

Utjecaj malih hidroelektrana na stabilnost elektroenergetskog sustava

Petrinec, Željko

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:237918>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-13**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 436/EL/2018

Utjecaj malih hidroelektrana na stabilnost elektroenergetskog sustava

Željko Petrincec

Varaždin, rujan 2018. godine



**Sveučilište
Sjever**

Odjel za Elektrotehniku

Završni rad br. 436/EL/2018

Utjecaj malih hidroelektrana na stabilnost elektroenergetskog sustava

Student

Željko Petrincec

Mentor

mr. sc. Goran Pakasin

Varaždin, rujan 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

| | | | |
|-------------|---|--------------|----------------------------|
| ODJEL | Odjel za elektrotehniku | | |
| PRISTUPNIK | Željko Petrinec | MATIČNI BROJ | 5557/601 |
| DATUM | 31.08.2018 | KOLEGIJ | Razvod električne energije |
| NASLOV RADA | Utjecaj malih hidroelektrana na stabilnost elektroenergetskog sustava | | |

| | | | |
|-----------------------------|--|--|--|
| NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU | Influence of small hydropower plants on power system stability | | |
|-----------------------------|--|--|--|

| | | | |
|--------|---------------|--------|----------|
| MENTOR | Goran Pakasin | ZVANJE | predavač |
|--------|---------------|--------|----------|

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| ČLANOVI POVJERENSTVA | dr.sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el. predavač - predsjednik | | |
| 1. | mr.sc.Goran Pakasin, dipl.ing.el., predavač | | |
| 2. | mr.sc.Tomislav Sinjeri, dipl.ing.el., predavač | | |
| 3. | mr.sc.Ivan Šumiga, dipl.ing.el., viši predavač - rezervni član | | |
| 4. | | | |
| 5. | | | |

Zadatak završnog rada

| | |
|------|-------------|
| BROJ | 436/EL/2018 |
|------|-------------|

OPIS

U završnom radu potrebno je prikazati postojeći i budući elektroenergetski potencijal malih hidroelektrana (mHE), njihov utjecaj na elektroenergetski sustav, promjene koje se njihovom pojavom događaju, te koje su prednosti i mane njihove primjene.

Proučiti modele na temelju kojih se vrše predviđanja vodnog protoka, te navedeno prikazati za konkretne primjere sa stvarnim mjerenjima. Proanalizirati mogućnosti otočnog rada mHE, te njezin utjecaj na stabilnost elektroenergetskog i ekološkog sustava.

| | | | |
|----------------|-------------|----------------|--|
| ZADATAK URUČEN | 10.09.2018. | POTPIS MENTORA |  |
|----------------|-------------|----------------|--|



Predgovor

Zahvaljujem se mentoru mr. sc. Goranu Pakasin na pomoći u prikupljanju potrebne dokumentacije za potrebe ovog završnog rada i oko sugestija tokom pisanja istog. Također bih se zahvalio ostalim djelatnicima Sveučilišta Sjever na pruženoj edukaciji tokom obrazovanja.

Posebne zahvale upućujem svojim roditeljima i curi koji su mi bili velika potpora kroz razdoblje školovanja.

Sažetak

Uvod ovog završnog rada upućuje na osnovnu tematiku rada i daje osnovne informacije i podjelu hidroelektrana, razloge i važnost njihove primjene.

Nastavak rada govori općenito o malim hidroelektranama. Daje opis principa rada male hidroelektrane, izvedbe i njihove glavne karakteristike te koje su njihove prednosti i nedostaci u odnosu na velike hidroelektrane. Dane su i glavne karakteristike prema kojima se projektiraju male hidroelektrane.

U praktičnom dijelu rada za primjer je uzeta mala hidroelektrana (mHE) Zelena. Za mHE Zelena opisano je kompletno idejno rješenje projekta. U sklopu idejnog projekta prikazani su proračuni vezani za predviđanje protoka kroz rijeku Bednju te je dan opis hidrauličke simulacije modela mHE. Prikazan je strojarski i elektrotehnički dio projekta te je dana usporedba investicijskih troškova mHE u odnosu na velike hidroelektrane.

U zadnjem poglavlju opisan je utjecaj malih hidroelektrana na sustav. Opisan je priključak mHE Zelena na distribucijsku mrežu te su prikazane mogućnosti pogona proizvodne jedinice u mreži.

Ključne riječi: hidroelektrane, male hidroelektrane, protok, hidraulička simulacija, investicijski troškovi mHE, stabilnost sustava

Abstract

The introduction of this final work refers to the basic theme of the work and gives basic information about hydro power plants, their classifications, the reasons and the importance of their use.

After introduction, work talks about small hydro power plants in general. It gives a description of the work principle of small hydro power plants, their performance, their main characteristics, their advantages and disadvantages in relation to large hydroelectric power plants. The main characteristics of small hydroelectric power plants were also given.

In the practical part of the work, a small hydro power plant „Zelena“ was used as an example. In this part a complete conceptual design of the project was described. Within the conceptual project, calculations related to the forecasting of the flow through the river bed and a description of the hydraulic model simulation of the small hydro power plant were given. Also, it is presented the mechanical and electrical part of the project and a comparison of the investment costs of the small hydro power plant compared with the major hydroelectric power plants.

The last chapter describes the impact of small hydro power plants on the system. It describes the connection of the small hydro power plant „Zelena“ to the distribution network and shows the power unit's network operation capabilities.

Key words: hydro power plants, small hydro power plants, flow, hydraulic model simulation, investment costs, system stability

Popis korištenih kratica

mHE – Mala hidroelektrana

RH – Republika Hrvatska

TWh/god – Tetravatsati godišnje

Registar OIEKPP - Registar projekata i postrojenja za korištenje obnovljivih izvora energije i kogeneracije te povlaštenih proizvođača

Qsr – Srednji protok

mnv – Metara nadmorske visine

aps kota – Apsolutna kota

DHI - Danish Hydraulic Institute

ESS – Elektroenergetski sustav

PSS - Stabilizator elektroenergetskog sustava (Power system stabilization)

EOTRP – Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja

HEP – Hrvatska elektroprivreda

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. Uvod | 1 |
| 2. Hidroelektrane | 3 |
| 2.1. Osnovni dijelovi hidroelektrane | 4 |
| 2.1.1. Brana ili pregrada | 4 |
| 2.1.2. Zahvat vode | 6 |
| 2.1.3. Dovodni sustav | 6 |
| 2.1.4. Vodene turbine | 7 |
| 2.1.5. Generator | 8 |
| 2.1.6. Strojarnica | 8 |
| 2.1.7. Rasklopno postrojenje | 8 |
| 2.1.8. Odvod vode | 8 |
| 2.2. Podjela hidroelektrana | 8 |
| 3. Male hidroelektrane | 11 |
| 3.1. Osnovne karakteristike mHE | 11 |
| 3.2. Postojeći i budući elektroenergetski potencijal malih hidroelektrana | 12 |
| 3.3. Postupak realizacije projekta mHE | 15 |
| 4. Idejno rješenje mHE Zelena | 17 |
| 4.1. Opis zahvata | 17 |
| 4.2. Tehničko rješenje male hidroelektrane Zelena | 21 |
| 4.2.1. Turbina | 22 |
| 4.2.2. Strojarnica | 24 |
| 4.2.3. Derivacijski kanal | 26 |
| 4.2.4. Vodo-zahvat na ulaz u derivacijski kanal | 28 |
| 4.2.5. Vodo-zahvat na ulazu u ribnjake | 28 |
| 4.2.6. Biološka staza..... | 29 |
| 4.3. Hidrogeološke i hidrološke karakteristike mHE Zelena | 33 |
| 4.3.1. Hidrotehnički proračuni..... | 36 |
| 4.3.2. Simulacije hidrauličkog modela | 42 |
| 5. Opis djelovanja projekta mHE Zelena na okoliš za vrijeme izgradnje/korištenja te pripadne mjere zaštite | 44 |
| 5.1. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na zrak te pripadne mjere zaštite | 44 |
| 5.2. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na stanje vode te pripadne mjere zaštite | 44 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.3. | Djelovanje buke za vrijeme gradnje/korištenja projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite | 45 |
| 5.4. | Doprinos svjetlosnom onečišćenju za vrijeme gradnje/korištenja projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite | 46 |
| 5.5. | Gospodarenje otpadom za vrijeme gradnje projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite | 46 |
| 5.6. | Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na tlo te pripadne mjere zaštite | 47 |
| 5.7. | Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na bio-ekološke značajke te pripadne mjere zaštite..... | 47 |
| 5.8. | Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na prirodnu i kulturnu baštinu te pripadne mjere zaštite..... | 48 |
| 5.9. | Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na krajobrazne značajke te pripadne mjere zaštite..... | 48 |
| 5.10. | Djelovanje izgradnje/korištenja projekta mHE Zelena na socio-ekonomsko stanje | 52 |
| 5.11. | Ekonomске karakteristike malih hidroelektrana..... | 52 |
| 6. | Stabilnost sustava | 55 |
| 6.1. | Priključenje mHE Zelena na distribucijsku mrežu..... | 55 |
| 6.2. | Paralelni pogon postrojenja s distribucijskom mrežom | 59 |
| 6.3. | Otočni pogon..... | 62 |
| 6.4. | Pogonska stanja i poremećaji u mreži..... | 64 |
| 6.5. | Stabilnost elektroenergetskog sustava..... | 66 |
| 7. | Zaključak | 69 |
| 8. | Literatura..... | 72 |

1. Uvod

Elektroenergetski sustav vrlo je široko područje koje se bavi prijenosom električne energije od proizvodnih postrojenja do krajnjih potrošača. Elektroenergetski sustav dijeli se na 4 cjeline [19]:

- 1.) Proizvodnja električne energije gdje su glavni proizvođači elektrane
- 2.) Prijenos električne energije kod kojeg je glavni cilj da se u procesu prijenosa gubi što manje zbog čega se prijenos odvija na velikim naponskim razinama, od 110 kV pa na više
- 3.) Distribucija električne energije koja se provodi putem distribucijskih mreža koje služe za raspodjelu električne energije krajnjim potrošačima. U tu svrhu koristi se napon manji od 110 kV
- 4.) Potrošnja električne energije gdje se krajnji potrošači najčešće napajaju faznim naponom od 230 V dok se u SAD-u koristi se i napon vrijednosti 110 V

Hrvatski elektroenergetski sustav povezan je s elektroenergetskim sustavima susjednih država. Zajedno povezani sustavi čine veliku sinkronu mrežu kontinentalne Europe. Potrošači električne energije uglavnom koriste električnu energiju proizvedenu u Hrvatskim elektranama, ali u iznimnim situacijama koriste se i elektrane susjednih mreža. Veličina Hrvatskog EES-a zanemarivo je mala u odnosu na ostale u Europi [20].

Svaka proizvodna jedinica mora se priključiti na EES. Priključak može biti izveden preko prijenosne i distribucijske mreže. Kao rezultat priključka najčešće dobijemo siguran rad proizvodne jedinice uz mogućnosti negativnih povratnih utjecaja na mrežu. Najznačajniji obnovljivi izvor energije predstavlja hidroenergija (oko 97% proizvedene električne energije). Unazad 30 godina proizvodnja električne energije u hidroelektranama naglo je porasla. Razlozi tako naglog porasta mogu biti sljedeći: u hidroelektranama nema otpada, voda je besplatna, nema troškova goriva, a stvorena akumulacijska jezera mogu se koristiti i u druge svrhe. Osim ovih pozitivnih aspekata, hidroelektrane kao takve utječu i na biljni i na životinjski svijet što ukazuje na to da niti hidroenergija nije potpuno bezopasna za okoliš. U svijetu, sve je manje velikih projekata, ali se zato projekti malih hidroelektrana postepeno dižu. Hrvatska, zahvaljujući svojem zemljopisnom položaju, posjeduje dosta neiskorištenih potencijalnih prostora za izgradnju malih hidroelektrana [1]. Takve mHE najčešće se priključuju na distribucijsku mrežu. Stručnjaci su vrlo skeptični oko takvog priključenja.

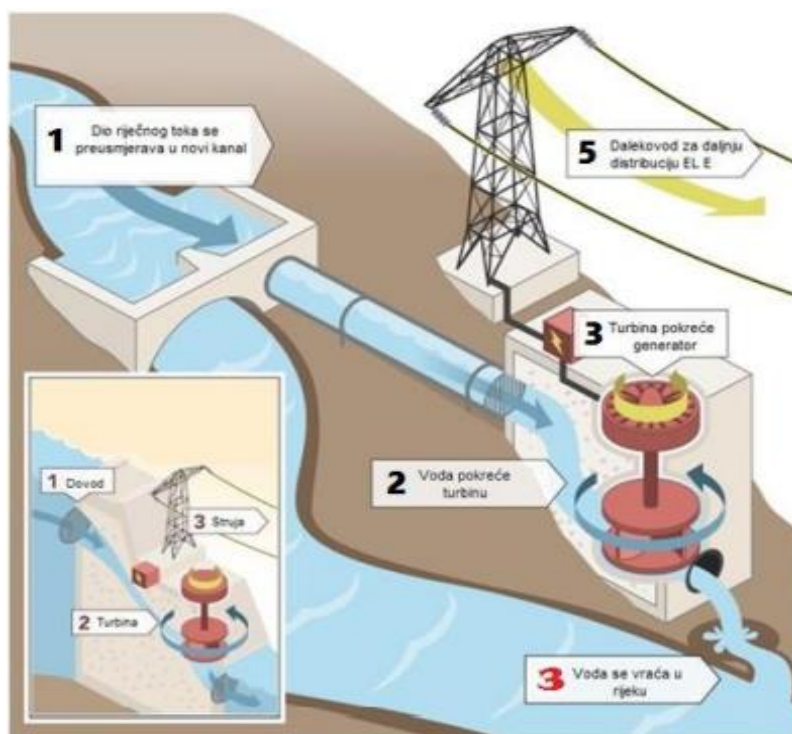
Mnogi razmišljaju na način da mHE ispunjavaju uvjet za smanjenjem CO_2 i da su sklonije samoodrživosti sustava nego što je to slučaj kod većih hidroelektrana. Rizik lošeg utjecaja na okoliš je manji, a energetske potrebe i sigurnost investicije mnogo veća.

U ovo završnom radu prikazat će se postojeći i budući elektroenergetski potencijal mHE, njihov utjecaj na EES te promjene koje se događaju njihovom primjenom u sustavu. Kao primjer korist će se mala hidroelektrana Zelena, koja je u postupku izgradnje.

U drugom poglavlju ovog završnog rada dana je općenita podjela hidroelektrana te prikaz najvažnijih dijelova. U trećem poglavlju govorit će se općenito o mHE te o njihovom postojećem i budućem EES potencijalu. Četvrto poglavlje posvećeno je idejnom rješenju mHE Zelena. Od opisa zahvata pa do opisanih hidrotehničkih proračuna mHE Zelena. Peto poglavlje nadovezuje se na utjecaj mHE na okoliš, prilikom izgradnje i tijekom korištenja zahvata te su navedene pripadne mjere zaštite koje se trebaju provoditi kako bi navedeni utjecaj bio što manji. Na kraju u šestom poglavlju opisana je stabilnost sustava kroz analizu priključka mHE Zelena na distribucijsku mrežu te zahtjeve i pravila koji su potrebni za ishođenje istog.

2. Hidroelektrane

Hidroelektrane su energetska postrojenja koja pretvaraju potencijalnu energiju vode u kinetičku energiju vlastitog strujanja. Drugim riječima, potencijalna se energija vode, pomoću turbine, pretvara u mehaničku energiju koja dolazi do električnog generatora i koristi se za proizvodnju električne energije [1]. U hidroelektrane ubrajamo sva postrojenja koja služe za dovođenje, akumulaciju i odvođenje vode, pretvorbu energije te njezinu transformaciju i razvod do krajnjih potrošača te, na kraju, za upravljanje cijelim postrojenjem. Proces proizvodnje električne energije započinje sakupljanjem, odnosno, akumulacijom vode koja se ograničava branom tvoreći tako akumulacijsko jezero. Voda iz akumulacijskog jezera otječe tj. pada niz branu te u unutrašnjosti hidroelektrane dolazi u kontakt s turbinama. Voda pokreće turbinu koja svojom vrtnjom stvara mehaničku energiju potrebnu za pokretanje generatora. U samom generatoru, mehanička energija pokreće poluge s velikim brojem magneta koji prolaze pokraj bakrenih kolutova te tako stvaraju magnetsko polje koje na posljetku stvara električnu energiju. Nakon toga, naponska se razina pomoću transformatora povećava/smanjuje na razinu potrebnu za normalnu upotrebu u električnoj mreži, odnosno, u našim domovima. Voda iz turbina otječe natrag u jezero. Proces proizvodnje električne energije prikazan je na *Slici 1* [2].



Slika 1. Proces pretvorbe el. energije u hidroelektrani [2]

2.1. Osnovni dijelovi hidroelektrane

Karakteristični dijelovi hidroelektrane su [5]:

Brana ili pregrada

Zahvat vode

Dovodni sustav: vodna komora, tlačni cjevovod/kanal

Vodene turbine

Generator

Strojarnica

Rasklopno postrojenje

Odvod vode

2.1.1. Brana ili pregrada

Brana je osnovni dio cjelokupnog postrojenja hidroelektrane. Njezina uloga je ostvarivanje akumulacije, povišenje razine vode s ciljem povećanja pada i skretanje vode s prirodnog toka prema zahvatu hidroelektrane. Pomoću nje se okvirno dobiva jedna petina ukupno proizvedene električne energije u svijetu. Također, vrlo su korisne i u slučajevima vremenskih nepogoda kao što su poplave ili suše. S obzirom na izradu, brane mogu biti :

a) masivne (*Slika 2.*)

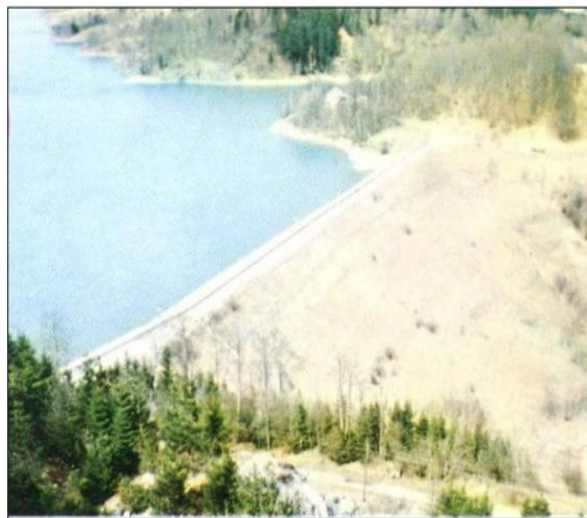
b) nasute (*Slika 3.*)

Masivne brane najčešće su izrađene od betona, a mogu se pojavljivati u 3 različita oblika. Prvi oblik je *gravitacijska brana* koja ima široki temelj i veliki obujam zahvaljujući čemu se samo vlastitom težinom uspješno suprotstavlja tlaku vode. Drugi oblik predstavlja *lučna brana* koja je tanja i zakrivljena te ju je potrebno pričvrstiti za okolni teren kako bi se suprotstavila tlaku vode. Na posljetku, tu je i *rašćlanjena brana* koju čine široki stupovi usađeni u korito tekućice.



Slika 2. Betonska brana Rijeka

S druge strane, *nasute* su brane najčešće manje te se većinom grade od kamena ili zemlje. One ujedno predstavljaju najstariju vrstu brana. Ako se temelji za takvu branu dobro pripreme, ona je pogodna za gradnju na bilo kojoj vrsti tla [4].



Slika 3. Nasuta brana Lokvarka

Još jedna podjela brana može biti s obzirom na njihovu visinu. Tu ih možemo podijeliti u dvije skupine:

- a) visoke brane
- b) niske bran

Visoka brana je ona brana čija visina od njezinog temelja do krune iznosi više od 15 m. Nadalje, tu spadaju i brane više od 10 m čija dužina po kruni iznosi više od 500 m. Također, u

visoke brane možemo ubrajati i umjetna jezera veća od $100\,000\text{ m}^3$ te ona umjetna jezera čiji je protok vode veći od $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$. Sve ostale brane smatraju se *niskim branama*. One se vrlo često koriste kod malih vodotoka, odnosno kod izrade mHE [4].

2.1.2. Zahvat vode

Zahvat vode dio je hidroelektrane koji ima zadaću usmjeravati vodu iz akumulacijskog jezera prema dovodu. On može biti izveden ispod i iznad razine vode. Zahvat iznad razine vode izvodi se u slučaju kada se radi o niskoj brani i konstantnoj razini vode dok se zahvat ispod površine vode izvodi na terenima kod kojih je tijekom godine vidljiva promjena razine vode. Osnovna zadaća zahvata je da usmjerava potrebnu količinu vode prema dovodu hidroelektrane ili direktno u tlačni cjevovod uz minimalno održavanje i onečišćenje okoliša [5].

2.1.3. Dovodni sustav

Dovodni sustav dio je hidroelektrane koji povezuje zahvat s vodenom komorom. Razlikujemo dvije osnovne izvedbe dovoda:

- a) otvoreni dovod
- b) zatvoreni dovod

Kada govorimo o *otvorenim dovodima*, oni mogu biti izvedeni u obliku pravokutnika, trokuta ili polukružno. S druge strane, *zatvorene dovode* dijelimo na tlačne i gravitacijske. Kod gravitacijskih dovoda/tunela, protok na zahvatu mora biti reguliran jer voda ne ispunjava cijeli tunel. S druge strane, kod tlačnih se tunela taj problem ne javlja budući da voda svojim tokom obuhvaća cijeli poprečni presjek tlačnog tunela zbog čega nije potrebno utjecati na protok na samom zahvatu. Dovodi mogu biti izrađeni od različitih materijala, poput zemlje, čelika, betona ili drva, što dodatno utječe na protok kroz sami dovodni kanal [5].

Dovodni se sustav dalje sastoji se od dva dijela: vodene komore i tlačnog cjevovoda/kanala [5].

2.1.3.1. Vodena komora

Na samom kraju dovoda nalazi se vodostan ili vodena komora. Njezina uloga je regulacija promjena s obzirom na opterećenje. Kada se radi o gravitacijskim tunelima vodena komora mora biti dovoljno velika kako bi mogla uskladištiti veću količinu vode. Kod tlačnih tunela vodena komora mora biti takvih dimenzija da tlak u dovodu ne raste iznad dopuštene granice [5].

2.1.3.2. Tlačni cjevovod/kanal

Uloga tlačnog cjevovoda/kanala u hidrotehničkom sustavu je da vodu iz vodene komore dovodi do turbina ili direktno iz zahvata vode. Tlačni cjevovodi mogu biti različitih izvedbi koje ovise o nekoliko karakteristika: o materijalu, promjeru, debljina stijenki te tipu spajanja pojedinih dijelova. Materijal cjevovoda ovisi o padu istog. Kod izvedbe velikih padova koristi se zavareni čelik ili kovano željezo. Ova dva materijala dolaze u obzir samo kod velikih padova. Kod malih i srednjih padova oni nisu nužni budući da se kod takvih padova radi s manjim tlakom što znači da se unutrašnji i vanjski sloj ne smanjuju sa smanjenjem debljine stijenki. Za male i srednje padove većinom se koristi pvc, betonski, polietilenski i azbestno–betonski cjevovodi. Promjer kod cjevovoda se odabire tako da se postepeno smanjuju gubitci nastali uslijed trenja, a debljina stijenki mora biti takva da tlačni cjevovod bude otporan na hidrauličke tlakove. Zbog velike brzine protoka vode može doći do pucanja cijevi. Kako bi se to spriječilo, na ulaz u tlačni cjevovod ugrađuje se zaporni uređaj. Njegova je uloga da u slučaju pucanja cijevi spriječi daljnje protjecanje vode. U slučaju kvara glavnog zapornog uređaja, ugrađuje se i pomoćni koji omogućuje radove na glavnom zapornom uređaju bez potrebe zaustavljanja cijelog sustava [5].

2.1.4. Vodene turbine

Vodena turbina je središnji dio sustava hidroelektrane koji pretvara kinetičku energiju vode u mehaničku energiju vrtnje vratila turbine spojenog na rotor generatora. Prema načinu prijenosa energije vodotoka turbine možemo podijeliti u dvije osnovne skupine:

- a) turbine slobodnog mlaza (impulsne)
- b) pretlačne/reakcijske turbine

Kod *impulsnih turbina* potencijalna se energija pretvara u kinetičku energiju unutar statora turbine zbog jednakog tlaka vode na ulazu u rotor i tlaka vode na izlazu. Poznata Peltonova turbina glavni je predstavnik impulsnih turbina, a najčešće se koristi kod malih protoka na visini od 400 do 600 m. U *reakcijskim turbinama* tlak vode na ulazu rotora veći je od onoga na izlazu jer se jedan dio potencijalne energije pretvara u kinetičku energiju u statoru, a drugi dio u rotoru. Neke od najpoznatijih reakcijskih turbina su: Francisova, Kaplanova i Deriazova turbina. Neke od glavnih smjernica se treba razmotriti prilikom odabira turbine za hidroelektranu jesu protok kroz turbinu, neto pad, brzina rotacije, cijena i kavitacija [5].

2.1.5. Generator

Generator je uređaj u kojem se provodi transformacija mehaničke energije vrtnje rotora u električnu energiju. Generatori se dijele na dvije osnovne skupine:

- a) sinkroni
- b) asinkroni

Ove se dvije skupine generatora razlikuju po tome što *sinkroni generator* može raditi i bez povezanosti s mrežom te koristi istosmjerni sustav uzbude. S druge strane, *asinkroni generator* mora biti povezan na mrežu iz koje crpi jalovu energiju [5].

2.1.6. Strojarnica

Strojarnica je prostor u kojem se nalaze turbine, vratila, generatori i ostali upravljački i pomoćni uređaji. Može biti kao zasebna građevina na otvorenom ili ukopana u tunel [5].

2.1.7. Rasklopno postrojenje

Rasklopno postrojenje predstavlja glavnu vezu između hidroelektrane i elektroenergetskog sustava. Osnovna zadaća rasklopnog postrojenja je transformacija proizvedene električne energije u skladu s propisanim parametrima sustava te isporuka te električne energije do krajnjih potrošača [5].

2.1.8. Odvod vode

Odvod vode predstavlja posljednji dio hidrotehničkog sustava koji služi za odvod iskorištene vode u turbini natrag u vodotok. Može biti izveden kao tunel ili kanal [5].

2.2. Podjela hidroelektrana

Hidroelektrane se općenito mogu podijeliti prema više različitih karakteristika. Mogu se podijeliti s obzirom na način korištenja vode, volumen akumulacijskog jezera, pad vodotoka, smještaju strojarnice, prema snazi, prema ulozi u elektroenergetskom sustavu, prema smještaju itd.

Prema načinu korištenja dijele se na:

- a) akumulacijske
- b) protočne

c) reverzibilne

Kod *akumulacijskih hidroelektrana* radi se o hidroelektranama koje prikupljaju, odnosno, akumuliraju dio vode u svrhu kasnijeg korištenja, odnosno u situacijama kada je iskoristivost te vode veća i potrebnija. Nadalje, *protočne hidroelektrane* kinetičku energiju vode direktno dovode do turbina, što ih čini vrlo jednostavnim za izradu, ali istovremeno, izrazito su ovisne o raspoloživom vodenom toku. Na posljétku, *reverzibilne hidroelektrane* dio vode crpe na veću površinu te je troše kada je to potrebnije. Taj proces uglavnom se odvija noću budući da je tada potrošnja energije najmanja. Iz donjeg akumulacijskog jezera voda se pumpa u gornji spremnik vode i danju, kada se uključuje proizvodnja električne energije, se pušta kroz turbinu u niži spremnik i pritom se proizvodi električna energija.

Prema padu vodotoka dijele se na:

- a) Niskotlačne
- b) Srednjetlačne
- c) Visokotlačne

Niskotlačne hidroelektrane koriste se kod niskih padova do 25 m. Kod takvih hidroelektrana najčešće se koriste Kaplanove turbine. *Srednjetlačne hidroelektrane* koriste se kod padova između 25 m i 200 m, a u njihovoj se izradi koriste Francisove turbine. Na posljétku, *visokotlačne hidroelektrane* koriste se kod padova iznad 200 m visine, a u njihovoj se izradi koriste Peltonovim turbinama.

Prema načinu punjenja akumulacijskog jezera dijele se na:

- a) hidroelektrane s dnevnom akumulacijom
- b) hidroelektrane sa sezonskom
- c) hidroelektrane s godišnjom akumulacijom

Kod *hidroelektrana s dnevnom akumulacijom* akumulacijsko se jezero puni noću, a prazni tijekom dana. Kod *hidroelektrana sa sezonskom akumulacijom* jezero se puni u vrijeme kišnog dijela godine, a prazni se tijekom sušnog dijela. Na posljétku, kod *hidroelektrane s godišnjom akumulacijom* jezero se puni tijekom kišnih godina, a prazne se u vrijeme sušnih godina.

Prema smještaju strojarnice dijele se na :

- a) pribranske
- b) derivacijske

Kod *pibranskih hidroelektrana* njihova je strojarnica smještena u blizini brane dok je kod *derivacijskih hidroelektrana* strojarnica prostorno odijeljena od zahvata vode pa se voda dovodi do turbine velikim i dugim cjevovodima koje možemo mjeriti i u kilometrima.

Prema instaliranoj snazi dijelimo ih na :

- a) velike hidroelektrane
- b) male hidroelektrane
- c) mikro hidroelektrane
- d) piko hidroelektrane

Velike hidroelektrane proizvode snagu veću od 100 MW. Postoje tri takve hidroelektrane u svijetu, a to su: hidroelektrana Tri klanca u Kini snage 22,5 GW, hidroelektrana Itaipu snage 14 GW i hidroelektrana Guri u Venezueli snage 10,2 GW. Glavni i najveći nedostatak takvih hidroelektrana je njihov negativan utjecaj na okoliš. Za razliku od velikih, *male hidroelektrane* nemaju gotovo nikakav utjecaj na okoliš te razvijaju snagu od 0,5 do 10 MW. Gornja granica za mHE razlikuje se od zemlje do zemlje. U Hrvatskoj se mHE smatraju hidroelektrane koje proizvode snagu od 10 kW do 10 MW. *Mikro hidroelektrane* su hidroelektrane snage do 100 kW te se grade za mala mjesta koja se povezuju na dalekovode i koriste se kao izvor jeftine energije. Na posljetku, *piko hidroelektrane* razvijaju snagu do 5kW i najčešće su izvedene kao protočne hidroelektrane za jedno manje naseljeno mjesto ili domaćinstvo.

Budući da je glavna svrha ovog rada opisati utjecaj malih hidroelektrana na stabilnost sustava, u nastavku ćemo se baviti isključivo njima.

3. Male hidroelektrane

3.1. Osnovne karakteristike mHE

Zadnjih nekoliko godina svjetski energetska sustav bilježi sve veći porast u iskorištavanju obnovljivih izvora energije. Pa tako, hidroenergija i tehnologija vezana uz hidroenergiju bilježi veliku iskoristivost u svijetu. Već se 1999. godine udio od 19% ukupne svjetske proizvodnje električne energije crpio iz malih i velikih hidroelektrana. Međutim, za razliku od malih, velike hidroelektrane mogu imati veći utjecaj na okoliš. Njihova izgradnja može utjecati na slatkovodni živi svijet, na tlo oko samog objekta, a povećana je i prisutnost metana i drugih štetnih plinova u cijelom životnom ciklusu hidroelektrane. Također, kod velikih je hidroelektrana prisutna opasnost od mogućih poplava. Za razliku od njih, mHE se smatraju gotovo potpuno „zdravim“ za okoliš tj, nemaju gotovo nikakav utjecaj na njega. U većini slučajeva, mHE su izgrađene u sklopu toka rijeke na kojoj ne postoji brana ili skladište velike količine vode [6]. Budući da one najčešće ne mogu podnijeti financijski trošak izgradnje složene infrastrukture, kod mHE obično se koriste niske brane tj., nasipi čije su konstrukcije jednostavnije i jeftinije [9]. Zbog svega navedenog, mHE su posebno pogodne za izgradnju u ruralnim te manje razvijenim područjima [6].

Osnovne karakteristike mHE su sljedeće:

- radi se o obnovljivom izvoru energije
- nemaju štetan utjecaj na okoliš
- izgradnjom mHE smanjuje se potrošnja fosilnih goriva
- mogućnost kontrole dijela toka rijeke
- iskoristivost je gotovo 90% što dodatno povećava stabilnost sustava
- mHE su dosta isplativije u odnosu na velike hidroelektrane
- imaju pozitivni utjecaj na stanovništvo (nova radna mjesta)
- zbog svoje dugovječnosti, mHE je nedvojbeno sigurna investicija
- pogodne su za mjesta s malom potrošnjom električne energije i tzv. „otočni“ pogon

3.2. Postojeći i budući elektroenergetski potencijal malih hidroelektrana

U zemljama Europe i Sjedinjenim Američkim Državama težište se s velikih hidroelektrana, koje se često pokazuju kako neisplative, prebacuje na mHE. U takvim razvijenim zemljama, one su investitorima osobito zanimljive zbog iznimno poticajne tarife otkupa tako proizvedene električne energije. S druge strane, što se tiče RH, razvoj mHE odvija se poprilično slabo i sporo. Najveći razlog tome jest visoka otkupna cijena električne energije te komplicirana administracija pri čemu se najviše ističu visoki standardi za zaštitu okoliša koje je potrebno zadovoljiti [8]. Kada je riječ o samom planiranju i izgradnji mHE u RH, ono je u većini slučajeva prepušteno inicijativi privatnika. Također, bitno je napomenuti kako je za povratak sredstava uložениh u izgradnju takvih objekata potrebno je dosta vremena, točnije, između 10 i 15 godina. Unatoč svemu navedenom, zanimanje za to područje, koje predstavlja stabilan i strateški neovisan domaći izvor energije, je veliko [10]. Ukupno, danas u RH postoji 26 mHE koje su u pogonu, od čega je njih 16 u privatnom vlasništvu, a 10 u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede [9]. Također, postoji nekoliko mHE koje su nakon izgradnje napuštene, ali ih je uz manja ulaganja moguće ponovno staviti u funkciju [10]. Udio kojeg čine mHE u ukupnoj instaliranoj snazi EES-a Hrvatske iznosi 1,76%. Ukupni prirodni hidropotencijal RH procjenjuje se na oko 12,4 TWh/god. Od toga, u RH danas je iskorišteno 49% [9].

Što se tiče budućnosti mHE, studija „Katastar malih vodenih snaga u SR Hrvatskoj“ objavila je još 1985. godine prvu veliku analizu hidropotencijalne energije malih hidroelektrana u Hrvatskoj. U navedenoj je analizi proučeno 130 vodotokova te je identificirano čak 699 pozicija pogodnih za izgradnju mHE [11]. U *Tablici 1* prikazan je popis potencijalnih lokacija mHE instalirane snage od 1 do 10 MW dok je na *Slici 4.* prikazana karta potencijalnih mHE u RH [9].

Tablica 1. Popis potencijalnih lokacija mHE (1-10MW)

| Redni broj | Projekt | Vodotok | Instalirana snaga (MW) | Moguća proizvodnja (GWh/god) |
|------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1. | MHE Toplice (Lešće) | Dobra | 4,03 | 11,9 |
| 2. | MHE Globornica | Dobra | 4,77 | 18,2 |
| 3. | MHE Jarče Polje | Dobra | 5,90 | 24,0 |
| 4. | MHE Majur | Dobra | 2,23 | 10,9 |
| 5. | MHE Polaki | Dobra | 2,09 | 10,5 |
| 6. | MHE Mrežnica | Dretulja (Mrežnica) | 10,00 | 36,6 |
| 7. | MHE Jančić | Mrežnica | 3,44 | 9,6 |
| 8. | MHE Zvečaj | Mrežnica | 8,54 | 27,0 |
| 9. | MHE Ljeskovac | Korana | 4,34 | 10,3 |
| 10. | MHE Slunj | Korana | 6,40 | 17,0 |
| 11. | MHE Primišlje | Korana | 1,55 | n.p. |
| 12. | MHE Barilović | Korana | 5,00 | 20,0 |
| 13. | MHE Kočićin | Kupa | 9,52 | 24,3 |
| 14. | MHE Otok | Kupa | 9,04 | 29,3 |
| 15. | MHE Božakovo | Kupa | 8,92 | 32,0 |
| 16. | MHE (VES) Brodarci | Kupa | 3,4 | 15,8 |
| 18. | MHE Otočac | Gacka | 2,5 | 12,6 |
| 19. | MHE Žegar | Zrmanja | 8,8 | 23,9 |
| 21. | MHE krčić donji | Krčić (Krka) | 7,86 | 37,9 |
| 22. | MHE Peruća | Cetina | 2,33 | 17,0 |
| 24. | MHE Konavle | Ljuta | 3,3 | 9,7 |
| 25. | MHE Ričica (Proložac) | Suvaja (Ričina) | 6,5 | 8,5 |



Slika 4. Karta potencijalnih lokacija mHE [11]

S obzirom na neto pad svih razmatranih pozicija, njih 40,63% imalo neto pad do 3 m. Nakon toga slijedile su pozicije s neto padom između 3 m i 5 m koje su činile 27,9% ukupno analiziranih pozicija te pozicije s neto padom između 5 m i 10 m koje su činile 22,03% ukupno analiziranih pozicija. Na posljepku, svega 9,44% pozicija imalo je neto pad veći od 10 m. Ukupno gledajući, može se zaključiti kako je najveći broj potencijalnih pozicija za izgradnju mHE koncentriran u području neto pada od 1 do 10 m. Također, najveći broj tih pozicija nalazi se u području protoka od $20 \text{ m}^3/\text{s}$ te se najveći broj njih nalazi u rasponu snage do 500 kW (88,56%). Preostalih 11,44% njih nalazi se u rasponu snage od 500 kW do 5000 kW. Međutim, proučavanjem udjela u ukupnoj instaliranoj snazi dolazi se do zaključka kako projekti u rasponu snage od 500 do 5000 kW čine njegovu većinu s 56,86%.

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva osnovalo je 2007. godine Registar OIEKPP unutar kojeg su 2014. godine za dobivanje statusa povlaštenog proizvođača bila prijavljena 94 projekta mHE ukupne instalirane snage 191,24 MW. Udjeli prijavljeni projekata bili su sljedeći:

- a) 36,17% mHE u rasponu snage od 1 do 5 MW
- b) 32,98% mHE u rasponu snage od 100 do 200 kW
- c) 11,7% mHE u rasponu snage od 500 kW do 1 MW
- d) 11,7% mHE u rasponu snage od 5 do 10 MW
- e) 7,45% mHE instalirane električne snage manje od 100 kW

Što se tiče raspodjele ukupne planirane snage postrojenja mHE po županijama RH 2014. godine, najveću planiranu snagu u iznosu od 65,751 MW ima Šibensko kninska županija. Osim nje, potencijalom se ističu i Karlovačka (40,718MW) te Splitsko dalmatinska (30,36 MW) županija [11].

3.3. Postupak realizacije projekta mHE

Da bismo krenuli u postupak realizacije projekta mHE moramo odrediti prikladnu lokaciju za njezinu izgradnju. Lokacija mora biti uz rijeku ili potok, a može biti izgrađena i u sklopu nekog drugog vodoprivrednog sustava (ribogojilište, sustav za navodnjavanje) [12]. Tehnički postupak realizacije projekta je poznat od prije i u izvedbi ne predstavlja neki veći problem [13].

Međutim, postoji nekoliko ključnih elemenata koje moramo uzeti u obzir kod odabira pogodne lokacije za mHE [12]:

- Odabrana lokacija mora biti u mogućnosti smjestiti cijelo postrojenje mHE
- Mora biti dostupna po pitanju mehanizacije i dodatne opreme
- Mora se obratiti pozornost na vlasništvo nad zemljištem
- Omogućen priključak na elektroenergetski sustav
- Izgradnja mora biti u skladu sa zakonima koji se odnose na zaštitu kulturne baštine, lokalne zajednice i ekologije
- Detaljno proučeni hidrološki podaci vodotoka

Ako su prethodno navedeni kriteriji zadovoljeni, treba napraviti sljedeće [12]:

- Ispitati hidro-potencijal
- Procjena troškova izgradnje (moguće odstupanje zbog nenadanih dodatnih troškova tijekom izgradnje)
- Napraviti preliminarnu analizu proizvodnje električne energije
- Odrediti nazivni protok turbine i ostalu glavnu opremu mHE
- Provesti analizu izvedivosti i isplativosti sustava
- Prikupiti svu potrebnu dokumentaciju koja je zakonski propisana
- Imovinska i pravna pitanja vezana uz zemljište riješiti prije početka građenja mHE
- Prikupiti tehničku dokumentaciju projekta
- Započeti izgradnju ako je sva prikupljena dokumentacija uredna i zakonski propisana

Neovisno o veličini objekta tj. snazi, procedura je uvijek ista. Postoji oko 70 različitih dokumenata koje je potrebno prikupiti iz više različitih ustanova što zahtjeva dodatne troškove investitora [13]. Vrlo je bitno riješiti problem sa zemljištem ako ono obuhvaća više parcela različitih vlasnika. Procedura za izgradnju mHE mnogo je kompliciranija nego za ostale obnovljive izvore energije. Tehnička procedura se najčešće radi za mHE do 5MW na temelju razvijene metodologije nastale prije 30 godina. U takvoj metodologiji nisu dovedeni u pitanje današnji uvjeti i ograničenja vezana uz zaštitu okoliša i kulturne baštine. Olako pristupanje projektiranju i izgradnji mHE dovodi do kasnijih problema u stvarnim procedurama i zakonskim obavezama koje zahtijeva izgradnja. Vrijeme izgradnje mHE procjenjuje se na 5-7 godina, a u nekim zemljama Europske unije i duže [12]. Planiranje takvog projekta uz sebe veže puno različitih „pod-projekata“, što zahtijeva određeni broj ljudi i veći vremenski period. U jednom projektu sudjeluju stručni ljudi iz područja elektrotehnike, strojarstva, građevinarstva i mnogi druga zanimanja koja svojom ulogom u projektu pokušavaju doprinijeti što boljem rezultatu.

Lokacije mHE se šire s obzirom na predviđenu snagu instalacije mHE. To znači da se broj mogućih lokacija povećava ako je predviđena snaga mHE manja. Postoji više lokacija u Hrvatskoj koje su po svojoj prirodi na manjoj visinskoj razini nego one s velikom koje kao pozitivan ishod daju više potencijalnih lokacija za izgradnju mHE. Kod odabira lokacije svakako dolaze u obzir stari mlinovi i vodenice jer su već izgrađeni na području koje po svim svojim karakteristikama najčešće odgovaraju potrebi mHE [14].

U *Tablici 6*, koja se nalazi u prilogu, dan je popis nekolicine malih hidroelektrana koje su u postupku rješavanja.

4. Idejno rješenje mHE Zelena

4.1. Opis zahvata

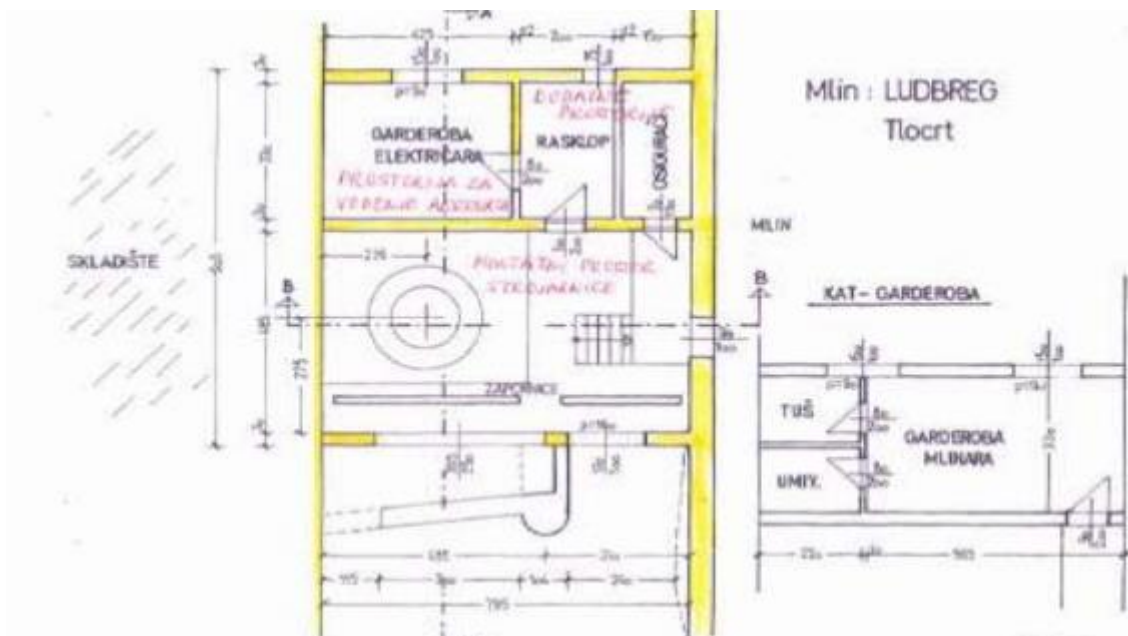
Za izgradnju mHE Zelena odabrana je lokacija na području Varaždinske županije, točnije, u gradu Ludbregu. Zahvat je planiran na postojećem objektu koji se nalazi na rijeci Bednji. Radi se o tzv. Tvorničkoj hidroelektrani koja je izrađena tijekom 20. stoljeća. Njezina namjena bila je da svojom proizvedenom električnom energijom održava pripadajući mlin. Iako hidroelektrana nije u pogonu već dugi niz godina ona je vrlo očuvana, ali zahtjeva neke važnije sanacije. Pa je tako strojarnica u vrlo lošem stanju te joj je potrebna potpuna rekonstrukcija. Nadalje, derivacijski kanal i ostali dijelovi hidroelektrane uglavnom su onečišćeni i pokriveni muljem. Jedini dio hidroelektrane koji se i danas koristi je brana Kućan Ludbreški. Ona se koristi u svrhe regulacije vode na rijeci Bednji, potpuno je funkcionalna te ne zahtjeva nikakve sanacije. U neposrednoj blizini strojarnice predviđena je izgradnja mHE Zelena efektivne snage turbine od 277 kW. Planirana je izgradnja biološke staze uz saniranu strojarnicu i postojeći derivacijski kanal. Planirani zahvat proteže se na ukupno $23\,625\text{ m}^3$ i jednim se dijelom nalazi u općini Ludbreg, a drugim u općini Hrastovsko. Da bi gradnja navedene mHE mogla započeti bilo je potrebno pribaviti novu građevinsku dozvolu kojom se stječe pravo na gradnju nizvodno od stare lokacije postojećeg mlina. Gradnjom nove mHE nisu predviđene značajne promjene u odnosu na zatečeno stanje. Korisnici voda bit će u mogućnosti i dalje koristiti vodu uz neka poboljšanja i male preinake u sustavu. Uz normalno korištenje vode svih korisnika koji se nalaze na području zahvata predviđena je prosječna proizvodnja električne energije u trajanju od 314 dana u godini. Na *Slici 5.* prikazani su osnovni dijelovi postojeće hidroelektrane. To su: strojarnica, brana, vodozahvat derivacijskog kanala te donji i gornji derivacijski kanal.



Slika 5. Kartografski prikaz glavnih dijelova postojeće hidroelektrane [21]

4.1.1. Strojarnica

Cijela zgrada stare strojarnice u zapušenom je stanju. Nalazi se na lokaciji uzvodno od planirane lokacije za strojarnicu novoizgrađene mHE. Na *Slici 6.* nalazi se tlocrt nekadašnje strojarnice, a na *Slici 7.* prikazano je sadašnje stanje objekta.



Slika 6. Izgled strojarnice – tlocrt [21]



Slika 7. Postojeće stanje strojarnice izvana [21]

4.1.2. Brana

Pošto se postojeća brana i danas koristi od strane Hrvatskih voda ona je u radnom režimu. Hrvatske vode koriste branu u svrhu upravljanja razinom vode rijeke Bednje te derivacijskim kanalom. Brana je sagrađena s 8 preljevnih polja te dvije metalne zapornice. Svaka zapornica je u širini preljevnog polja i u punoj visini brane kao što se može vidjeti na *Slici 8.* nalazi se nizvodno od planiranog vodo-zahvata mHE Zelena.



Slika 8. Brana Kućan Ludbreški [21]

Provedena je i analiza na čitavom toku rijeke Bednje u slučaju poplave te je određena granična vrijednost za plavljenje na području brane definirana na $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$. Kada protok kroz branu dosegne tu vrijednost zapornice se podignu i vodni val se propušta nizvodno prema rijeci Dravi. Zapornice se vraćaju u početni položaj kad se voda spusti ispod

razine obale korita. Samim time brana je potpuno funkcionalna i ne zahtijeva nikakve preinake i rekonstrukcije.

4.1.3. Vodo-zahvat (ulaz u derivacijski kanal)

Smješten je uzvodno od postojeće brane. Na *Slici 9.* vidljivo je sadašnje stanje vodo-zahvata. Možemo primijetiti da je izgrađen od betonske konstrukcije koja u sebi sadrži ograničivaće razine vode te utore koji su predviđeni za zapornicu. Vodo-zahvat je nefunkcionalan i nije odgovarajućih dimenzija za planiranu mHE Zelena.



Slika 9. Stanje ulaza u derivacijski kanal[21]

4.1.4. Derivacijski kanal

Ukupna dužina derivacijskog kanala je 1530 m. Dijeli se na donji derivacijski kanal u dužini od 340 m i proteže se od strojarnice do ušća rijeke Bednje te gornji derivacijski kanal dužine 1190 m koji je izmjeren od vodo-zahvata do strojarnice. Geodetska razlika između brane i razine vode koja ulazi u donji derivacijski kanal iznosi 4,03 m. U sklopu derivacijskog kanala nalazi se i vodo-zahvat za ribnjake Ludbreg. On je reguliran vrećama pijeska što se namjerava rekonstruirati i dovesti u red. Oba derivacijska kanala nalaze se u vrlo zapuštenom stanju što je vidljivo na *Slikama 10 i 11.*



Slika 10. Gornji dio derivacijskog kanala [21]



Slika 11. Donji dio derivacijskog kanala [21]

Na *Slici 10.* prikazan je gornji dio derivacijskog kanala. Lijeva slika prikazuje kraj derivacijskog kanala u blizini postojeće strojarnice. Slika do nje prikazuje početak gornjeg derivacijskog kanala nakon vodo-zahvata. Na *Slici 11.* prikazani su početak donjeg derivacijskog kanala koji se dijeli na mlinski preljev za velike vode te na kanal u kojeg izlazi voda iz difuzora turbine (slika lijevo). Na slici desno prikazan je donji dio derivacijskog kanala. Kao što je vidljivo, objekt se nalazi u vrlo lošem stanju.

4.2. Tehničko rješenje male hidroelektrane Zelena

Analizom postojećih dijelova stare hidroelektrane usvojena je odluka da će se postojeći derivacijski kanal i dalje koristiti, ali uz potrebnu rekonstrukciju. Regulacija vode u derivacijskom kanalu vršit će se postojećom branom Kućan Ludbreški. Da bi izgradnja mogla

početi, investitor je morao sklopiti koncesijski ugovor s Hrvatskim vodama budući da se i brana i derivacijski kanal nalaze u vlasništvu Hrvatskih voda. Planirani objekt strojarnice bit će u vlasništvu investitora no i za to je potrebno pribaviti potrebnu dokumentaciju kako bi izgradnja bila u skladu sa zakonom. Izgradnja mHE se sastoji od sljedećih važnijih tehnoloških procesa:

- Strojarnica
- Postojeća brana
- Vodo-zahvat na ulazu u derivacijski kanal
- Derivacijski kanal
- Biološka staza
- Vodo-zahvat na ulazu u ribnjake
- Transformatorska stanica
- Turbina

4.2.1. Turbina

Glavni parametri koji se uzimaju u obzir kod odabira turbine su: protok, neto pad, hidraulička snaga pozicije te maksimalna efektivna snaga pozicije.

4.2.1.1. Protok

Višegodišnjim mjerenjem protoka rijeke Bednje izračunat je središnji protok u iznosu od $Q = 6,99m^3/s$. Instalirani protok se općenito određuje između 1,2-1,4 Q_{sr} , a u ovom slučaju to znači u rasponu od 8,3 – 9,7 m^3/s . Instalirani protok se određuje na vrijednost od $Q_t = 8,3m^3/s$.

4.2.1.2. Neto pad

Neto pad predstavlja razliku između gornje i donje visinske razlike vode. Stoga je dovodni dio kanala izračunat prema izrazu: $150,50 \text{ mnv} + 1,529 \text{ m} = 152,029 \text{ mnv}$, a odvodni dio prema izrazu: $147,25 \text{ mnv} + 0,751 \text{ m} = 148,001 \text{ mnv}$. Razlika između dovodnog i odvodnog kanala iznosi 4,03 m što ujedno i predstavlja neto pad.

4.2.1.3. Hidraulička snaga pozicije

Pod tim pojmom podrazumijeva se hidraulička snaga ostvarena na toj poziciji u idealnim uvjetima. Dobivamo ju iz formule $P_h = \rho * g * H_{netto} * Q_l = 998 * 9,81 * 4,03 * 8,3 = 327,5kW$.

Gdje je :

ρ – gustoća vode

g – Gravitacijska konstanta

H_{netto} – neto pad

Q_l – instalirani protok

4.2.1.4. Maksimalna efektivna snaga pozicije

Računamo ju prema formuli $P_{ef} = P_h * \eta_t * \eta_g * \eta_{tr} * \eta_i = 327,5 * 0,89 * 0,97 * 0,99 * 0,99 = 277,1kW$.

Gdje je:

P_h - Hidraulička snaga pozicije

η_t - iskoristivost turbine koja iznosi 89 %

η_g - iskoristivost generatora koja iznosi 97 %

η_{tr} - iskoristivost transformatora koja iznosi 99 %

η_i - iskoristivost invertera koja iznosi 99 %

Prethodno izračunati podaci osnovni su preduvjet kod odabira potrebne turbine. Odabrati pravilnu i efikasnu turbinu nije lagano s obzirom na to da veliki protoci zahtijevaju i veliku turbinu, a mali geodetski padovi ograničeni su na manju snagu postrojenja. Sukladno sljedećim dobivenim ulaznim parametrima za pravilan odabir efikasne turbine:

- Instalirani protok $Q_l = 8,3m^3/s$
- Kota gornje vode - 152,03 aps kota
- Kota donje vode – 148,00 aps kota
- Neto pad $H_{netto} = 4,03m$
- Kota dna zapornice na ulazu u derivacijski kanal – 150,90 aps kota
- Kota dna na ulazu u turbinu – 150,50 aps kota
- Kota vrhunca brane na rijeci Bednji – 152,104 aps kota

odabrana je DIVE turbina koja se nalazi na *Slici 12*. Odabrana turbina zadovoljava sve potrebne zahtjeve mHE pri instaliranoj snazi ispod 2MW. DIVE turbinu karakterizira varijabilna brzina vrtnje čime se omogućuje iskoristivi rad i kod malih protoka do $Q_{min} = 0,5m^3/s$. Sinkroni generator s permanentnim magnetima direktno je vezan na turbinu. Takav spoj omogućuje turbini mogućnost savladavanja velikog okretnog momenta kod vrlo malih brzina. Sve to dovodi do velikog stupnja iskoristivosti generatora koja se kreće između 95 % i 98 %. Turbinom je moguće upravljati električnim vodom koji povezuje upravljačku jedinicu i samu turbinu. Ona svojom kompaktnom konstrukcijom može raditi i potpuno potopljena u vodi. Pošto je svojom cijelom konstrukcijom u vodi emisija buke i vibracije je minimalna. To se postiglo spajanjem turbine i generatora u jedno kućište. Rotor generatora i turbine direktno su spojeni preko jedne rotirajuće komponente koja se vrti relativno malom brzinom. Vrlo malo količina buke proizvodi se zbog strujanja vode u turbinskoj komori i oko mHE. U decibelima to iznosi oko 60 dB iznad turbine, a povećavanjem udaljenosti od turbine razina buke smanjuje se na oko 35 dB. Vibracije mjerimo u mm/s te se brzina kreće od 0,05 mm/s do 3,5 mm/s što nam daje srednju vrijednost brzine vibracije od 1,44 mm/s.

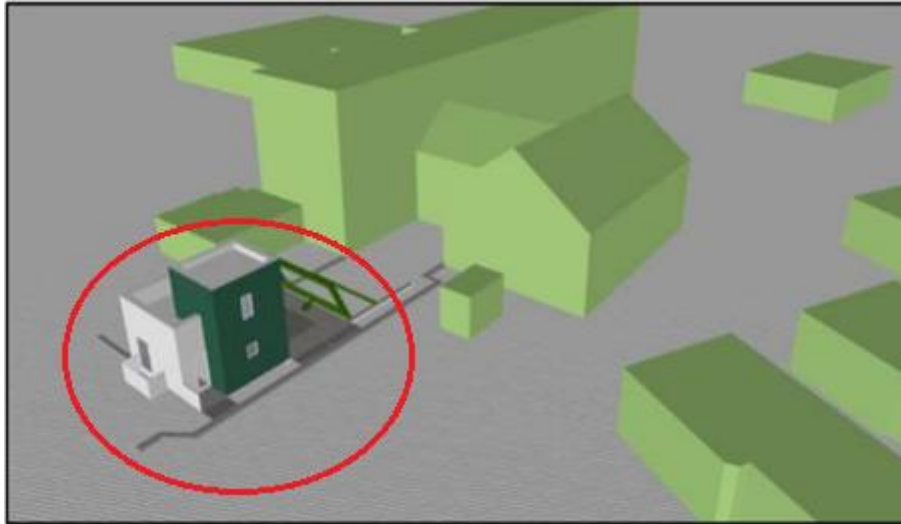


Slika 12. DIVE turbina spojena s generatorom u vodonepropusno kućište [21]

4.2.2. Strojarnica

Sljedeći korak nakon odabira turbine je projektiranje zgrade strojarnice. Nova lokacija planirane strojarnice bit će u južnom dijelu grada Ludbrega uz postojeći derivacijski kanal na rijeci Bednji. Da bi gradnja nove strojarnice bila po zakonu, mora se pribaviti nova građevinska dozvola koja dozvoljava gradnju strojarnice nizvodno od lokacije starog

mlina. Nova strojarnica napraviti će se dijelom od postojeće katastarske čestice te će biti nepravilnog poligonanog oblika ukupne površine od 434 m². 3D model nove strojarnice prikazan je na *Slici 13.* te je prikazan u tlocrtnim mjerama 14,3 m x 8,1 m, visine 7,3 m.



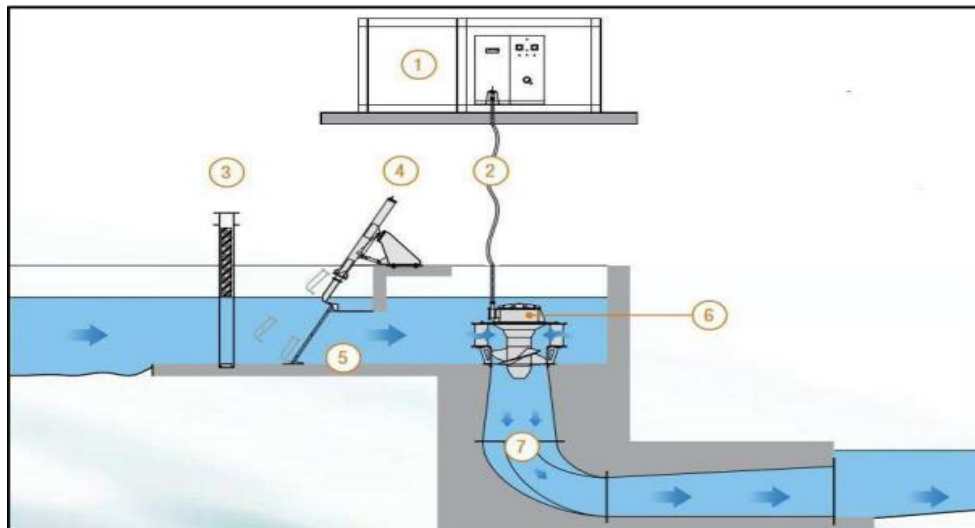
Slika 13. 3D model nove strojarnice [21]

Planiranu strojarnicu mHE Zelene možemo podijeliti u dva dijela:

- Donji betonski dio korita u kojem će se nalaziti sve glavne komponente postrojenja
- Gornji dio u kojem će se nalaziti elektroarmari, oprema i dodatni prostori za djelatnika strojarnice.

Donji dio strojarnice bit će ukopan pod vodom te će u njemu biti smješteni glavni elementi postrojenja: potopljena turbinska komora, turboagregat i difuzor. U turbinskoj komori smještena je turbina, a uloga turbinske komore je da osigurava jednoliko dotjecanje vode do turbine. Na kraj turbinske komore dolazi prolaz u koji se dovodi vodonepropusno kućište u kojem se nalaze direktno spojeni generator i turbina. Voda koja ide kroz turbinu otječe van kroz difuzor kroz prethodno izračunati neto pad. Difuzor je temelj turbinske komore. Njegova uloga je da smanjuje izlazne gubitke iz turbine, odnosno da se što više raspoloživog neto pada u turbini pretvori u mehanički rad a u generatoru u električnu energiju. Na ulazu i izlazu turbinske komore planira se gradnja grednih zapornica u svrhu izolacije turbinske komore od vode u slučaju remonta na nekim od dijelova postrojenja. Na ulaz u turbinu planira se postaviti fina rešetka u širini od 7,3 m i visine od 1,9 m s ispunom od željeza na razmaku od 20 mm. Bit će pričvršćena za profilnu konstrukciju koja će se montirati u turbinsku komoru. Uloga fine rešetke bit će sprečavanje prolaza nanosa iz vodotoka rijeke direktno u turbinu. Iznad turbine i

generatora planiran je otvor na koji će se staviti metalna rešetka koja će omogućiti vizualni pregled turbine i generatora te popravak ako će to biti potrebno. Na slici ispod prikazana je shema planirane strojarnice male hidroelektrane Zelena .



Slika 14. Shema planirane strojarnice [21]

Dakle, na *Slici 14.* se nalazi :

1. Gornji dio strojarnice s elektrotehničkom i mehaničkom opremom
2. Energetski kabel
3. Gredna zapornica
4. Stroj za čišćenje fine rešetke
5. Fina rešetka
6. Turboagregat
7. Difuzor

4.2.3. Derivacijski kanal

Derivacijski kanal dijelimo na gornji i donji dio. Gornji dio proteže se od vodo-zahvata rijeke Bednje do stare strojarnice, dok se donji dio nastavlja od strojarnice do ušća rijeke Bednje. Idejnim projektom za mHE Zelena donesena je odluka o rekonstrukciji istog. Punu dužinu derivacijskog kanala možemo vidjeti na *Slici 15.*



Slika 15. Prikaz planirane rekonstrukcije postojećeg derivacijskog kanala [21]

Kanal je podijeljen na nekoliko presjeka zbog lakšeg objašnjenja. Od vodo-zahvata rijeke Bednje pa do strojarnice derivacijski kanal je dug 1195 m. Prema potrebi novog postrojenja postojeći gornji dio derivacijskog kanala mora se širiti. U prvom dijelu derivacijskog kanala (do presjeka 9) moguće je minimalno proširiti česticu jer je ograničena s jedne strane s nasipom, a s druge strane privatna parcela. Servisni putevi ostaju stari i nalazit će se s obje strane derivacijskog kanala. Nadalje, kanal bi se proširio u punom profilu u širini od 11,7 m (od presjeka 9 do presjeka 18). Od presjeka 18 kanal se postepeno sužava sve do presjeka 27 zbog čega se mora smanjiti profil kanala u odnosu na proračun. Dno je u tom dijelu široko 7,3 m. Od presjeka 27 širenje kanala je moguće sve do presjeka 30. Dno varira u širini između 7,3 m – 6,3 m. Pošto se derivacijski kanal postepeno sužava u ovom dijelu, predviđen je samo jedan servisni put s južne strane čestice. Nakon presjeka 30 pokraj derivacijskog kanala nalaze se izgrađeni objekti (stari mlin, kolni most, stara strojarnica) koji onemogućuju daljnje širenje kanala sve do kraja presjeka 36. U gornjem dijelu planirana je još izgradnja novog betonskog ulaza (korita) u turbinsku komoru širine oko 7 m. Donji dio derivacijskog kanala dug je 280 m. Pošto donji dio kanala odgovara planiranim količinama vode, on ne zahtijeva

veće rekonstrukcije. Rekonstruirat će se u dijelu ispred difuzora s namjerom zaštite tla od erozije. Zaštita tla izvest će se gabionskim madracem ili kamenim nabačajem.

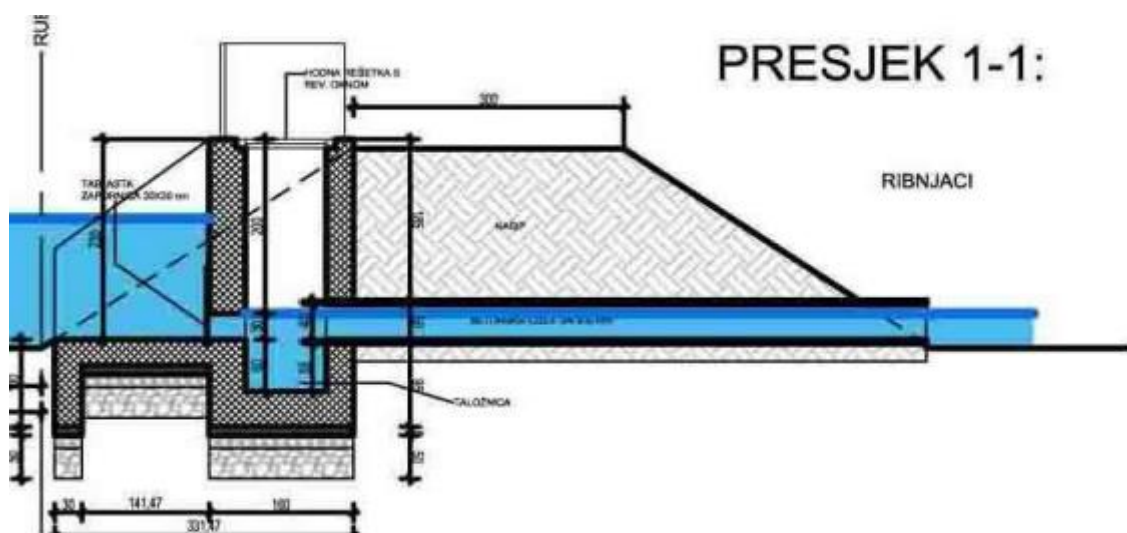
Idejnim projektom proračunato je da će se planiranim radovima na derivacijskom kanalu iskopati oko 19000 m³ od kojih će 4000 m³ biti iskorišteno za potrebe nasipavanja terena planirane lokacije mHE.

4.2.4. Vodo-zahvat na ulaz u derivacijski kanal

Prema hidrotehničkim proračunima postojeći vodo-zahvat ne odgovara planiranim protocima te se mora napraviti odgovarajući vodo-zahvat koji zadovoljava potrebe novoizgrađene mHE. Glavna uloga vodo-zahvata bit će propuštanje vode uzvodno od brane Kučan Ludbreški. Dužina u užem dijelu planirane betonske konstrukcije iznosit će 11,4 m a u širem oko 17,3 m. Poprečni presjek iznosit će 13,5 x 1,8 m, a dimenzije otvora bit će 10 x 1,8 m. Ispred navedenog vodo-zahvata planira se postaviti gruba rešetka dimenzija 10 x 2 m koja će biti ispunjena vertikalnim metalnim cijevima promjera 75 mm i na razmaku od 250 mm. U svrhu čišćenja otpadnih materijala iza ulaza planira se postaviti tzv. taložnica u dubinu od 0,5 m i širinu od 1 m koja će biti pokrivena hodnom rešetkom. Protok se planira kontrolirati preko ugrađene čelične zapornice.

4.2.5. Vodo-zahvat na ulazu u ribnjake

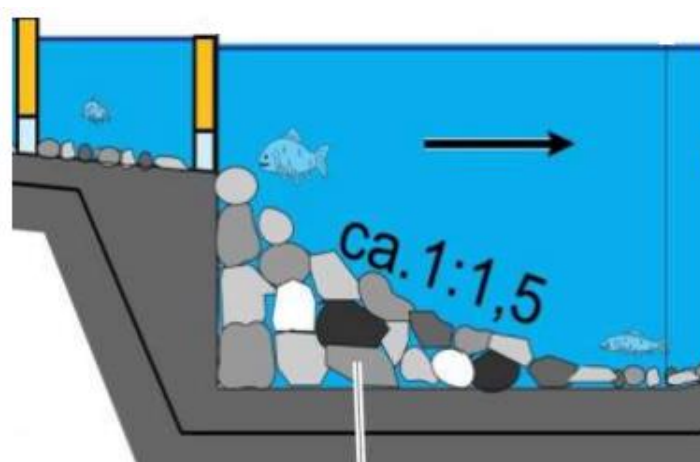
Voda iz derivacijskog kanala otjecat će u postojeće lokalne ribnjake. Planiranim idejnim projektom izgradit će se vodo-zahvat na postojećem prolazu za vodu u ribnjak. I ovaj vodo-zahvat bit će armirano-betonske konstrukcije s prolazom dimenzije 0,3 x 0,3 m te će biti reguliran tablastom zapornicom. Isto tako vodo-zahvat imat će komoru s taložnicom dimenzija 0,9 x 1,5 m u dubinu od 0,5 m. Prema ribnjaku iza taložnice postaviti će se cjevovod poprečnog presjeka od 400 mm a dužine oko 7 m. Presjek planiranog vodo-zahvata za ribnjake prikazan je na slici ispod.



Slika 16. poprečni presjek vodo-zahvata na ribnjake [21]

4.2.6. Biološka staza

Objekt, odnosno prolaz, koji služi za nesmetano kretanje vodene faune u uzvodnom smjeru i nizvodnom. Najvažniji elementi svake biološke staze su smještaj ulaza i njegove pripadajuće karakteristike. Migracijske vrste riba plivaju protiv struje odnosno plivaju uzvodno sve do prepreke. Kad stignu do prepreke nastavljaju plivati sve dok ne pronađu izlaz. To je jedan od razloga zašto bi ulaz u biološku stazu trebao biti smještena odmah nakon prepreke kako bi se smanjila mrtva zona (dio između prepreke i ulaza u biološku stazu). Bilo bi dobro da se biološka staza radi na strani na kojoj je jači protok vode jer će jači protok vode privući ribe k ulazu u biološku stazu. Isto tako mora se paziti da je biološka staza dovoljno odmaknuta od strojarnice kako voda usmjerena na turbinu ne bi imala utjecaja na ribe. Primjer izvedenog ulaza u biološku stazu prikazan je na Slici 17.

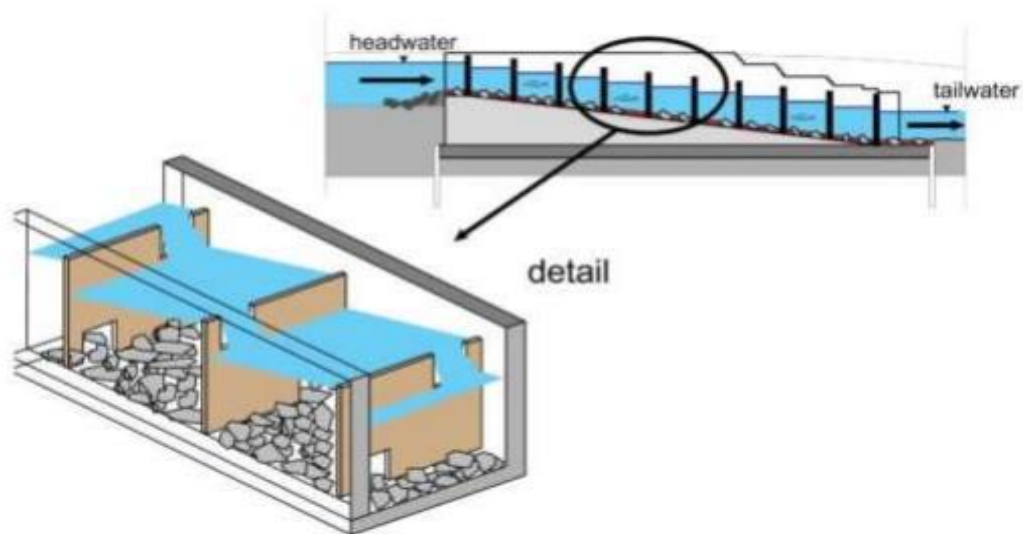


Slika 17. Ulaz u biološku stazu (kosa izvedba) [21]

Postoje tri izvedbe bioloških stazi, a to su:

- Staza s naizmjenično postavljenim rebrima
- Staza s bazenima
- Prirodna biološka staza

Analiziranjem lokacije zahvata i vrsta ribe koje prevladavaju u ovom području za ovaj projekt predložena je biološka *staza s bazenima*. Takav tip biološke staze je podijeljen u male bazene koji se odvajaju poprečnim zidovima te se redaju u niz stepenastih bazena prikazanih na slici ispod.



Slika 18. Biološka staza izvedena s bazenima [21]

Takvom izvedbom energija vode se razdjeljuje na više bazena umjesto na jedan cjeloviti tok. Otvori bazena se smještaju na vrh bazena ili na samo dno. Dno kanala je izvedeno od betona ili kamenja, a pregrade između bazena su drvene ili betonske konstrukcije. Zbog lakšeg savladavanja nagiba bazeni su blago nakošeni. Na području rijeke Bednje provedeno je terensko istraživanje 6. lipnja i 1. srpnja 2016.g te su prikupljeni sljedeći podaci prikazani u *Tablici 2*.

Tablica 2. Preporučene dimenzije biološke staze za vrste koje nalazimo u rijeci Bednji [21]

| Biološke vrste | | Klen, Deverika i slično |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Dimenzije bazena (m) | Širina | 1-1,5 |
| | Duljina | 1,4-2 |
| | Dubina vode | 0,6-0,8 |
| Dimenzije otvora na dnu (m) | Širina | 0,25-0,35 |
| | Visina | 0,25-0,35 |
| Dimenzije otvora na vrhu (m) | Širina | 0,25 |
| | Visina | 0,25 |
| Protok kroz stazu (m ³ /s) | | 0,08-0,2 |
| Razlika u razini vode (m) | | 0,20 |

Možemo zaključiti da bi za vrste koje nalazimo kod nas brzina struje unutar biološke staze trebala biti manja od 1,5 m/s. Visinska razlika između dva bazena preporučena je na 0,2 m, u najidealnijem slučaju trebala bi iznositi 0,15 m. brzina struje između bazena ovisi o visinskoj razlici između bazena. Kosina, odnosno nagib, bazena mora biti između 1:7 i 1:15. takav nagib možemo postići ako stavimo da je duljina bazena između 1 i 2,25 m. Broj potrebnih bazena u sustavu biološke staze možemo odrediti iz sljedeće formule:

$$n = \frac{h_{tot}}{\Delta h} - 1$$

Gdje je:

h_{tot} – razlika razine vode iznad brane i najniže razine vode ispod brane

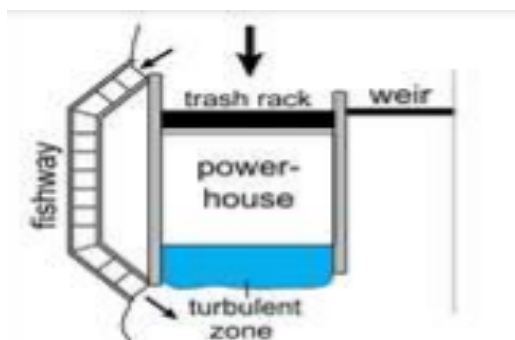
Δh – razlika razine vode između pojedinih bazena

Biološka staza izvedena s bazenima prikladno je rješenje za male protoke, no potrebno ju je povremeno održavati. Za vrijeme visokih voda nagomila se velika količina otpada i otvori na pregradama se začepljuju što iziskuje češće kontroliranje kako bi biološka staza služila svrsi.

Planirane su dvije biološke staze: biološka staza pokraj strojarnice mHE i biološka staza kod brane Kućan Ludbreški

4.2.6.1. Biološka staza pokraj strojarnice mHE Zelena

S obzirom na karakteristike planiranog područja gdje će biti smještena strojarnica odabran je tip zakrivljene biološke staze s bazenima prikazan na slici ispod.



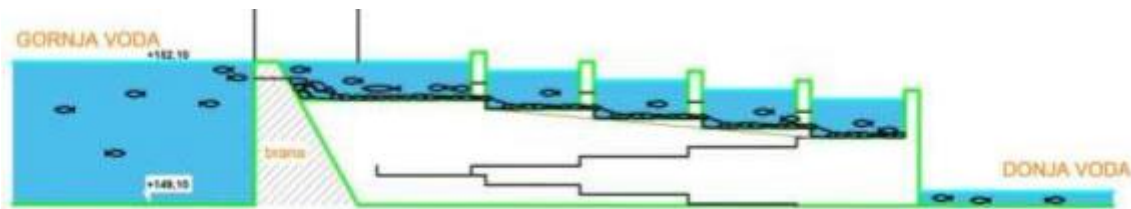
Slika 19. Prikaz bazena sa zakrivljenim tipom staze [21]

Planirana je izgradnja 19 bazena dimenzija 1,20 m x 1,30 m te pregrade između bazena visine 0,60 m. Nagib će biti u odnosu 1:15, odnosno razlika u visini iznosit će 0,2 m. Biološka staza bit će smještena na koti 152,03 mnv iznad strojarnice do 148 mnv ispod strojarnice. Da bi se postigla odgovarajuća brzina protoka gornji otvor se postavlja na koti 151,43 mnv. Po proračunima osigurani protok kroz biološku stazu iznosit će $Q = 0,103 \text{ m}^3/\text{s}$, a brzina vode oko $V = 0,6 \text{ m/s}$. Kako bi se spriječila mogućnost usisa ribe u turbinu, na ulaz u turbinu postaviti će se fina rešetka u razmaku od 4 cm.

4.2.6.2. Biološka staza kod brane Kućan Ludbreški

Postavit će se isti tip biološke staze kao i kod strojarnice mHE. Staza će biti izgrađena na desnoj strani postojeće brane u dužini od 152,1 mnv do dna brane koje se nalazi na koti od 149,1 mnv. Vrtloženje vode ispod brane planira se riješiti nasipanjem kamenja ispred ulaza u stazu. Bazeni će biti dimenzije 1,20 m x 2 m s pregradama visine od 0,60 m. Nagib će biti u odnosu 1:10, odnosno visina između dva bazena iznosit će 0,20 m. Gornji i donji otvori na

pregradama bit će 0,25 m x 0,25 m što je dovoljno za nesmetano kretanje vodenih organizama. Shema planirane biološke staze prikazana je na *Slici 20*.



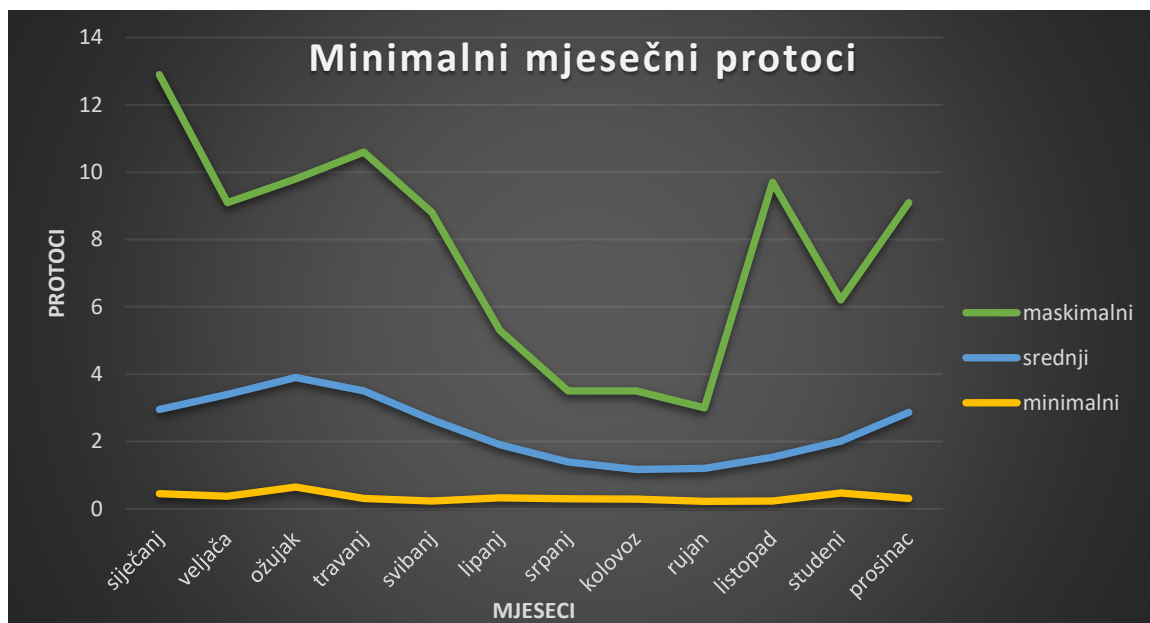
Slika 20. Planirana biološka staza s bazenima zavijenim 180° [21]

4.3. Hidrogeološke i hidrološke karakteristike mHE Zelena

Bednja je rijeka koja se svojim tokom ulijeva u Dravu, a ukupna dužina njezinog toka iznosi oko 100 km. Pritoci rijeci Bednji su redom: Crnoglaveć, Trnovčica, Drenoveć, Rakoveć, Ljuba potok, Korunščak, Bistrica, Marinšek, Voća, Žarovnica. Rijeka Bednja svojim tokom obiluje glinovito-pjeskovitim slitovima te naslagama pijeska i šljunka što pridodaje dobroj vodoodrživosti samog korita. Bednja prema klasifikaciji spada u tip velikih nizinskih rijeka. Za njih je karakterističan sliv između 1000 – 10000 km² te protoci veći od 20 m³/s. Na visini od 600 mnv nalazi se izvor rijeke Bednje a smješten je u selu Bednjica. Gornji dio toka nalazi se kod ušća Železnice te je lepezastog oblika. Lepezasti oblik i nepovoljni raspored padalina rezultira velikom brzinom i protokom rijeke Bednje koji mogu biti i opasniji (poplave i sl.). Srednji dio toga proteže se od ušća Velinečkog potoka te je u tom dijelu korito prekriveno glinovitim materijalom koji lako može uzrokovati eroziju. Sprečavanje erozije pokušava se riješiti širenjem korita i stvaranjem meandara što kao rezultat daje brži protok vode. Ušće rijeke Drave predstavlja donji dio toka rijeke Bednje te se nalazi na mjestu planiranog zahvata mHE Zelena. Na rijeci Bednji postoji i hidrološka stanica. Nalazi se u blizini planiranog zahvata te se zove Hidrološka stanica Ludbreg. Njezini hidrološki podaci mjerodavni su za planiranu mHE Zelena. Hidrološka stanica raspolaže s podacima mjerenim u razdoblju od 1960.-2013. godine. Statističkom obradom podataka prikazan je srednji višegodišnji protok rijeke Bednje u iznosu od 6,99 m³/s . Najmanji zabilježeni protok bio je vrijednosti 0,222 m³/s , a najveći protok rijeke Bednje iznosio je 179 m³/s. U nastavku grafički su obrađeni prikupljeni podaci za minimalni, maksimalni i središnji protok u mjerenom razdoblju.

Minimalni unutargodišnji protoci rijeke Bednje

U analiziranom razdoblju prikupljeni su rezultati minimalnih protoka za rijeku Bednju te su prikazani u *Tablici 7* koja se nalazi u prilogu. Iz tablice se vidi da se minimalni godišnji protoci kreću od $0,222 \text{ m}^3/\text{s}$ do $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz prikazanih rezultata mjerenja dobiven je srednji minimalni protok koji iznosi $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$.

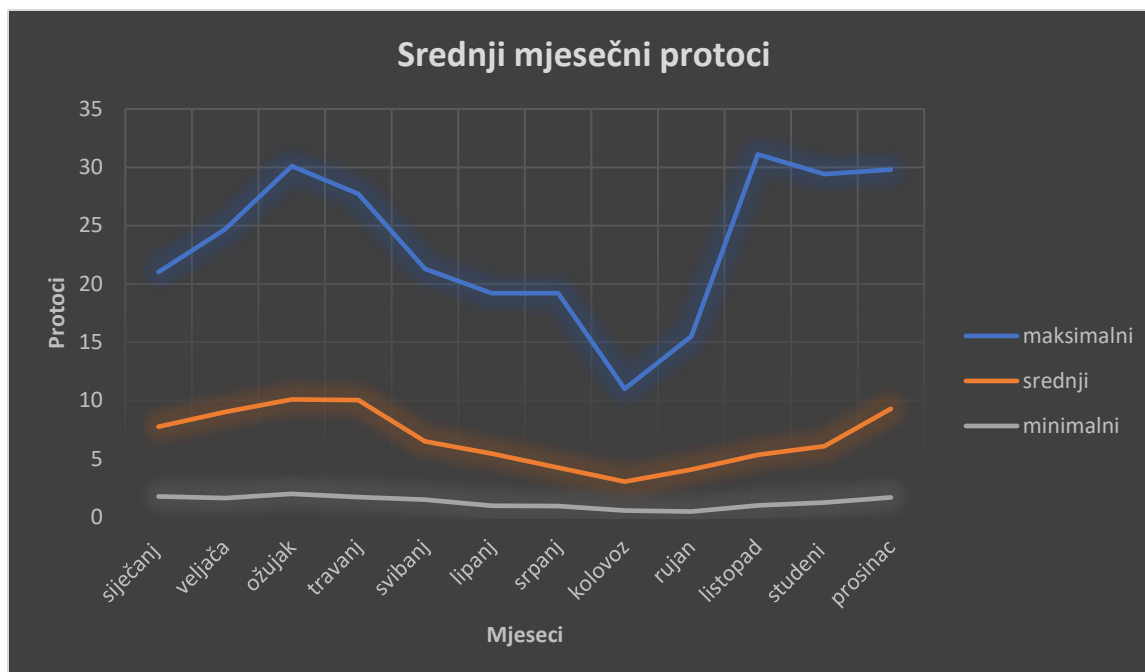


Slika 21. Minimalni mjesečni protoci [21]

Prikazanim graфом (Slika 21) vidimo da su najsušniji mjeseci srpanj, kolovoz i rujana. U razdoblju od 54 godine kako su se provodila mjerenja zabilježen je apsolutni minimum protoka rijeke Bednje u iznosu od $Q_{min} = 0,222 \text{ m}^3/\text{s}$. Krajem 70-ih pa sve do početka 90-ih zabilježen je najveći broj apsolutnih minimuma na hidrološkoj stanici Ludbreg.

Srednji unutargodišnji protoci rijeke Bednje

Mjereni su srednji godišnji protoci u intervalu od $2,29 \text{ m}^3/\text{s}$ do $13,4 \text{ m}^3/\text{s}$, dok srednji protok iznosi $6,99 \text{ m}^3/\text{s}$. *Tablica 8* s prikazanim rezultatima mjerenja srednjih unutargodišnjih protoka nalazi se u prilogu a prikazana je graфом ispod (Slika 22).

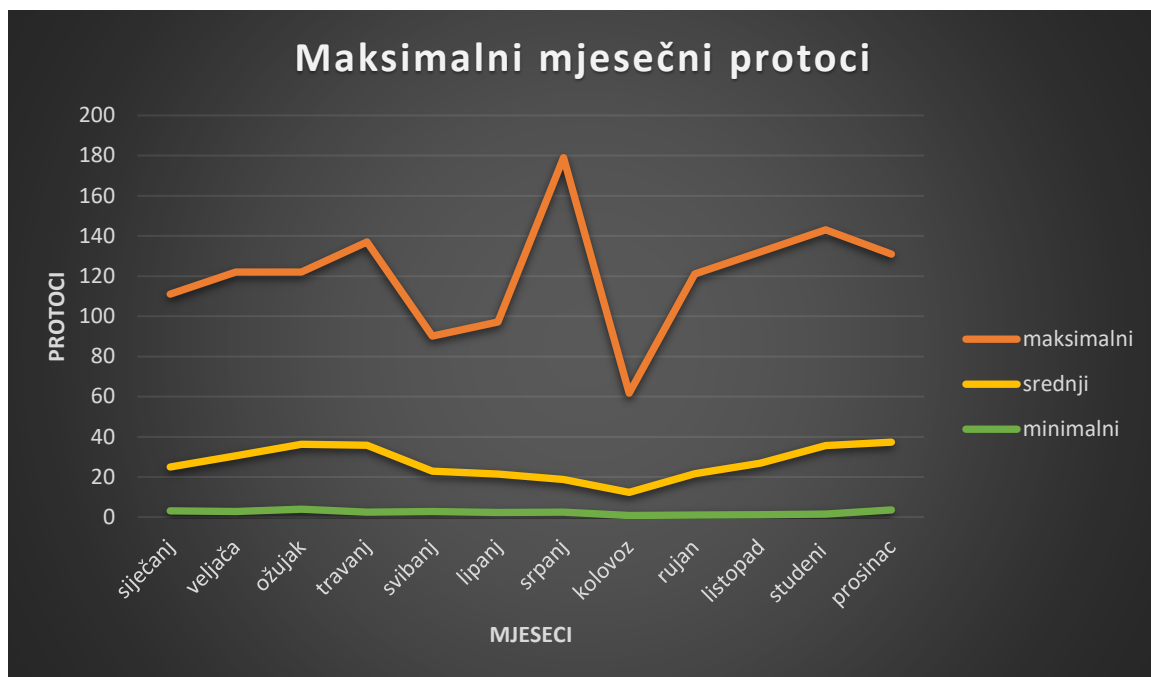


Slika 22. Srednji mjesečni protoci [21]

Iz *Tablice 8* u prilogu možemo vidjeti da su u razdoblju 60-ih i prva polovica 70-ih godine dosta vlažnije u odnosu na razdoblje nakon 2000. godine. Pa je tako najvlažnija godina bila 1966. s mjerenim protokom u iznosu od $13,4 \text{ m}^3/\text{s}$, a najsušnija je bila 2011. godina sa središnjim protokom u iznosu od $2,29 \text{ m}^3/\text{s}$.

Maksimalni unutargodišnji protoci rijeke Bednje

Rezultati mjerenja maksimalnih mjesečnih protoka daje rezultate u rasponu od $14 \text{ m}^3/\text{s}$ do $179 \text{ m}^3/\text{s}$. 15.7.1972. godine izmjeren je maksimalni protok u iznosu od $179 \text{ m}^3/\text{s}$. Tablicom prikazanom u prilogu (*Tablica 9*) vidimo da se najveći protoci pojavljuju u ožujku i travnju, što je posljedica topljenje snijega i česte pojave proljetnih kiša. No međutim, primijećeni su i nagli porasti protoka u kolovozu i rujnu što kao razlog tome možemo navesti ljetne olujne pljuskove i jesenske obilne i dugotrajne kiše. Unutargodišnja raspodjela maksimalnih protoka na rijeci Bednji prikazana je grafom ispod.



Slika 23. Maksimalni mjesečni protoci [21]

Opasnosti od poplave u području hidrološke stanice Ludbreg su moguće ali uz vrlo malu vjerojatnost. Maksimalna dubina poplava koja je moguća iznosi 0,5 m.

4.3.1. Hidrotehnički proračuni

Idejni projekt mHE Zelena zahtijeva izradu određenih proračuna. U nastavku su dani neki od osnovnih hidrotehničkih proračuna i hidraulička analiza područja mHE Zelena. Hidraulička analiza se radi u svrhu analiziranja modela raspodjele vode svim korisnicima vode iz rijeke Bednje. Simulacija se radi na hidrauličkom modelu te se u sklopu simulacije provjera točnost projektnih dimenzija hidrotehničkih elemenata.

Opis hidrauličkog modela mHE Zelena

Za potrebe izrade hidrauličkog modela korišten je modelski paket MIKE 11 DHI. U izradi je korišten jednodimenzionalni model za otvorene vodotoke te je obuhvaćen dovodni kanal mHE Zelena i nekolicina odgovarajućih čestica uz branu Kućan Ludbreški. Za potrebe dobivanja hidrauličkih parametara potrebno je rješavati jednadžbu očuvanja količine energije i jednadžbu kontinuiteta. Cilj hidrauličkog modeliranja je postići što točniju raspodjelu količinu vode koja dolazi rijekom Bednje. Sukladno tome modelom se promatra međudjelovanje vodostaja i protoka kroz rijeku Bednju i dovodnog kanala. Oni se u numeričkom dijelu modela povezuju ranije spomenutim jednadžbama očuvanja količine

gibanja. U modelu, derivacijski kanal prikazan je projektnim karakteristikama iz poglavlja 4.2.3.. Brana je modelirana tako da je podijeljena u osam preljevnih polja s dvije pomične zapornice. Visinska kota preljeva brane iznosi 152,1 m te je u svrhu analize ona preuzeta iz idejnog projekta a ostale potrebne dimenzije su mjerene na terenu. Trideset metara nizvodno od brane izgrađen je pad od kamenog nabačaja. On se u analizi prikazuje isto kao preljev te spada u modele s procijenjenim geometrijskim parametrima. U detaljnoj analizi postoje elementi koji se moraju modelirati zasebno. Jedan od njih je vodo-zahvat za ulaz u derivacijski kanal. On se u modelu prikazuje kao pravokutni poprečni profil s propustom. Dimenzije vodo-zahvata su preuzete iz idejnog projekta poglavlje 4.2.4. s kotom dna na 150,9 m. Nadalje, zasebno je modeliran i vodo-zahvat na ulazu u ribnjake koji se nalazi na polovici kanala. Dimenzije za potrebe modeliranja preuzete su iz idejnog projekta poglavlje 4.2.5. s kotom dna u iznosu od 150,71 m. Strojarnica je modelirana kao upravljачka zgrada s prethodno zadanim protokom u modelu. Idejnim projektom planirana je izgradnja i dviju bioloških staza te je njihova potreba za vodom isto uzeta u obzir kod raspodjele ukupne bilance vode hidrauličkog modela. Hidraulički model prikazan je na *Slici 24*.



Slika 24. Shema hidrauličkog modela [21]

Ekološki prihvatljiv protok rijeke Bednje

Određivanje ekološki prihvatljivog protoka u Hrvatskoj još uvijek nije standardizirano kao što je to u susjednoj Sloveniji i Bosni i Hercegovini. U Hrvatskoj se ekološki prihvatljivi protok određuje po načelu da se u prirodnome vodotoku treba zadržati sve količine vode do prosječne minimalne količine. Ekološki prihvatljivi protok mora zadovoljiti nekoliko osnovnih pravila. Kod minimalnih protoka kakvoća vode mora biti ista kao i ranije, a

količinski ona mora zbrinuti sve vodoprivredne zahtjeve te osigurati dovoljnu količinu protoka za razvoj životinjskog svijeta. Kod projektiranja malih hidroelektrana postoji 15 europskih država kod kojih su određeni kriteriji za određivanje dotoka koji se zadržava u vodotoku planirane mHE te su neki od njih prikazani u tablici ispod.

Tablica 3. Kriteriji za određivanje zadržanog dotoka u vodotoku u projektiranju mHE [21]

| Zemlja | Određivanje zadržanoga dotoka u vodotoku |
|------------------|--|
| Austrija | Nema posebne zakonske regulative. Mora postojati ekološka ravnoteža. |
| Danska | Nema posebne zakonske regulative |
| Grčka | Zависи od slučaja do slučaja |
| Irska | Utvrđuje se od strane ovlaštenih stručnjaka |
| Luxembourg | EPP određuje se prema Zakonu o očuvanja okoliša |
| Velika Britanija | U Engleskoj i Walesu EPP se određuje prema prirodi slučaja, a najniža vrijednost je protok 95-postotnog trajanja. U Škotskoj EPP određuje područno vijeće i njegove vrijednosti variraju u rasponu od 5-25 posto srednje vode. |

U nastavku su dani proračuni ekološki prihvatljivog protoka rijeke Bednje na lokaciji planiranog zahvata mHE Zelena. Proračuni su provedeni prema kriterijima iz Bosne i Hercegovine koji su već korišteni u praksi i u Hrvatskoj. Važniji hidrološki parametri koji su potrebni za određivanje EPP-a su: minimalni protok (Q_{min}), srednji višegodišnji protok (Q_{sr}), sezonski protok od travnja do rujna (Q_{IV-IX}), protok koji na prosječnoj krivulji trajanja ima trajanje u iznosu od 82 % (Q_{82}), protok koji na prosječnoj krivulji trajanja ima trajanje u iznosu od 95 % (Q_{95}), minimalni srednji mjesečni protok koji ima vjerojatnost pojave 95 % ($Q_{95\%}$) i minimalni srednji mjesečni protok vjerojatnosti 80 % ($Q_{80\%}$).

Na temelju provedenih analiza i dobivenih karakterističnih mjesečnih i godišnjih protoka dobiveni su sljedeći proračuni za planirani zahvat mHE Zelena.

- 1.) Na temelju srednjeg minimalnog protoka (Q_{min}).

$$Q_0 = Q_{min} = 0,810 \text{ m}^3/\text{s}$$

- 2.) Na temelju srednjeg višegodišnjeg protoka (Q_{sr}).

$$Q_0 = 0,15 * Q_{sr} = 0,15 * 6,99 = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.) Prema Matthey-ovoj formuli.

Protok koji na prosječnoj krivulji trajanja ima protok trajanja u iznosu od 95 % iznosi $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_0 = 0,35 * Q_{95} = 0,35 * 1,48 = 0,518 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.) Protok koji na prosječnoj krivulji trajanja ima protok trajanja u iznosu od 82% iznosi $2,06 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_0 = 15 * x = \frac{Q_{82}}{(\ln Q_{82})^2} = 15 * \frac{2,06 * 1000}{(\ln 2,06 * 1000)^2} = 531 \text{ l/s} = 0,531 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.) Na temelju minimalnog srednjeg mjesečnog protoka vjerojatnosti 95%.

$$Q_0 = Q_{95\%} = 0,865 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.) Na temelju minimalnog srednjeg mjesečnog protoka vjerojatnosti 80%.

$$Q_0 = Q_{80\%} = 1,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.) Na temelju prosječnog minimalnog protoka kroz mjesece srpanj, kolovoz i rujna.

$$Q_0 = 0,269 \text{ m}^3/\text{s}$$

Izračunati prihvatljivi EPP iznosi $Q_0 = 0,531 \text{ m}^3/\text{s}$. Dobiven je na temelju krivulje trajanja protoka u trajanju od travnja do rujna. Puštanje ekološki prihvatljivog protoka u korito rijeke Bednje zahtijeva provjeru postojeće dubine vode. U analizi hidrauličkog modela uključeni su geodetski profili rijeke Bednje (p1 i p2) u dužini 100 metara, odnosno 120 m ispod postojeće brane. Hidrauličkim modelom je utvrđeno da se u profilima p1 i p2 kod ekološki prihvatljivog protoka omogućuje nesmetana migracija životinjskog svijeta ispod vode u dubini od 0,29 m (p1) i dubini od 0,33 m (p2). Geodetski profili snimljeni na području planiranog zahvata prikazani su na *Slici 25*.



Slika 25. Prikaz geodetskih položaja P1 i P2 [21]

Hidrotehnički proračun biološke staze uz strojarnicu mHE

Sukladno traženim karakteristikama odabrane izvedbe biološke staze odrađen je proračun za biološku stazu unutar pripadajućeg derivacijskog kanala mHE. Dobivene su sljedeće vrijednosti:

- Kota gornje vode – 152,03 mnv
- Kota donje vode – 148 mnv

$$\Delta h = 152,03 - 148 = 4,03$$

- Uzdužni pad dna biološke staze $l = \frac{\Delta h}{L} = \frac{4,03}{25} = 0,161$
- Širina biološke staze $b = 1,2 \text{ m}$
- Ukupna dužina biološke staza $L = 25 \text{ m}$

Kod biološke staze prvo se računa normalna dubina i normalna brzina toka biološke staze bez izgrađenih bazena (s postojećom rampom) i s postojećom širinom i uzdužnim padom.

Iz sljedećih podataka :

- Preporučeni protok $Q_{mj} = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$
- Širina dna korita $b = 1,2 \text{ m}$
- Nagib pokosa $m = 0$
- Pad dna korita $l = 0,161$
- Manningov koeficijent hrapavosti $n = 0,025$

Dobiveni su sljedeći rezultati prikazani u *Tablici 4*.

Tablica 4. Rezultati proračuna biološke staze uz strojarnicu (rampa) [21]

| Dubina (h) | Površina (F) | Obod (O) | Hidraulički radijus (R) | Brzina (v) | Protok (Q) |
|------------|--------------|----------|-------------------------|------------|------------|
| 0,0437 | 0,052 | 1,2874 | 0,040733 | 1,9001 | 0,10 |

Dobiveni je protok u iznosu od $Q_{rs} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ te njemu odgovarajuća brzina $V_{rs} = 1,901 \text{ m/s}$ i dubina $h = 0,044 \text{ m}$. Dobivena brzina je prevelika a dubina je premala za nesmetano kretanje riba, pa se stoga postojeća rampa pregrađuje u bazene koji povećavaju dubinu vode i usporavaju brzinu iste.

Broj bazena je izračunat prema formuli:

$$N_b = \frac{\Delta h}{0,2} - 1 = \frac{4,03}{0,2} - 1 = 19,5 = 19 \text{ bazena}$$

Preporučena duljina bazena trebala bi iznositi:

$$L_b = \frac{L}{N_b} = \frac{25}{19} = 1,32 \text{ m}$$

Navedenim proračunima donesena je odluka da će projektirana biološka staza biti u izvedbi s 19 bazena koji će biti širine 1,20 m i duljine 1,30 m. Bazeni će biti odvojeni s pregradama visine 0,60 m koje će imati otvore, na dnu i vrhu bazena, dimenzija 0,25 m x 0,25 m. Gornji otvor u biološku stazu se postavlja na koti 151,43 mnv zbog prevelikog protoka ($Q = 0,221 \text{ m}^3/\text{s}$) koji bi ulazio na koti 150,10 mnv. Odabrani protok iznosi $Q = 0,10 \text{ m}^3/\text{s}$ a brzina $V = 0,6 \text{ m/s}$.

Hidrotehnički proračun ulaza u derivacijski kanal i u vodo-zahvat ribnjaka

Da bi se u derivacijski kanal dovodila dovoljna količina vode potrebno je izraditi dva otvora s dimenzijama 1,5 m x 3,5 m te napraviti pravokutno izvedeni asfaltirani dovodni kanal veličine 1,5 m x 13,5 m.

Ukupna površina navedenih ribnjaka iznosi 61.666 m^2 , a prosječna dubina 1,1 m što daje volumen od približno 67.832 m^3 vode. Proračunima je određeno da je za potrebe vodo-zahvata potrebno napraviti jedan otvor dimenzija 0,3 m x 0,3 m koji će biti smješten na visini

od 0,1 m iznad dna dovodnog kanala. Vodo-zahvat će biti izveden za cjevovodom kroz nasip dimenzija $\Phi = 400$ mm.

4.3.2. Simulacije hidrauličkog modela

Simulacije su već prije spomenuto rađene u svrhu pravilne raspodjele vode svim korisnicima vode rijeke Bednje. Sukladno tome analizirane su tri hidrološke situacije. A to je područje malih, srednjih i velikih voda. Iz krivulje srednjih dnevnih protoka saznajemo vrijednosti protoka koji moraju odgovarati 90, 50 i 10 %-tnom trajanju. Oni iznose $Q_{90} = 1,42 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{50} = 3,62 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{10} = 16,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Raspodjela vode određena je *Tablicom 5* te je prema njoj izrađen hidraulički model.

Tablica 5. Raspodjela vode za potrebe hidrauličke simulacije [21]

| Trajnost (%) | Bednja na h.s. Ludbreg | Dovodni kanal | Turbina + biološka staza | Ribnjak Ludbreg | Q_{EPP} Bednja + biološka staza | Ribnjaki Vinogradi Ludbreški |
|--------------|------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 90 | 1,42 | 0,673 | 0,408 | 0,265 | 0,690 | 0,057 |
| 50 | 3,62 | 2,873 | 2,608 | 0,265 | 0,689 | 0,058 |
| 10 | 16,1 | 8,665 | 8,4 | 0,265 | 7,310 | 0,125 |

Korisnici iz *Tablice 5* u simulaciji su postavljeni po prioritetu raspodjele vode. Pa je tako redom:

1. Korisnik A - Q_{EPP} – ekološki prihvatljiv protok uključuje i protok kroz biološku stazu. Potrebna količina vode za tu svrhu iznosi $0,532 \text{ m}^3/\text{s}$. U slučaju manjeg protoka voda prvo teče biološkom stazom a onda preko brane.
2. Korisnik B – biološka staza uz strojarnicu – ona je osigurana s protokom od $Q_{rs} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Postoji mogućnost regulacije protoka.
3. Korisnik C – ribnjak Ludbreg – on ima dovod dimenzija $0,3 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}$ i zadan mu je protok u iznosu od $Q_{RL} = 0,265 \text{ m}^3/\text{s}$.
4. Korisnik D – ribnjak Vinogradi Ludbreški – ribnjak nema regulaciju ni ne zahtijeva rekonstrukciju zahvata vode pa mu je količina vode određena modelom koliko vode ulazi u ribnjak. Dakle, količina vode koja ulazi u ribnjak iznosi $Q_{RVL} = 0,216 \text{ m}^3/\text{s}$.

5. Korisnik E – turbina mHE Zelena – definirani su minimalni protok u iznosu od $Q_{min} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i maksimalni protok kroz turbinu u iznosu od $Q_l = 8,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Protoci za korisnike A, B, C, D i E se oduzimaju od ukupnog karakterističnog protoka za rijeku Bednju i kao rezultat se dobije interni protok kroz turbinu. Prema dostupnoj krivulji srednjih protoka kroz cijelu godinu izvučeni su podaci u kojima su definirani intervali dostupnih traženih protoka. Iz dostupnih proračuna je vidljivo da ako je raspoloživi protok manji od $0,531 \text{ m}^3/\text{s}$ sva količina vode treba se propustiti kroz biološku stazu uz strojarnicu i branu Kućan Ludbreški u korito rijeke Bednje (korisnik A). Kada je protok veći od $0,531 \text{ m}^3/\text{s}$ voda se pušta kroz riblju stazu uz strojarnicu. Kada je protok preko $0,631 \text{ m}^3/\text{s}$ onda je dozvoljeno punjenje ribnjaka Ludbreg i Vinogradi Ludbreški. Tek nakon punjenja ribnjaka voda se pušta kroz turbinu mHE do određenog protoka.

Dovodni kanal u sadašnjem stanju ima bitno manji ulaz (2m x 1,8m) od planiranog (10m x 1,8m). Rezultati hidrauličke simulacije s takvim otvorom ulaznog kanala pokazuju na protok ne veći od $5,9 \text{ m}^3/\text{s}$. U planiranom zahvatu povećanjem otvora na ulazu u dovodni kanal povećava se i protok na vrijednost od $8,665 \text{ m}^3/\text{s}$. Postojeći kanal nema mogućnost regulacije vode što se ovim projektom planira riješiti i omogućiti regulacija dotoka vode u derivacijski kanal.

Možemo reći da je hidraulička simulacija uvelike pomogla kod raspodjele vode između korisnika. Voda je raspoređena sukladno potrebama samih korisnika. Prikazane su razine vode za postojeće karakteristične protoke rijeke Bednje. Analizom je prikazana razlika dovodnog postojećeg kanala i kanala koji se prikazuje u idejnom projektu. Unatoč svemu tome planirani zahvat ne iziskuje neke veće rekonstrukcije i neće se bitno narušiti sadašnji vodni režim.

5. Opis djelovanja projekta mHE Zelena na okoliš za vrijeme izgradnje/korištenja te pripadne mjere zaštite

5.1. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na zrak te pripadne mjere zaštite

Za vrijeme izgradnje projekta mHE Zelena, kvalitetu zraka potencijalno najviše može narušiti raznošenje i mehanizacija prašine. Budući da je u ovom slučaju riječ većinom o krupnijim česticama prašine, one će se pretežito taložiti u neposrednoj blizini gradilišta. Međutim, potencijalni problemu u njihovu daljnjem raznošenju može predstavljati jak i suh vjetar stoga se, za vrijeme takvog vremena, preporučuju sljedeće mjere s ciljem smanjivanja emisija prašine. Prva mjera odnosi se na vlaženje putova u blizini gradilišta tijekom suhog i vjetrovitog vremena. Druga mjera odnosi se na smanjenje brzine vozila koja se, za vrijeme takvog vremena, kreću u blizini gradilišta. Nadalje, ne očekuje se da će tvari iz strojnih ispušnih plinova djelovati na kvalitetu zraka budući da se radi o relativno kratkom zahvatu. Međutim, navedeni utjecaj može varirati ovisno o kvaliteti korištenih strojeva te intenzitetu radova. U svakom slučaju, potrebno je izbjegavati nepotreban rad strojeva i vozila, a svi oni koji su izrađeni nakon 13.2.2009. godine moraju posjedovati ovjerenje usklađeno s „Pravilniku o mjerama za sprečavanje emisija plinovitih onečišćivača i onečišćivača u obliku čestica iz motora s unutrašnjim izgaranjem koji se ugrađuju u ne cestovne pokretne strojeve TPV 401 (NN 113/15)“. Ukupno gledajući, ne očekuje se da će projekt gradnje mHE Zelena imati dugotrajne posljedice na kvalitetu zraka.

Što se tiče djelovanja na zrak tijekom korištenja mHE Zelena, očekuje se da njezino korištenje neće imati nikakav utjecaja na kvalitetu zraka zbog čega nisu potrebne nikakve dodatne mjere zaštite zraka.

5.2. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na stanje vode te pripadne mjere zaštite

Tijekom građevinskih radova na projektu mHE Zelena očekuju se vremenski i prostorno ograničeni fizički utjecaji radova na stanje vode i to na području strojarnice i derivacijskog kanala. Pri tome, važno je napomenuti kako je tijekom građevinskih radova nužna uspostava prijenosnog sanitarnog čvora za otpad koji se treba redovito prazniti i održavati. Prije samog

počeka gradnje o projektu je potrebno obavijestiti Hrvatske vode VGI za mali sliv „Plitvica-Bednja“ Varaždin kako bi se proveo vodeni nadzor. Svi radovi trebaju se planirati i izvoditi za vrijeme niskih vodostaja te se u slučaju obilnih kiša obustaviti. Nadalje, sva područja radova trebaju se ograditi i paziti da građevinski materijal ne dospije u vodu, a nastali otpad i gorivo potrebno za rad strojeva potrebno je skladištiti u pripadnim spremnicima na vodonepropusnoj površini. Sva vozila korištena u gradnji trebaju se redovito servisirati te se njihovo kretanje treba ograničiti isključivo na prostor gradilišta. Također, u slučaju bilo kakvog izlivanja goriva ili ulja iz strojeva, na gradilištu je potrebno osigurati apsorpcijska sredstva za tretiranje tako onečišćene vode ili tla. Prije izdavanja uporabne dozvole, potrebno je očistiti i urediti gradilište te njegov prilaz. Pridržavanjem svega navedenog ne očekuje se dugoročno negativno djelovati procesa gradnje mHE Zelena na kakvoću vode rijeke Bednje.

Nadalje, korištenjem mHE Zelena neće doći do značajnije promjene kod režima vode u odnosu na postojeće stanje. Što se tiče utjecaja na kvalitetu vode, mHE Zelena nema predviđen sustav za obradu ili odvodnju bilo koje vrste otpadnih voda te će kvaliteta vode u rijeci biti očuvana. Štoviše, očekuje se da će se redovitom obnovom i pročišćavanjem postojeće infrastrukture pozitivno djelovati na sastav i brojnost postojeće biote. Za vrijeme korištenja mHE Zelena okolni prostor potrebno je redoviti održavati sukladno pripadnom Pravilniku. Također, u neposrednoj blizini objekta važno je postaviti znak s pravilima ponašanja te zabranom odlaganja otpada. Radom mHE Zelena svim će se dosadašnjim korisnicima omogućiti potreban dotok vode te će se rekonstrukcijom zahvata vode i uspora osigurati dotok vode u odvodni kanal ribnjaka Ludbreg u najsušim mjesecima. Ribe i drugi riječni organizmi moći će migrirati putem bioloških staza napravljenih uz branu te uz turbinsko postrojenje što također predstavlja napredak u odnosu na postojeće stanje. Korištenje mHE Zelena neće ometati povezanost rijeke Bednje s podzemnim vodama.

5.3. Djelovanje buke za vrijeme gradnje/korištenja projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite

Za vrijeme gradnje mHE Zelena, izvore buke predstavljat će korištena vozila i strojevi. Intenzitet i trajanje buke ovisit će o vrsti radova koji se u danom trenutku obavljaju. Sukladno „Zakonu o zaštiti od buke“ (NN 30/09, 55/13), svi radovi na mHE Zelena predviđeni su u dnevnom razdoblju. Nadalje, transport svih potrebnih materijala do gradilišta mora se odvijati danju, a svi strojevi i vozila koja se u danom trenutku ne koriste trebaju biti ugašena.

Također, svi su radovi vremenski i prostorno ograničeni, a najviša razina buke neće prelaziti onu određenu „Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave“(NN 145/04). Zbog svega navedenog, očekuje se kako proizvedena buka neće predstavljati veće smetnje lokalnom stanovništvu.

Kod rada i korištenja mHE Zelena, razina buke bit će također usklađena sa zakonskim regulativama te gotovo zanemariva. Strojarnica, koja predstavlja prvi veći izvor buke, nalazi se u zatvorenom prostoru što smanjuje emisiju buke u okolinu. Nadalje, drugi veći izvor buke kojeg predstavlja turbina također će biti neutraliziran i to ugradnjom DIVE turbine koja dolazi uz garanciju minimalne buke i vibracija. Zbog svega navedenog, nisu potrebne nikakve dodatne mjere zaštite od buke.

5.4. Doprinos svjetlosnom onečišćenju za vrijeme gradnje/korištenja projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite

Kao što je već ranije spomenuto, svi radovi na mHE Zelena predviđeni su za dnevno razdoblje zbog čega se lokacija gradnje neće dodatno osvjetljivati. Samim time, ne očekuje se negativan doprinos svjetlosnom onečišćenju zbog čega nisu potrebne nikakve dodatne mjere zaštite.

Što se tiče korištenja, budući da na lokaciji mHE Zelena već postoji javna rasvjeta, ne očekuje se da će uvedena rasvjeta, nužna za rad mHE, značajno utjecati na svjetlosno onečišćenje.

5.5. Gospodarenje otpadom za vrijeme gradnje projekta mHE Zelena te pripadne mjere zaštite

Prije početka gradnje projekta mHE Zelena, potrebno je odrediti prostor opskrbljen nepropusnim kontejnerima koji će služiti kao privremeno odlagalište nastalog otpada. Sav otpad koji se tamo odlaže treba biti razvrstan te odvožen sukladno intenzitetu i vrsti radova u danom trenutku. Sve podatke o otpadu nastalom za vrijeme gradnje potrebno je dokumentirati te prijaviti za to nadležnim tijelima. Također, potrebno je strogo zabraniti svako odlaganje otpada na području u blizini gradilišta.

Za vrijeme korištenja mHE Zelena može nastati tzv. neopasni otpad (bio materijal, naplavni, itd.), međutim, i s takvim je otpadom potrebno postupati jednako kao i s onim nastalim

tijekom gradnje. Potrebno ga je prikupljati, razvrstavati i odvoziti, a uz njega vezanu dokumentaciju potrebno je predati nadležnim tijelima. Također, potrebno je redovito čistiti nanose na rešetkama iz derivacijskog kanala te na onim ispred zapornica.

5.6. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na tlo te pripadne mjere zaštite

Izvođenje građevinskih radova predviđeno je tako da se u što manjoj mogućoj mjeri širi radni pojas, a za dovoz i odvoz potrebnih materijala koriste se postojeće ceste i putovi. Sav neiskorišteni materijal zabranjeno je uravnavati u tlo, a sav neiskorišteni materijal treba se propisno odvoziti s gradilišta. Jednu od potencijalnih prijetnji tlu predstavlja gorivo ili mazivo koje može istjecati iz korištenih strojeva. Zbog navedenog, važno je njihovo redovno održavanje i servisiranje. Još jednu prijetnju tlu predstavlja njegovo zbijanje koje može nastati zbog povećanog površinskog tereta. Međutim, odmah po završetku radova potrebno je pristupiti njegovom rahljenju.

Korištenjem mHE Zelena ne očekuju se nikakvi negativni utjecaji na kvalitetu tla zbog čega nisu potrebne nikakve dodatne mjere zaštite tla.

5.7. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na biološke značajke te pripadne mjere zaštite

Za gradnju projekta mHE Zelena bit će korištena već postojeća infrastruktura bivšeg mlina, a nova strojarnica gradit će se u neposrednoj blizini postojeće. Pristupit će se mjestimičnom proširivanju protočnog trakta postojeće infrastrukture, a turbinska komora trebala bi biti premještena 10-ak metara nizvodno. Gornji derivacijski kanal bit će produbljen te će se uklanjanjem zemljanog materijala osigurati stalan protok vode. Pri tome, treba naglasiti važnost raspoređivanja radova na kanalu na manje sekvence kako bi se ribama omogućila sigurna migracija. Također, potrebno je izgraditi i redovito održavati „biološke staze“ oko brane na toku rijeke Bednje te na području strojarnice kako bi vodena biota nesmetano mogla migrirati. Navedene staze trebaju biti napravljene bez vrtloga i turbulencija u vodenom stupcu te s adekvatnim mjestom za odmor. Korisnik zahvat dužan je prijaviti „Hrvatskoj agenciji za okoliš i prirodu“ pronalazak bilo koje mrtve ili ozlijeđene strogo zaštićene vrste u razdoblju od 24 sata od trenutka pronalaska. Sve invazivne vrste zatečene na području derivacijskog kanala treba kontrolirati te spriječiti njihovo daljnje širenje. Također, treba paziti da dio

obalne vegetacije ostane očuvan kako bi se ona, nakon gradnje, mogla obnoviti. Donji dio kanala bit će napravljen tako da se brzina vode svede na brzinu koja nema negativno djelovanje na eroziju. Područje radova u vodi potrebno je ograditi te tako osigurati da što manja količina materijala dospije iz njega u okolnu vodu. Potrebno je obnoviti i zapornicu koja se nalazi na ulazu iz Bednje u derivacijski kanal kako bi se ona, automatski ili ručno, mogla zatvoriti za vrijeme suših razdoblja te tako osigurala stalan protok vode. Osim privremenog utjecaja gradnje na aktivnost životinja, ne očekuje se značajan negativni utjecaj zahvata na kopneno područje.

Za vrijeme korištenja mHE Zelena, najveću opasnost za ribe predstavlja njihovo mehaničko oštećivanje te stradanje u turbini. Da bi se ribama onemogućio ulazak u strojarnicu, potrebno je iznad difuzora ugraditi rešetku s vodoravnim pregradama razmaka 40 mm. Jednako kao i za vrijeme gradnje, za vrijeme rada mHE Zelena korisnik zahvat dužan je prijaviti „Hrvatskoj agenciji za okoliš i prirodu“ pronalazak bilo koje mrtve ili ozlijeđene strogo zaštićene vrste u razdoblju od 24 sata od trenutka njezina pronalaska. Brzina protoka u derivacijskom kanalu iznosit će prosječno 0,39 m/s, dok će maksimalna dosezati i do 0,7 m/s. Ovakve visoke brzine nisu pogodne za fitofilne vrste riba kao što je bijeloperajna krkušica te za „slabije“ plivače poput vijuna ili gavčica. Zbog navedenog, očekuje se da će spomenute vrste biti manje prisutne u samom kanalu.

5.8. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na prirodnu i kulturnu baštinu te pripadne mjere zaštite

Lokacija gradilišta mHE Zelena ne nalazi se u blizini niti jednog zaštićenog objekata prirodne baštine te se zbog navedenog ne očekuje nikakav negativan utjecaj na njih, niti za vrijeme gradnje projekta niti za vrijeme njegova korištenja. To je potvrđeno i od strane Ministarstva zaštite okoliša i prirode koje je 20.4.2016. godine donijelo rješenje o prihvatljivosti projekta za ekološku mrežu zbog čega nisu potrebne nikakve dodatne mjere zaštite.

5.9. Djelovanje gradnje/korištenja projekta mHE Zelena na krajobrazne značajke te pripadne mjere zaštite

Djelovanje na krajobrazne značajke odnosi se na dva segmenta. Prvi je djelovanje na strukturne značajke okoliša, a drugi je djelovanje na njegove vizualne značajke.

Što se tiče djelovanja na strukturne značajke, gradnja projekta mHE Zelena može potencijalno djelovati na:

- kvalitetu prirodnog krajobraza (površinske vode, reljef, vegetacija, površinski pokrov)
- kvalitetu kulturnog krajobraza
- boravišnu kvalitetu krajobraza

Kvaliteta prirodnog krajobraza bit će minimalno narušena. Razlog tome su minimalne promjene na postojećim površinama budući da se gradnja odvija na postojećoj infrastrukturi bivšeg mlina. Potencijalne promjene predstavljat će eventualna mjestimična proširenja protočnog traka. Također, turbinska komora morala bi se pomaknuti za 10-ak metara nizvodno. Procjenjuje se kako će gradnja projekta mHE Zelena umjereno negativno utjecati na lokalnu vegetaciju koja će se odstranjivati uslijed proširivanja toka vode, gradnje derivacijskog kanala te strojarnice. Međutim, kako bi se navedeni vegetacijski pokrov što bolje očuvao, potrebno je ograničiti zonu kretanja vozila i strojeva. Što se tiče površinskog pokrova, procjenjuje se kako će gradnja na njega imati malen negativni utjecaj i to na mjestu gradnje strojarnice, a umjeren utjecaj kod vodo-zahvata te od gornjeg kraja derivacijskog kanala do njegova suženja prije same strojarnice. Nadalje, očekuje se i mali negativan utjecaj gradnje na reljefne značajke u vidu iskopa gornjeg dijela derivacijskog kanala, njegova betoniranja nizvodno od strojarnice te nasipanja same lokacije strojarnice. Što se tiče utjecaja na prirodnost vodenih tokova, on se procjenjuje kao zanemariv budući da će se svi zahvati odvijati na već postojećem derivacijskom kanalu bivšeg mlina.

Što se tiče djelovanja gradnje na kvalitetu kulturnog krajobraza, on ili ne postoji ili je zanemariv.

Na posljetku, kada je riječ o boravišnoj kvaliteti krajobraza, očekuje se minimalno djelovanje gradnje na identitet krajobraza budući da se tijekom gradnje neće prelaziti postojeći rubovi u prostoru. Postoji mogućnost da se za vrijeme gradnje smanji razina vode u ribnjacima što može kratkotrajno djelovati na ribolovni potencijal susjednog ribnjaka te tako djelovati na boravišnu kvalitetu mjesta. Svi sadržaji koji se uslijed gradnje moraju odstraniti (pješački most i bočilište te na pojedinim dijelovima postojeći makadamski put) neće predstavljati prepreku pješačkom kretanju budući da će biti dostupni alternativni putovi, a po završetku radova na mHE Zelena, pristupit će se uređivanju navedenih prostora.

Nakon detaljnijeg opisa djelovanja gradnje na sve strukturne značajke krajobraza, u nastavku prelazimo na djelovanje gradnje na njegove vizualne značajke točnije, na privremenu sliku gradilišta. Taj će utjecaj biti vremenski i prostorno ograničen na mjestu središnjeg

derivacijskog kanala i strojarnice te se ne očekuje njegov veći utjecaj na ukupnu sliku krajobraza i kvalitetu njegove vizure budući da se prilikom gradnje preporučuje korištenje materijala s niskom razinom refleksije.

Korištenje mHE Zelena imat će utjecaj i na strukturne i na vizualne značajke krajobraza. Što se tiče strukturnih značajki, utjecaj na reljef će za vrijeme korištenja biti jednak ranije opisanom utjecaju za vrijeme gradnje. Nadalje, nakon završetka radova pristupit će se uređivanju područja pa se očekuje pozitivan utjecaj na vegetacijske značajke za vrijeme korištenja u odnosu na utjecaj koji je bio prisutan za vrijeme gradnje. Također, poboljšat će se boravišna kvaliteta zadržavanjem svih postojećih pravaca kretanja te uređivanjem jednog dodatnog uz lijevu obalu kanala.

Što se tiče utjecaja na vizualne značajke krajobraza za vrijeme korištenja mHE Zelena, očekuje se da će on biti prisutan kod volumena zgrade strojarnice, vodo-zahvata i derivacijskog kanala. Volumen zgrade strojarnice (*Slika 26*) usklađen je s volumenom stare hidroelektrane, mlina te postojeće vegetacije stoga se njegov utjecaj na vizualne krajobrazne značajke procjenjuje kao zanemariv.



Slika 26. Simulacija izgleda novog objekta strojarnice [21]

Što se tiče vodo-zahvata, on će biti rekonstruiran te će biti izgrađena betonska brana međutim, njezina tekstura bit će ublažena zelenim pokrovom te tako vizualno bolje uklopljena u okoliš (*Slika 27*).



Slika 27. Simulacija izgleda novog vodo-zahvata [21]

Promjene koje će uslijediti uređivanjem derivacijskog kanala bit će vidljive duž cijelog toka njegovog gornjeg dijela. Reflektivnom vodenom plohom zamijenit će se postojeća samonikla vegetacija unutar korita, više će se naglasiti postojeći rubovi, te će se ukloniti postojeća stabla iz koridora derivacijskog kanala (*Slika 28*). Zbog svega navedenog, utjecaj obnove derivacijskog kanala na vizualne značajke krajobraza procjenjuje se kao umjeren.



Slika 28. Simulacija izgleda novog derivacijskog kanala [21]

5.10. Djelovanje izgradnje/korištenja projekta mHE Zelena na socio-ekonomsko stanje

Korištenjem mHE Zelena očekuje se pozitivan utjecaj na socio-ekonomsko stanje i to osobito na području Ludbrega. U prvom redu, trenutno zapušten objekt starog mlina bit će obnovljen što će vizualno doprinijeti mjestu. Nadalje, očekuje se poboljšanje nekih aspekata života lokalnog stanovništva uslijed izgradnje infrastrukture koja trenutno nedostaje. Također, za vrijeme izgradnje i korištenja projekta otvorit će se nova radna mjesta, a lokalna zajednica primat će zakonski regulirane naknade za rad hidroelektrane.

5.11. Ekonomske karakteristike malih hidroelektrana

Prije investiranja u malu hidroelektranu potrebno je provesti tehno-ekonomsku analizu te detaljno provjeriti da li investiranje u postojeću mHE predstavlja poslovni rizik ili sigurnu investiciju. Svakako najvažniji parametri u planiranju idejnog rješenja mHE su moguća godišnja proizvodnja električne energije te početna cijena investicije. Investiranjem u mHE, investitor mora poznavati sve prednosti i nedostatke koji mogu dodatno utjecati na sveukupni investicijski trošak.

Prednosti koje mHE čine sigurnom investicijom su [9]:

- Brzo i efikasno napajanje naselja koji su odvojeni od električnih izvora energije
- Zemlje koje uvoze električnu energiju, malim hidroelektranama mogu donekle spriječiti uvoz
- mHE mogu raditi potpuno automatizirano
- Izgradnja mHE moguća je na postojećim objektima (mlin, brana)
- Radni vijek mHE procjenjuje se na više od 50 godina
- Niske cijene održavanja postrojenja
- Cijena električne energije dodatno će rasti u budućnosti

Nedostaci mHE koje bi investitori trebali uzeti u obzir su [9]:

- Veliki investicijski troškovi po instaliranom kW energije
- Cijena istraživanja lokacije je relativno visoka u odnosu na cijenu investicije
- U odnosu na investicijske troškove, administracijski troškovi su jako visoki

- U slučaju otočnog pogona, mHE raspolaže s velikim gubicima u proizvodnji električne energije

Pregledavanjem svih prednosti i nedostataka može se reći da je najveći problem investicije u mHE, visina početnih investicijskih troškova po kW instalirane električne energije. Ako se gradnja mHE ne planira na postojećoj lokaciji, istraživanje i ispitivanje potencijalnih lokacija je vrlo skup proces u odnosu na kW instalirane električne energije. Ispitivanje protoka je nezaobilazna radnja u planiranju izgradnje mHE. Međutim, gledajući visinu troškova koje taj proces zahtijeva, može se reći da su višegodišnja ispitivanja protoka ne isplativa. Ispitivanje ne ovisi o lokaciji mHE kako ni o veličini izgradnje same mHE. Cijena isplativosti izrade potrebne studije trebala bi biti u granicama početnog kapitala. Nikako ne veće jer svako dodatno povećanje investicijskih troškova može ugroziti ekonomsku prihvatljivost cijelog idejnog projekta.

Cijena kW električne energije kod malih hidroelektrana kreće se u velikom rasponu. Možemo ga podijeliti u nekoliko skupina s obzirom na instaliranu snagu malih hidroelektrana.

To su [9]:

- Mikro hidroelektrane – hidroelektrane instalirane snage do 100 kW – cijena kW električne energije iznosi 1250 i 2500 €/kW (granična isplativost)
- Mini hidroelektrane – Hidroelektrane instalirane snage od 100 kW do 500 kW – cijena za kW električne energije iznosi od 500 do 1250 €/kW (dobra isplativost)
- Male hidroelektrane – Hidroelektrane instalirane snage od 500 kW do 10 MW – cijena kW električne energije iznosi između 250 i 625 €/kW (visoka isplativost)

Sagledano po postocima, ukupna investicija može se razvrstati na sljedeći način [9]:

- Građevinski troškovi (40-70%)
- Elektromehanička oprema (20-40%)
- Tehnička dokumentacija (5-10%)
- Hidro-mehanička oprema (1-2%)
- Priključak na EES (15-20%)

Administrativni troškovi u RH su vrlo visoki te se mogu odužiti na neko vrijeme. U administrativne troškove spadaju: projektna dokumentacija, prethodna energetska suglasnost, lokacijska dozvola, građevinska dozvola i okolišna dozvola. Možemo reći da cijena

pribavljanja administrativne dokumentacije u odnosu na početni kapital ovisi o instaliranoj snazi mHE.

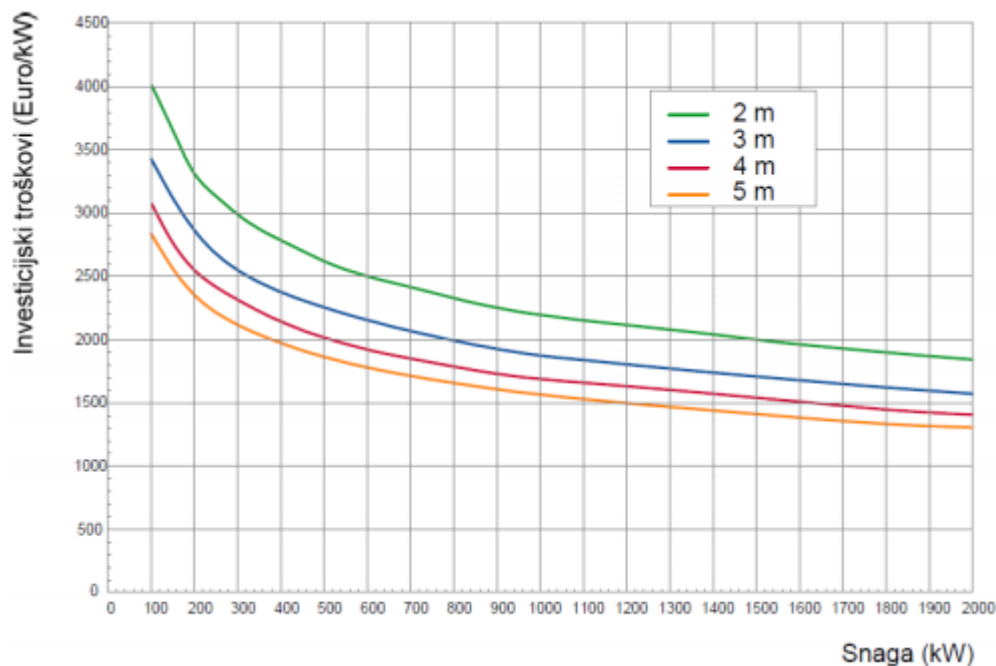
Dakle, troškovi mHE ovise o instaliranoj snazi elektrane i raspoloživom geodetskom padu. Znači da je cijena investicijskih troškova za mHE s većim geodetskim padom manje jer su dimenzije odgovarajuće hidrotehničke opreme manje. Odabrana lokacija mHE uvjetuje 75% konačne cijene mHE, dok ostalih 25% ostaje fiksno. Investicijski troškovi po kW instalirane snage su za 25% veći nego što je to u slučaju velikih hidroelektrana. U nekim slučajevima mogu dosegnuti i više vrijednosti. No međutim održavanje malih hidroelektrana (godišnji troškovi) je znatno jeftinije od godišnjih troškova velikih hidroelektrana.

Cijena kW električne energije kod velikih hidroelektrana iznosi [24]:

- Hidroelektrane do 1MW – 0,7793 kn/W
- Hidroelektrane do 5000 MWh – 0,7793 kn/W
- Hidroelektrane od 5000 – 15000 MWh – 0,6212 kn/W
- Hidroelektrane od 15000 MWh – 0,4744 kn/W

Gore navedeni podaci pokazuju na drastičnu razliku u cijeni, kW električne energije, između malih i velikih hidroelektrana. Pripadajući graf koji nam pokazuje ovisnost investicijskih troškova o snazi i geodetskom padu mHE prikazan je na *Slici 29*.

Slika 29. Ovisnost investicijskih troškova o instaliranoj snazi mHE [9]



Graf nam pokazuje da se cijena investicijskih troškova znatno povećava sa smanjenjem geodetskog pada. Investicijski troškovi se kreću u rasponu od 2500 do 3000 €/kW za veće snage, dok se za one manjih snaga cijena kreće oko maksimalnih 10000 €/kW.

Za područja u RH vrijednosti ukupne investicije određene prema instaliranoj snazi mHE iznose:

- 100 kW – ukupna investicija iznosi 600.000 američkih dolara
- 500 kW - ukupna investicija iznosi 2.400 000 američkih dolara
- 1500 kW - ukupna investicija iznosi 4.350 000 američkih dolara
- 3000 kW – ukupna investicija iznosi 4.800 000 američkih dolara

Gore prikazane vrijednosti su prosječne vrijednosti doneseni na temelju analiza provedenih u svijetu i u RH te kao takve ne predstavljaju podatke s kojima bi se trebalo ulaziti u ozbiljno planiranje investicije u male hidroelektrane [9].

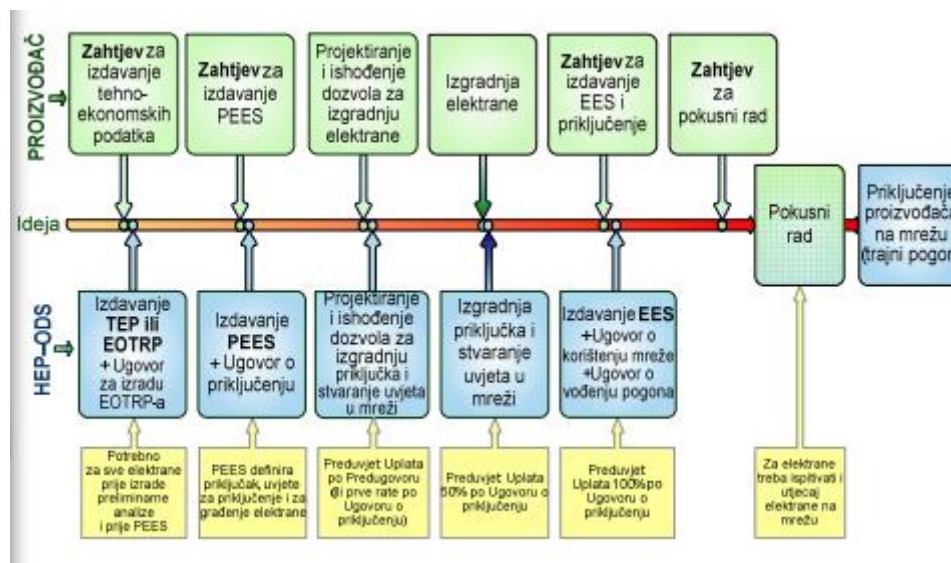
6. Stabilnost sustava

6.1. Priklučenje mHE Zelena na distribucijsku mrežu

Elektroenergetski sustav može se podijeliti u nekoliko skupina. Nekako sve započinje elektranama. One su glavni izvor električne energije. Zatim postoji prijenosna mreža kojom se električna energija prenosi od elektrana do distribucijske mreže. Nadalje se električna energija transportirana iz prijenosne mreže ili direktno iz malih elektrana prenosi preko distribucijske mreže do krajnjih potrošača. Prijenos se odvija zračnim kabelskim vodovima manjih nazivnih napona i rasklopnih postrojenja nego što su to u prijenosnoj mreži. Distribucijska mreža dijeli se na: SN – sredjenaponska mreža (10 kV, 20 kV, 35kV) i NN – niskonaponska mreža do 0,4 kV nazivnog napona [18]. Priklučenje postrojenja na distribucijsku mrežu izvodi se prema mrežnim pravilima određenim od strane HEP-OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA d.o.o. i prethodne suglasnosti Hrvatske energetske regulatorne agencije. Svrha mrežnih pravila je da osiguraju normalno funkcioniranje cjelokupne mreže te da se spriječi negativni utjecaj na mrežu i potrošače. Korisnici mreže s obzirom na smjer električne energije na obračunskom mjestu dijele se na :

- kupac
- proizvođač
- kupac s vlastitom proizvodnjom
- kupac s vlastitom proizvodnjom bez predaje u mrežu

S obzirom na broj faza priključka postoje korisnici s jednofaznim i trofaznim priključkom. MHE Zelena raspolaže s priključnom snagom proizvođača od 310 kW. Te time spada u 3 grupu proizvođača s trofaznim priključkom (od 100 kW do uključivo 500 kW). Priključna snaga kupca koja će se koristiti kod pomoćnih uređaja za pogon generatorskog postrojenja iznosi 20 kW. MHE Zelena imat će još jedan priključak kojeg će koristiti za napajanje pomoćnog uređaja za elektromotorni pogon zapornice. Taj priključak bit će priključne snage od 7 kW te će se nalaziti na odvojenom NN obračunskom mjestu. Na *Slici 30.* prikazana je procedura za ishođenje dozvole za priključak na distribucijsku mrežu.



Slika 30. Procedura ishođenja dozvole za priključak (15)

Tehnički uvjeti za priključenje postrojenja

Na početku postupka priključenja operator distribucijskog sustava mora provjeriti jesu li svi tehnički podaci zadovoljeni.

Provjeravaju se sljedeći tehnički podaci [17]:

- priključna snaga
- podaci o izolaciji

- maksimalna i minimalna struja kratkog spoja
- uvjeti paralelnog pogona postrojenja
- način uzemljenja neutralne točke glavnog transformatora
- raspon faktora snage
- način mjerenja
- uvođenje u sustav daljinskog vođenja

Ako su svi ovi parametri ispunjeni prema pravilima i normama neće doći do negativnog povratnog utjecaja na mrežu. Svi korisnici mreže s priključnom snagom manjom od 10 MW priključuju se na distribucijsku mrežu. Korisnici mreže s priključnom snagom većom od 10 MW priključuju se na prijenosnu mrežu osim u slučaju kada se operator prijenosnog i distribucijskog sustava usuglase da je priključenje na distribucijsku mrežu opravdano.

Tehnički uvjeti koji se moraju ispuniti na mjestu priključenja su:

- pogonsko i zaštitno uzemljenje
- razina kratkog spoja
- razina izolacije
- zaštita od kvarova
- faktor snage
- povratni utjecaj na mrežu

Pogonsko i zaštitno uzemljenje

Uzemljenje postrojenja izvodi se u skladu s tehničkim propisima i normama.

Razina kratkog spoja

Postrojenje mora biti dimenzionirano s opremom koja omogućuje da postrojenje izdrži nastale struje kratkog spoja.

Razina izolacije

Naponska razina na koju se postrojenje priključuje je ključan faktor u odabiru izolacije opreme. Tako npr. Ako se izolacijska oprema ugrađuje u postrojenje nazivnog napona 10 kV, ona mora biti uspostavljena na razini mreže nazivnog napona 20 kV.

Zaštita od kvarova

Korisnik mreže mora koristiti zaštitu propisanu mrežnim pravilima. Mora biti izvedena tako da nastali kvar na postrojenju ne uzrokuje poremećaje u mreži ili kod drugih objekata u mreži. Detaljnije o zaštiti sustava govorit ćemo kasnije u tekstu.

Faktor snage

Faktor snage mora biti, ako nije dogovoreno drugačije, induktivnog karaktera u rasponu od 0,95 do 1.

Povratni utjecaj na mrežu

Postrojenje mora biti projektirano tako da povratni utjecaji na mrežu ne prelaze granice propisane mrežnim pravilima.

Neki od njih su:

- treperenje napona
- kratkotrajne promjene napona kod uključenja i isključenja postrojenja
- pojava viših harmonika u struji i naponu
- ometanje rada daljinskog vođenja
- ometanje mrežnog tonfrekvencijskog upravljanja
- ometanje rada mjerne opreme
- širenje atmosferskih prenapona na mrežu

Treperenje napona mora biti u granicama: 0,9 za kratkotrajno treperenje i 0,7 za dugotrajno treperenje. U praksi se kratkotrajno treperenje napona pojavljuje u 95 % slučajeva u 10 minutnim intervalima, dok se dugotrajno pojavljuje u 120 minutnim intervalima gledano u razdoblju od tjedan dana. Ovi podaci odnose se na SN razinu.

Ako su ispunjeni uvjeti:

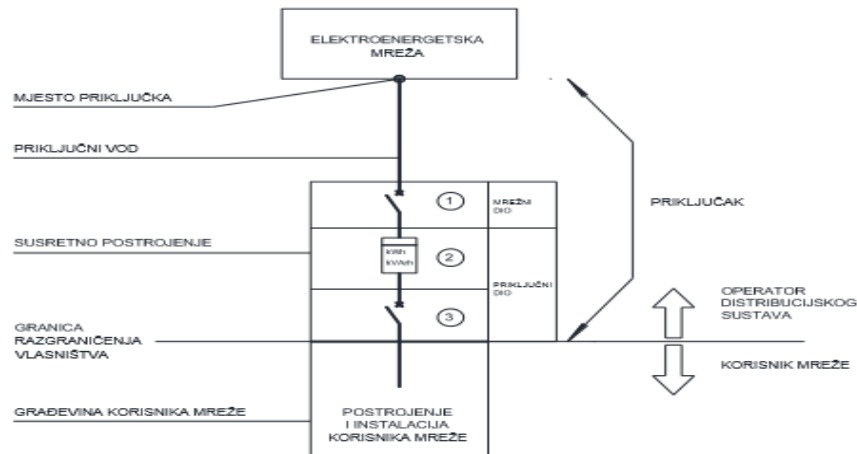
- $S_k/S_p \geq 1000$ za srednji napon
- $S_k/S_p \geq 150$ za niski napon

onda je dozvoljeno priključenje na mrežu bez dodatnog ispitivanja povratnog utjecaja na priključnu mrežu.

Na niskonaponsku mrežu priključuju se postrojenja priključne snage do 500 kW. Izvodi se prema sljedećim uvjetima:

- Niskonaponski vod – priključuju se postrojenja priključne snage do uključivo 100 kW
- Niskonaponske sabirnice – priključuju se postrojenja priključne snage od 100 kW do uključivo 500 kW.

Shema priključka na mrežu prikazana je na *Slici 31*.



Slika 31. Prikaz priključka na mrežu [16]

Za potrebe priključenja na mrežu s priključnom snagom većom od 10 MW mora se izraditi Elaborat optimalnog tehničkog rješenja priključenja (EOTRP) u suradnji s operatorom distribucijskog sustava. Za mHE Zelena nije potrebno provesti analizu prijenosne mreže jer je priključna snaga manja od 10 MW.

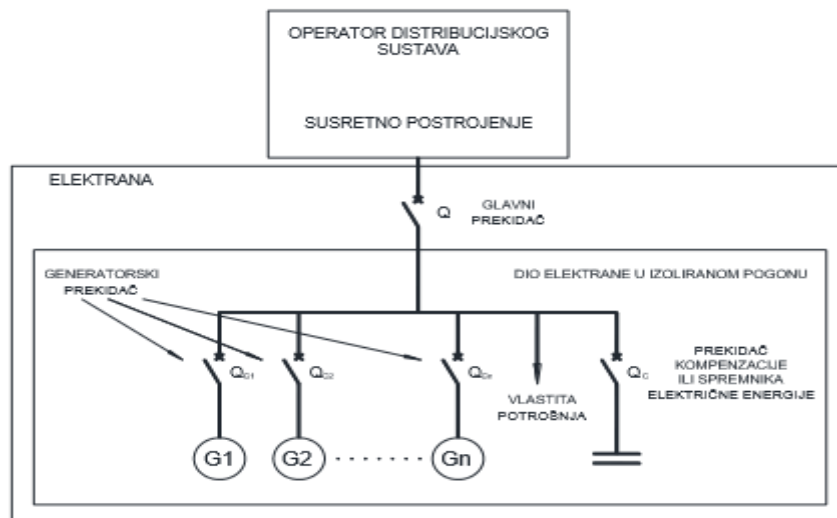
6.2. Paralelni pogon postrojenja s distribucijskom mrežom

Male hidroelektrane moraju biti u mogućnosti raditi u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom. Paralelni pogon s distribucijskom mrežom zahtijeva sinkronizaciju po sljedećim uvjetima mrežnih pravila [16]:

- Razlika napona mora biti manja od $\pm 10\%$ nazivnog napona
- Razlika frekvencije mora biti manja od $\pm 0,5\%$ Hz
- Razlika faznog kuta mora biti manja od $\pm 10^\circ$

U slučaju da elektrana koristi asinkroni generator mora biti zadovoljen dodatni uvjet koji govori da pogonski stroj mora postići brzinu vrtnje u granici $\pm 5\%$ u odnosu na sinkronu brzinu. Ako za vrijeme pogona napon bude imao odstupanje $\pm 10\%$ nazivnog napona, hidroelektrana se mora isključiti iz distribucijske mreže

Zbog toga se između elektrane i distribucijske mreže ugrađuje uređaj za odvajanje. Njegova je uloga da isključuje postrojenje iz paralelnog pogona s mrežom. Shematski prikaz glavnog prekidača prikazan je na Slici 32.



Slika 32. Shematski prikaz prekidača u elektrani za paralelni pogon s mrežom [16]

Operator distribucijskog sustava pod svojim nadzorom ima uređaj za odvajanje postrojenja iz paralelnog pogona [16].

Da bi paralelni pogon s distribucijskom mrežom pravilno funkcionirao, zaštita pripadne elektrane i distribucijske mreže moraju biti međusobno sinkronizirane. U slučaju prekida paralelnog pogona svaka strana mora ostati u stabilnom pogonu. Isključivo ako je to dozvolio operator distribucijskog sustava hidroelektrana može raditi u otočnom pogonu. Ako je mala hidroelektrana priključena na distribucijsku mrežu gdje se primjenjuje APU (automatski ponovni uklop), ista mora posjedovati tehničko rješenje zaštite od asinkronog uklopa u roku od 100 ms kraćem od trajanja bez naponske pauze. Ako se u distribucijskoj mreži ne primjenjuje APU onda mala hidroelektrana mora posjedovati tehničko rješenje zaštite od otočnog pogona. Zaštita mora djelovati u roku od 2s i isključiti hidroelektranu s mreže.

Ujedno mora osigurati:

- Selektivno isključenje kvara
- Mora zaštititi postrojenje od većeg kvara ili oštećenja
- Ograničenje kvara bez međusobnog ugrožavanja mreže i postrojenja
- Mora postojati zamjenska zaštita u slučaju zatajenja primarne
- Privremeno ograničiti stanje poremećenog napona ili elemenata sustava
- Odvajanje proizvodnog postrojenja od mreže u slučaju nedozvoljenih uvjeta paralelnog rada

Svako odstupanje od propisane zaštite mrežnim pravilima je dopušteno ako je to tehnički ispravno i prihvatljivo.

U paralelnom pogonu mreže postoje sljedeće vrste zaštite [16]:

- Zaštita mreže od utjecaja proizvodnog postrojenja
- Zaštita proizvodnog postrojenja od utjecaja mreže
- Zaštita proizvodnih jedinica
- Zaštita od nedopuštenog paralelnog pogona mreže i postrojenja

Zaštita sustava mora omogućiti sljedeće [16]:

- Odvajanje hidroelektrane od mreže, u slučaju nedopuštenog paralelnog pogona
- Sprječavanje mogućnosti štetnog međusobnog djelovanja mreže i postrojenja
- Podršku kvaliteti napona
- Pouzdanost napajanja
- Brzo isključenje postrojenja (dijela postrojenja) iz mreže

Uzroci koji mogu dovesti do nedopuštenog paralelnog pogona su [16]:

- Poremećaji u elektroenergetskom sustavu
- Kvarovi u širem dijelu mreže
- Kvarovi u hidroelektrani

Zaštita za odvajanje je vrlo bitna u ovakvim situacijama. Ona štiti postrojenje i ostale korisnike mreže od kvarova te stvara potrebne preduvjete za APU.

Male hidroelektrane koje se priključuju na niskonaponsku mrežu zaštita za odvajanje izvedena je o ovisnosti o priključnoj snazi:

- Za $S_p \leq 50$ kVA zaštita za odvajanje je izvedena sa zaštitom generatora ili izmjenjivača
- Za $S_p > 50$ kVA zaštita za odvajanje je odvojena od zaštite generatora ili izmjenjivača

6.3. Otočni pogon

Otočni pogon nastupa kada se postrojenje odvoji od elektroenergetskog sustava. To je stanje u kojem postrojenje može biti u djelomičnom opterećenju odvojenom od distribucijskog sustava. Takvo stanje zahtijeva da su radna i jalova snaga proizvodnje i potrošnje u ravnoteži, bez pretjeranih odstupanja [17]. Već spomenuti kvarovi na mreži mogu dovesti do otočnog rada postrojenja. U normalnom pogonu sustava isto tako može doći do neplaniranog otočnog pogona nastalog zbog promijene topologije postojeće mreže. Najčešće vrste zaštite koje se koriste u zaštiti od otočnog pogona su:

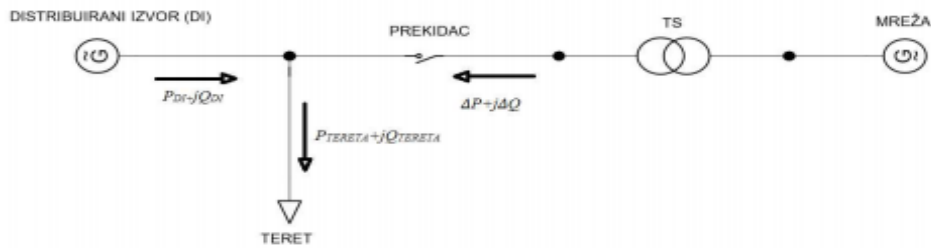
- Nadnaponska zaštita
- Podnaponska zaštita
- Nadfrekvencijska zaštita
- Podfrekvencijska zaštita

Kako bi nadnaponska i podnaponska zaštita proradila mora se desiti veliko odstupanje radne snage ΔP koja uzrokuje nepravilnu amplitudu napona. Podfrekvencijska i nadfrekvencijska javlja se u slučaju promjene faznog pomaka koji je uzrokovan promjenom jalove snage ΔQ . Jalova i radna snaga prikazane su sljedećim formulama:

$$\Delta P = P_{tereta} - P_{DI}$$

$$\Delta Q = Q_{tereta} - Q_{DI}$$

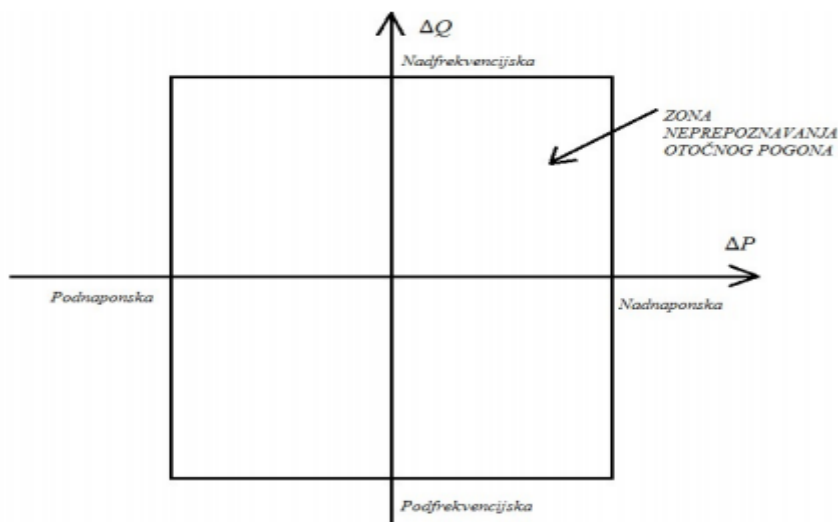
Prikaz nadomjesne sheme tokova snaga između mreže i distribucijskog sustava prikazan je na *Slici 33*.



Slika 33. Nadomjesna shema tokova snage [17]

Jalova komponenta teče od izvora prema priključku, a snaga tereta od priključka prema teretu.

Uvijek postoji mogućnost krivog očitavanja prorade zaštite od otočnog pogona. Kako se to ne bi dešavalo postoji zona neprepoznavanja otočnog pogona. Definirana je kao razlika između jalove i radne snage. Prikaz neravnoteže jalove i radne snage prikazan je na Slici 34.



Slika 34. Graf zone neprepoznavanja otočnog pogona [17]

Osim gore navedenih zaštita koriste se još nekoliko metoda pomoću kojih se detektira otočni rad. Neke od njih su :

- a) Aktivna metoda
- b) Pasivna metoda
- c) Hibridna metoda
- d) Komunikacijska metoda

Neke od ovih metoda imaju vrlo značajnu primjenu u otkrivanju otočnog rada ali svojim negativnim utjecajem na napon dovode u pitanje stabilnost cijelog sustava [17]. U većini zemalja zabranjen je otočni pogon hidroelektrane.

6.4. Pogonska stanja i poremećaji u mreži

Kada se odvija razmjena električne energije možemo reći da je distribucijska mreža u pogonu. Distribucijska mreža može se naći u tri skupine pogona. To su [16]:

- a) Normalni pogon
- b) Poremećeni pogon
- c) Izvanredni pogon

Normalni pogon

Stanje mreže u kojem su [16]:

- Vrijednosti frekvencije i napona u mreži u rasponu dopuštenih maksimalnih i minimalnih
- Opterećenja svih dijelova mreže manja od graničnih vrijednosti
- Struje kratkih spojeva manje od prekidne moći odgovarajućih prekidača
- Osigurani uvjeti slobodnog korištenja mreže
- Zbog planiranih radova isključeni od ostalog dijela mreže

Kako bi operator održao postrojenje u normalnom pogonu mora voditi računa o tokovima snage, pravilno procijeniti potrošnju i proizvodnju električne energije, voditi računa o pripadajućoj topologiji mreže, dostupnim kapacitetima dijelova mreže te o mogućem rasporedu isporuke ili preuzimanja proizvedene električne energije.

Granice normalnog pogona su [16]:

- Vodovi – trajno dopušteno opterećenje određeno strujnim i naponskim prilikama te temperaturom okoline (do 20 % iznad dopuštenog opterećenja)
- Transformatori – trajno dopušteno opterećenje određeno između praznog hoda i nazivne snage transformatora (u skladu s uputama proizvođača), kratkotrajno preopterećenje (do 20 % iznad dopuštenog opterećenja)
- Magnetsko polje – trajno dopušteno opterećenje (mala vrijednost)
- Sabirnice – trajno dopušteno opterećenje sabirničkih vodiča
- Prekidači i Rastavljači – nazivna struja sklopnog aparata (upute proizvođača)
- Jedinice za kompenzaciju jalove snage - trajno dopuštenje opterećenja uz stvarni napon pogona

Operator distribucijskog sustava sukladno stanju sustava i postrojenja može donijeti odluku o graničnim vrijednostima opterećenja.

Poremećeni pogon

Ako postoji određeno odstupanje od normalnog pogona govorimo o poremećenom pogonu.

Poremećeni pogon nastaje u slučaju [16]:

- Isključenja dijela mreže uzrokovano kvarom
- Isključenja zbog prekoračenja granične vrijednosti opterećenja dijela mreže
- Odstupanja napona izvan dopuštenih granica
- Kao posljedica poremećenog napona u prijenosnoj mreži

Po saznanju da je došlo do poremećaja u pogonu operator distribucijskog sustava dužan je obavijestiti korisnike mreže o stanju postrojenja te mora nastojati prikupiti što više informacija o nastalom poremećaju. Ako se poremećaj ne može ukloniti na adekvatan način operator je prisiljen obustaviti prijenos električne energije u skladu s odredbama Općih uvjeta.

Izvanredni pogon

Ako se pojavi jedan od sljedećih slučajeva dolazi do izvanrednog pogona sustava [16]:

- Podfrekvencijsko rasterećenje
- Hitno rasterećenje
- Kvar u prijenosnoj mreži (prekid mreže)
- Nedostatak električne energije u elektroenergetskom sustavu

Ako se radi o podfrekvencijskom rasterećenju onda se provodi podfrekvencijska zaštita sustava. U slučaju prorade zaštite operator opet uspostavlja prijenos električne energije u dijelu mreže gdje je nastalo rasterećenje.

U slučaju potrebe hitnog rasterećenja potrebno je provesti plan provedbe [16]:

- Način aktiviranja plana obrane od velikog poremećaja
- Plan ograničenja potrošnje električne energije
- Međusobno izvještavanje i komunikacija s operatorom prijenosnog sustava
- Upućivanje na radne procedure

U slučaju udara groma (više sile) operator privremeno gasi napajanje dijela koje se našlo pod udarom te mora osigurati postupanje shodno izvanrednim situacijama distribucijske mreže.

Ako u mreži dođe do neočekivanog pomanjkanja električne energije operator je dužan obustaviti prijenos električne energije i o tome obavijestiti korisnike mreže.

6.5. Stabilnost elektroenergetskog sustava

MHE svojim priključenjem na elektroenergetsku mrežu mogu i ne moraju negativno utjecati na stabilnost cijelog sustava. Operator distribucijskog sustava mora se pobrinuti za siguran pogon svih proizvodnih jedinica. Kao rezultat međusobnog djelovanja proizvodnih postrojenja, distribucijske mreže i korisnik očitujemo dinamičku stabilnost elektroenergetskog sustava. Operator mora raspolagati sa svim potrebnim informacijama o priključenim proizvodnim postrojenjima, korisnicima mreže i onih pogona koji se namjeravaju povezati na distribucijsku mrežu. Djelatna snaga, jalova snaga, sustav regulacije brzine i regulacija uzbuđe važniji su parametri koji utječu na stabilnost sustava. Pri tome vrlo je bitno razlikovati statičku i prijelaznu stabilnost. Ako se postrojenje dovede u statičku i prijelaznu nestabilnost postoji opasnost od proklizavanja rotora generatora. Takav problem češće vidamo kod asinkronog pogona, a on se sprječava ugradnjom zaštite od proklizavanja rotora [17]. Operator distribucijskog sustava mora osigurati pravilno upravljanje jalovom snagom kako bi naponi u svim čvorištima bili u ravnoteži. Uređaji za kompenzaciju jalove snage i potreban kapacitet za proizvodnju jalove snage osiguravaju stabilnu distribuciju električne energije i dopuštena odstupanja napona u normalnom pogonu i poremećenom pogonu.

U normalnom pogonu iznos napona održava se u granicama [23]:

- 400 kV mreža – $400 - 10\% + 5\% = 360$ do 420 kV
- 220 kV mreža – $220 \pm 10\% = 198$ do 242 kV
- 110 kV mreža – $110 \pm 10\% = 99$ do 121 kV
- Priključak mreže 35 kV – $35 \pm 10\% = 31,5$ do 38,5 kV

U poremećenom pogonu iznos napona održava se u granicama [23] :

- 400 kV mreža – $400 - 15\% = 340$ do 460 kV
- 220 kV mreža – $220 \pm 15\% = 187$ do 253 kV
- 110 kV mreža – $110 \pm 15\% = 94$ do 127 kV
- Priključak mreže 35 kV – $35 \pm 15\% = 29,8$ do 40,2 kV

Statička stabilnost mora biti osigurana od strane operatora distribucijskog sustava. Mora biti osigurana u svakom dijelu i u svakoj pogonskoj točki elektroenergetskog sustava. Minimalni zahtjevi koji moraju biti ispunjeni pri svakom pogonu proizvodnih postrojenja su [22]:

- Ako u mreži postoji više proizvodnih postrojenja, kod određivanja minimalne snage kratkog spoja uzima se zbroj djelatnih snaga svih generatora
- Prilikom smetnji u mreži operator mora osigurati održavanje minimalnih iznosa snage kratkih spojeva na glavnoj točki prijenosa električne energije.
- Operator mora biti siguran da je razmjena električne energije između mreže i korisnika sigurna, odnosno da prijenos neće poremetiti statičku stabilnost sustava
- Ako se događaju promjene u opterećenju i promjene uklopnog stanja distribucijske mreže one ne smiju ugroziti stabilnost sustava

U sklopu statičke stabilnosti prate se elektromehanička i sistemska njihanja proizvodnog postrojenja. Ona u hrvatskom elektroenergetskom sustavu imaju vrijednost frekvencije od 0,2 do 0,3 Hz. Ta njihanja svojim djelovanjem ne smiju izazvati potpuno gašenje proizvodnog postrojenja ili smanjivati djelatnu snagu pogona. Elektromehaničko njihanje se prikazuje u obliku oscilacija. Pri tome najslabija prigušena oscilatorna komponenta mora biti veća od 0,05 te kao takva ne smije biti uzrok isključivanju postrojenja proradom zaštite ili smanjivati djelatnu snagu pogona. Na temelju zahtjeva operatora prijenosnog/distribucijskog sustava, generatori proizvodnih postrojenja moraju imati mogućnost prigušenja vlastitih i sistemskih elektromehaničkih njihanja. Pomoću stabilizatora elektroenergetskog sustava (PSS) nastoji se riješiti taj problem. Ovom metodom osigurava se statička stabilnost pogona u području cijelog pogonskog dijagrama. Uvjeti koji moraju biti zadovoljeni kod ove metode su [22]:

- Snaga trolnog kratkog spoja na visokonaponskoj strani mora biti najmanje jednaka četverostrukoj nazivnoj djelatnoj snazi
- Napon mora biti najmanje jednak nazivnom naponu mreže

Znači da kod $\cos 0,85$ induktivno i naponskom faktoru 1 impedancija sustava mora iznositi najviše 30 % nazivne impedancije generatora (gledano od mjesta priključka). U slučaju novih priključaka na postojeću mrežu regulacijski sustav postojećih proizvodnih postrojenja mora biti podešen tako da vlastita i sistemska elektromehanička njihanja budu u sinkronizaciji tj. u dopuštenim granicama.

Prijelazna stabilnost sustava nastaje ako postrojenje nakon otklanjanja kratkog spoja nastavi raditi asinkrono s elektroenergetskim sustavom. Takav rad znatno može narušiti stabilnost sustava. Kod pretpostavke prijelazne stabilnosti moraju se ispuniti neki od zahtjeva:

- Minimalne vrijednosti kratkog spoja na strani prijenosne mreže ne smiju biti ugrožene u slučaju kratkog spoja u blizini elektrane.
- Postojanje više proizvodnih postrojenja znači zbroj svih djelatnih snaga generatora
- Ako se utvrdi da se nakon kratkog spoja ne može izbjeći proklizavanje proizvodnog postrojenja, postrojenje se mora odvojiti od mreže kako ono ne bi izazvalo kvarove u ostalim elektranama spojenim na mrežu.

U slučaju kratkog spoja u blizini postojeće elektrane, zaštita djeluje ispravno ako otkloni kratki spoj u roku od 150 ms. Tada se sigurnost ostalih pogonskih postrojenja i stabilnost sustava ne dovodi u opasnost. Pravilna prorada zaštite događa se ako je zadovoljen sljedeći kriterij:

- Ako je nakon isključenja kvara snaga bliskog trolnog kratkog spoja šesterostruko veća od nazivne djelatne snage postrojenja (kod $\cos 0,85$ induktivno i naponskom faktoru 1 impedancija od mjesta priključka postrojenja mora iznositi najviše 20 % nazivne impedancije generatora). Ako neko od postrojenja ne može zadovoljiti propisani kriterij ono može nastaviti raditi ali uz prethodno odobrenje operatora.

Ako se kratki spoj udaljen od elektrane otkloni u roku od 5 sekundi, ne bi smjelo doći do prespajanja vlastite potrošnje na rezervni izvor [17]. Sustavi uzbude kod novijih sinkronih generatora moraju ispravno funkcionirati uz napon na priključnicama generatora od 20 % nazivne vrijednosti napona.

7. Zaključak

Male hidroelektrane, kao proizvođač električne energije iz obnovljivih izvora, daju značajan doprinos održivosti elektroenergetskog sustava. Njihov utjecaj na okoliš je minimalan. Neki od nedostataka malih hidroelektrana su:

- Promjenjiv protok
- Zahtijevaju dosta veliki početni kapital
- Utjecaj na migracije riba

S druge strane male hidroelektrane bilježe puno više razloga koji ih čine sigurnom investicijom. To su:

- Spadaju u obnovljive izvore energije što znači da smanjuju potrošnju fosilnih goriva i smanjuju emitiranje štetnih plinova
- Imaju mogućnost kontrole toka
- Pogodne su za napajanje izoliranih područja (naselja, otoci...)
- Imaju pozitivan utjecaj na stanovništvo

Ishođenje potrebne dokumentacije za potrebe gradnje male hidroelektrane iziskuje podosta vremena i dodatnih troškova. Zato se preporučuje da se idejni projekt planira na već postojećim građevinama (mlin, ribnjaci i sl.).

Mala hidroelektrana Zelena bit će sagrađena na postojećoj lokaciji starog mlina u Ludbregu. Neki od pripadnih dijelova staroga mlina su sačuvani i nalaze se u stanju koje ne zahtijeva pretjeranu rekonstrukciju. Time, idejni projekt mHE Zelena čine ne tako skupom investicijom.

Priključak male hidroelektrane na distribucijski sustav ne utječe na stabilnost sustava. Zbog svoje „male“ priključne snage ne utječe na sustav u tolikoj mjeri. Svojim priključkom unosi dodatni nemir u distribucijski sustav ali ništa što se ne može izbjeći i popraviti pravilno izvedenom regulacijom i zaštitom. Sukladno tome može se zaključiti da se priključkom jedne mHE Zelena na distribucijsku mrežu Ludbreg neće ugroziti stabilnost sustava. Ako se na tu distribucijsku mrežu priključi još nekoliko malih hidroelektrana možemo očekivati zamjetan pad stabilnosti sustava.

Zaključno, male hidroelektrane posjeduju veliki potencijal u Republici Hrvatskoj. Postoje i poticaji za izgradnju malih hidroelektrana što će sigurno pridonijeti velikom interesu za izgradnju u skoroj budućnosti.

Potpis

Varaždin, _____



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Željko Petrinec (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Utjecaj mobilnih mikroelektrona na stabilnost elektroenergetskog sustava (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Petrinec

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Željka Petrinec (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Utjecaj mobilnih mikroelektrona na stabilnost elektroenergetskog sustava (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Petrinec

(vlastoručni potpis)

8. Literatura

- [1] Dr.sc. Damir Rajković, Skripta iz kolegija: Proizvodnja i pretvorba energije, Sveučilište u Zagrebu – Rudarsko-Geološko- Naftni fakultet, Zagreb 2011., Dostupno 22.07.2018
- [2] https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/297/Predavanja2016/REE02HE_GP.pdf
Dostupno 22.07.2018
- [3] <http://www.bioteka.hr/modules/okolis/article.php?storyid=20> , Dostupno 22.07.2018
- [4]. Mario Bukovčan, Pogoni hidroelektrana, Završni rad, Sveučilište Josipa Strossmayera u Osijeku-Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Osijek 2016, Dostupno 22.07.2018.
- [5] <http://www.obnovljivi.com/obnovljivi-izvori-energije> , Dostupno 22.07.2018
- [6] Oliver Paish, Renewable & sustainable energy reviews 6 (2002) 537-556: Small hydro power: technology and current status, dostupno 24. 07. 2018.
- [8] Jerkić, obnovljivi.com <http://www.obnovljivi.com/energija-vode/56-znacaj-i-vizija-energije-vodotoka-u-buducnosti?showall=1>, Dostupno 22.07.2018
- [9] Stanko Sapunar, Utjecaj implementacije strategije razvoja malih hidroelektrana na diverzifikaciju proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj , Završni rad, Sveučilište u Splitu – Ekonomski fakultet, Split, 2018
- [10] <https://www.hrastovic-inzenjering.hr/34-hrastovic/savjeti/153-male-hidroelektrane.html>
Hrastović inženjering, preuzeto 20.7.2018
- [11] Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović, Male hidroelektrane u Hrvatskoj, Sveučilište u Zagrebu – Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014
- [12] Marko Krejči MSc dipl. ing. MBA, Priručnik „Male hidroelektrane“, Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, Srednja škola Oroslavje, Dostupno 31.07.2018
- [13] <http://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/6-hidroelektrane.pdf>, Dostupno 31.7 2018.
- [14] <http://www.hazud.hr/gradnja-malih-hidroelektrana-osnovne-karakteristike-drugi-dio/>, Dostupno 2.8.2018.
- [15] Mr. sc. Davor Petranović dipl. ing. el., Priključak proizvođača na distribucijsku mrežu, Tehničko veleučilište u Zagrebu, Zagreb , 2011
- [16] HEP-OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA d.o.o., Mrežna pravila distribucijskog sustava, Zagreb, 6. kolovoza 2018.
- [17] Mario Rakarić, Detekcija i zaštita od otočnog pogona elektrane, Sveučilište Josipa Strossmayera u Osijeku-Elektrotehnički fakultet, Osijek 2016
- [18] Doc. dr. sc. Ranko Goić, dipl. ing., dipl. ing. Damir Jakus, dipl. ing. Ivan Penović, Distribucija električne energije (interna skripta), Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, Split 2008

- [19] <https://element.hr/artikli/file/2477> Elektroenergetski sustav, dostupno 26.08.2018.
- [20] <https://www.hops.hr/wps/portal/hr/web/hees> , Dostupno 26.08.2018.
- [21] Studija o utjecaju na okoliš mHE na rijeci Bednji, Zagreb studeni 2016., dostupno na http://mzoip.hr/doc/studija_o_utjecaju_na_okolis_121.pdf , Preuzeto 25.07.2018.
- [22] Narodne novine (2006): Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, Narodne novine d.d. Zagreb, broj 907 [Internet], dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_36_907.html , Preuzeto 25.08.2018.
- [23] Narodne novine (2017): Mrežna pravila prijenosnog sustava, Narodne novine d.d. Zagreb, broj 105 [Internet], dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_07_67_1585.html , Preuzeto 25.08.2018.
- [24] Odvjetničko društvo Vaić & Dvorničić: Hidroelektrane instalirane električne snage veće od 1MW, Rijeka 2011, dostupno na: <https://vaic.hr/novosti-i-publikacije-hr/31-05-hidroelektrane-instalirane-elektricne-snage-vece-od-1mw/> , Preuzeto 30.08.2018.

Popis slika

| | |
|--|----|
| <i>Slika 1. Proces pretvorbe el. energije u hidroelektrani [2]</i> | 3 |
| <i>Slika 2. Betonska brana Rijeka</i> | 5 |
| <i>Slika 3. Nasuta brana Lokvarka</i> | 5 |
| <i>Slika 4. Karta potencijalnih lokacija mHE [11]</i> | 14 |
| <i>Slika 5. Kartografski prikaz glavnih dijelova postojeće hidroelektrane [21]</i> | 18 |
| <i>Slika 6. Izgled strojarnice – tlocrt [21]</i> | 18 |
| <i>Slika 7. Postojeće stanje strojarnice izvana [21]</i> | 19 |
| <i>Slika 8. Brana Kućan Ludbreški [21]</i> | 19 |
| <i>Slika 9. Stanje ulaza u derivacijski kanal [21]</i> | 20 |
| <i>Slika 10. Gornji dio derivacijskog kanala [21]</i> | 21 |
| <i>Slika 11. Donji dio derivacijskog kanala [21]</i> | 21 |
| <i>Slika 12. DIVE turbina spojena s generatorom u vodonepropusno kućište [21]</i> | 24 |
| <i>Slika 13. 3D model nove strojarnice [21]</i> | 25 |
| <i>Slika 14. Shema planirane strojarnice [21]</i> | 26 |
| <i>Slika 15. Prikaz planirane rekonstrukcije postojećeg derivacijskog kanala [21]</i> | 27 |
| <i>Slika 16. poprečni presjek vodo-zahvata na ribnjake [21]</i> | 29 |
| <i>Slika 17. Ulaz u biološku stazu (kosa izvedba) [21]</i> | 29 |
| <i>Slika 18. Biološka staza izvedena s bazenima [21]</i> | 30 |
| <i>Slika 19. Prikaz bazena sa zakrivljenim tipom staze [21]</i> | 32 |
| <i>Slika 20. Planirana biološka staza s bazenima zavijenim 180° [21]</i> | 33 |
| <i>Slika 21. Minimalni mjesečni protoci [21]</i> | 34 |
| <i>Slika 22. Srednji mjesečni protoci [21]</i> | 35 |
| <i>Slika 23. Maksimalni mjesečni protoci [21]</i> | 36 |
| <i>Slika 24. Shema hidrauličkog modela [21]</i> | 37 |
| <i>Slika 25. Prikaz geodetskih položaja P1 i P2 [21]</i> | 40 |
| <i>Slika 26. Simulacija izgleda novog objekta strojarnice [21]</i> | 50 |
| <i>Slika 27. Simulacija izgleda novog vodo-zahvata [21]</i> | 51 |
| <i>Slika 28. Simulacija izgleda novog derivacijskog kanala [21]</i> | 51 |
| <i>Slika 29. Ovisnost investicijskih troškova o instaliranoj snazi mHE [9]</i> | 54 |
| <i>Slika 30. Procedura ishodađenja dozvole za priključak (15)</i> | 56 |
| <i>Slika 31. Prikaz priključka na mrežu [16]</i> | 59 |
| <i>Slika 32. Shematski prikaz prekidača u elektrani za paralelni pogon s mrežom [16]</i> | 60 |
| <i>Slika 33. Nadomjesna shema tokova snage [17]</i> | 63 |
| <i>Slika 34. Graf zone neprepoznavanja otočnog pogona [17]</i> | 63 |

Popis tablica

| | |
|--|-----------|
| <i>Tablica 1. Popis potencijalnih lokacija mHE (1-10MW) [11].....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tablica 2. Preporučene dimenzije biološke staze za vrste koje nalazimo u rijeci Bednji [21] .</i> | <i>31</i> |
| <i>Tablica 3. Kriteriji za određivanje zadržanog dotoka u vodotoku u projektiranju mHE [21] .</i> | <i>38</i> |
| <i>Tablica 4. Rezultati proračuna biološke staze uz strojarnicu (rampa) [21].....</i> | <i>41</i> |
| <i>Tablica 5. Raspodjela vode za potrebe hidrauličke simulacije [21].....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tablica 6. Popis malih hidroelektrana koje su u postupku rješavanja</i> | <i>76</i> |
| <i>Tablica 7. Minimalne mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]</i> | <i>77</i> |
| <i>Tablica 8. Srednje mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]</i> | <i>78</i> |
| <i>Tablica 9. Maksimalne mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]</i> | <i>79</i> |

PRILOZI

Prilog 1. Popis malih hidroelektrana koje su u postupku rješavanja

Tablica 6. Popis malih hidroelektrana koje su u postupku rješavanja

| Naziv elektrane (Mhe) | Proizvođač (kW) | DP (Elektra) | Proizvođač (kV) | Kupac (kV) | PEES | EES | Trajni pogon | Priključak |
|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------|-------------|-------------|--------------|---------------------|
| Tuhovec | 277 | Varaždin | 0,4 | | 26.10.2017. | | | |
| Kučan Ludbreški | 220 | Koprivnica | 0,4 | 0,4 | 21.7.2017. | | | |
| Krčić 4 | 200 | Šibenik | 0,4 | 0,4 | 16.11.2016. | | | |
| Zelena | 310 | Koprivnica | 0,4 | | 28.04.2016. | | | |
| Odeta | 420 | Karlovac | 0,4 | | 1.3.2016. | | | |
| Krupa 999 kW | 999 | Zadar | 10 (20) | 10 (20) | 17.11.2015. | | | |
| Gornje Primišlje | 110 | Karlovac | 0,4 | | | | | |
| Križančići | 105 | Karlovac | 0,4 | | 8.1.2014. | 15.12.2014. | 4.2.2015. | Izgrađen priključak |
| AMB Varaždin | 635 | Varaždin | 0,4 | | 3.3.2014. | 21.3.2016 | 15.7.2016. | Izgrađen priključak |
| Dabrova dolina 1 | 225 | Karlovac | 0,4 | | 10.10.2013. | 2.11.2016. | 29.3.2017. | Izgrađen priključak |
| Kameščaki | 200 | Karlovac | 0,4 | | 24.9.2013. | | | 0% |
| Una Mlin | 160 | Gospić | 0,4 | | 2.8.2013. | | | |
| Zvečevo | 30 | Požega | 0,4 | 0,4 | 14.3.2013. | 10.10.2014 | 27.10.2014. | Izgrađen priključak |
| Brodski Drenovac | 155 | Požega | 0,4 | 0,4 | 28.11.2012. | | | |
| Vrbovsko 1 | 220 | Elektroprimorje Rijeka | 0,4 | | 25.10.2012. | | | |
| Badeljvina | 112 | Elektra Križ | 0,4 | 0,4 | 22.7.2011. | | | Izgrađen priključak |
| Pleternica | 220 | Požega | 0,4 | 0,4 | 23.6.2010. | 5.12.2012. | 18.3.2013. | Izgrađen priključak |
| Eko Energija | 450 | Sisak | 0,4 | 0,4 | 17.9.2012. | | | |
| Bujan | 80 | Karlovac | 0,4 | | 20.12.1993. | 13.1.2011. | 26.9.1995 | Izgrađen priključak |
| Manastir Krupa | 128 | Zadar | 0,4 | 0,4 | | | | |
| Šušnjari | 250 | Karlovac | 10 (20) | | | | | |
| Miljevac | 36,72 | Karlovac | 0,4 | | | | | |
| Sinac | 100 | Gospić | 0,4 | | | | | |
| Skela | 180 | Sisak | 0,4 | | | | | |
| Mance | 43,2 | Elektroprimorje Rijeka | 0,4 | | | | | |

| | | | | | | | | |
|----------|-----|-------|-----|-----|--|--|--|--|
| Dolac | 36 | Zadar | 0,4 | 0,4 | | | | |
| Pudarica | 240 | Zadar | 0,4 | 0,4 | | | | |

Prilog 2. Minimalne mjesečne i unutargodišnje vrijednosti protoka

Tablica 7. Minimalne mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]

| Stanica: LUSBREG Vodotok: BEDNJA | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MINIMALNE MJESEČNE I GODIŠNJE VRIJEDNOSTI PROTOKA (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | | |
| God | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
| 1960 | 7,78 | 7,26 | 7,78 | 6,26 | 3,84 | 1,87 | 1,21 | 0,747 | 0,654 | 1,35 | 1,68 | 2,71 | 0,654 |
| 1961 | 1,91 | 1,91 | 1,91 | 1,35 | 2,47 | 1,68 | 1,03 | 1,49 | 1,07 | 1,35 | 1,96 | 3,03 | 1,03 |
| 1962 | 4,45 | 5,32 | 5,78 | 10,6 | 7,78 | 1,31 | 1,4 | 1,21 | 1,12 | 1,12 | 1,87 | 4,88 | 1,12 |
| 1963 | 5,78 | 7 | 6,5 | 8,87 | 5,78 | 5,32 | 1,21 | 1,12 | 1,03 | 1,96 | 1,68 | 2,15 | 1,03 |
| 1964 | 0,874 | 0,964 | 2,64 | 2,64 | 2,64 | 2,27 | 2,27 | 0,964 | 0,964 | 1,16 | 6,16 | 5,15 | 0,874 |
| 1965 | 12,9 | 5,81 | 6,53 | 8,15 | 6,16 | 4,84 | 2,64 | 2,27 | 1,94 | 1,52 | 1,65 | 9,07 | 1,52 |
| 1966 | 4 | 9,07 | 6,16 | 5,15 | 5,15 | 3,05 | 3,5 | 3,5 | 1,94 | 1,94 | 2,27 | 7,31 | 1,94 |
| 1967 | 8,24 | 8,91 | 6,98 | 8,91 | 4,38 | 3,34 | 1,75 | 1,39 | 1,39 | 2,17 | 2,17 | 2,8 | 1,39 |
| 1968 | 3,15 | 3,53 | 2,47 | 1,39 | 1,18 | 1,39 | 0,99 | 1,39 | 1,18 | 0,99 | 0,99 | 3,94 | 0,99 |
| 1969 | 3,94 | 7,59 | 7,59 | 3,94 | 3,94 | 2,47 | 2,17 | 1,63 | 2,8 | 1,63 | 1,18 | 5,33 | 1,18 |
| 1970 | 6,98 | 8,24 | 9,62 | 6,98 | 4,84 | 2,47 | 1,39 | 2,17 | 1,89 | 1,89 | 2,17 | 1,63 | 1,39 |
| 1971 | 5,33 | 4,38 | 4,38 | 3,94 | 2,47 | 2,17 | 1,18 | 1,18 | 0,819 | 0,99 | 1,18 | 2,8 | 0,819 |
| 1972 | 0,893 | 0,893 | 1,66 | 2,6 | 8,84 | 2,6 | 1,82 | 1,82 | 2,96 | 2,6 | 3,36 | 2,96 | 0,893 |
| 1973 | 2,96 | 4,77 | 4,77 | 4,26 | 3,36 | 2,96 | 1,98 | 1,66 | 1,06 | 1,82 | 2,6 | 2,6 | 1,06 |
| 1974 | 1,82 | 1,82 | 1,74 | 1,38 | 1,38 | 1,12 | 1,45 | 1,12 | 1,38 | 9,71 | 2,96 | 2,6 | 1,12 |
| 1975 | 2,6 | 3,16 | 3,79 | 3,36 | 1,52 | 2,44 | 1,25 | 1,9 | 2,6 | 2,28 | 1,98 | 1,98 | 1,25 |
| 1976 | 1,82 | 2,29 | 1,97 | 3,49 | 5,09 | 1,42 | 0,814 | 1,3 | 0,989 | 1,42 | 3,26 | 1,09 | 0,814 |
| 1977 | 7,15 | 5,09 | 2,12 | 4,51 | 1,3 | 1,3 | 0,594 | 0,474 | 0,594 | 0,474 | 0,735 | 2,47 | 0,474 |
| 1978 | 2,29 | 3,98 | 4,79 | 2,85 | 1,82 | 1,82 | 1,42 | 0,42 | 0,474 | 0,42 | 0,474 | 0,594 | 0,42 |
| 1979 | 0,735 | 5,4 | 3,26 | 2,12 | 0,372 | 1,54 | 1,82 | 1,09 | 0,594 | 1,3 | 2,85 | 1,3 | 0,372 |
| 1980 | 0,918 | 1,65 | 1,38 | 1,65 | 4,41 | 2,79 | 1,95 | 0,918 | 0,817 | 0,918 | 3,36 | 8,56 | 0,817 |
| 1981 | 1,14 | 2,61 | 4,41 | 1,95 | 2,26 | 0,918 | 1,8 | 1,14 | 0,918 | 1,38 | 1,38 | 2,61 | 0,918 |
| 1982 | 2,1 | 1,8 | 2,1 | 3,57 | 1,8 | 1,8 | 1,14 | 1,8 | 1,8 | 1,95 | 1,14 | 1,95 | 1,14 |
| 1983 | 4,15 | 3,94 | 3,94 | 2,15 | 1,6 | 0,845 | 0,343 | 0,302 | 0,315 | 0,336 | 0,937 | 0,462 | 0,302 |
| 1984 | 0,6 | 2,8 | 4,59 | 3,73 | 2,15 | 1,24 | 1,36 | 0,343 | 0,462 | 1,14 | 1,48 | 1,73 | 0,343 |
| 1985 | 2,31 | 3,54 | 5,8 | 5,3 | 2,46 | 1,6 | 1,38 | 0,739 | 0,802 | 0,505 | 1 | 4,57 | 0,505 |
| 1986 | 5,1 | 5,67 | 5,82 | 5,24 | 0,422 | 3,91 | 1,35 | 0,665 | 1,02 | 0,873 | 1,02 | 1,26 | 0,422 |
| 1987 | 2,61 | 2,29 | 4,03 | 5,53 | 4,29 | 2,4 | 1,18 | 2,19 | 1,1 | 2,61 | 3,06 | 4,29 | 1,1 |
| 1988 | 3,66 | 5,96 | 9 | 3,54 | 3,06 | 1,61 | 0,665 | 0,539 | 0,222 | 0,539 | 1,8 | 2,72 | 0,222 |
| 1989 | 0,518 | 0,375 | 3,28 | 2,32 | 3,39 | 2,73 | 1,28 | 0,291 | 2,23 | 2,13 | 1,52 | 0,57 | 0,291 |
| 1990 | 1,6 | 2,63 | 1,86 | 3,75 | 1,36 | 1,13 | 0,375 | 0,332 | 0,375 | 0,291 | 1,36 | 2,13 | 0,291 |
| 1991 | 2,13 | 1,44 | 2,23 | 2,94 | 3,05 | 1,52 | 0,625 | 0,8 | 0,57 | 0,863 | 2,84 | 2,04 | 0,57 |
| 1992 | 1,77 | 2,84 | 1,61 | 2,04 | 1,16 | 0,359 | 0,294 | 0,394 | 0,325 | 0,294 | 2,23 | 2,13 | 0,294 |
| 1993 | 1,53 | 0,747 | 0,647 | 1,86 | 0,236 | 0,325 | 0,294 | 0,359 | 0,431 | 0,236 | 1,69 | 3,75 | 0,236 |
| 1994 | 3,32 | 2,53 | 2,62 | 3,43 | 1,63 | 1,17 | 1,05 | 0,7 | 0,745 | 0,943 | 2,17 | 1,93 | 0,7 |
| 1995 | 2,42 | 3,89 | 7,21 | 2,32 | 1,69 | 2,13 | 1,53 | 0,789 | 1,86 | 1,16 | 1,3 | 1,53 | 0,789 |
| 1996 | 3,9 | 1,44 | 3,37 | 3,37 | 2,76 | 0,822 | 0,89 | 0,961 | 2,42 | 2,53 | 2,2 | 4,32 | 0,822 |
| 1997 | 3,59 | 3,95 | 3,35 | 2,38 | 1,25 | 1,82 | 1,4 | 0,963 | 0,897 | 0,897 | 1,03 | 4,6 | 0,897 |
| 1998 | 2,38 | 1,56 | 1,91 | 2,09 | 2,28 | 1,91 | 2,09 | 1,1 | 1,73 | 2,69 | 5,43 | 4,08 | 1,1 |
| 1999 | 0,448 | 1,03 | 4,21 | 4,08 | 3,71 | 3,12 | 2,38 | 2,09 | 2,09 | 2 | 1,82 | 1,91 | 0,448 |
| 2000 | 1,23 | 2,68 | 2,3 | 1,77 | 1,23 | 0,729 | 0,729 | 0,348 | 0,786 | 0,729 | 0,729 | 1,45 | 0,348 |
| 2001 | 2,99 | 2,11 | 2,2 | 4,12 | 2,11 | 2,2 | 2,11 | 1,45 | 1,61 | 1,38 | 1,3 | 1,1 | 1,1 |
| 2002 | 1,53 | 1,77 | 1,69 | 1,3 | 1,94 | 2,02 | 1,45 | 1,94 | 1,69 | 2,02 | 2,3 | 2,39 | 1,3 |
| 2003 | 2,01 | 2,19 | 1,53 | 1,31 | 0,985 | 1,17 | 1,45 | 0,868 | 1,11 | 1,11 | 1,53 | 1,24 | 0,868 |
| 2004 | 1,38 | 1,45 | 2,98 | 4,54 | 0,708 | 2,01 | 2,1 | 2,19 | 1,17 | 1,38 | 1,68 | 1,05 | 0,708 |
| 2005 | 1,53 | 1,05 | 2,28 | 3,2 | 2,01 | 1,11 | 1,53 | 1,6 | 0,327 | 1,05 | 1,17 | 1,93 | 0,327 |
| 2006 | 2,1 | 1,53 | 4 | 2,66 | 3,03 | 1,44 | 0,914 | 1,28 | 1,62 | 1,44 | 1,28 | 0,306 | 0,306 |
| 2007 | 2 | 1,05 | 3,57 | 2 | 1,8 | 1,44 | 0,981 | 0,981 | 1,28 | 1,8 | 4,63 | 4,16 | 0,981 |
| 2008 | 2,9 | 2,66 | 2,78 | 2,9 | 1,53 | 1,53 | 1,9 | 1,2 | 1,44 | 1,62 | 2,32 | 2,9 | 1,2 |
| 2009 | 1,71 | 6,12 | 3,85 | 2,9 | 2,1 | 1,53 | 1,62 | 0,981 | 0,671 | 0,981 | 1,12 | 1,36 | 0,671 |
| 2010 | 1,53 | 1,68 | 3,9 | 2,57 | 1,76 | 1,84 | 1,31 | 1,31 | 1,45 | 3,54 | 3,9 | 6,49 | 1,31 |
| 2011 | 3,31 | 2,38 | 2,1 | 1,93 | 1,38 | 1,53 | 1,17 | 0,985 | 0,926 | 0,926 | 1,11 | 1,31 | 0,926 |
| 2012 | 1,25 | 1,33 | 1,4 | 0,305 | 1,25 | 1,73 | 1,18 | 0,984 | 1,05 | 1,18 | 2,28 | 3,02 | 0,305 |
| 2013 | 2,16 | 5,53 | 9,78 | 3,52 | 2,16 | 1,12 | 1,12 | 1,01 | 1,12 | 1,22 | 1,22 | 2,81 | 1,01 |
| Maks | 12,9 | 9,1 | 9,8 | 10,6 | 8,8 | 5,3 | 3,5 | 3,5 | 3,0 | 9,7 | 6,2 | 9,1 | 1,9 |
| Sred | 2,95 | 3,40 | 3,9 | 3,5 | 2,65 | 1,91 | 1,39 | 1,17 | 1,20 | 1,53 | 2,01 | 2,87 | 0,81 |
| STD | 2,3 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 1,8 | 1,0 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 1,3 | 1,1 | 1,9 | 0,4 |
| Cv | 0,78 | 0,66 | 0,58 | 0,59 | 0,67 | 0,51 | 0,44 | 0,54 | 0,55 | 0,87 | 0,57 | 0,66 | 0,48 |
| Cs | 2,12 | 0,92 | 0,99 | 1,50 | 1,46 | 1,41 | 0,71 | 1,05 | 0,80 | 4,52 | 1,70 | 1,43 | 0,30 |
| Min | 0,448 | 0,375 | 0,647 | 0,305 | 0,236 | 0,325 | 0,294 | 0,291 | 0,222 | 0,236 | 0,474 | 0,306 | 0,222 |
| N | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |

Prilog 3. Srednje mjesečne i unutargodišnje vrijednosti protoka

Tablica 8. Srednje mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]

| Stanica: LUDBREG | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| Vodotok: BEDNJA | | | | | | | | | | | | | |
| SREDNJE MJESEČNE I GODIŠNJE VRJEDNOSTI PROTOKA (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | | |
| God | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
| 1960 | 12,1 | 10,5 | 11,7 | 8,16 | 8,08 | 5,08 | 2,47 | 1,4 | 2,3 | 5,54 | 10,2 | 10,3 | 7,32 |
| 1961 | 3,42 | 4,11 | 2,36 | 2,07 | 10,1 | 3,98 | 2,77 | 1,84 | 1,57 | 1,81 | 14,3 | 5,15 | 4,46 |
| 1962 | 18,5 | 9,04 | 19,4 | 27,6 | 12,4 | 4,51 | 6,06 | 1,53 | 2,16 | 1,36 | 17 | 12,6 | 11 |
| 1963 | 7,37 | 8,43 | 23,2 | 10,6 | 7,49 | 6,48 | 4,41 | 1,75 | 8,01 | 6,1 | 3,07 | 2,6 | 7,47 |
| 1964 | 1,87 | 6,23 | 13,7 | 15,7 | 12,6 | 6,79 | 10,2 | 2,82 | 4,13 | 20,6 | 11,9 | 14,1 | 10 |
| 1965 | 20 | 11 | 13,3 | 22,3 | 17,5 | 14,4 | 9,17 | 6,18 | 2,52 | 1,79 | 11,1 | 23,1 | 12,7 |
| 1966 | 9,05 | 21,4 | 11 | 14,9 | 11,8 | 11,6 | 17,7 | 11,5 | 7,18 | 3,7 | 21,1 | 19,4 | 13,4 |
| 1967 | 13,5 | 12,1 | 8,63 | 19,8 | 5,71 | 11,9 | 2,82 | 1,5 | 8,11 | 3,28 | 2,96 | 5,65 | 8 |
| 1968 | 4,52 | 5,94 | 2,81 | 1,81 | 1,49 | 7,04 | 2,62 | 6,46 | 6,04 | 2,73 | 9,79 | 8,29 | 4,96 |
| 1969 | 9,03 | 21 | 19,2 | 6,87 | 8,68 | 8,5 | 4,43 | 4,93 | 3,82 | 2 | 2,14 | 8,56 | 8,26 |
| 1970 | 19 | 20,5 | 24,3 | 14,7 | 10 | 3,82 | 3,34 | 4,91 | 2,83 | 2,83 | 4,9 | 2,44 | 9,47 |
| 1971 | 14,4 | 9,63 | 11,3 | 5,94 | 6,77 | 2,56 | 1,88 | 1,27 | 0,954 | 1,03 | 1,81 | 4 | 5,13 |
| 1972 | 1,77 | 18,1 | 3,39 | 27,7 | 16,7 | 5,16 | 19,2 | 7,13 | 5,73 | 4,01 | 18,4 | 6,93 | 11,2 |
| 1973 | 5,03 | 15,3 | 7,6 | 18 | 4,46 | 3,64 | 3,09 | 1,94 | 2,74 | 3,72 | 5,9 | 3,59 | 6,26 |
| 1974 | 6,15 | 5,29 | 10,2 | 2,46 | 8,35 | 4,15 | 4,86 | 5,27 | 6,26 | 31,1 | 10 | 10,7 | 8,74 |
| 1975 | 4,61 | 5,12 | 10,7 | 10 | 3,74 | 5,35 | 15,3 | 4,11 | 5,3 | 7,62 | 4,76 | 4,9 | 6,8 |
| 1976 | 4,85 | 6,55 | 8,83 | 16,3 | 12,5 | 6,32 | 1,71 | 3,84 | 2,86 | 3,14 | 10,3 | 14 | 7,6 |
| 1977 | 16,6 | 13,5 | 4,82 | 16,4 | 3,12 | 1,75 | 2,08 | 2,93 | 2,37 | 1,8 | 5,73 | 5,69 | 6,39 |
| 1978 | 4,3 | 7,39 | 8,11 | 13,5 | 4,96 | 8,12 | 3,78 | 1,54 | 1,56 | 3,9 | 1,34 | 5,25 | 5,32 |
| 1979 | 12,1 | 14,5 | 8,21 | 5,38 | 4,63 | 3,2 | 7,75 | 2,89 | 2,55 | 2,55 | 22,2 | 11,3 | 8,11 |
| 1980 | 7,58 | 6,96 | 2,68 | 5,83 | 11,4 | 5,13 | 2,59 | 1,43 | 2,28 | 12,1 | 19,2 | 18,2 | 7,95 |
| 1981 | 7,26 | 7,08 | 12,5 | 3,21 | 3,45 | 11,9 | 5,2 | 1,62 | 2,13 | 3,02 | 2,13 | 12,1 | 5,96 |
| 1982 | 9,38 | 2,24 | 5,61 | 8,73 | 3,88 | 3,85 | 3,14 | 3,2 | 4,75 | 10,9 | 5,53 | 23,5 | 7,07 |
| 1983 | 8,23 | 6,69 | 19,5 | 6,87 | 2,68 | 2,47 | 1,32 | 0,935 | 1,14 | 3,2 | 1,73 | 1,69 | 4,7 |
| 1984 | 6,23 | 10,4 | 15,1 | 14,7 | 4,13 | 2,37 | 5,11 | 1,22 | 4,35 | 3,68 | 5,16 | 4,59 | 6,43 |
| 1985 | 8,93 | 8,73 | 25,2 | 12,1 | 13,5 | 6,14 | 2,85 | 1,52 | 1,35 | 0,992 | 7,14 | 10,8 | 8,27 |
| 1986 | 7,89 | 7,48 | 26,5 | 10,1 | 3,37 | 19,2 | 2,6 | 1,89 | 1,84 | 4,43 | 3,82 | 5,08 | 7,85 |
| 1987 | 4,82 | 24,7 | 10,3 | 16,1 | 8,26 | 4,68 | 3,02 | 8,95 | 3,25 | 6,82 | 15,7 | 10,4 | 9,76 |
| 1988 | 5,78 | 14,2 | 21 | 6,77 | 3,99 | 5,18 | 2,1 | 2,28 | 4,61 | 9,04 | 3,66 | 6,41 | 7,08 |
| 1989 | 2,15 | 2,55 | 6,59 | 4,57 | 21,3 | 5,01 | 5,7 | 8,47 | 8,83 | 9,55 | 2,27 | 2,94 | 6,66 |
| 1990 | 3,15 | 3,71 | 4,74 | 7,72 | 2,28 | 3,56 | 0,998 | 0,589 | 1,11 | 2,59 | 7,3 | 6,54 | 3,69 |
| 1991 | 6,63 | 4,02 | 4,46 | 6,38 | 12,4 | 3,12 | 2,99 | 3,2 | 2,54 | 8,59 | 29,4 | 4,25 | 7,33 |
| 1992 | 2,83 | 5,57 | 8,12 | 4,9 | 2,04 | 3,6 | 1,15 | 0,595 | 0,474 | 2,79 | 11,8 | 14 | 4,82 |
| 1993 | 3,27 | 1,62 | 2,34 | 4,71 | 1,51 | 0,961 | 0,933 | 0,574 | 0,831 | 4,91 | 7,05 | 29,8 | 4,87 |
| 1994 | 21 | 7,12 | 5,71 | 22,7 | 2,79 | 6,04 | 2,15 | 2,94 | 2,08 | 9,6 | 6,67 | 8,87 | 8,14 |
| 1995 | 19,2 | 12,7 | 24,8 | 4,68 | 3,29 | 6,24 | 3,47 | 4,92 | 13,5 | 2,26 | 1,9 | 13,8 | 9,23 |
| 1996 | 14 | 7,16 | 5,4 | 17,3 | 6,08 | 1,42 | 2,73 | 2,32 | 10,1 | 6,16 | 8,02 | 8,27 | 7,41 |
| 1997 | 5,42 | 11,3 | 4,87 | 3,78 | 2,69 | 6,24 | 3,29 | 2,22 | 1,94 | 1,3 | 5,91 | 17 | 5,49 |
| 1998 | 3,71 | 2,24 | 4,62 | 4,5 | 5,35 | 3,71 | 7,4 | 2,47 | 13,3 | 14,7 | 18,4 | 7,67 | 7,33 |
| 1999 | 6,91 | 12,3 | 8,37 | 8,58 | 10,3 | 7,74 | 5,73 | 4,71 | 3,68 | 4,27 | 4,08 | 14,6 | 7,6 |
| 2000 | 3,42 | 4,99 | 3,46 | 2,78 | 1,68 | 1,25 | 1,2 | 0,822 | 0,985 | 1,7 | 4,33 | 4,79 | 2,62 |
| 2001 | 10,3 | 4,84 | 9,65 | 12,5 | 3,99 | 3,96 | 3,2 | 1,84 | 6,58 | 2,03 | 3,18 | 2,05 | 5,34 |
| 2002 | 2,83 | 2,95 | 3,76 | 7,83 | 3,05 | 2,6 | 2,24 | 3,75 | 2,91 | 5,25 | 3,57 | 8,41 | 4,1 |
| 2003 | 6,41 | 4,19 | 7,16 | 1,71 | 1,53 | 1,96 | 2,12 | 1,59 | 1,68 | 2,89 | 3,32 | 2,14 | 3,06 |
| 2004 | 4,03 | 2,41 | 16,8 | 16,4 | 3,27 | 3,65 | 3,42 | 2,88 | 2,5 | 10,4 | 5,16 | 3,19 | 6,18 |
| 2005 | 2,76 | 4,63 | 12,7 | 13,4 | 4,24 | 2,01 | 7,57 | 4,38 | 6,09 | 3,44 | 3,07 | 12,3 | 6,38 |
| 2006 | 7,47 | 11,6 | 16 | 8,41 | 14,1 | 12,8 | 2,36 | 3,33 | 4,17 | 2,96 | 2,78 | 2,9 | 7,41 |
| 2007 | 3,56 | 6,38 | 13,6 | 3,46 | 2,68 | 2,33 | 1,55 | 1,53 | 7,17 | 10,9 | 8,73 | 11,1 | 6,08 |
| 2008 | 4,32 | 3,25 | 13,6 | 5,79 | 2,38 | 10,5 | 3,34 | 2,58 | 2,35 | 2,64 | 4,08 | 12,2 | 5,58 |
| 2009 | 10,1 | 21,6 | 8,39 | 6,25 | 3,07 | 3,29 | 4,16 | 2,58 | 1,52 | 1,26 | 2,33 | 5,79 | 5,87 |
| 2010 | 5,26 | 12,1 | 7,51 | 9,32 | 6,76 | 9,26 | 1,99 | 2,95 | 15,5 | 6,51 | 8,75 | 20,7 | 8,89 |
| 2011 | 4,58 | 3,08 | 2,72 | 2,8 | 2,08 | 2,26 | 2,02 | 1,37 | 1,05 | 1,45 | 1,25 | 2,8 | 2,29 |
| 2012 | 2,26 | 2,91 | 1,99 | 1,75 | 2,45 | 2,63 | 1,48 | 1,13 | 1,61 | 3,46 | 7,36 | 9,61 | 3,22 |
| 2013 | 8,53 | 17,9 | 30,1 | 22,2 | 3,91 | 2,22 | 1,49 | 1,76 | 2,91 | 2,42 | 22,7 | 3,98 | 10 |
| Maks | 21,0 | 24,7 | 30,1 | 27,7 | 21,3 | 19,2 | 19,2 | 11,5 | 15,5 | 31,1 | 29,4 | 29,8 | 13,4 |
| Sred | 7,75 | 9,02 | 10,9 | 10,2 | 6,50 | 5,44 | 4,23 | 3,04 | 4,08 | 5,35 | 8,08 | 9,28 | 6,99 |
| STD | 5,1 | 5,8 | 7,2 | 6,8 | 4,7 | 3,7 | 3,8 | 2,3 | 3,4 | 5,3 | 6,5 | 6,2 | 2,4 |
| Cv | 0,66 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,73 | 0,68 | 0,91 | 0,74 | 0,82 | 0,99 | 0,81 | 0,67 | 0,34 |
| Cs | 1,17 | 0,97 | 0,91 | 0,85 | 1,17 | 1,59 | 2,53 | 1,74 | 1,69 | 2,88 | 1,36 | 1,17 | 0,41 |
| Min | 1,77 | 1,62 | 1,99 | 1,71 | 1,49 | 0,961 | 0,933 | 0,574 | 0,474 | 0,992 | 1,25 | 1,69 | 2,29 |
| N | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |

Prilog 4. Maksimalne mjesečne i unutar godišnje vrijednosti protoka

Tablica 9. Maksimalne mjesečne i godišnje vrijednosti protoka rijeke Bednje [21]

| Stanica: LUBREG | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Vodotok: BEDNJA | | | | | | | | | | | | | |
| MAKSIMALNE MJESEČNE I GODIŠNJE VRIJEDNOSTI PROTOKA (m ³ /s) | | | | | | | | | | | | | |
| God | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | God |
| 1960 | 33,5 | 18,8 | 37,4 | 18,8 | 14,5 | 15,5 | 7,26 | 3,17 | 7,26 | 14,1 | 80 | 54,4 | 80 |
| 1961 | 12,8 | 22,3 | 4,88 | 8,87 | 49,5 | 29,2 | 11,2 | 4,88 | 2,15 | 3,17 | 74,2 | 14,8 | 74,2 |
| 1962 | 70,8 | 20,3 | 60 | 103 | 31,6 | 8,87 | 50,3 | 2,05 | 13,1 | 2,33 | 88,1 | 61,3 | 103 |
| 1963 | 12,5 | 13,1 | 96,5 | 13,8 | 11,8 | 11,8 | 18,8 | 4,45 | 91,2 | 45,8 | 16,6 | 4,45 | 96,5 |
| 1964 | 3,05 | 27,7 | 60,4 | 37,3 | 90,2 | 51,9 | 29,2 | 16,7 | 33,5 | 93,3 | 29,6 | 63 | 93,3 |
| 1965 | 39,1 | 35,2 | 32,5 | 42,5 | 38,4 | 38,1 | 44 | 33,2 | 4 | 3,05 | 56,9 | 63 | 63 |
| 1966 | 23,2 | 66,7 | 29,9 | 31,2 | 34,5 | 37,3 | 85 | 26,7 | 28,6 | 18,2 | 90,2 | 82 | 90,2 |
| 1967 | 29,2 | 17,2 | 21,4 | 44,7 | 24,9 | 46,3 | 7,59 | 1,89 | 28 | 12 | 4,84 | 38,8 | 46,3 |
| 1968 | 6,98 | 13,7 | 3,94 | 2,47 | 2,8 | 22,6 | 8,91 | 22 | 22,6 | 11,1 | 32,8 | 35,2 | 35,2 |
| 1969 | 31,2 | 46,3 | 38,8 | 14,7 | 38,8 | 22,6 | 16,7 | 24,9 | 6,98 | 3,15 | 5,33 | 12,8 | 46,3 |
| 1970 | 57,8 | 38,8 | 67,6 | 28 | 29,9 | 14,3 | 9,62 | 15,7 | 4,84 | 4,84 | 13,7 | 6,4 | 67,6 |
| 1971 | 38,1 | 30,5 | 27,3 | 15,2 | 13,7 | 4,84 | 2,47 | 1,89 | 1,18 | 1,18 | 2,8 | 5,33 | 38,1 |
| 1972 | 3,79 | 94,4 | 5,93 | 137 | 26,1 | 16,3 | 179 | 32,5 | 16,3 | 8,03 | 70,4 | 18,7 | 179 |
| 1973 | 7,28 | 89,1 | 15 | 55,2 | 9,71 | 10,6 | 8,84 | 2,6 | 16,3 | 16,3 | 19,3 | 9,71 | 89,1 |
| 1974 | 15,6 | 19,3 | 54,4 | 4,51 | 28 | 22 | 29,2 | 29,2 | 35,6 | 125 | 31,2 | 28 | 125 |
| 1975 | 5,93 | 6,58 | 27,7 | 21,7 | 19,3 | 27,3 | 91,2 | 16,3 | 17,6 | 33,9 | 20,1 | 24 | 91,2 |
| 1976 | 8,37 | 14,7 | 20,9 | 127 | 52,7 | 15,7 | 5,09 | 11,3 | 10,7 | 9,27 | 28,6 | 51,9 | 127 |
| 1977 | 31,5 | 26,7 | 16,7 | 64,8 | 5,09 | 4,23 | 4,23 | 13,6 | 6,05 | 4,79 | 22,9 | 16,2 | 64,8 |
| 1978 | 17,2 | 16,2 | 19,3 | 66,2 | 19,3 | 21,4 | 10,2 | 4,79 | 3,05 | 17,7 | 3,26 | 20,3 | 66,2 |
| 1979 | 57,8 | 46,7 | 19,3 | 19,3 | 20,6 | 13,6 | 18,7 | 7,54 | 11,3 | 6,77 | 103 | 27,3 | 103 |
| 1980 | 34,5 | 22,6 | 15 | 18,7 | 44,7 | 16,9 | 5,24 | 6,48 | 8,56 | 45,9 | 54,8 | 45,9 | 54,8 |
| 1981 | 23,7 | 18,2 | 23,4 | 4,41 | 7,73 | 45,1 | 17,2 | 4,41 | 8,97 | 10,6 | 5,66 | 37 | 45,1 |
| 1982 | 39,9 | 3,36 | 14,7 | 22,9 | 10,2 | 11 | 13,3 | 14,3 | 17,4 | 25,2 | 40,2 | 57,8 | 57,8 |
| 1983 | 18 | 31,5 | 50,7 | 29,2 | 8,03 | 7,17 | 3,34 | 6,89 | 15 | 19,3 | 4,37 | 3,54 | 50,7 |
| 1984 | 24,6 | 28,9 | 33,5 | 43,6 | 7,46 | 12 | 17,2 | 4,15 | 28 | 12 | 18,2 | 19,3 | 43,6 |
| 1985 | 29,9 | 15,2 | 64,4 | 30,2 | 40,6 | 16,2 | 8,53 | 5,08 | 3,96 | 1,71 | 19,8 | 30,5 | 64,4 |
| 1986 | 14,2 | 15,1 | 55,7 | 27,3 | 11,1 | 89,1 | 4,83 | 5,96 | 5,24 | 20,3 | 13 | 19,6 | 89,1 |
| 1987 | 17,6 | 79 | 42,1 | 41,7 | 20,1 | 11,1 | 11 | 61,7 | 12,1 | 30,5 | 79 | 31,2 | 79 |
| 1988 | 14,5 | 38,1 | 44,7 | 11,7 | 8,49 | 15,3 | 4,03 | 4,29 | 15,7 | 25,5 | 10 | 15,1 | 44,7 |
| 1989 | 3,51 | 8,27 | 14,9 | 11,8 | 71,8 | 8,96 | 29,9 | 26,1 | 121 | 132 | 3,87 | 10,8 | 132 |
| 1990 | 12,2 | 6,04 | 24,3 | 22,9 | 4,24 | 13,4 | 2,73 | 0,8 | 3,75 | 14,5 | 28,3 | 24,6 | 28,3 |
| 1991 | 27,7 | 11,6 | 8,61 | 17,2 | 76,1 | 8,27 | 18,4 | 9,86 | 14 | 67,1 | 143 | 10 | 143 |
| 1992 | 4,24 | 13,8 | 50,3 | 16,5 | 3,87 | 26,7 | 3,28 | 1,1 | 0,972 | 37,7 | 41,7 | 76,6 | 76,6 |
| 1993 | 9,86 | 2,84 | 5,46 | 15,1 | 2,73 | 2,23 | 5,31 | 0,972 | 6,04 | 36,3 | 31,2 | 82,5 | 82,5 |
| 1994 | 111 | 31,8 | 15,4 | 129 | 4,37 | 39,5 | 6,96 | 24 | 8,44 | 119 | 65,8 | 117 | 129 |
| 1995 | 86,9 | 122 | 122 | 12 | 7,38 | 17,6 | 10,3 | 42,3 | 98,3 | 7,21 | 4,69 | 90,8 | 122 |
| 1996 | 56,8 | 36,8 | 7,83 | 68,9 | 24,3 | 3 | 14,9 | 9,42 | 47,7 | 16,5 | 25,4 | 18,5 | 68,9 |
| 1997 | 10,7 | 37 | 16,3 | 8,64 | 7,44 | 23,1 | 13,3 | 9,73 | 11,9 | 3,24 | 34,2 | 131 | 131 |
| 1998 | 7,44 | 3,01 | 16,7 | 11,7 | 30,4 | 16 | 29,5 | 9,92 | 82,7 | 63 | 112 | 17 | 112 |
| 1999 | 12,9 | 51,2 | 20,2 | 28,9 | 42,1 | 32,3 | 19,2 | 21 | 12,9 | 28,9 | 7,78 | 50,3 | 51,2 |
| 2000 | 9,15 | 9,68 | 10,2 | 6,12 | 3,42 | 2,3 | 2,89 | 1,3 | 1,53 | 5,55 | 16,6 | 24,1 | 24,1 |
| 2001 | 36,9 | 20,7 | 34,6 | 48,7 | 14,2 | 11 | 8,47 | 3,31 | 29,1 | 4,12 | 10,6 | 13,5 | 48,7 |
| 2002 | 13,1 | 9,51 | 22,2 | 30,6 | 8,81 | 4,88 | 4,49 | 11,7 | 9,15 | 18,2 | 14,8 | 38,9 | 38,9 |
| 2003 | 17,4 | 13,7 | 24,1 | 2,47 | 3,54 | 2,67 | 3,9 | 2,67 | 4,81 | 9,61 | 16,2 | 12,7 | 24,1 |
| 2004 | 12,9 | 3,78 | 80,1 | 59,5 | 14 | 9,22 | 7,55 | 6,67 | 4,94 | 54,1 | 23,3 | 23 | 80,1 |
| 2005 | 6,15 | 28,3 | 49,5 | 53,7 | 22,7 | 3,9 | 36,6 | 25,7 | 35 | 30,1 | 26,8 | 76,4 | 76,4 |
| 2006 | 21,5 | 46,3 | 83 | 61,8 | 78,8 | 79,9 | 6,99 | 17,3 | 18,8 | 10,4 | 18,8 | 9,78 | 83 |
| 2007 | 11 | 39,8 | 60,6 | 7,71 | 13,9 | 7,17 | 3,85 | 4,47 | 35,9 | 84,8 | 29,8 | 56,7 | 84,8 |
| 2008 | 6,64 | 6,12 | 79,4 | 11,6 | 5,95 | 51,4 | 12,4 | 8,45 | 7,35 | 13,9 | 18,8 | 59,4 | 79,4 |
| 2009 | 52,5 | 79,9 | 59 | 38,5 | 7,89 | 17,8 | 21,5 | 11,2 | 3,16 | 2,43 | 6,64 | 21 | 79,9 |
| 2010 | 23,8 | 65,9 | 17,7 | 44,4 | 42,3 | 97,1 | 7,02 | 18,9 | 113 | 13,3 | 49,1 | 92,7 | 113 |
| 2011 | 7,55 | 4,41 | 6,32 | 7,73 | 4,15 | 5,23 | 9,61 | 2,28 | 1,76 | 3,78 | 1,53 | 14 | 14 |
| 2012 | 4,88 | 8,97 | 4,88 | 4,31 | 6,24 | 10,1 | 3,02 | 1,4 | 5,93 | 27,7 | 43,1 | 37,7 | 43,1 |
| 2013 | 59,8 | 68,9 | 121 | 125 | 11,5 | 5,36 | 2,95 | 5,36 | 14 | 16,7 | 107 | 7,57 | 125 |
| Maks | 111 | 122 | 122 | 137 | 90,2 | 97,1 | 179 | 61,7 | 121 | 132 | 143 | 131 | 179 |
| Sred | 25,0 | 30,5 | 36,3 | 35,8 | 22,8 | 21,4 | 18,7 | 12,3 | 21,6 | 26,8 | 35,6 | 37,3 | 77,8 |
| STD | 22,4 | 26,4 | 28,7 | 34,0 | 21,1 | 20,9 | 28,5 | 12,1 | 28,1 | 31,7 | 33,1 | 29,8 | 34,9 |
| Cv | 0,90 | 0,86 | 0,79 | 0,96 | 0,93 | 0,97 | 1,53 | 0,98 | 1,30 | 1,18 | 0,93 | 0,80 | 0,45 |
| Cs | 1,78 | 1,50 | 1,25 | 1,67 | 1,51 | 2,07 | 4,05 | 1,81 | 2,35 | 2,04 | 1,37 | 1,22 | 0,51 |
| Min | 3,05 | 2,84 | 3,94 | 2,47 | 2,73 | 2,23 | 2,47 | 0,800 | 0,972 | 1,18 | 1,53 | 3,54 | 14 |
| N | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 | 54 |