koji nastaje iskorištavanjem nuklearne energije u industrijskim postrojenjima, obavezno se mora izdvojiti posebnim procesima. No, unatoč brojnim mjerama zaštite i pravilnom odlaganju otpada, stanovništvo iseljava s većeg područja oko nuklearnih elektrana. Najveće svjetske katastrofe uzrokovane radioaktivnim otpadom iz nuklearnih elektrana bile su u Americi (Pennsylvania), Ukrajini (Černobil) i Japanu (Fukushima).⁸⁴

⁸¹ Energija i ekologija, http://www.izvorienergije.com/energija_i_ekologija.html (12.08.2019.)

⁸² Brian F. Towler, *The Future of Energy*, Chapter 10, 2014., str. 54

⁸³ *Ibidem*, str. 55

⁸⁴ *Ibidem*, str. 56

5.2. Prednosti hidroelektrana

Jedna od glavnih prednosti hidroelektrana je to što proizvodnja električne energije u hidroelektranama ne stvara otpadne produkte i nema emisija stakleničkih plinova, čime značajno doprinosi očuvanju okoliša. Pošto nema troškova goriva, niski su i sveukupni troškovi izgradnje cijelog postrojenja, a jednom izgrađena brana traje nekoliko desetaka godina. Voda rijeka ili mora na kojima se nalaze hidroelektrane neprestano kruži prirodom, neiscrpan je izvor energije, te se iskorištena voda vraća u okoliš u nepromijenjenom obliku. Ukoliko nema potrebe za električnom energijom, zatvaranjem brane zaustavlja se proizvodnja energije i pohranjuje se u akumulacijskim jezerima za sušna i razdoblja veće potražnje za energijom. Protočne hidroelektrane imaju važnu ulogu u sprječavanju poplava i reguliranju riječnog prometa, dok vodostani akumulacijskih hidroelektrana osiguravaju dovoljnu količinu vode koja služi za navodnjavanje i kućnu upotrebu.⁸⁵

Hidroelektranu pokreće voda koja predstavlja čist izvor goriva koji ne zagađuje zrak poput elektrana u kojima izgaraju fosilna goriva poput ugljena ili prirodnog plina. Bez obzira na to radi li se o malim ili velikim hidroelektranama i koriste li prirodan tok rijeka ili imaju izgrađene rezervoare, koriste se prirodnim izvorom energije.⁸⁶ Voda svojim prirodnim ciklusom isparava iz oceana i jezera, formira oblake, vraća se na Zemljinu površinu u obliku oborina, te se zatim vraća u oceane i jezera kako bi ponovo pokrenula ciklus.⁸⁷

Energija proizvedena u hidroelektranama ovisi o ciklusu vode kojeg „pokreće“ Sunce, što predstavlja obnovljivi izvor energije, pristupačniji i pouzdaniji od ostalih izvora energije, npr. fosilnih goriva koja se brzo troše. Hidroenergija je lokalni izvor energije; omogućuje

⁸⁵ Ryan V.: Advantages and disadvantages of hydropower, <http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm> (18.07.2019.)

⁸⁶ Hydroelectric Power: Advantages of Production and Usage, https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-advantages-production-and-usage?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (14.08.2019.)

⁸⁷ Benefits of hydropower, <https://www.energy.gov/eere/water/benefits-hydropower> (14.08.2019.)

svakoj državi proizvodnju vlastite energije bez oslanjanja na međunarodne izvore energije i tržišne fluktuacije. Pored toga, omjer troškova i koristi, učinkovitost, fleksibilnost i pouzdanost pomažu u optimizaciji korištenja voda.

Neke hidroelektrane mogu brzo prijeći s nulte na maksimalnu izlaznu snagu, što pruža dodatnu, rezervnu energiju tijekom nestanka ili prekida dovoda električne struje. Mogućnost hidroelektrana da brzo i predvidivo dostignu maksimalnu proizvodnju čine ih izuzetno pogodnim za rješavanje promjena u potrošnji i pružanje pomoćnih usluga u elektroenergetskom sustavu, održavajući na taj način ravnotežu između ponude i potražnje električne energije.

Akumulacijska jezera hidroelektrana nude različite mogućnosti rekreacije, kao što su to ribolov, plivanje i kajakarenje. Kako bi se iskoristile ove mogućnosti, potrebna je izgradnja brojnih postrojenja koja opskrbljuju akumulacijska jezera vodom koja električnu energiju čine učinkovitim i ekonomičnijom od npr. energije Sunca.

Rezervoari hidroelektrana sakupljaju vodu tijekom kišnih razdoblja koja se tada može koristiti za potrošnju ili za navodnjavanje okolnog područja. Skladištenjem vode štite se rijeke od iscrpljivanja i smanjuje se utjecaj poplava i suša na stanovništvo i biljni i životinjski svijet. U zemljama u razvoju, proizvodnja u hidroelektranama u neprestanom je doticaju s biološkim ekosustavima i raznolikostima u vodenim slivovima te se za cilj postavlja „suradnja“ između očuvanja šuma i gospodarskog razvoja lokalnih zajednica u blizini hidroelektrana.⁸⁸

Rad hidroelektrane proizvodi vrlo male količine stakleničkih plinova. Ispuštaju manje stakleničkih plinova od elektrana koje koriste plin, ugljen ili naftu u svojoj proizvodnji, što može pomoći pri smanjenju učinka globalnog zagrijavanja. Iako je iskorišteno samo 33% dostupnog hidroelektričnog potencijala, danas hidroelektrane sprječavaju emisiju stakleničkih plinova jednaku izgaranju 4,4 milijuna barela nafte dnevno diljem svijeta. Pored toga, u proizvodnji električne energije u hidroelektranama, ne proizvode se toksični nusprodukti. Hidroelektrane svojom proizvodnjom električne energije i njenom distribucijom do korisnika, omogućuju razvoj gospodarstva, proširuju pristup zdravlju i obrazovanju te poboljšavaju

⁸⁸ Hydroelectricity production and forest conservation in watersheds, <https://pdfs.semanticscholar.org/bfbd/5f34e46ffa9dbd9ab6a242f3d4474d73be23.pdf> (14.08.2019.)

kvalitetu života. Izgradnja novih hidroelektrana predstavlja ekonomski održiv, razuman i društveno prihvatljiv koncept proizvodnje električne energije.⁸⁹

Za razliku od solarnih elektrana i vjetroelektrana, hidroelektrane se opetovano isplaćuju same bez zahtijevanja državnih subvencija. Hidroelektrana je najučinkovitije sredstvo za pretvoriti energiju u električnu energiju. Obično se 85% -95% energije vode pretvara u električnu energiju, što je izrazito učinkovito u usporedbi s 15% -20% energije za solarnu energiju, 35% -45% za energiju vjetra i 30% -45% za energiju dobivenu iz ugljena. U kombinaciji s nultim troškovima goriva postaje jasno zašto je hidroelektrana danas najmanje skupa tehnologija za proizvodnju električne energije.⁹⁰

EPR (eng. *Energy Payback Ratio*) predstavlja omjer ukupne proizvedene energije tijekom cijelog životnog ciklusa postrojenja, podijeljen s energijom potrebnom za izgradnju postrojenja, održavanjem i utroškom u gorivu. Visok omjer ukazuje na dobre ekološke performanse. Tako hidroelektrana ima najveći izračunati EPR omjer u odnosu na sve ostale oblike dobivanja električne energije, s omjerom između 170 i 267 za hidroelektrane koje koriste riječni prtok i omjerom između 205 i 280 za hidroelektrane s rezervoarima. EPR omjer kod fosilnih goriva varira u rasponu od 1,6 do 7, 18 do 34 kod većih vjetroelektrana te 14 do 16 kod nuklearnih elektrana.⁹¹

Učinak hidroenergije na okoliš drastično je manji od utjecaja tradicionalnih izvora energije. Proizvodnjom električne energije iz hidroelektrana umjesto iz ugljena se u 2017. godini spriječilo oko četiri milijarde tona stakleničkih plinova i izbjegao 10% -tni porast globalnih emisija iz fosilnih goriva i industrije. Također se izbjeglo emitiranje 148 milijuna tona čestica koje zagađuju zrak, 62 milijuna tona sumpornog dioksida i osam milijuna tona dušičnog oksida. U 2017. godini se proizvelo 4,185 teravatnih sati (TWh) električne energije iz hidroelektrana, a globalni instalirani kapaciteti hidroelektrana povećani su na 1.267 gigavata (GW).⁹²

⁸⁹Hydroelectric Power: Advantages of Production and Usage, https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-advantages-production-and-usage?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (14.08.2019.)

⁹⁰ The Ecological Footprint of Hydropower, <http://www.whyhydropower.com/HydroTour3c.html> (14.08.2019.)

⁹¹ Killington A. Hydroelectric Power, The future of energy. Chapter 21: Elsevier; 2014. str. 463.

⁹² Environmental impact of hydropower, <https://www.governmenteuropa.eu/environmental-impact-of-hydropower/91552/> (14.08.2019.)

Svaka metoda proizvodnje električne energije ima prednosti i nedostatke, kao i značajno različite učinke na okoliš. Tablica 2 u nastavku pomaže prikazati razlike između različitih izvora energije koji se koriste za proizvodnju električne energije.⁹³

Tablica 1. Utjecaji različitih izvora energije na okoliš

Izvor energije	Emisija CO₂ g/kWh	Dostupnost napajanja	Tekući troškovi goriva	Drugi utjecaji na okoliš
Ugljen	90	24/7, 365 dana u godini	Da	- iskopavanje rudnika - onečišćenje podzemnih voda - zagađenje zraka živom - neobnovljivi izvor
Prirodni plin	59	24/7, 365 dana u godini	Da	- neobnovljivi izvor
Nuklearna goriva	0	24/7, 365 dana u godini	Da	- neobnovljivi izvor - opasan toksični otpad
Vjetar	0	Varira ovisno o brzini vjetra	Ne	- ugibanje ptica - visoka vidljivost u okolini - prekomjerna buka
Sunce	0	Varira ovisno o količini sunca	Ne	- puno energije se koristi u proizvodnji - otrovni silicijev tetraklorid
Voda	0	24/7, pod utjecajem sezonskih oborina	Ne	- poplava iza brane - utjecaj na migraciju ribe (ako nije ublažen) - smanjenje protoka vode

⁹³ Comparing Hydropower to Other Alternatives, <http://www.whyhydropower.com/HydroTour3b.html> (14.08.2019.)

Izvor: <http://www.whychydropower.com/HydroTour3b.html>

Hydroenergija ima veliki potencijal zbog mogućnosti proizvodnje električne energije s najmanjim utjecajem na okoliš i to prema nekoliko pokazatelja, uključujući klimatske promjene, iscrpljivanje ozonskog omotača, petrokemijsku oksidaciju, zakiseljavanje, eutrofikaciju i toksičnost za ljude. Proizvodnja električne energije korištenjem neobnovljivih izvora pokazala je najgore rezultate zbog svog utjecaja na okoliš, uslijed ekstrakcije, transformacije i uporabe goriva.

Istraživanja pokazuju da je stopa emisije stakleničkih plinova hidroelektrana značajno niža od ostalih opcija za proizvodnju električne energije; pet puta niža od solarne fotonaponske energije, 50 puta niža od termoelektrane na plin i 70 puta niža od termoelektrane na ugljen. To dokazuje i činjenica da zemlje s visokim udjelom hidroenergije u kombinaciji sustava za dobivanje električne energije, poput Norveške koja ima najveći intenzitet proizvodnje energije po glavi stanovnika na svijetu, bile su među onima za koje se pokazalo da imaju najnižu stopu emisije stakleničkih plinova.⁹⁴

Danas se hidroenergija smatra naprednom tehnologijom koja osigurava samo 16% ukupne svjetske energetske proizvodnje u 160 svjetskih država, u usporedbi s fosilnim gorivima koji čine 67,2%. U odnosu na ostale obnovljive izvore energije, hidroenergija je vodeća obzirom da energije vjetra, Sunca i geotermalna energija čine 3,6% proizvodnje energije.⁹⁵

Iz svega navedenog možemo zaključiti kako hidroenergija ima brojne prednosti naspram drugih izvora električne energije, posebno u usporedbi s termalnom energijom. Predstavlja obnovljiv, čist izvor energije, uglavnom bez ugljika i dobro prilagođen za

⁹⁴ Comparing power generation options: study highlights hydropower's place in the energy mix, <https://www.hydropower.org/blog/comparing-power-generation-options-study-highlights-hydropower%E2%80%99s-place-in-the-energy-mix> (14.08.2019.)

⁹⁵ Rocha Lessa A. C. i sur. Emissions of greenhouse gases interresidential areas pre-existing to hydroelectric plant reservoirs in the Amazon: The case of Belo Monte hydroelectric plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015; 51. 1728 – 1736.

integraciju u mrežu električne energije. Akumulacijska jezera omogućavaju i poljoprivredno navodnjavanje, suzbijaju poplave i potiču razvoj rekreacijskog turizma.⁹⁶

5.3. Nedostaci hidroelektrana

Glavni nedostatak svih hidroelektrana je njihov utjecaj na okoliš. Poplave naselja i zemljišta, ugrožavanje flore i faune okolnog područja, raseljavanjem stanovništva, samo su neke od negativnih posljedica izgradnje hidroelektrana. Velike brane, koliko dobro štite od potapanja područja izljevima rijeka, toliko i utječu na prirodni tok rijeka te postoji opasnost od njihovog urušavanja. Kako bi brana bila stabilna i zadovoljavala određene propisane standarde, potrebni su veliki financijski izdaci i ulaganja brojnih investitora. Potrebno je naglasiti i kako sama proizvodnja električne energije uvelike ovisi o hidrološkim uvjetima te često proizvodnja i potražnja električne energije nisu u ravnoteži.⁹⁷

Za izgradnju hidroelektrana potrebne su brojne promjene u okolišu, bilo da se radi o velikim postrojenjima koje zahtijevaju izgradnju brana ili manjih postrojenjima koje iskorištavaju prirodan protok vode. Veličina akumulacijskog jezera izgrađenog za potrebe iskorištavanja hidroenergije ovisi o potrebama hidroelektrane i topografiji područja. Hidroelektrane izgrađene na ravnom tlu zahtijevaju više nasipa zemlje od onih u brdovitom području ili kanjonima gdje dublji rezervoari mogu sadržavati veće količine vode u manjem prostoru.⁹⁸

Za izgradnju većine hidroelektrana potrebna je i izgradnja brane kako bi se iskoristila gravitacijska sila vode koja je potrebna za stvaranje električne energije. Izgradnja brane može uzrokovati brojne negativne utjecaje na lokalni, priobalni ekosustav i okolno stanovništvo, budući da je područje uzvodno od brane poplavljeno u svrhu stvaranja akumulacijskog jezera. Voda, osim u svrhu poljoprivrede, sanitarija, industrije i gospodarskog razvoja, ima veliku, ako ne i najveću ulogu u održavanju staništa brojnih biljaka i životinja. Zbog svoje mnogobrojne

⁹⁶ Environmental Impacts of Hydroelectric Power, https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

⁹⁷ Ryan V. Advantages and disadvantages of hydropower, <http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm> (18.07.2019.)

⁹⁸ Environmental Impacts of Hydroelectric Power, https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

uloge u svijetu, iskorištavanje vode i u svrhu dobivanja električne energije može „preopteretiti“ ionako već preopterećeni izvor energije.⁹⁹

Neizbježna je promjena prirode toka rijeke pa tako i biljnih i životinjskih vrsta koje u njoj obitavaju, posebno riba poput lososa i pastrmke, važne vrste ribe u Europi i Sjevernoj Americi, koje se rađaju u gornjem toku rijeke, plivaju nizvodno do oceana, sazrijevaju te se vraćaju nazad u rijeku gdje se mrijeste i umiru. Izgradnjom brane na tim mjestima prekinut je opisan životni ciklus. Rješenje za to je izgradnja sporednih kanala u sklopu brane koje omogućavaju ribama nesmetan prolazak. Primjer jednog kanala je sustav rijeke Columbia na sjeverozapadu Sjedinjenih Američkih Država, gdje je izgrađena hidroelektrana Grand Coulee.

100

Slika 13. Hidroelektrana Grand Coulee



Izvor: <https://www.usgs.gov/media/images/grand-coulee-dam-washington>

⁹⁹ International energy agency, <https://www.ieahydro.org/media/de2cb5a7/Hydropower%20and%20the%20Environment-%20Present%20Context%20and%20Guidelines%20for%20Future%20Action.pdf>

¹⁰⁰ Killingtveit A. Hydroelectric Power, The future of energy. Chapter 21: Elsevier; 2014. str. 461., Towler B. F. The Future of Energy. Chapter 10; 2014. str. 55.

Hidroelektrane izgrađene na slivovima rijeka ne utječu direktno na promjene toka rijeke, ali hidroelektrane koje zahtijevaju izgradnju akumulacijskih jezera, obično dovode do promjena u određenim godišnjim dobima. Tako se na primjer smanjuje ljetni tok rijeke, a povećava se zimski tok.¹⁰¹

Osim izravnog utjecaja, može doći i do neizravnog utjecaja na divlji svijet unutar akumulacijskih jezera ili protoka rijeka koje se koriste za proizvodnju električne energije. Voda u rezervoarima je stajaća voda te brže hlapi od tekuće vode, a na dnu se stvaraju veće količine sedimenta i hranjivih tvari za višak algi i korova unutar jezera. Oni zatim istiskuju ostali životinjski i biljni svijet i preuzimaju vegetaciju akumulacijskog tla, što narušava prirodu ravnotežu te je potrebno ručno uništavanje korova ili dopremanje riba iz drugih područja koje jedu korov i alge.¹⁰² Budući da hidroelektrane i brane koriste protok vode, to također mijenja prirodni tok rijeke. Cvjetanje algi može se pojaviti u rezervoarima zbog nedostatka razine otopljenog kisika. Da bi se riješio taj problem, akumulacijska voda se može prozračiti, uz održavanje minimalnog protoka vode nizvodno za očuvanje priobalnih staništa.¹⁰³

U slučaju skladištenja veće količine vode u akumulacijskim jezerima, dijelovi rijeke nizvodno od jezera mogu presušiti te je potrebno ispuštanje vode iz rezervoara u sušnim razdobljima godine. Ako se ne ispušta na pravilan način, neizbježno je presušivanje dijela rijeke koji dovodi do znatnog gubitka biljnog i životinjskog svijeta. Nadalje, u akumulacijskim jezerima voda sadrži više otopljenog kisika i hladnija je od ostatka riječne vode te je nužan oprez kod ispuštanja vode kako ne se ne bi naštetilo prirodnom okolišu. Štoviše, za ublažavanje temperaturnih razlika i izjednačavanje koncentracije kisika, trebale bi se ugraditi zračne turbine na više razina koje bi povećavale koncentraciju otopljenog kisika i omogućavale otjecanje vode iz rezervoara s više razina, a ne samo dna gdje je najhladnija i ima najmanju koncentraciju kisika.¹⁰⁴

Prirodno kretanje sedimenta narušeno je u toj mjeri da se sedimentacija stvara samo na određenom području skladištenja veće količine vode, a na području nizvodno od protoka rijeke,

¹⁰¹ Killingtveit A. Hydroelectric Power, The future of energy, Chapter 21: Elsevier; 2014. str. 462.

¹⁰² Environmental Impacts of Hydroelectric Power , https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

¹⁰³ Renewable Energy Essentials:

Hydropower, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Hydropower_Essentials.pdf (14.08.2019.)

¹⁰⁴ Environmental Impacts of Hydroelectric Power , https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

sedimentacija se smanjuje što dovodi do povećane erozije okolnog tla i riječnog korita. Izgradnja brana i akumulacijskih jezera dovodi do iskorištavanja tla, ne u poljoprivredne svrhe, nego u industrijske, što za posljedicu ima preseljenje okolnog stanovništva dalje od izgrađene hidroelektrane.¹⁰⁵

Tijekom same izgradnje hidroelektrana, svi mogući utjecaji na okoliš trebaju biti uzeti u obzir i težiti uravnoteženju troškova i koristi, ne samo novčanog, nego i društvenog u širem smislu.¹⁰⁶ Brojni negativni učinci mogu se umanjiti posebnim tehnologijama koje je potrebno uvrstiti u plan izgradnje hidroelektrane jer se odnosi na narednih 80 godina, koliko najčešće hidroelektrane opstaju. Dakle, da bi se utvrdilo koje su prednosti i nedostaci izgradnje postrojenja, energetska učinkovitost, utjecaj na okoliš i razina emitiranja stakleničkih plinova, važno je uzeti u obzir cijeli „životni ciklus“ projekta – istraživanje, planiranje, izgradnja, proizvodni pogon, održavanje, obnova i na kraju raspad.¹⁰⁷

Procjena emisije stakleničkih plinova u životnom ciklusu hidroelektrane iznosi između 4 i 14 g/kWh. Taj se raspon može usporediti s 1000 g/kWh kod izgaranja ugljena, 800 g/kWh za izgaranje nafte te 500 g/kWh za izgaranje prirodnog plina. Ostali obnovljivi izvori energije imaju također vrlo male emisije stakleničkih plinova, slične ili malo više od hidroenergije. Emisije globalnog zagrijavanja nastaju tijekom izgradnje, procesa proizvodnje električne energije i demontaže hidroelektrana. Variraju ovisno o veličini rezervoara i prirodi zemljišta na kojem se nalazi akumulacijsko jezero. Manje emisije CO₂ prisutne su kod hidroelektrana izgrađenim na vlažnim i djelomično vlažnim područjima, dok hidroelektrane izgrađene u tropskim područjima emitiraju veće količine CO₂. Raspadom vegetacije i tla na poplavljenom području akumulacijskog jezera, oslobađaju se CO₂ i metan.¹⁰⁸

Premještanje stanovništva vrlo je značajan izazov u hidroenergetskim projektima. Lokalno stanovništvo, posebno ono u neposrednoj blizini hidroelektrana iseljava zbog nepovoljnog utjecaja hidroelektrana na tlo, biljke i životinje te u konačnici na njihov

¹⁰⁵ Ibidem

¹⁰⁶ Killingtveit A. Hydroelectric Power, The future of energy, Chapter 21: Elsevier; 2014. str. 462., Towler B. F. The Future of Energy. Chapter 10; 2014. str. 56.

¹⁰⁷ Killingtveit A. Hydroelectric Power, The future of energy. Chapter 21: Elsevier; 2014. str. 463.

¹⁰⁸ Environmental Impacts of Hydroelectric Power , https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

gospodarski razvoj. Na području najveće svjetske hidroelektrane, kineske brane „Tri klanca“, odselilo je više od 1,4 milijuna ljudi od vremena kada je ona izgrađena.¹⁰⁹

6. NAJVEĆE HIDROELEKTRANE SVIJETA I NJIHOV UTJECAJ NA OKOLIŠ

6.1. Hidroelektrana Tri klanca

Hidroelektrana Tri klanca izgrađena je u Kini na trećoj najdužoj rijeci Svijeta Yangt – ze te predstavlja hidroelektranu s najvećom instaliranom snagom na svijetu od 22 500 MW (2012. godine kada je puštena u pogon). Rijeka Yangt – ze duga je 6 380 km, izvire na tibetanskoj visoravni te prolazi kroz osam kineskih pokrajina. Pad rijeke Yangt – ze ukupno iznosi 5800 metara, no za potrebe proizvodnje električne energije koristi se svega 6%. Dužina ove rijeke donosi i negativne posljedice, kao što su to poplave koje se pojavljuju periodično svakih desetak godina te se visina rijeke zna povisiti i do 17 metara, stoga su obale zaštićene 33 000 kilometarskim nasipom.¹¹⁰

Najpogodniji dio za iskorištavanje riječne snage je srednji dio, odnosno dio istočnog dijela pokrajine Sečuan koji se i naziva Tri klanca (engl. *Three Gorges*). Prva veća istraživanja počela su još 1940. godine, no do projekta je došlo tek četrdesetak godina kasnije. Mjesto na kojem je hidroelektrana izgrađena odabrano je zbog izuzetno povoljnih prirodnih uvjeta, granitne kamene podloge za postavljanje čvrstih temelja, geološke strukture te zbog male

¹⁰⁹ Renewable Energy Essentials:

Hydropower, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Hydropower_Essentials.pdf (14.08.2019.)

¹¹⁰ Nadilo B. Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce. Građevinar. 2002; 54: 239.

seizmičke aktivnosti. Samo postrojenje sastoji se od brane, dviju odvojenih hidroelektrana te posebnim dijelom namijenjenim za održavanje riječne plovnosti. Brana je izrađena 2006. godine od armiranog betona, visine 185 metara, dužine 2309 metara i najveće širine 181 metar. Protočni dio sadrži 23 protočna otvora i 22 površinska privremena ispusta. Na lijevoj strani brane se nalazi hidroelektrana s 14 generatorskih (Francis) turbina, dok se na desnoj strani nalazi hidroelektrana s 12 Francis turbina. Kina proizvodnjom električne energije putem ove hidroelektrane zadovoljava 10% sveukupne potražnje za energijom.¹¹¹

Slika 14. Hidroelektrana Tri klanca



Izvor: <http://www.geografija.hr/svijet/projekt-tri-klanca-novo-svjetsko-cudo-ili-novi-ljudski-promasaj/>

Tablica 2. Dobre i loše strane izgradnje HE Tri klanca

Dobre strane	Loše strane
--------------	-------------

¹¹¹ Ibidem

<ul style="list-style-type: none"> • Proizvodnja energije korištenjem obnovljivih izvora energije • Regulacija toka rijeke • Povećanje plovnosti rijeke • Smanjeni troškovi prijevoza brodom za 40% • Zaštita od poplava • Navodnjavanje poljoprivrednih površina • Bolja vodoopskrba • Smanjenje zagađenja zraka • Povoljan učinak na prirodu floru • Porast turizma 	<ul style="list-style-type: none"> • Financijski troškovi izgradnje postrojenja • Povećanje prosječne temperature područja za 2% • Češća pojava magle i kiselih kiša • Ugrožene biljne i životinjske vrste • Poplavljena staništa endemskih vrsta • Potop naselja • Potop arheoloških nalazišta • Taloženje mulja i smeća • Zagađenje vode • Povećanje saliniteta delte rijeke oko Šangaja • Potresi jači od 7 stupnjeva po Richteru mogu urušiti branu • Deložacija 1,3 milijuna stanovnika
---	--

Izvor: B. Nadilo, Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce, Građevinar, 2002, Br.54, str 244-245

Izgradnjom hidroelektrane značajno se smanjilo poplavljanje područja rijeke Yangt – ze, a uz to, navodnjavanje okolnih poljoprivrednih površina i mogućnost vodoopskrbe sjevernih i sušnijih dijelova Kine, doveli su do značajnog razvoja kineskog gospodarstva.

S druge strane, mnogi stručnjaci smatraju kako bi u daljnjim godinama pozitivni učinci hidroelektrane mogli biti zasjenjeni negativnima. Odlazak 1,3 milijuna ljudi iz Kine, brojne ekološke promjene, klizanja tla i potapanje arheoloških nalazišta, samo su jedni od negativnih učinaka hidroelektrane Tri klanca.¹¹²

Kineska vlada više od tri desetljeća odbacivala je upozorenja znanstvenika i ekologa da brana hidroelektrane Tri klanca može postati jedan od najvećih kineskih uzroka onečišćenja okoliša. No, 2007. godine poricanje je ustupilo mjesto nevoljnom prihvaćanju da su ekolozi bili u pravu. Kineski dužnosnici priznali su da masivna brana hidroelektrane, zapuštena između zapanjujućih litica na rijeci Yangt – ze u središnjoj Kini, može pokrenuti klizišta, promijeniti cijele ekosustave i uzrokovati druge ozbiljne ekološke probleme te ugroziti milijune ljudi koji žive na tom području.¹¹³

Dugi niz godina za Kinu je hidroelektrana predstavljala glavni izvor obnovljive energije za državu koja konstantno ovisi o velikim količinama energije, kao i način sprječavanja

¹¹² B. Nadilo, Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce, Građevinar, 2002, Br.54, str. 244-245

¹¹³ China's Three Gorges Dam: An Environmental Catastrophe?, <https://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/>

poplava nizvodno od rijeke Yangt – ze. Hidroelektrana proizvodi 18 000 megavata snage, što je osam puta više od američke hidroelektrane Hoover Dam na rijeci Colorado. No, iza te snage su "skrivena opasnosti" koje bi mogle izazvati katastrofu. Potvrdilo se ono na što su geolozi, biolozi i ekolozi upozoravali godinama. Masivna brana hidroelektrane izgrađena je na gusto naseljenom području te staništu brojnim ugroženim životinjskim i biljnim vrstama. Pojavila su se razdoblja s puno manje kiše, kao i sušna razdoblja. Među novim problemima pojavila su se klizišta uzrokovana povećanim pritiskom na okolno zemljište, koja su ubila minimalno 30 ljudi do 2008. godine. Također, zabilježen je pad raznolikosti ekosustava na području hidroelektrane jer brana preplavi neka staništa, smanjuje protok vode drugim staništima i mijenja vremenske obrasce.¹¹⁴

Gospodarski razvoj potaknuo je krčenje šuma i zagađenje u okolnim pokrajinama u središnjoj Kini, što je ugrozilo najmanje 57 biljnih vrsta, uključujući stablo kineske golubice i zoru crveno drvo, a od životinjskih vrsta između ostalih ugrožene su i velike pande. Smanjeni protok slatke vode zbog izgrađene brane znači da se slana voda iz Istočnokineskog mora sada kreće dalje uzvodno, što uzrokuje porast broja meduza koji se natječu s riječnom ribom za hranu i konzumiraju njihova jaja i ličinke pa prijete populaciji riba tog područja koja već opada kao rezultat prekomjernog ribolova. 2004. godine, godinu dana nakon što je brana djelomično napunjena, znanstvenici su primijetili vrstu meduza u rijeci Yangt – ze koja je prethodno stizala samo do Južnog kineskog mora.¹¹⁵

Nadalje, proučavana je i pojava bolesti shistosomijaze (puževa groznica ili svrbež plivača). Ljudi tog krvnog parazita mogu dobiti kupanjem ili utapanjem u zagađenoj slatkoj vodi kada zaraženi puževi oslobode larve koje mogu prodrijeti kroz kožu. Simptomi bolesti uključuju vrućicu, smanjen apetit i gubitak tjelesne težine, bol u trbuhu, krv u urinu, bolove u mišićima i zglobovima, zajedno s mučninom, upornim kašljem i proljevom. Puževi se uzgajaju na malim poplavnim otocima gdje su godišnje poplave spriječile raseljavanje stanovništva. Sada smanjeni protok nizvodno od brane omogućava puževima da se nekontrolirano

¹¹⁴ China's Three Gorges Dam: An Environmental Catastrophe?, <https://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/>

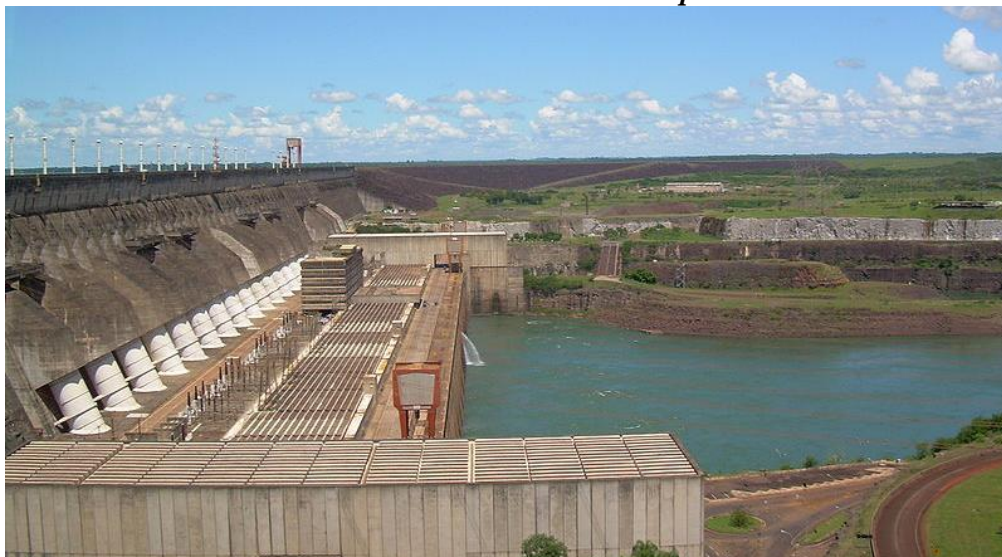
¹¹⁵ China's Three Gorges Dam: An Environmental Catastrophe?, <https://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/>

razmnožavaju, što je u nekim područjima već dovelo do zabilježenih slučajevima shistosomijaze.¹¹⁶

6.2. Hidroelektrana Itaipu

Hidroelektrana Itaipu nalazi se na rijeci Parani na granici Paragvaja i Brazila. To je druga najveća južnoamerička rijeka, 3 100 km. Izgradnja hidroelektrane započinje 1975. godine kada se prokopava obilazni kanal kojim će rijeka teći za vrijeme izgradnje postrojenja, a završava 1982. kada se zatvara obilazni kanal i počinje se puniti akumulacijsko jezero. Samo jezero proteže se na 1 350 km² s obujmom vode 132 milijuna m³. Brana hidroelektrane dugačka je 7 760 metara. Napravljena je od armiranog betona i kameno – zemljanih nasipa u produženju brane sa svake strane. Svaka jedinica s brazilske i s paragvajske strane sastoji se od Francis turbine i generatora snage 715 MW, čime dobiva konačnu instaliranu snagu 12 600 MW, što odgovara snazi 20 nuklearnih elektrana Krško.¹¹⁷

Slika 15. Hidroelektrana Itaipu



Izvor: https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Itaipu

¹¹⁶ China's Three Gorges Dam: An Environmental Catastrophe?, <https://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/>

¹¹⁷ Nadilo B., Itaipu – najveća hidroelektrana na svijetu. Građevinar. 2004., str.56.

Električna energija proizvedena u hidroelektrani Itaipu zadovoljava sve energetske potrebe Paragvaja te 25% potreba Brazila. Paragvaj većinu svoje električne energije prodaje Brazilu. S obzirom da hidroelektrana proizvodi dovoljno energije, ne šteti okolišu, štoviše, smanjuje emisiju ugljičnog dioksida za 81 milijun tona godišnje, svrstava se među glavne proizvođače energije u budućnosti.¹¹⁸

Učinak na okoliš nastao izgradnjom brane Itaipu nije protekao bez osporavanja, posebno u vezi izgradnje akumulacijskog jezera. Stvaranje akumulacije prognalo je 40 000 lokalnih stanovnika koji su bili premješteni u susjedne ruralne zemlje ili im je osigurana novčana nadoknada.¹¹⁹

Utjecaj na staništa divljih životinja doveo je do stvaranja osam susjednih životinjskih rezervata u koje su zoološki stručnjaci preselili različite životinjske vrste. 2003. godine, paralelno s programom ponovnog pošumljavanja, stvoren je Koridor za biološku raznolikost, koji je izvorne rezerve životinjskih vrsta povezoao s većim Nacionalnim parkom Iguazu, osiguravajući tako stopu preživljavanja novorođenih životinja na tom području. Izgrađen je prolaz za ribe u sklopu hidroelektrane, odnosno akumulacijskog jezera, kao dio mjera ublažavanja štetnog utjecaja na okoliš, na taj način bi se omogućio prolazak vode od nizvodne rijeke Parane do gornjeg područja akumulacije iza brane.

Međutim, ova mjera nije bila uspješna, a za rješavanje ovog problema izgrađen je 2002. godine revidirani ribarski prolaz. Revidirani ribarski prolaz sastoji se od 6 km betonskog kanala i 4 km prirodnog kanala preko porasta od 100 m kako bi se omogućio prolazak ribe uz rijeku Paranu. Ovakva revidirana vrsta ribljug prolaza sada je obvezna za nove hidroelektrane, koje se grade zbog potrebe Brazila za električnom energijom. Stvaranjem akumulacije također je potopljen slap Sedam vodopada na uzvodnom dijelu rijeke Parane. Ovo pokazuje kompromis između potreba za opskrbom električnom energijom za razvoj gospodarstva i utjecaja na okoliš, koji su inženjeri morali uzeti u obzir u sklopu planiranja projekata.¹²⁰

¹¹⁸ Ibidem

¹¹⁹ Itaipu Dam – the world’s largest generator of renewable, clean energy, <http://www.engineersjournal.ie/2016/11/01/itaipu-dam-water-renewable-energy/>

¹²⁰ Itaipu Dam – the world’s largest generator of renewable, clean energy, <http://www.engineersjournal.ie/2016/11/01/itaipu-dam-water-renewable-energy/>

Hidroelektrana Itaipu dobila je niz nagrada za zaštitu okoliša, uključujući nagradu Zemaljske povelje za zaštitu kvalitete vode, što ukazuje na predanost najboljoj praksi u ovom području.¹²¹

6.3. Hidroelektrana Hoover Dam

Tijekom povijesti, američka rijeka Colorado, dužine 2 330 km, protežući se od planina Colorado sve do Kalifornijskog zaljeva, uzrokovala je brojne probleme okolnom stanovništvu. Gotovo sva količina vode u riječkom koritu dolazi od otapanja snijega s planina te su stoga česte poplave zemljišta u ravninama i udolinama tijekom proljeća i ranog ljeta. Ljeti i u jesen, rijeka gotovo presuši jer nema dotoka vode od otapanja snijega s planina. Kako bi se područje rijeke Colorado zaštitilo od poplava i suša, 1931. godine počela je izgradnja brane *Boulder Canyon Dam*, kasnije preimenovane u *Hoover Dam* – Hooverova brana.

Glavni problem koji se pojavio na početku izgradnje bilo je hlađenje brane. Naime, zbog debljine brane i količine betona za njezinu izgradnju (2,6 milijuna m³), pretpostavljeno vrijeme za hlađenje i učvršćivanje betona bilo je nekoliko desetaka godina. Kao rješenje problema, u beton su se ugrađivale metalne cijevi kojima će cirkulirati hladna voda kako bi se brana što brže hladila. Sama brana visoka je 221 metar i pri dnu široka 201 metar.¹²²

Hidroelektrana Hoover Dam izgrađena je prvenstveno kao izvor vode farmerima, zaštita od poplava i rezervoar vode za obližnje gradove i polja. Sastoji se od 17 agregata s Francis turbinama te godišnje proizvede 2,08 GW električne energije.¹²³

Hidroelektrana Hoover Dam značajno je utjecala na živote ljudi na jugozapadu, što pozitivno, što negativno. Područje jugozapadno od rijeke Colorado najduže je imao ozbiljnu nestašicu vode. Tijekom godina Velike depresije, problem se pogoršavao. Rješenje ovog problema bila je brana, koja je osigurala potrebnu kontrolu poplava i stalnu količinu vode, dovoljnu za opskrbu nekoliko milijuna hektara poljoprivrednog zemljišta na jugozapadu i području Meksika. Hidroelektrana Hoover Dam isporučuje jeftinu struju državama Nevadi,

¹²¹ Itaipu Dam – the world's largest generator of renewable, clean energy, <http://www.engineersjournal.ie/2016/11/01/itaipu-dam-water-renewable-energy/>

¹²² Hoover Dam, <https://www.britannica.com/topic/Hoover-Dam> (18.07.2019.)

¹²³ Ibidem

Arizoni i Kaliforniji. Njezina izgradnja, ne samo da je smanjila problem oskudice tog područja, već je omogućila i 5 218 novih radnih mjesta tijekom Velike depresije. ¹²⁴

Negativan utjecaj hidroelektrane vidljiv je ponajprije u okolišu tog područja. Najviše pogođeni aspekt rijeke Colorado zbog brane Hoover je nedostatak hranjivih sastojaka i mulja nizvodno niz rijeku. Naime, prije izgradnje brane cijelim tokom rijeke prenosilo se oko 125 milijuna tona suspendiranog sedimenta do delte rijeke u Kalifornijskom zaljevu. Trenutno rijeka ne ispušta sediment niti vodu u zaljev. Drugo pitanje su eliminirane poplave. Životinje i biljke su se navikli na poplavu rijeke, a kada je brana spriječila prirodne poplave, to je uzrokovalo smanjenje domaće ribe nizvodno od brane. Koštani mladunac, grbavi grm i sušica su trenutno na popisu ugroženih vrsta riba, što je vjerojatno povezano s učincima brane na njihovu populaciju. ¹²⁵

¹²⁴ The Power of Dams, <http://thepowerofdams.weebly.com/negative-impacts.html>

¹²⁵ The Power of Dams, <http://thepowerofdams.weebly.com/negative-impacts.html>

7. UTJECAJ HIDROELEKTRANE LEŠĆE NA OKOLIŠ

U sjeverozapadnom dijelu Karlovačke županije, blizu naselja Gorinci, teče rijeka Dobra. Na području Donje Dobre, 2005. godine izgrađena je prva hidroelektrana u Hrvatskoj nakon njenog osamostaljenja, HE Lešće, koja danas osigurava 0,28% potreba stanovništva za električnom energijom. Izgrađena je nizvodno od Ogulina na slivu rijeke Kupe i puštena u pogon 2010. godine.¹²⁶

Slika 16. Hidroelektrana Lešće



Izvor: <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543>

Plan izgradnje započeo je još 1980. godine koji se temeljio na studijima o utjecaju hidroelektrane na okoliš gdje su propisani uvjeti zaštite okoliša i izgradnje hidroelektrana. No, propisi su bili zastarjeli i zaštita prirode je bila na nižoj razini nego što je to danas, te je hidroelektrana izgrađena na vrijednom području u geomorfološkom smislu te se nalazi i na

¹²⁶ HEP – Proizvodnja d.o.o. <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543> (12.08.2019.), Forum za održivi razvoj Zeleni prozor. Utjecaj izgradnje hidroelektrana na okoliš: Primjer HE Lešće u dolini Dobre: <http://zeleniprozor.hr/2014/02/11/utjecaj-izgradnje-hidroelektrana-na-okolis-primjer-he-lesce-u-dolini-dobre/> (12.08.2019.)

staništu brojnih ugroženih i zaštićenih životinjskih i biljnih vrsta, kao što su to čovječja ribica i ogulinska špiljska spužvica te na mjestu jedinog mrijestilišta u Europi ribe mladice.¹²⁷

Nakon izgradnje HE Lešće, značajne promjene u okolišu bile su odmah vidljive. Sječa šume, potapanje doline, izgradnja brane i akumulacijskog jezera te cestovnog pristupa i samog pogonskog postrojenja hidroelektrane, imali su direktan utjecaj na osiromašenje prirode tog područja, kao i utjecaja na stanovništvo. Izgrađeno akumulacijsko jezero dugo je oko 13 km i široko oko 150 m te se nalazi iza hidroelektrane Gojak.¹²⁸

Za potrebe njegove izgradnje, isječena je i potopljena sva vegetacija doline. Također, bilo je potrebno osigurati dovoljnu količinu vode u jezeru na slabije razvijenim krškim stijenama, uključujući spilje i vrela, koja su trebala biti zabetonirana smjesom cementa, bentonita i gline. Najveća potopljena spilja je Dragina spilja, u kojoj živi dugonogi šišmiš, jedna od najugroženijih vrsta u Hrvatskoj kojoj prijeti izumiranje. Na taj način, spriječilo se nepotrebno otjecanje vode iz jezera.¹²⁹

Kako bi se izgradila brana HE Lešće, visine 52 m i dužine 176 m, kroz tunel je prokopan kanal kojim se skreće tok rijeke. Prokopavanje kanala dovelo je do usporavanja toka te nakupljanja sedimenta na dnu, što bi se inače pri prirodnom toku rasporedilo cijelom dužinom rijeke. Brana i sam pogon hidroelektrane izgrađeni su 2009. godine, kada je tunel zatvoren i potapanjem doline stvaralo se akumulacijsko jezero. Podizanjem vodostaja rezervoara i mijenjanjem prirodnog toka rijeke Dobre, stvorile su se manje bare oko jezera, koje su rezultirale sve većom vlažnosti okolnog područja i uništavanjem vegetacije i poljoprivrednih kultura tog područja.

Visoka razina vodostaja uzrokuje i česte poplave ili zbog velike količine vode u akumulacijskom jezeru ili zbog tla koje je već zasićeno vodom pa ne može upiti onu količinu

¹²⁷ Forum za održivi razvoj Zeleni prozor. Utjecaj izgradnje hidroelektrana na okoliš: Primjer HE Lešće u dolini Dobre: <http://zeleniprozor.hr/2014/02/11/utjecaj-izgradnje-hidroelektrana-na-okolis-primjer-he-lesce-u-dolini-dobre/> (12.08.2019.)

¹²⁸ HEP – Proizvodnja d.o.o. <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543> (12.08.2019.), Bedek, J., Jovanović, O., Popović, I., 2006: Utjecaj HE Lešće na podzemnu faunu, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zelena akcija, DZVO Žabac, Zagreb

¹²⁹ Bedek, J., Jovanović, O., Popović, I., 2006: Utjecaj HE Lešće na podzemnu faunu, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zelena akcija, DZVO Žabac, Zagreb

koja dospije na tlo u obliku padalina.¹³⁰ Osim na prirodna staništa, izgradnja HE Lešće ima utjecaj i na povijesna nalazišta i spomenike. Naime, 1988. godine izrađen je elaborat o uništavanju desetak speleoloških objekata, a nekoliko će ih dodatno biti pod negativnim utjecajem akumulacijskog jezera.¹³¹

Brojne biljne i životinjske vrste imaju su svoje stanište na tuku rijeke Dobre. Sada je to stanište podijeljeno branom na dva odvojena staništa. Problem odvojenih staništa se najviše prepoznaje kod riba koje migriraju iz gornjeg dijela porječja rijeke Kupe. Izgradnjom rezervoara, nastao je hidroklimatski problem. Smanjenje godišnjeg prosjeka temperature vode i smanjenje protoka rijeke negativno se odražavaju na riblju populaciju, kao i promjena temperature u akumulacijskom jezeru te ispuštanje vode s dna gdje je ona hladnija. Utjecaj hladnije vode na riblju populaciju seže i do rijeke Kupe nizvodno od ušća Dobre. U konačnici dolazi do opadanja riječnog turizma i rekreacijskog ribolova, a zbog povećanja dubine toka rijeke i smanjenje brzine na mjestu izgrađenog akumulacijskog jezera, na 90% riječnog područja onemogućeni su brojni rekreacijski sportovi, kao što su to rafting i kajakarenje.¹³²

Osim hidroklimatske, vidljive su mikroklimatske promjene zbog utjecaja akumulacijskog jezera na atmosferu. Smanjenjem godišnjeg temperaturnog prosjeka i povećanjem vlažnosti zraka tijekom cijele godine, dolazi do sve većeg pobola stanovništva i životinja okolnog i šireg područja rijeke Dobre od bolesti dišnog sustava. To se najviše očituje u ljetnim mjesecima kada u umjereno vlažnim uvjetima i uvjetima umjerene brzine protoka rijeke dolazi do zagrijavanje vode u rezervoaru, pojačanog isparavanja i posljedično jake sparine zraka. U zimskim mjesecima akumulacija dovodi do većeg broja maglovitih dana.¹³³

7.1. HEP i zaštita okoliša

¹³⁰Majetić, G., 2008: Gdje nestaju najljepše hrvatske rijeke?, Udruga Kameleon, <http://www.udruga-kameleon.hr/tekst/1413/> (12.08.2019.)

¹³¹ Bedek, J., Jovanović, O., Popović, I., 2006: Utjecaj HE Lešće na podzemnu faunu, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zelena akcija, DZVO Žabac, Zagreb

¹³² Velike štete od HE Lešće, 2012, Udruga Kameleon, <http://udruga-kameleon.hr/tekst/4175/> (12.08.2019.)

¹³³ Čizmešija, G., 2012: Nedostaci hidroelektrana predloženi na primjeru HE Dubrava, Senjar.hr, http://www.senjar.hr/index.php?option=com_content&view=article&id=111lanci&Itemid=41, 4. Majetić, G., 2008: Gdje nestaju najljepše hrvatske rijeke?, Udruga Kameleon, <http://www.udruga-kameleon.hr/tekst/1413/> (12.08.2019.)

Kao jedna od vodećih proizvodnih tvrtki u Hrvatskoj, HEP svojim projektima zaštite okoliša nastoji što više smanjiti šteta utjecaj svoje proizvodnje na okoliš. Dodatnim obrazovanjem djelatnika u poslovima zaštite okoliša, modernizacijom elektroenergetskih objekata i unaprjeđenjem nadležnih institucija, ulaže se u što veću zaštitu okoliša. Programi za zaštitu okoliša uključuju kontrolu utjecaja HEP – ovih pogona na zrak i atmosferu, vode i tlo, odlaganje otpada te zaštitu biljnog i životinjskog svijeta, odnosno posebnu Politiku upravljanja okolišem, kvalitetom i energijom.¹³⁴

Svako postrojenje u kojem se obavlja djelatnost kojom se može ugroziti okoliš, odnosno zrak, voda i tlo, mora posjedovati odgovarajuću okolišnu dozvolu prije samog početka izgradnje postrojenja ili puštanja u pogon rekonstruiranog postrojenja. Sukladno normama ISO 14001:2015 i ISO 9001:2015 te ISO 50001:2011, HEP – Proizvodnja d.o.o. ima posebno integriran sustav, koji, sa svojih 35 sastavnica, čini najveći hrvatski sustav upravljanja okolišem, kvalitetom i energijom. Čak 26 hidroelektrana proizvodi certificiranu zelenu energiju dobivenu iz obnovljivih izvora energije.¹³⁵

7.1.1. Zaštita zraka i atmosfere

Štetne tvari koje se ispuštaju u atmosferu iz HEP – ovih postrojenja uključuju sumporov dioksid, dušikove okside, ugljikov monoksid i ugljikov dioksid te otpadne krute čestice. Oni nastaju izgaranjem fosilnih goriva korištenih za dobivanje električne i toplinske energije, kao što su to ugljen, plin i tekuća goriva. Najveći onečišćivači su termoelektrane i termoelektrane – toplane, kotlovnice za proizvodnju energije i kotlovnice za grijanje poslovnih HEP – ovih prostora. Emisija štetnih ispušnih tvari u atmosferu mjeri se na ispustu, odnosno dimnjaku, te je određeno zakonskim propisima.

U usporedbi s 2016. godinom, tijekom 2017. godine emisije sumporovog dioksida iz termoelektrana i termoelektrana – toplana smanjene su za 55%, dušikovih oksida za 40%, CO za 11% te krutih čestica za 51%. Uzrok navedenih smanjenja emisije štetnih plinova je promjena pogonskog goriva te smanjenje broja sati rada termoelektrana na ugljen. U kotlovnicama je također zabilježeno smanjenje štetnih plinova zbog manje upotrebe tekućih

¹³⁴ HEP – Proizvodnja d.o.o. Održivost i okoliš. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/27> (13.08.2019.)

¹³⁵ HEP – Proizvodnja d.o.o. Certifikati. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/certifikati/170> (13.08.2019.)

fosilnih goriva, i to za 60% emisije sumporovog dioksida, za 32% dušikovih oksida, 11% CO te za 83% krutih čestica.

S druge strane, HEP prati i imisiju, odnosno koncentraciju onečišćujućih tvari iz različitih izvora na određenom mjestu u određenom vremenu te se na taj način određuje kakvoća okolnog zraka. Praćenje imisije provodi se u okviru Hrvatske agencije za okoliš i prirodu. Uspostavljene su dvije HEP – ove mreže za mjerenje kakvoće zraka oko termoelektrana: mreža za praćenje kvalitete zraka HEP Zagreb te mjerna mreža TE Plomin.¹³⁶

7.1.2. Zaštita i korištenje voda

Postrojenja HEP – ovih hidroelektrana imaju postojeće koncesije o korištenju hidroenergije za proizvodnju električne energije, dok sve termoelektrane i termoelektrane – toplane imaju koncesije o zahvaćanju rashladnih voda i voda koje se iskorištavaju pri procesu dobivanja električne i toplinske energije. U hidroelektranama provode se brojne aktivnosti u svrhu zaštite okoliša, kao što su to:

- periodička ispitivanja kakvoće podzemnih i nadzemnih voda u dovodnim i odvodnim kanalima samog postrojenja, akumulacijskim jezerima i starim koritima rijeka na kojima su hidroelektrane izgrađene,
- mjesečna ispitivanja kakvoće vode u akumulacijskim jezerima,
- osiguravanje stalnog protoka vode s ciljem očuvanja prirodnog toka rijeke,
- provedba odredbi o rezervoarima propisanih od strane Hrvatskih voda,
- izrada i provedba planova mjera zaštite u izvanrednim slučajevima onečišćenja vode.

137

Slika 17. Uzimanje uzoraka otpadnih voda na izljevu kanala u Savu

¹³⁶ HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita zraka i atmosfere. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-zraka-i-atmosfere/155> (13.08.2019.)

¹³⁷ HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita i korištenje voda. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-i-koristenje-voda/159> (13.08.2019.)



Izvor: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45899>

Hidroelektrane tzv. naplavinama zbrinjavaju i uklanjaju mješoviti otpad. Naplavine se za vrijeme visokog vodostaja postavljaju na rešetkama i ulaznim uređajima postrojenja. Godišnje se na taj način zaustavi 2,5 do 4,5 tisuća tona otpada. Također u cilju zaštite okoliša, jednom godišnje potrebno je izvijestiti Agenciju za zaštitu okoliša o izvorima, vrstama, količini i kakvoći otpadnih voda i načinima njihovog ispuštanja te informirati o postojećim uređajima za pročišćivanje, dok se Hrvatskim vodama dostavljaju podaci o mjesečnoj i godišnjoj količini otpadnih voda te obavljenim ispitivanjima.

Termoelektrane također provode mjesečna ispitivanja kakvoće otpadnih voda, provode se mjerenja temperature i količine ispuštenih otpadnih i rashladnih voda i protoka otpadnih voda, ispitivanja vodonepropusnosti objekata za pročišćivanje i odvod otpadnih voda te izrada plana mjera zaštite u izvanrednim slučajevima onečišćenja voda. ¹³⁸

¹³⁸ Ibidem

7.1.3. Gospodarenjem otpadom

Kao posljedica proizvodnih procesa u HEP – ovim industrijskim postrojenima, nastaje proizvodni i komunalni otpad koji se dijeli na neopasni i opasni otpad. O količini i vrsti otpada jednom godišnje podnose se izvještaji Hrvatskoj agenciji za okoliš i prirodu, a na dnevnoj bazi HEP vodi vlastiti informacijski sustav zaštite okoliša. Tako je npr. 2016. godine zabilježeno povećanje opasnog otpada za 37% u odnosu na 2015. godinu (sa 3877 tona opasnog otpada na 5323 tona) zbog čišćenja spremnika loživog ulja s većim količinama sumpora i rashodom opreme unutar HEP grupe, dok je smanjenje neopasnog otpada za 51% 2017. godine u odnosu na prethodnu godinu (sa 121 426 na 61 614 tona) uzrokovano predajom lebdećeg pepela i krutog reakcijskog otpada na bazi kalcija te smanjenjem broja sati rada termoelektrana na ugljen. Otpad koji nastaje na HEP – ovim lokacijama, privremeno se odlaže u vlastitim skladištima, a zatim se predaje tvrtkama zaduženima za gospodarenje otpadom.¹³⁹

7.1.4. Gospodarenje kemikalijama

Sve termoelektrane i termoelektrane – toplane moraju se pridržavati Zakona o kemikalijama koje se koriste u pripremi voda za proizvodnju potrebne energije te se u termoelektranama, trafostanicama i hidroelektranama provode ispitivanja o vodonepropusnosti objekata za odvod otpadnih voda. Osim toga, svaki zaposlenik HEP – a koji je u kontaktu s kemikalijama prolazi potrebnu edukaciju u skladu s pravilnicima Hrvatskog zavoda za toksikologiju i antidoping.¹⁴⁰

7.1.5. Zaštita biološke raznolikosti

Termoelektrane pod nadležnosti HEP – a, nalaze se u industrijskim ili urbaniziranim područjima pa tako zaobilaze ekološki zaštićena područja, dok se velik broj hidroelektrana nalazi na zaštićenim područjima poput parkova prirode, nacionalnih parkova i područjima značajnog krajobraza.

¹³⁹ HEP – Proizvodnja d.o.o. Gospodarenje otpadom. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/gospodarenje-otpodom/163> (13.08.2019.)

¹⁴⁰ HEP – Proizvodnja d.o.o. Gospodarenje kemikalijama. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/gospodarenje-kemikalijama-i-zastita-tla/164> (13.08.2019.)

Iako se nalaze na tim područjima, 2017. godine nisu zabilježena nikakva onečišćenja samih postrojenja hidroelektrana ili izgradnja novih, prisutnost invazivnih vrsta i nametnika, kao ni promjene u prirodnim procesima, visinama podzemnih voda i staništima biljnih i životinjskih vrsta.

Najbolja mjera smanjenja utjecaja hidroelektrana na okoliš je zaštita ptica izgradnjom energetske infrastrukture koja umanjuje ili u potpunosti sprječava rizik od stradavanja ptica, unutar čijeg staništa se nalazi 5000 km nadzemnih naponskih vodova. HEP vodi računa i o gnijezdima bijelih roda koja se nalaze na stupovima distribucijske mreže, štoviše, u suradnji s Ministarstvom zaštite okoliša i energetike te 14 županijskih uprava za upravljanje zaštićenim prirodnim vrijednostima, doneseno je rješenje o provedbi svih aktivnosti koje dovode do sigurnog gniježđenja ove vrste ptica, kao npr. ugradnja nosača za gnijezda. Osim roda, na stupovima distribucijske mreže u Dalmaciji naseljavaju se i zlatovrane, ugrožene vrste ptica, te se izgrađuju drvene kućice za njihovo gniježđenje.¹⁴¹

¹⁴¹ HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita biološke raznolikosti. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-bioloske-raznolikosti/165> (13.08.2019.)

8. ZAKLJUČAK

Zbog brzog porasta stanovništva i sve veće industrijalizacije, potražnja za energijom, kao i izvorima energije stalno raste te se tako i troše zalihe konvencionalnih, neobnovljivih izvora energije poput ugljena, nafte i nuklearne energije. No, takvi izvori energije ugrožavaju okoliš te se stoga sve više iskorištavaju obnovljivi izvori energije koji su značajno manje štetni za okoliš. Od svih obnovljivih izvora energije, hidroenergija predstavlja čist, učinkovit i jednostavan izvor energije.

Jedna od glavnih prednosti hidroelektrana je to što proizvodnja električne energije u hidroelektranama ne stvara otpadne čime značajno doprinosi očuvanju okoliša. Procjena emisije stakleničkih plinova u životnom ciklusu hidroelektrane iznosi između 4 i 14 g/kWh. Taj se raspon može usporediti s 1000 g/kWh kod izgaranja ugljena, 800 g/kWh za izgaranje nafte te 500 g/kWh za izgaranje prirodnog plina. Pošto nema troškova goriva, niski su i sveukupni troškovi izgradnje cijelog postrojenja, a jednom izgrađena brana traje nekoliko desetaka godina. Voda rijeka ili mora na kojima se nalaze hidroelektrane neprestano kruži prirodom, neiscrpan je izvor energije, te se iskorištena voda vraća u okoliš u nepromijenjenom obliku. Ukoliko nema potrebe za električnom energijom, zatvaranjem brane zaustavlja se proizvodnja energije i pohranjuje se u akumulacijskim jezerima za sušna i razdoblja veće potražnje za energijom.

Hidroelektrana je najučinkovitije sredstvo za pretvoriti energiju u električnu energiju. Obično se 85% -95% energije vode pretvara u električnu energiju, što je izrazito učinkovito u usporedbi s 15% -20% energije za solarnu energiju, 35% -45% za energiju vjetra i 30% -45% za energiju dobivenu iz ugljena.

Hidroelektrane imaju određene nedostatke iz kojih je vidljiv izravan i neizravan učinak na floru i faunu. Kako bi se utvrdilo koje su prednosti i nedostaci izgradnje nekog postrojenja, energetska učinkovitost, utjecaj na okoliš i razina emitiranja stakleničkih plinova, važno je uzeti u obzir cijeli „životni ciklus“ projekta; istraživanje, planiranje, izgradnja, proizvodni pogon, održavanje, obnova i na kraju raspad.

LITERATURA

1. B. Nadilo, Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce, Građevinar, 2002, Br.54, str. 244-245
2. Bedek, J., Jovanović, O., Popović, I., 2006: Utjecaj HE Lešće na podzemnu faunu, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zelena akcija, DZVO Žabac, Zagreb
3. Benefits of hydropower, <https://www.energy.gov/eere/water/benefits-hydropower> (14.08.2019.)
4. Brian F. Towler, The Future of Energy, Chapter 10, 2014.
5. Brown J. G, Jackson D. C. Dam, <https://www.britannica.com/technology/dam-engineering> (18.07.2019.)
6. China's Three Gorges Dam: An Environmental Catastrophe?, <https://www.scientificamerican.com/article/chinas-three-gorges-dam-disaster/>
7. Comparing Hydropower to Other Alternatives, <http://www.whyhydropower.com/HydroTour3b.html> (14.08.2019.)
8. Comparing power generation options: study highlights hydropower's place in the energy mix, <https://www.hydropower.org/blog/comparing-power-generation-options-study-highlights-hydropower%E2%80%99s-place-in-the-energy-mix> (14.08.2019.)
9. Čižmešija, G., 2012: Nedostaci hidroelektrana predloženi na primjeru HE Dubrava,
10. De Araujo L, Rosa L. P, Da Silva N. F. Hydroelectricity: Future Potential and Barriers. Elsevier: 2010.
11. Đikić D. i sur., Ekološki leksikon, Barbat, Zagreb, 2001., str 283
12. Efekt staklenika, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17109> (13.08.2019.)
13. Energetske transformacije, Elektrane na valove, http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Elektrane_na_valove (18.07.2019.)
14. Energija i ekologija, http://www.izvorienergije.com/energija_i_ekologija.html (12.08.2019.)
15. Energija vode, http://www.izvorienergije.com/energija_vode.html (01.07.2019.)
16. Environmental impact of hydropower, <https://www.governmenteuropa.eu/environmental-impact-of-hydropower/91552/> (14.08.2019.)
17. Environmental Impacts of Hydroelectric Power, https://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-hydroelectric-power.html (13.08.2019.)

18. Forum za održivi razvoj Zeleni prozor. Utjecaj izgradnje hidroelektrana na okoliš: Primjer HE Lešće u dolini Dobre: <http://zeleniprozor.hr/2014/02/11/utjecaj-izgradnje-hidroelektrana-na-okolis-primjer-he-lesce-u-dolini-dobre/> (12.08.2019.)
19. HEP – Proizvodnja d.o.o. Certifikati. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/certifikati/170> (13.08.2019.)
20. HEP – Proizvodnja d.o.o. Gospodarenje kemikalijama. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/gospodarenje-kemikalijama-i-zastita-tla/164> (13.08.2019.)
21. HEP – Proizvodnja d.o.o. Gospodarenje otpadom. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/gospodarenje-otpadom/163> (13.08.2019.)
22. HEP – Proizvodnja d.o.o. <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543> (12.08.2019.), Forum za održivi razvoj Zeleni prozor. Utjecaj izgradnje hidroelektrana na okoliš: Primjer HE Lešće u dolini Dobre: <http://zeleniprozor.hr/2014/02/11/utjecaj-izgradnje-hidroelektrana-na-okolis-primjer-he-lesce-u-dolini-dobre/> (12.08.2019.)
23. HEP – Proizvodnja d.o.o. <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-lesce/1543> (12.08.2019.), Bedek, J., Jovanović, O., Popović, I., 2006: Utjecaj HE Lešće na podzemnu faunu, Hrvatsko biospeleološko društvo, Zelena akcija, DZVO Žabac, Zagreb
24. HEP – Proizvodnja d.o.o. Održivost i okoliš. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/27> (13.08.2019.)
25. HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita biološke raznolikosti. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-bioloske-raznolikosti/165> (13.08.2019.)
26. HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita i korištenje voda. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-i-koristenje-voda/159> (13.08.2019.)
27. HEP – Proizvodnja d.o.o. Zaštita zraka i atmosfere. <http://www.hep.hr/odrzivost-i-okolis/zastita-zraka-i-atmosfere/155> (13.08.2019.)
28. HEP Proizvodnja, <http://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/1528> (18.07.2019.)
29. Hoover Dam, <https://www.britannica.com/topic/Hoover-Dam> (18.07.2019.)
30. Hooverova brana, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=26106> (18.07.2019.)
31. Horvat D., Vodne turbine, Tehnička knjiga, Zagreb, 1955.
32. Hrvoje Pandžić, Ivan Rajšl, Tomislav Capuder. Igor Kuzle, Obnovljivi izvori energije, Slavonski brod, 2016.

33. Hydroelectric Power: Advantages of Production and Usage, https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydroelectric-power-advantages-production-and-usage?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (14.08.2019.)
34. Hydroelectricity production and forest conservation in watersheds, <https://pdfs.semanticscholar.org/bfbd/5f34e46ffa9dbd9ab6a242f3d4474d73be23.pdf> (14.08.2019.)
35. Hydropower, http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Hydropower_Essentials.pdf (14.08.2019.)
36. International energy agency, <https://www.ieahydro.org/media/de2cb5a7/Hydropower%20and%20the%20Environment%20Present%20Context%20and%20Guidelines%20for%20Future%20Action.pdf> (14.07.2019.)
37. Itaipu Dam – the world’s largest generator of renewable, clean energy, <http://www.engineersjournal.ie/2016/11/01/itaipu-dam-water-renewable-energy/>
38. Jerkić L. Načini pretvorbe energije vodotoka u električnu energiju, <http://www.obnovljivi.com/energija-vode/57-nacini-pretvorbe-energije-vodotoka-u-elektricnu-energiju?showall=1> (18.07.2019.)
39. Józsa L. Energetski procesi i elektrane. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera: Osijek; 2008.
40. Killingtveit A. Hydroelectric Power, The future of energy, Chapter 21, Elsevier, 2014.
41. Majetić, G., 2008: Gdje nestaju najljepše hrvatske rijeke?, Udruga Kameleon, <http://www.udruga-kameleon.hr/tekst/1413/> (12.08.2019.)
42. Majetić, G., 2008: Gdje nestaju najljepše hrvatske rijeke?, Udruga Kameleon, <http://www.udruga-kameleon.hr/tekst/1413/> (12.08.2019.)
43. Mishra G. Kaplan Turbine – its Components, Working and Application, <https://theconstructor.org/practical-guide/kaplan-turbine-component-working/2904/> (18.07.2019.)
44. Murthy S. S, Hegde S. Hydroelectricity. Electric Renewable Energy Systems. 2016.
45. Nadilo B. Projekt Tri Klanca – najveća hidroelektrana na svijetu na rijeci Jangce. Građevinar. 2002; 54: 239.
46. Nadilo B., Itaipu – najveća hidroelektrana na svijetu. Građevinar. 2004., str.56.
47. Nazir C. P. Offshore hydroelectric plant: A techno-economic analysis of a renewable energy source. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014; 34: 175.
48. Nikolovski S. Zaštita u elektroenergetskom sustavu. Osijek: ETF; 2007.
49. Otpadne vode, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=45899> (13.08.2019.)

50. Pandey B, Karki A. Hydroelectric Energy: Renewable Energy and the Environment, CRC Press; 2017.
51. Pilić – Rabadan Lj., Vodne turbine, pumpe i vjetroturbine, Sveučilište u Splitu, 1999.
52. Potočnik V. Obnovljivi izvori energije i zaštita okoliša u Hrvatskoj. Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja: Zagreb; 2002.
53. Požar H. Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima. Informator. 1985., str. 2.
54. Požar H., Osnove energetike, Školska knjiga, Zagreb, 1987.
55. Rajković D., Proizvodnja i pretvorba energije, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 2011.
56. Razvoj hidroelektrana i tehnološke opreme,
<http://energy.gov/eere/water/hydropowertechnology-development>
57. Rocha Lessa A. C. i sur. Emissions of greenhouse gases interrestrial areas pre-existing to hydroelectric plant reservoirs in the Amazon: The case of Belo Monte hydroelectric plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015; 51. 1728 – 1736.
58. Ryan V. Advantages and disadvantages of hydropower ,
<http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm> (18.07.2019.)
59. Ryan_V.:Advantages_and_disadvantages_of_hydropower,_<http://www.technologystudent.com/energy1/hydr2.htm> (18.07.2019.)
60. Sever Z. i dr., Hidroelektrane u Hrvatskoj, Elektroprojekt, Zagreb, 2000.
61. Singh V. K, Singal S. K. Operation of hydro power plants – a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017: 69
62. Šljivac D, Šimić Z., Obnovljivi izvori energije s osvrtom na štednju, ETF, Osijek, 2007.
63. Šljivac D., Osnove energetike i ekologije, ETF, Osijek, 2005.
64. The Ecological Footprint of Hydropower, <http://www.whyhydropower.com/HydroTour3c.html> (14.08.2019.)
65. The Power of Dams, <http://thepowerofdams.weebly.com/negative-impacts.html>
66. Udovičić B., Čovjek i okoliš, Kigen, Zagreb, 2009., str. 99-100
67. Udovičić B., Energija i izvori energije, Građevinska knjiga, Beograd, 1988.
68. Ugljikov dioksid, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63000> (13.08.2019.)
69. Ugljikov monoksid, <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63002>
(13.08.2019.)
70. Velike štete od HE Lešće, 2012, Udruga Kameleon, <http://udrugakameleon.hr/tekst/4175/> (12.08.2019.)

POPIS SLIKA I TABLICA

Slika 1. Kruženje vode u prirodi	5
Slika 2. Hidroelektrana Zakučac	9
Slika 3. Shematski prikaz dijelova hidroelektrane	11
Slika 4. Hooverova brana	12
Slika 5. Vodna komora u Hidroelektrani Rijeka	14
Slika 6. Pelton turbina (lopatice i rotor)	16
Slika 7. Kaplan turbina i električni generator (poprečni prikaz)	18
Slika 8. Shematski prikaz niskotlačne hidroelektrane	22
Slika 9. Shematski prikaz srednjotlačne hidroelektrane	23
Slika 10. Shematski prikaz visokotlačne hidroelektrane	23
Slika 11. Hidroelektrana Shiwa	26
Slika 14. Shematski prikaz efekta staklenika	33
Slika 15. Hidroelektrana Grand Coulee	41
Slika 12. Hidroelektrana Tri klanca	45
Slika 13. Hidroelektrana Itaipu	48
Tablica 2. Utjecaji različitih izvora energije na okoliš	38
Tablica 1. Dobre i loše strane izgradnje HE Tri klanca	45