



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
inštalacije

ANALIZA MALE HIDROELEKTRARNE NA REKI REKI

Mentor: dr. Viktor Lovrenčič, univ. dipl. inž. el.
Lektorica: Maja Antosiewicz Škraba, univ. dipl. slov.

Kandidat: Simon Kravos

Ljubljana, november 2020

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Viktorju Lovrenčiču, univ. dipl. inž. el., za pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Zahvala gre tudi podjetju Elektro Primorska, d. d., ki mi je omogočilo študij.

Hvala gospodu Igorju Deklevi, lastniku MHE Žagar, za potrebne podatke o mali hidroelektrarni ter za njegovo sodelovanje in pomoč.

Zahvaljujem se tudi lektorici Maji Antosiewicz Škraba, ki je diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala, in družini, ki me je med študijem zelo podpirala.

IZJAVA

Študent Simon Kravos izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Viktorja Lovrenčiča, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Energijo vode ali hidroenergijo so začeli izkoriščati naši predniki že pred več kot 2000 leti. Več stoletij je vodna energija opravljala fizično delo namesto človeka. Uporabljali so jo predvsem za pogon mlinov, žag in črpalk. Kasneje pa so ljudje ugotovili, da lahko hidroenergijo pretvorijo v električno.

V današnjem času se z vodnimi elektrarnami proizvede kar tretjino vse električne energije, ki jo potrebujemo v Sloveniji. Poleg velikih hidroelektrarn na večjih rekah so postale pomembne tudi elektrarne na manjših vodotokih. Imenujemo jih male hidroelektrarne.

Mala hidroelektrarna Žagar obratuje od leta 2009, zgradili pa so jo neposredno ob reki Reki, kjer se nahaja kmetija Žagar in kjer so že prej uporabljali vodno energijo za pogon mlina in žage.

Na podlagi pridobljenih podatkov smo opravili analizo pretoka vodotoka in analizo proizvodnje male hidroelektrarne Žagar. Izdelali smo primerjalno analizo pretoka in proizvodnje za obdobje od leta 2009 pa do konca leta 2019. Izvedli smo tudi ekonomski izračun, v katerem smo prikazali stroške, prihodke in poslovni izid ter določili smotrnost naložbe.

KLJUČNE BESEDE

- vodna energija,
- hidroelektrarna,
- mala hidroelektrarna Žagar,
- analiza proizvodnih učinkov male hidroelektrarne,
- električna energija.

ABSTRACT

Hydropower was first harnessed by our ancestors more than 2000 years ago. For several centuries, hydropower replaced the human force in different types of labour. It was mainly used to power mills, sawmills and pumps. Later on, people realised that hydropower can be transformed into electrical energy.

Nowadays, hydropower plants produce a third of all electrical energy, required in Slovenia. In addition to large-scale hydropower plants on big rivers, the so-called small-scale hydropower plants on smaller watercourses have gained importance.

Operating since 2009, the Žagar small-scale hydropower plant was built by the Reka river near the Žagar farm, where hydropower had been used to power a mill and a sawmill.

Based on the acquired data, we conducted an analysis of the watercourse flow and the production of the Žagar small-scale hydropower plant. A comparative analysis of the watercourse flow and production in the period from 2009 to the end of 2019 was performed. We also made an economic calculation, showing the costs, income and economic outturn, as well as we determined the investment efficiency.

KEYWORDS

- hydropower,
- hydropower plant,
- the Žagar small-scale hydropower plant,
- analysis of production effects of a small-scale hydropower plant,
- electrical energy.

KAZALO

1	UVOD.....	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Namen in cilji diplomskega dela.....	1
1.3	Predpostavke in omejitve.....	1
1.4	Metode dela.....	2
2	VODNA ENERGIJA.....	2
2.1	Prednosti in slabosti vodne energije.....	3
3	HIDROELEKTRARNA.....	4
3.1	Vrste hidroelektrarn.....	5
3.2	Sestava hidroelektrarne.....	6
3.3	Vodne turbine.....	6
3.3.1	Peltonova turbina.....	7
3.3.2	Francisova turbina.....	8
3.3.3	Kaplanova turbina.....	9
3.3.4	Cevne turbine.....	10
4	MALE HIDROELEKTRARNE.....	12
4.1	Ekološki vidiki gradnje malih hidroelektrarn.....	13
4.2	Prednosti izkoriščanja hidroenergije v malih hidroelektrarnah.....	14
4.3	Mala hidroelektrarna Žagar.....	14
4.4	Sestavni deli Male hidroelektrarne Žagar.....	16
4.4.1	Turbina.....	16
4.4.2	Multiplikator.....	16
4.4.3	Turbinska regulacija.....	16
4.4.4	Pomožna oprema.....	17
4.4.5	Električna oprema.....	17
4.4.6	Priključek na omrežje.....	18
5	ANALIZA MERITEV PRETOKA IN PROIZVODNJE.....	21
5.1	Kratek opis reke Reke.....	21
5.2	Meritev pretoka reke Reke.....	22
5.3	Proizvodnja male hidroelektrarne Žagar.....	27
5.4	Primerjava dejanske proizvodnje Male hidroelektrarne in pretoka reke.....	33
6	VREDNOTENJE NALOŽBE.....	35
6.1	Strošek izgradnje male hidroelektrarne Žagar.....	35
6.2	Prihodki.....	35
7	OCENA UČINKOV NALOŽBE.....	37
7.1	Realni denarni tok.....	37
8	ZAKLJUČEK.....	39
9	LITERATURA IN VIRI.....	41

KAZALO SLIK

Slika 1:	Padavinska karta za Slovenijo za obdobje 1971–2000	3
Slika 2:	Shema hidroelektrarne.....	5
Slika 3:	Peltonova turbina.....	7
Slika 4:	Shema Peltonove turbine.....	7
Slika 5:	Francisova turbina	8
Slika 6:	Shema Francisove turbine	8
Slika 7:	Kaplanova turbina.....	9
Slika 8:	Shema Kaplanove turbine.....	10
Slika 9:	Cevna turbina s hruško	11
Slika 10:	Shema turbine Saxo	12
Slika 11:	Satelitski posnetek lokacije MHE Žagar	15
Slika 12:	MHE Žagar, zunanji del z mlinom	15
Slika 13:	Notranji del MHE Žagar.....	18
Slika 14:	Energetski kabel Excel 3x10/10, 14/24 kV	19
Slika 15:	Transformatorska postaja MHE Žagar	20
Slika 16:	Povprečen mesečni pretok na vodomerni postaji Cerkevnikov mlin v obdobju 1981–2010	22
Slika 17:	Povprečen pretok reke po mesecih za obdobje 2009–2014	24
Slika 18:	Povprečen pretok reke po mesecih za obdobje 2015–2019	25
Slika 19:	Analiza pretoka po letih za obdobje 2009–2014.....	26
Slika 20:	Analiza pretoka po letih za obdobje 2015–2019.....	27
Slika 21:	Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2009–2014.....	30
Slika 22:	Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2015–2019.....	30
Slika 23:	Skupna proizvodnja za vsako leto posebej, maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti.....	31
Slika 24:	Realni denarni tok.....	39

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Dejanske meritve pretoka na merilni postaji Cerkevnikov mlin 2009–2014.....	23
Tabela 2:	Dejanske meritve na merilni postaji Cerkevnikov mlin 2015–2019	24
Tabela 3:	Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2009–2014	28
Tabela 4:	Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2015–2019	29
Tabela 5:	Primerjava proizvodnje po mesecih s povprečnimi vrednostmi iz celotnega obdobja 2009–2019 (v %) (2009–2014).....	32
Tabela 6:	Primerjava proizvodnje po mesecih s povprečnimi vrednostmi iz celotnega obdobja 2009–2019 (v %) (2015–2019).....	33
Tabela 7:	Primerjava proizvodnje in pretoka	34
Tabela 8:	Stroški izgradnje MHE.....	35
Tabela 9:	Finančni izračun MHE Žagar	36
Tabela 10:	Realni denarni tok do šestega leta obratovanja elektrarne	37
Tabela 11:	Realni denarni tok od sedmega do 14. leta obratovanja elektrarne	38

Tabela 12: Realni denarni tok od 15. do 22. leta obratovanja elektrarne 38

Tabela 13: Realni denarni tok od 23. do 30. leta obratovanja elektrarne 38

KRATICE IN AKRONIMI

%:	odstotek
A:	amper
kV:	kilovolt
kVA:	kilovolt amper
kWh:	kilovatna ura
m ³ /s:	kubični meter na sekundo
MHE:	mala hidroelektrarna
NN:	nizka napetost
SN:	srednja napetost
TP:	transformatorska postaja
V:	volt

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V današnjem času se vse pogosteje uporablja besede obnovljivi viri energije. Ti viri v primerjavi s fosilnimi gorivi zagotavljajo čistejšo, okolju prijaznejšo in trajnostno energijo. V Sloveniji imamo dovolj dober potencial za izrabo obnovljivih virov energije, kot so energija vetra, vode, biomase in energija sončnega obsevanja.

Ker s pridobivanjem električne energije zelo vplivamo na okolje, se moramo vprašati, kako ta vpliv zmanjšati in še vedno zagotavljati dovolj električne energije za naše potrebe. Odgovor na to vprašanje je zagotovo pridobivanje energije iz obnovljivih virov.

Voda je eden najstarejših virov energije, ki jih je začel izkoriščati človek. Energija vode je več stoletij namesto človeka opravljala fizična dela. Uporabljala se je predvsem za pogon mlinov in žag. Kasneje se je z razvojem človeštva ugotovilo, da bi lahko to energijo pretvarjali v električno. Tako se danes hidroenergijo uporablja predvsem za proizvodnjo električne energije.

1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je opis in vrednotenje vodne energije kot obnovljivega vira, predstavitev hidroelektrarn in malih hidroelektrarn (MHE), njihovih sestavnih delov in njihov vpliv na okolje.

Z izgradnjo MHE tam, kjer so oziroma kjer še vedno obratujejo mlinci in žage, bi lahko zelo prispevali k proizvodnji električne energije v Sloveniji, zato bomo z grobo analizo stroškov in proizvodnje na podlagi MHE Žagar skušali ugotoviti smotrnost investicije v MHE.

1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Pridobivanje električne energije iz obnovljivih virov je zelo obsežen pojem. Zajema sončno energijo, vodno energijo, energijo vetra, biomaso, geotermalno energijo ter energijo morja in oceanov.

Poleg rečnih hidroelektrarn so postale pomembne tudi elektrarne na manjših vodotokih. Ravno te elektrarne pa bi s svojo izgradnjo pripomogle k še večji proizvodnji čistejšee električne energije v Sloveniji.

Diplomsko delo se bo omejevalo predvsem na pridobivanje električne energije iz MHE na manjšem vodotoku. Tako pridobljene ugotovitve analize ne moremo posplošiti na celoten segment energije iz obnovljivih virov. Prav tako ne bomo morali zajeti vseh vplivov na okolje, ampak se bomo osredotočili le na največje in najpogostejše.

Za analizo pretoka in proizvodnje se bo diplomsko delo omejilo na pridobljene podatke pretoka iz vodomerne postaje Cerkevnikov mlin, ki je najbližje MHE Žagar. Ti podatki bi lahko odstopali od natančne vrednosti pretoka vode, saj se postaja nahaja približno 5 km stran od hidroelektrarne Žagar.

Za analizo proizvodnje in stroškov pri izgradnji se nismo mogli zanašati na točen izračun, ker so pridobljeni podatki investicije bolj skopi. Kljub temu smo si prizadevali, da se čim bolj približamo dejanskim cenam in stroškom.

1.4 METODE DELA

V teoretičnem delu bo uporabljena opisna metoda na podlagi strokovne literature in člankov, saj bomo opisovali hidroelektrarne na splošno in podrobneje predstavili MHE Žagar.

V nadaljevanju bo uporabljena primerjalna metoda, saj bomo z vidika opazovanja in pridobitve okoljskih podatkov o vodnem pretoku ter dejanske proizvodnje naredili splošno analizo proizvodnje glede na pretok in analizo proizvodnje v primerjavi s stroški. Na podlagi omenjenih analiz bomo prišli do zaključka o smotnosti investicije.

2 VODNA ENERGIJA

Kroženje vode v naravi imenujemo vodni oziroma hidrološki krog. Ta krog je posledica sončnega obsevanja. Za delovanje hidrološkega kroga se porabi približno 23 % celotnega sončnega obsevanja površja Zemlje. Vodne elektrarne, ki izkoriščajo energijo v hidrološkem krogu, zato uvrščamo med naprave, ki izkoriščajo obnovljivi vir energije (Novak in Medved, 2000).

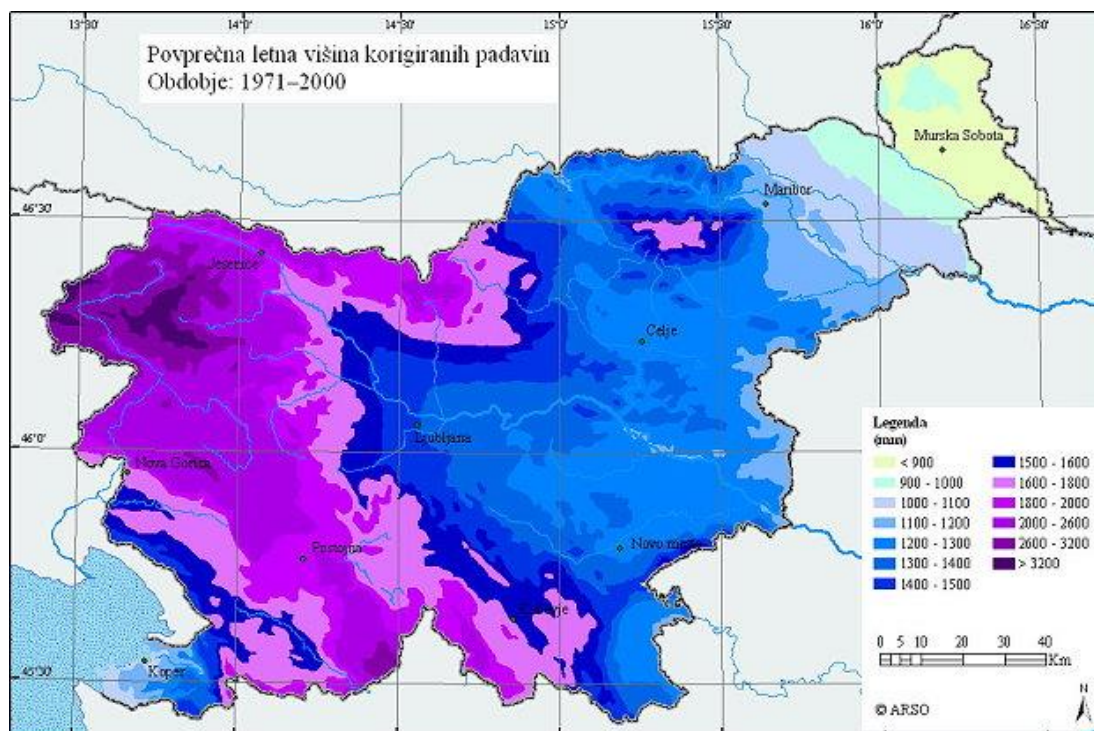
Vodna energija je zelo ugoden vir obnovljivih virov energije, ker so stroški proizvodnje električne energije v vodnih elektrarnah sorazmerno nizki.

Povprečni strošek električne energije znaša od 3 do 5 centov na kilovatno uro. Prav tako pa se lahko glede na povpraševanje po energiji moč proizvedene energije v

elektrarni hitro zmanjša ali poveča, zato pravimo, da je vodna energija prilagodljiv vir električne energije.

V Sloveniji se iz vodne energije proizvede približno tretjino vse proizvedene energije. V letu 2014, ki je bilo zelo vodnato, pa je proizvodnja električne energije v vodnih elektrarnah znašala kar približno 40 % vse v Sloveniji proizvedene električne energije (Hočevar in Dular, 2015).

V primerjavi z drugimi evropskimi državami, kjer pade na leto v povprečju 790 mm padavin na m² ozemlja, ima Slovenija dvakrat več padavin, in sicer približno 1570 mm padavin na m². Največ padavin pade v severozahodnem delu države, tudi več kot 3000 mm (Medved in Arkar, 2009).



Slika 1: Padavinska karta za Slovenijo za obdobje 1971–2000
(Vir: IV. osnovna šola Celje, 2020)

2.1 PREDNOSTI IN SLABOSTI VODNE ENERGIJE

Prednosti:

- nizka cena električne energije, proizvedene v elektrarnah,
- med obratovanjem ne povzroča izpustov toplogrednih plinov,
- izboljšanje poplavne varnosti.

Med ključnimi prednostmi v primerjavi z drugimi obnovljivimi viri energije sta tudi možnost shranjevanja energije (akumulacijska jezera) in hiter odziv na povpraševanje trga po energiji.

Slabosti:

- količina proizvedene električne energije je odvisna od vremenskih pogojev oziroma količine padavin,
- poseg v prostor (močan vpliv na favno in floro).

Hidroelektrarne s spremembo rečnega toka, poplavljanjem območja nad jezom in zmanjšanjem rečnega pretoka nad jezom močno vplivajo na okolje in prostor. Poleg tega jez preprečuje gibanje rečnih živali po reki. Ravno zaradi tega je treba ob nekaterih jezovih postaviti tako imenovane ribje steze, ki ribam omogočajo neovirano migracijo navkljub zaježitvi.

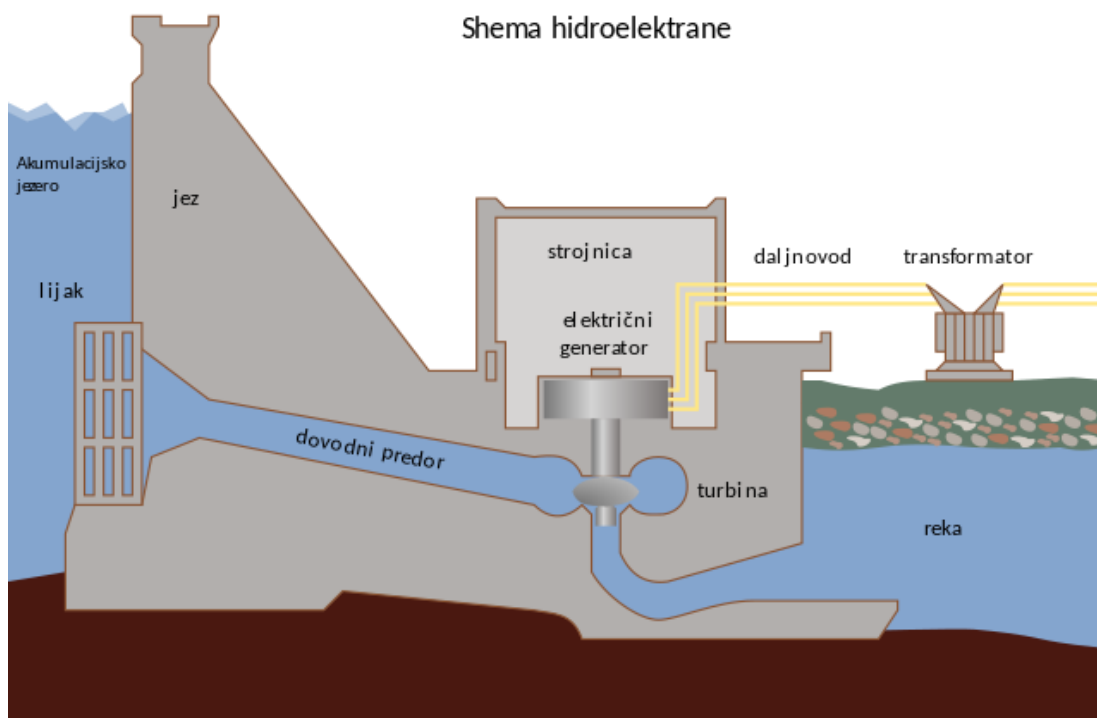
S hidroelektrarnami je povezano tudi tveganje porušitve vodnih struktur, predvsem jezovnih zgradb in spremljajočih nasipov, ki zadržujejo akumulacijska jezera (E-svet, 2020b).

3 HIDROELEKTRARNA

Hidroelektrarna je elektrarna, ki izrablja moč vodnega padca za pridobivanje električne energije. Razpoložljiva moč je odvisna od vodnega padca in pretoka vode, količina proizvedene energije pa je odvisna od trenutnega padca in pretoka vode.

Postavljene so lahko v rečni strugi ali v umetnem kanalu, ki dovaja vodo iz rečne struge. V primeru manjšega pretoka in velikega padca je voda do elektrarne speljana po ceveh (Wikipedija, 2020č).

Hidroelektrarne so najbolj ekološko neškodljive, kljub temu pa pomembno vplivajo tako na vodno floro in favno kot tudi na naravno okolje. Ob izgradnji velikih elektrarn je treba urediti velika umetna akumulacijska jezera, ki potopijo velike površine zemlje in vplivajo na lokalno mikroklimo. Njihova postavitve tako predstavljajo velik poseg v okolje, ki se kaže kot vpliv na naravno okolje (sprememba klime, tal, reliefa, vodnega toka, struge itd.), vpliv na urbano okolje (sprememba prostora, odstranitev ali prestavitve obstoječih objektov itd.) ter vpliv na rastlinstvo in živalstvo (vsebinske spletne strani (ECE, 2020).



Slika 2: Shema hidroelektrarne
(Vir: Wikipedija, 2020a)

3.1 VRSTE HIDROELEKTRARN

Glede na izvedbo poznamo različne hidroelektrarne:

- pretočne,
- akumulacijske,
- pretočno-akumulacijske,
- črpalne.

Pretočne hidroelektrarne: izkoriščajo veliko količino vode v vodotoku z relativno majhnim padcem. Reka je zajezena, za jezom pa ne nastane akumulacijsko jezero. Pomanjkljivost te vrste vodnih elektrarn je, da je proizvodnja električne energije zelo odvisna od trenutnega pretoka vodotoka, ki se med letom pogosto spreminja in je najmanjši pozimi, ko je poraba električne energije največja.

Akumulacijske hidroelektrarne: imajo visok jez, za katerim nastane umetno jezero. Akumulacija zadostuje za nekajtedensko, mesečno ali celo celoletno delovanje. V jezeru akumulirano vodo uporabimo ob koničnih dnevnih obremenitvah in v sušnih obdobjih, če je jez zadosti velik in dopušča večja nihanja gladine. Voda priteka do vodne turbine po podzemnih rovih ali cevovodih z več metri premera. Za

letne in sezonske akumulacije potrebujemo velike akumulacijske jezove, ki jih dosežemo z zaježitvami celih dolin.

Pretočno-akumulacijske hidroelektrarne: so mešanica pretočnih in akumulacijskih elektrarn. Gradimo jih v verigi, v kateri ima le prva elektrarna akumulacijsko jezero, ostale pa delujejo po principu pretočnih elektrarn.

Črpalne hidroelektrarne: te elektrarne poleg proizvodnje električne energije z vodno turbino, ki je lahko tudi vodna črpalka, črpajo rečno vodo nazaj v višje ležeče akumulacijsko jezero oziroma bazen. Pri tem elektrarna za pogon črpalke črpa električno energijo iz omrežja.

Tako elektrarna deluje v obdobju nizke cene električne energije ali zmanjšane porabe, v času visoke cene ali povečane porabe pa električno energijo proizvaja.

Razlike v cenah električne energije na trgu so tolikšne, da se kljub razmeroma nizkemu izkoristku elektrarne v črpalnem režimu opisani postopek posrednega shranjevanja električne energije ekonomsko izplača (Medved in Arkar, 2009).

3.2 SESTAVA HIDROELEKTRARNE

Akumulacijsko jezero: voda, ki jo zbiramo pred jezom, ustvari veliko akumulacijsko jezero, ki je zaloga energije (E-svet, 2020a).

Jez: masivna železobetonska vodna pregrada, postavljena prečno na rečno strugo. Njegova naloga je zadrževanje dela vodnega toka in zvišanje nivoja vode pred jezom. Temelji jeza so zelo široki in ojačani, da lahko jez kljubuje tako vodnemu toku kot tlaku zaradi teže vode (E-svet, 2020a).

Vtočni kanal: skozi vtočni kanal voda z veliko hitrostjo priteče do turbine (E-svet, 2020a).

Turbina: turbina pretvarja kinetično energijo vodnega toka v mehansko. Njen glavni del so turbinske lopatice (E-svet, 2020a).

Turbinske lopatice: lopatice so oblikovane tako, da od vodnega toka prevzamejo čim več kinetične (gibalne) energije (E-svet, 2020a).

3.3 VODNE TURBINE

Turbina je glavi del elektrarne, saj vanjo teče voda in s tem poganja generator, ki proizvaja električno energijo. Poznamo več vrst turbin, ki so prilagojene tako pretoku

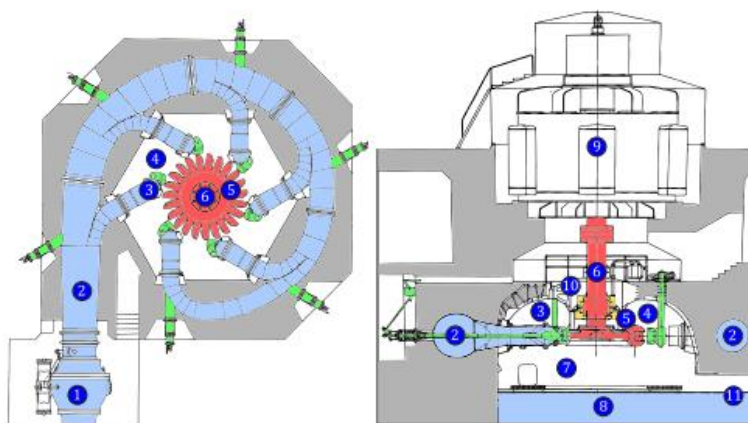
vodotoka kot tudi višinski razliki med nivojem vodotoka pred in za elektrarno (Medved in Arkar, 2009).

3.3.1 Peltonova turbina

Peltonove turbine se uporabljajo pri visokih padcih vode in manjših pretokih. Povezane so s tlačnim cevovodom, ki se pred turbino zaključi s šobo, iz katere brizga voda v curku na lopatice gonilnika. Lopatice imajo enojne ali dvojne zajemalke. Te turbine imajo moč do 250 MW, izkoristek pa znaša 85–90 % (Medved in Arkar, 2009).



Slika 3: Peltonova turbina
(Vir: Hočevar in Dular, 2015, str. 19)



1 Shema Peltonove turbine z navpično osjo in s 6 šobami; modro: pretočni trakt, rdeče: vrteči deli, zeleno: krmilni sistemi, rumeno: ležaji; 1: predturbinski ventil, 2: razvod vode, 3: šoba, 4: odklonilo, 5: gonilnik, 6: gred, 7: iztok vode z lopatic gonilnika, 8: gladina spodnje vode, 9: generator, 10: turbinski pokrov, 11: iztočni rov

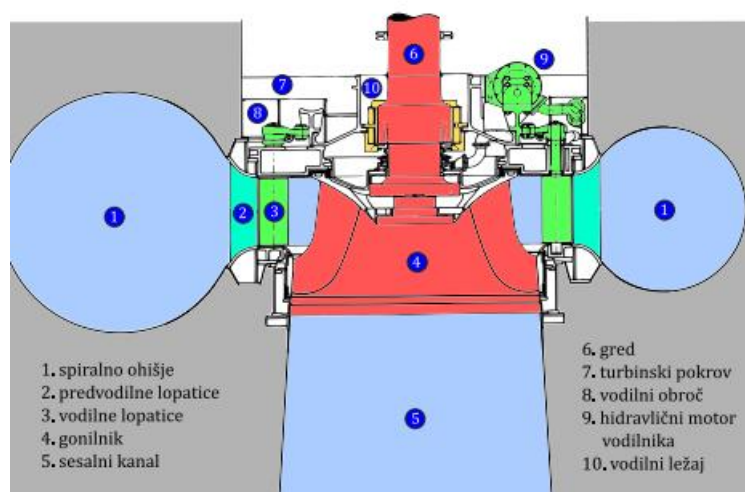
Slika 4: Shema Peltonove turbine
(Vir: Hočevar in Dular, 2015, str. 21)

3.3.2 Francisova turbina

Ves okov turbine je napolnjen z vodo, tako da na vse lopatice gonilnika deluje enaka sila. Moč turbine je odvisna od pretoka vode in smeri toka vode glede na lopatice gonilnika. Za regulacijo dotoka vode ima Francisova turbina nameščene lopatice tudi v okrovu turbine. Lopatice v okrovu so med seboj povezane v mehanizem, imenovan vodilnik. S spreminjanjem lege teh lopatic lahko reguliramo moč turbine. Te vrste turbin uporabljamo za srednje velike padce od 10 do 400 metrov. Njen izkoristek pa je do 90 % (Medved in Arkar, 2009).



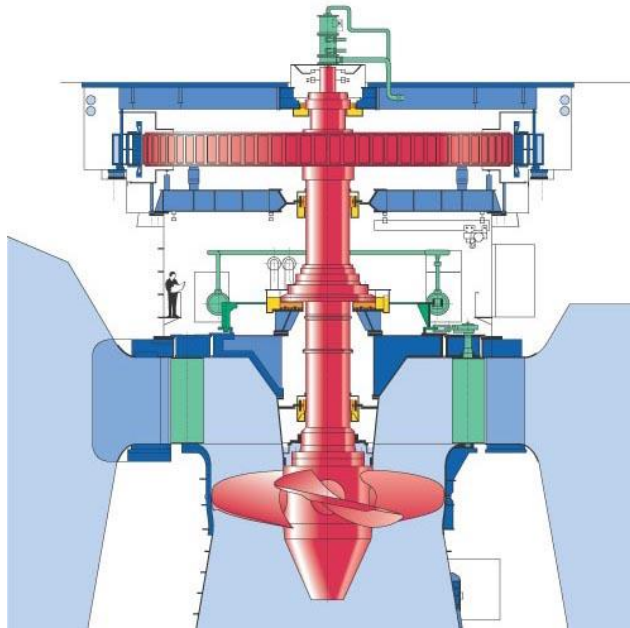
Slika 5: Francisova turbina
(Vir: Jaiko Japan, 2020)



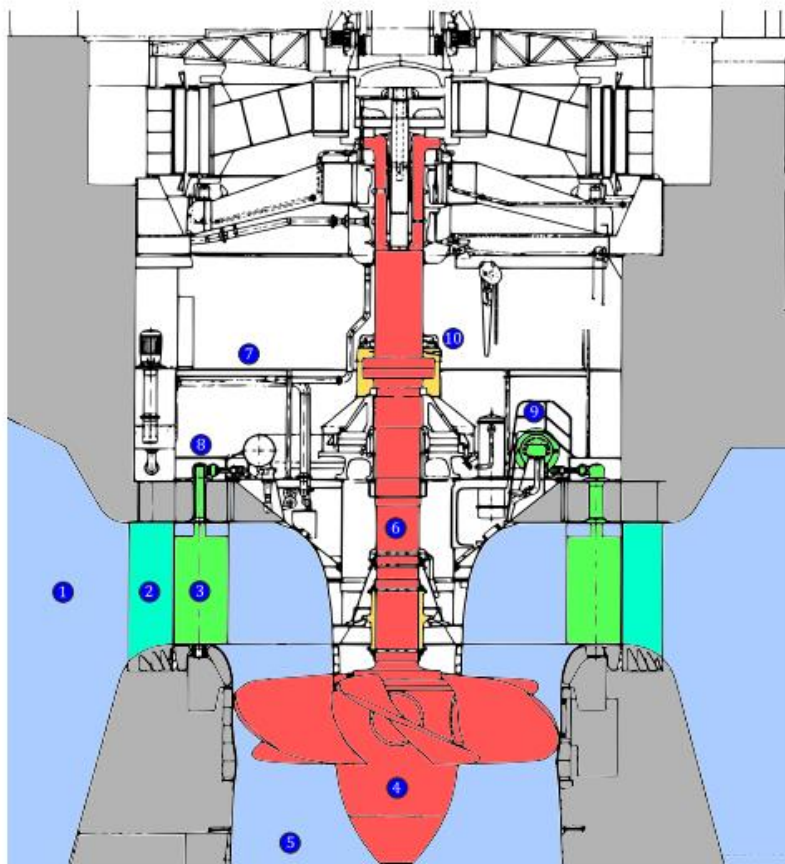
Slika 6: Shema Francisove turbine
(Vir: Hočevnar in Dular, 2015, str. 23)

3.3.3 Kaplanova turbina

Kaplanova turbina je reakcijska vodna turbina z nastavljivimi vodilnimi in gonilnimi lopaticami, torej je to turbina z dvojnim krmiljenjem, saj je za razliko od Francisove turbine poleg vodilnih lopatic možno krmiljenje tudi gonilnih lopatic. Uporabljamo jih za padce od 10 do 50 m in za moči do 200 MW. Izkoristki znašajo več kot 92 %, ta vrednost pa pada z manjšim padcem in manjšim pretokom (Hočevar in Dular, 2015).



Slika 7: Kaplanova turbina
(Vir: Wikipedija, 2020b)

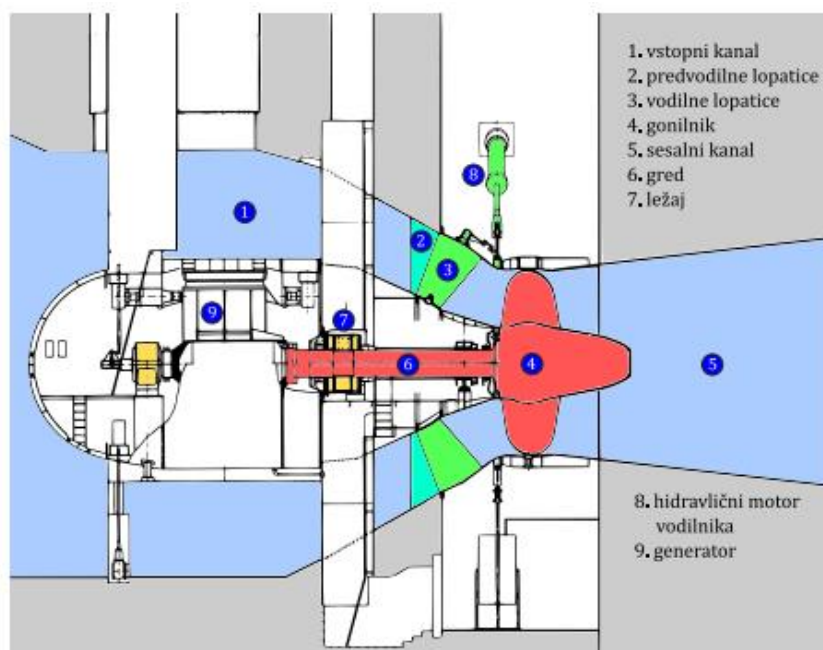


Shema Kaplanove turbine; modro: pretočni trakt, rdeče: vrteči deli, zeleno: krmilni sistemi, rumeno: ležaji; številke označujejo 1: spiralno ohišje, 2: predvodilne lopatice, 3: vodilne lopatice, 4: gonilnik, 5: sesalni konus, 6: gređ, 7: višina, ki deli turbinsko in generatorsko gređ, 8: vodilni obroč, 9: hidravlični motor za pogon vodilnega obroča, 10: vodilno nosilni ležaj

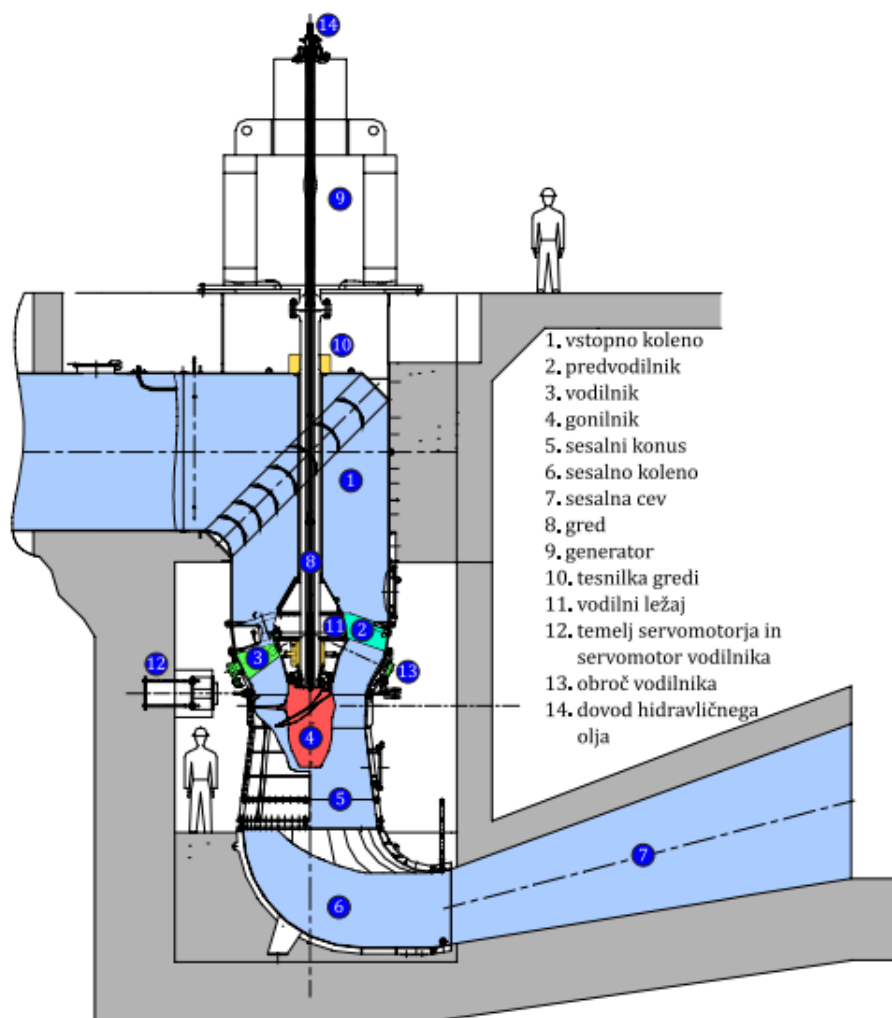
*Slika 8: Shema Kaplanove turbine
(Vir: Hočevar in Dular, 2015, str. 29)*

3.3.4 Cevne turbine

Cevna turbina je skupno ime za več različnih podvrst vodnih turbin. Sem spadajo cevna turbina s hruško, cevna turbina v jašku, cevna turbina S in turbina Saxo. Cevne turbine so primerna rešitev, če je padec manjši od 30 m. Te turbine so primerne tam, kjer ni velikega nihanja zgornje in spodnje gladine vode in pretoka (Hočevar in Dular, 2015).



Slika 9: Cevna turbina s hruško
(Vir: Hočevar in Dular, 2015, str. 31)



Slika 10: Shema turbine Saxo
(Vir: Hočevar in Dular, 2015, str. 35)

4 MALE HIDROELEKTRARNE

MHE so manjši objekti, postavljeni na manjših vodotokih. V svetu obstajajo različni kriteriji, kdaj neko hidroelektrarno štejemo za malo. V Sloveniji štejemo za MHE tiste, ki imajo moč do 10 MW (Medved in Arkar, 2009).

MHE se lahko delijo na dva tipa, in sicer na samostojne, ki napajajo omejeno število porabnikov, in na tiste, ki so povezane in oddajajo energijo v javno omrežje (OŠ Poljane nad Škofjo Loko, 2020).

Vsako sodobno malo vodno elektrarno sestavljajo naslednji elementi (Medved in Novak, 2000):

- zajezev vodotoka z jezom, grobo rešetko, peskolovom in čistilnim kanalom,
- dovod vode z vstopno in predturbinsko zapornico,
- turbina, ki pretvarja vodno energijo v mehansko delo in poganja generator električne energije,
- elementi za upravljanje in nadzor.

4.1 EKOLOŠKI VIDIKI GRADNJE MALIH HIDROELEKTRARN

Izgradnja vodne elektrarne predstavlja trajni poseg v naravno okolje. Z vodnogospodarskega vidika naj bi vodotoki tudi po izgradnji elektrarne zagotavljali odvodnjo visokih vod in odpadnih vod, pretok plavin, omogočali ribištvo, rekreacijske in turistične aktivnosti, tudi morebitno plovbo. Najizrazitejše okoljske spremembe ob izgradnji male vodne elektrarne vodotoka in njegove okolice so:

- znižanje gladine v strugi,
- zmanjšanje hitrosti toka vode,
- povečano odlaganje proda in mulja,
- večja obremenitev vodotoka z odpadnimi vodami,
- povečanje temperaturnih ekstremov vodotoka,
- sprememba vsebnosti kisika v vodi,
- vplivi na rečno in obrežno krajino,
- znižanje nivoja podtalnice,
- kvantitativna in kvalitativna sprememba favne in flore.

Posebno pomembno je ohranjanje minimalnega pretoka v delu vodotoka, ki teče mimo vodne elektrarne po stari strugi. Tako zagotovimo ekosistemske pogoje življenja v vodotoku in ob njem.

Pred izgradnjo male vodne elektrarne je treba pridobiti s področja varstva okolja tudi soglasje zavoda za ribištvo in soglasje zavoda za varstvo narave in kulturne dediščine ter koncesijo za izkoriščanje vodotoka, ki jo izda Republika Slovenija (Medved in Novak, 2000).

Kljub neizkoriščenemu potencialu hidroenergije je gradnja MHE, vsaj v krajšem času, vprašljiva. Še pred gradnjo nastane veliko težav: dolgotrajni in zapleteni upravni postopki, znižanje premije in povečanje koncesijskih dajatev, še posebno pa negativno stališče javnosti zaradi mogočih negativnih posledic na okolje (Glavič, 2011).

Čeprav je bilo že velikokrat poudarjeno, da pri gradnji MHE ni večjih vplivov na okolje in da imajo veliko pozitivnih učinkov, si okoljevarstvene skupine prizadevajo

za vzpostavitev večjega števila institucionalnih in okoljskih ovir pri pridobivanju dovoljenj za postavitev MHE (Glavič, 2011).

Seveda pa ne smemo mimo ekonomike gradnje MHE, ki je marsikdaj kratkoročno zelo vprašljiva, saj gre za objekte, ki imajo predvidoma zelo dolgo življenjsko dobo. Življenjska doba vgrajene opreme je vsaj 30 let, gradbena konstrukcija pa bo zdržala vsaj 50 let, v večini primerov pa tudi več, seveda pa to velja ob predpostavki, da sta obratovanje in vzdrževanje ustrezna (Finance, 2010).

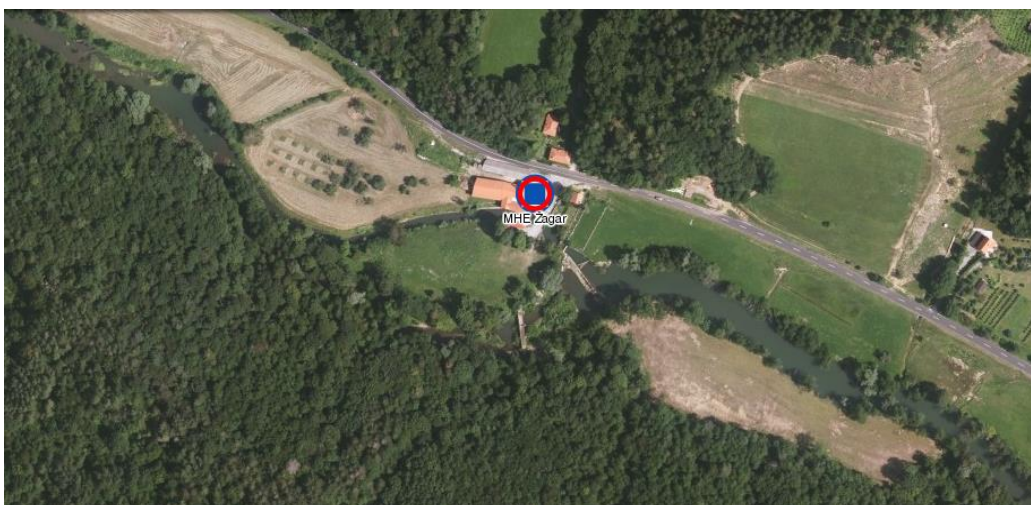
4.2 PREDNOSTI IZKORIŠČANJA HIDROENERGIJE V MALIH HIDROELEKTRARNAH

Prednosti izkoriščanja hidroenergije v MHE so sledeče (Glavič, 2011):

- **tehnične:** zanesljiva tehnologija, velik izkoristek primarne energije, nizki obratovalni stroški, majhna lastna poraba energije, dolga življenjska doba;
- **okoljske:** ne onesnažuje okolja, ne proizvaja škodljivih emisij, ne oddaja toplote;
- **vodnogospodarske:** jezovi so umirjevalci visokih voda, zmanjšujejo erozijo tal, urejajo struge na vplivnih območjih, vzdržujejo jezove in brežine rek na vplivnem območju, vzdržujejo dostopne poti;
- **elektroenergetske:** zmanjšujejo elektroenergetsko odvisnost od fosilnih goriv, proizvajajo električno energijo na mestu porabe, izboljšujejo napetostne razmere, zmanjšujejo izgubo v električnem omrežju, zmanjšujejo potrebe po ojačitvah prenosnih zmogljivosti, ponujajo sistemske storitve, proizvodnjo jalove energije in otočno obratovanje;
- **gospodarske:** izkoriščajo domače znanje, gradbena dela opravljajo domača gradbena podjetja, tehnološko opremo izdelujejo predvsem domači izvajalci;
- **socialne:** odpirajo delovna mesta, pripomorejo k socialni varnosti lastnikov in k razvoju demografsko ogroženih območij.

4.3 MALA HIDROELEKTRARNA ŽAGAR

Za primer MHE smo izbrali MHE Žagar. Kmetija Žagar se nahaja na obrobju Brkinov v vasi Buje, in sicer ob glavni cesti Divača–Ribnica. Kmetija leži na samem ob reki Reki in je znana po 400-letnici mlinarske in žagarske obrti ter kmetijski dejavnosti.



*Slika 11: Satelitski posnetek lokacije MHE Žagar
(Vir: Elektro Primorska d.d., 2020)*



*Slika 12: MHE Žagar, zunanji del z mlinom
(Vir: Hydro hit, 2020)*

Lastnik kmetije je v starem neuporabnem mlinu zgradil MHE s pomočjo podjetja Hydro-hit, d. o. o. Poleg elektrarne je želel obnoviti tudi stari mlin. Projekt so zastavili tako, da poleg MHE obratuje vzporedno tudi mlin. V jašek so vgradili dve vertikalni Francisovi turbini (Hydro hit, 2020).

4.4 SESTAVNI DELI MALE HIDROELEKTRARNE ŽAGAR

4.4.1 Turbina

Osnovni podatki turbine:

$Q_i = 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$,

$H_i = 3 \text{ m}$,

$P_t = 66 \text{ kW}$,

$N_t = 125 \text{ 1/min}$,

kjer je:

Q_i – instaliran pretok,

H_i – instaliran padec,

P_t – moč na gredi turbine,

N_t – vrtljaji turbine.

Turbina je nameščena v turbinski komori v spodnjem delu strojnice. Na vbetoniranem sesalnem kolenu sta nameščena stator in vodilnik z vodilnimi lopaticami. Rotor turbine se vrti v statorju na gladini spodnje vode. Pogonska gred je vertikalna, nameščena na ležajih na temeljni plošči strojnice, na njej pa je prigraven multiplikator.

Vodilnik turbine ima vodilne lopate, ki se prilagajajo razpoložljivemu pretoku s pomočjo turbinske regulacije.

4.4.2 Multiplikator

Ustrezno razpoložljivemu vodnemu padcu, ki ga izkorišča turbina, so vrtljaji turbine prenizki za direktni pogon generatorja, zato je za pogon le-tega prigraven multiplikator, ki vrtljaje turbine poveča na 750 vrt/min. Prek elastične sklopke je povezan z gredjo generatorja.

4.4.3 Turbinska regulacija

S turbinsko regulacijo se regulira odprtje vodilnih lopatic glede na trenutni razpoložljiv dotok vode v strugi.

Za izvajanje regulacijskega dela je predvidena elektromotorna upravljalna enota. Krmiljenje turbinske regulacije omogoča procesorska enota v sklopu elektro opreme.

4.4.4 Pomožna oprema

V sklopu pomožne opreme so zajete naprave za namestitve opreme, prezračevanje ter elementi za varovanje in zaščito.

Za potrebe namestitve turbinske opreme sta v stropu zgornje etaže strojnice nad osema turbine in generatorja proti vhodnim vratom nameščeni dve tirnici, na kateri se namesti mobilno ročno dvižno napravo. Za namestitve turbinskih elementov v spodnji etaži so v plošči strojnice vbetonirane kljuge za obešanje dvižnega mehanizma.

Za prezračevanje strojnice se v vratih nahajajo nastavljive rešetke z žaluzijo, za odvod zraka pa je v steno v zgornjem delu strojnice vgrajen ventilator za zaščitno žaluzijo.

Za zaščito rotirajočih delov so nad vrtečimi deli nameščene zaščitne mreže. Za dostop v spodnjo etažo strojnice sta v plošči odprtina s pokrovom in jeklena lestev, pritrjena v steni turbinske komore.

4.4.5 Električna oprema

Električno opremo elektrarne predstavljajo: asinhronski generator, krmilno-upravljalna enota, kompenzacijska oprema in razvod enosmerne napetosti.

Generator

Za pretvarjanje mehanske energije rotirajočih mas v električno energijo služita dva asinhrona generatorja naslednjih karakteristik:

$P_g = 55 \text{ kW}$, $n = 750 \text{ vrt/min}$,

$U = 400 \text{ V}$, 50 Hz ,

zaščita IP 54.

Generator je nameščen na vbetoniranem podstavku,

kjer je:

P_g – moč generatorja,

U – napetost.

Krmilno-upravljalna enota

Krmilna in upravljalna oprema sta nameščeni v pločevinasti omari. Glede na funkcijo predstavlja oprema naslednje sklope:

- krmiljenje,
- regulacijo po nivoju,
- energetski sklop,
- meritve in zaščite.

Krmilna enota zajema procesor, relejsko opremo za krmiljenje in signalizacije stanja posameznih sklopov opreme.

Energetski sklop predstavlja glavno odklopno stikalo in elemente za povezavo z generatorjem ter z druge strani na transformator oziroma električno omrežje.

Meritve se izvajajo za električne veličine: tok, napetost, moč in fizikalne karakteristike, kot so vrtljaji, nivo vode, temperature, obratovalne ure ... Za vse poglobitve merjene veličine so izvedene zaščite, ki signalizirajo nedovoljeno odstopanje od predvidenih karakteristik.

Kompenzacijska enota

Potreba po kompenzaciji je določena glede na elektroenergetsko soglasje.

Enosmerni razvod

Za potrebe izvajanja krmilnih in upravljalnih funkcij je prisotna enosmerna napetost 24 V, ki jo zagotavljajo akumulatorske baterije in usmernik za polnjenje baterij (Dekleva, 2020).



*Slika 13: Notranji del MHE Žagar
(Vir: Hydro hit, 2020)*

4.4.6 Priključek na omrežje

Generator v MHE je v standardni izvedbi z napetostjo 400 V. Zaradi zahtev po čim manjših izgubah energije pri prenosu v omrežje je bilo zaželeno, da je transformacija na visoko napetost izvedena čim bližje izvoru energije (Dekleva, 2020).

Lastnik je s sodelovanjem družbe Elektro Primorska, d. d., zgradil tudi sredjenapetostni (SN) kablovod in novo transformatorsko postajo v neposredni

bližini elektrarne. Lastnik je poskrbel za gradbena dela, kot so izkop za SN- in niskonapetostni (NN) kabel, polaganje cevi in ozemljila, izkop temelja betonskega droga in izkop temelja za transformatorsko postajo (TP). Družba Elektro Primorska, d. d., je poskrbela za nabavo in namestitev transformatorske postaje, transformatorja, srednjenapetostnega kablovoda in niskonapetostnega omrežja.

Kablovod

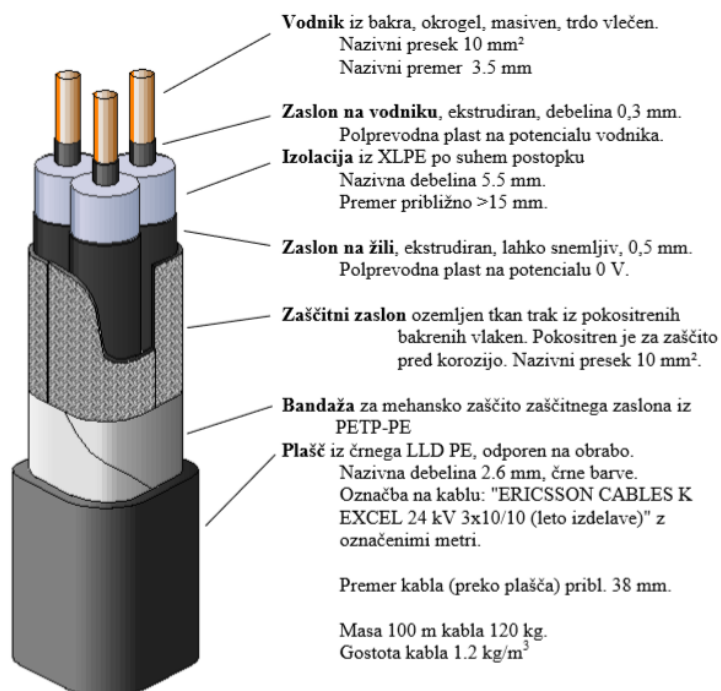
TP Žagar se napaja po SN-kablovodu, ki je priključen na obstoječi 20-kilovoltni daljnovod črpalka Draga–Suhorje na stebru obstoječe TP Zotlar. Pod spodnjo konzolo daljnovoda je vgrajen vertikalni odklopni ločilnik RAL 24-500 z ozemljitvenimi noži.

Trasa SN-kablovoda je speljana po isti trasi, kjer je bil prej niskonapetostni vod iz TP Zotlar do domačije Žagar. Od TP Zotlar je trasa speljana najprej po betonskih drogovih približno 165 m, nato pa preide v tla do TP Žagar (Elektro Primorska d.d., 2020).

Za vodnik novega 20-kilovoltnega kablovoda je vgrajen kabel tip Excel 3x10/10, 14/24 kV.

EXCEL 12/20(24)kV 3x10/10 mm²

1. KONSTRUKCIJA KABLA



Slika 14: Energetski kabel Excel 3x10/10, 14/24 kV
(Vir: NKT, 2018, str. 5)

Transformatorska postaja 20/0,4 kV; 250 kVA

Vgrajeno je pločevinasto ohišje majhne kompaktne transformatorske postaje TEN 2/24 kV do 250 kVA proizvajalca IMP, TEN Ljubljana. Ohišje je postavljeno na utrjeno podlago, ki jo je že prej pripravil investitor elektrarne.

Transformatorska postaja je opremljena s SN-varovalkami napetosti 20 kV in jakosti 16 A, transformatorjem napetosti 250 kVA 20/0,4 kV, tokovnimi merilnimi transformatorji jakosti 400/5 A – $r = 0,5$, NN-zbiralkami Cu 40x5 mm širine, varovalčnimi stikali BTVC 400 za nizkonapetostne izvode in z opremo za lastno rabo, meritve toka in napetosti. Lokacija TP je ob podpornem zidu za gospodarskim poslopjem (Elektro Primorska d.d., 2020).



*Slika 15: Transformatorska postaja MHE Žagar
(Lastni vir)*

NN-izvod

Iz TP je v priključno merilno omaro MHE speljan nizkonapetostni kabel PP00-A 4x150 + 2,5 mm². Kabel je v TP varovan z vložki varovalke jakosti 160 A. Za napajanje domačije je v merilno omaro po fasadi objekta speljan kabel PP00-A 4x35 + 2,5 mm².

Za položitev kablov je izdelana kabelska kanalizacija s cevmi Stigmaflex premera 1x100 mm in 1x80 mm. Cevi so položene na peščeno podlago in zasute s peskom, pod voznimi površinami pa so obbetonirane.

Iz nove TP Žagar je urejen še izvod na obstoječe prostozračno NN-omrežje. Izvod je urejen s kablom PP00-A 4x70 mm² (Elektro Primorska d.d., 2020).

5 ANALIZA MERITEV PRETOKA IN PROIZVODNJE

5.1 KRATEK OPIS REKE REKE

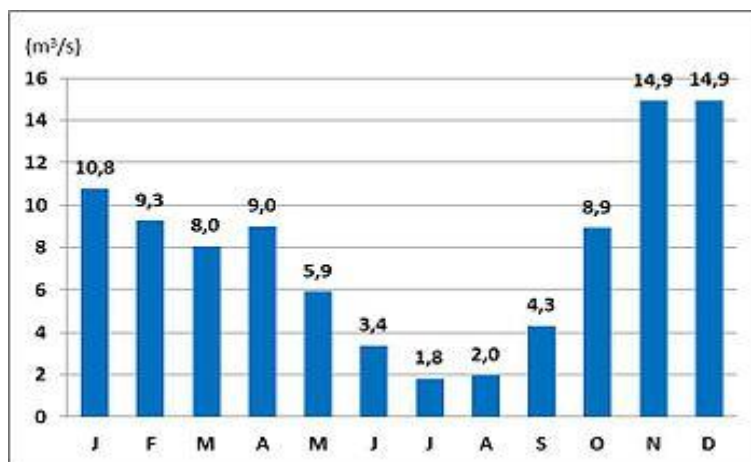
Reka Reka ima sredozemski dežni režim z izrazitim prvim viškom pozno jeseni (novembra–decembra) in neznatnim drugim viškom spomladi (aprila).

Prvi višek nastopa zaradi obilnih jesenskih padavin. Skromnemu aprilskemu višku nekoliko prispeva tudi taljenje snega na Snežniku. Poletni nizek je zelo izrazit (julija–avgusta) zaradi majhne količine padavin in višjih temperatur.

Reka ima tudi nizek specifični odtok (17,3 l/s/km²) in nizek odtočni količnik (32,5 %), kar je splošna značilnost naših vodotokov v submediteranskem podnebjju.

Ker dobiva večino vode z neprepustnega flišnega sveta, je Reka kljub kraškimi dotokom izrazit hudournik, ki se zelo hitro in silovito odziva na močne padavine.

Takšnih padavinskih dogodkov je največ novembra in decembra, manjše poplave pa lahko povzročijo tudi poletna neurja. Takšne poplave se lahko pojavijo že v dnevu z več kot 50 mm dežja v 24 urah, zaradi hitrega odziva vodotokov na padavine se to zgodi tako rekoč vedno istega dne kot padavine (Wikipedija, 2020c).



Slika 16: Povprečen mesečni pretok na vodomerni postaji Cerkevnikov mlin v obdobju 1981–2010
(Vir: Wikipedija, 2020c)

5.2 MERITEV PRETOKA REKE REKE

Zaradi nadaljnje analize proizvodnje smo naredili analizo pretoka reke Reke na merilni postaji Cerkevnikov mlin. To merilno postajo uporablja Agencija Republike Slovenije za okolje.

Merilna postaja Cerkevnikov mlin je od MHE Žagar oddaljena približno 5 km glede na tok reke.

Na spodnji tabeli smo prikazali povprečne vrednosti pretoka v m³/s po mesecih, in sicer od januarja 2009 do decembra 2019, ter maksimalno, minimalno in povprečno vrednost za vsak mesec in vsako leto posebej.

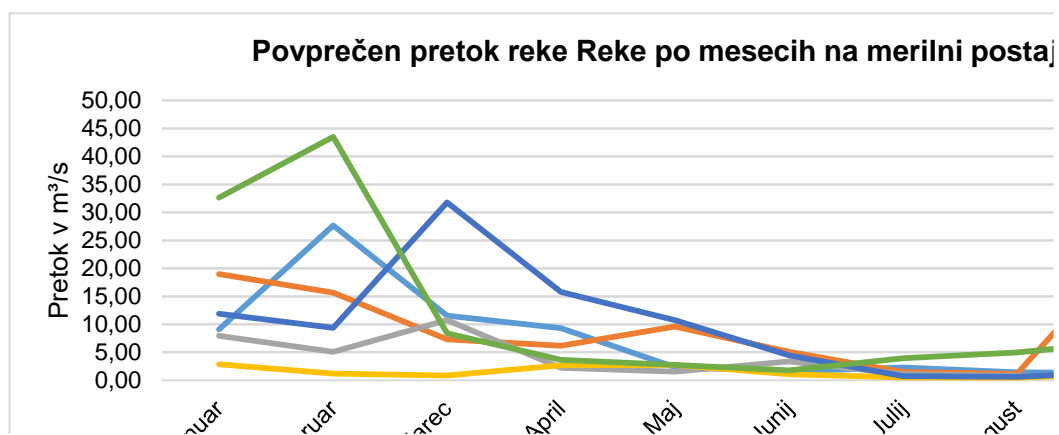
Mesec	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Januar	9,08	18,96	7,94	2,87	11,87	32,62
Februar	27,63	15,68	5,09	1,20	9,40	43,46
Marec	11,57	7,29	10,74	0,85	31,79	8,38
April	9,33	6,20	2,21	2,67	15,79	3,66
Maj	2,33	9,59	1,56	2,72	10,77	2,72
Junij	1,59	5,08	3,38	1,06	4,43	1,79
Julij	2,31	1,49	1,06	0,49	0,76	3,93
Avgust	1,43	1,12	0,82	0,43	0,62	4,99
September	1,26	23,58	0,81	1,22	1,51	6,98
Oktober	0,63	9,35	3,21	8,02	4,84	5,85
November	3,52	23,84	1,31	24,52	20,10	40,17
December	27,34	35,51	8,61	15,44	8,30	16,75
Max	27,63	35,51	10,74	24,52	31,79	43,46
Min	0,63	1,12	0,81	0,43	0,62	1,79
Povprečno	8,17	13,14	3,90	5,12	10,01	14,28

Tabela 1: Dejanske meritve pretoka na merilni postaji Cerkvenikov mlin 2009–2014
(Vir: ARSO, 2020)

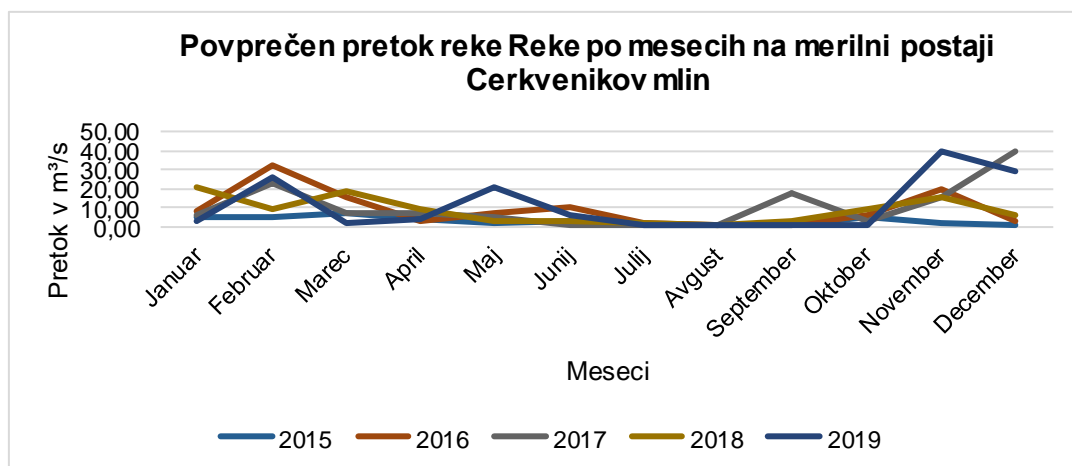
Mesec	2015	2016	2017	2018	2019	Povprečje po mesecih
Januar	4,93	8,34	6,64	20,32	3,17	9,15
Februar	5,20	32,71	22,50	9,63	25,64	18,95
Marec	7,59	16,00	7,13	18,86	1,65	10,39
April	3,87	3,20	7,11	9,80	4,48	5,78
Maj	2,20	7,36	5,25	3,24	21,13	7,57
Junij	3,10	9,94	1,27	3,01	6,50	4,59
Julij	1,23	1,63	0,85	2,42	1,10	1,47
Avgust	1,45	1,22	0,77	1,15	1,44	1,24
September	1,38	1,32	17,44	2,75	1,13	4,90
Oktober	5,42	6,55	3,48	9,60	1,22	5,26
November	1,63	20,01	15,49	15,84	39,04	18,45
December	0,98	3,60	39,60	6,23	28,79	16,10
Max	7,59	32,71	39,60	20,32	39,04	
Min	0,98	1,22	0,77	1,15	1,10	
Povprečno	3,25	9,32	10,63	8,57	11,27	

Tabela 2: Dejanske meritve na merilni postaji Cerkvnikov mlin 2015–2019
(Vir: ARSO, 2020)

Za lažjo predstavo smo na sliki 17, ki smo jo razdelili na dva dela, prikazali povprečen pretok reke po mesecih, kjer je razvidna razlika v mesecih in letih v določenem obdobju.

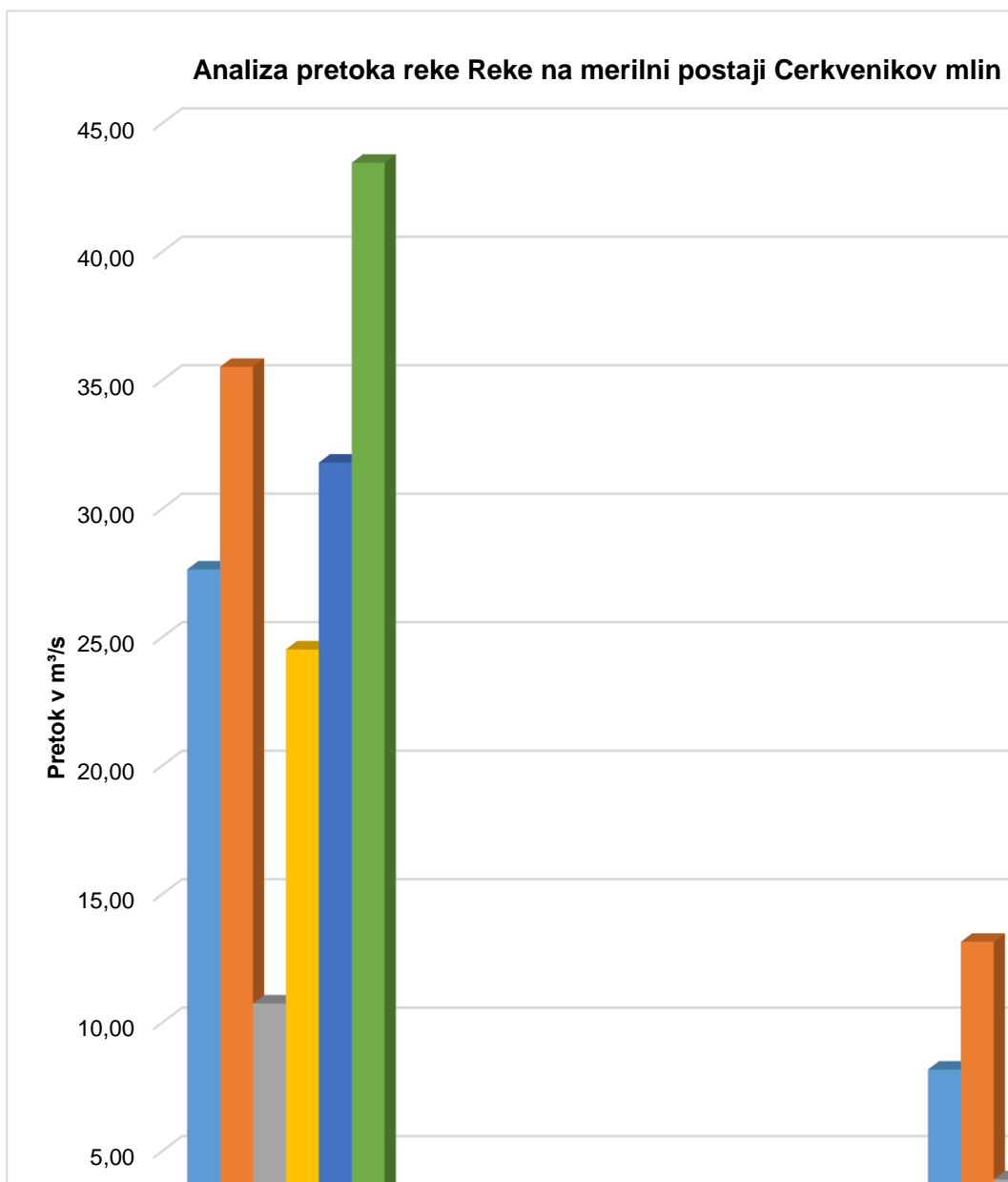


Slika 17: Povprečen pretok reke po mesecih za obdobje 2009–2014
(Lastni vir)

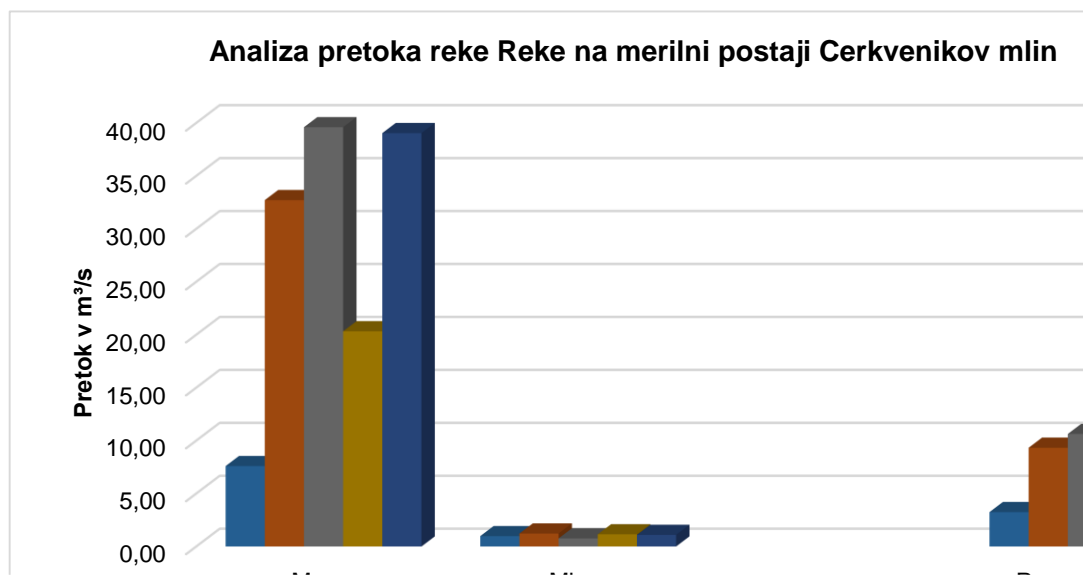


Slika 18: Povprečen pretok reke po mesecih za obdobje 2015–2019
(Lastni vir)

Na sliki 19 je prikazana analiza pretoka po letih, in sicer za maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti. Zaradi boljše preglednosti smo sliko razdelili na dva dela.



Slika 19: Analiza pretoka po letih za obdobje 2009–2014
(Lastni vir)



Slika 20: Analiza pretoka po letih za obdobje 2015–2019
(Lastni vir)

5.3 PROIZVODNJA MALE HIDROELEKTRARNE ŽAGAR

MHE Žagar je začela obratovati leta 2009 oziroma ob koncu leta 2008, zato smo uporabili podatke od januarja 2009 do decembra 2019.

Podatke smo pridobili pri podjetju Elektro Primorska, d. d., ki izvaja merjenje proizvodnje električne energije.

Podatki malo odstopajo ali pa jih za določene mesece sploh ni, ker je MHE na taki lokaciji, kjer primanjkuje GSM-signala, zato je ni mogoče vzpostaviti komunikacije s števcem električne energije.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Januar	34471,0	67584,0	69648,0	30429,0	55395,0	73747,0
Februar	34461,0	49278,0	32254,0	10122,0	65725,0	63340,0
Marec	28443,0	57198,0	53936,0	5444,0	79538,0	67362,0
April	20337,0	47192,0	31218,0	29940,0	73048,0	40734,0
Maj	26914,0	61268,0	15230,0	33271,0	71283,0	31320,0
Junij	16644,0	42730,0	25879,0	7234,0	38612,0	9523,0
Julij	21872,0	15973,0	5471,0	*	3743,0	37549,0
Avgust	14681,0	6550,0	376,0	*	53,0	46950,0
September	12702,0	32527,0	1602,0	9422,0	9874,0	59440,0
Oktober	2819,0	64439,0	17473,0	37860,0	42625,0	39279,0
November	33480,0	73647,0	16855,0	65411,0	64163,0	57480,0
December	53794,0	75378,0	33729,0	80064,0	34269,0	58972,0
Skupaj	300618,0	593764,0	303671,0	309197,0	538328,0	585696,0
Max	53794,0	75378,0	69648,0	80064,0	79538,0	73747,0
Min	2819,0	6550,0	376,0	5444,0	53,0	9523,0
Povprečno	25051,5	49480,3	25305,9	30919,7	44860,7	48808,0

* Za to obdobje ni podatka.

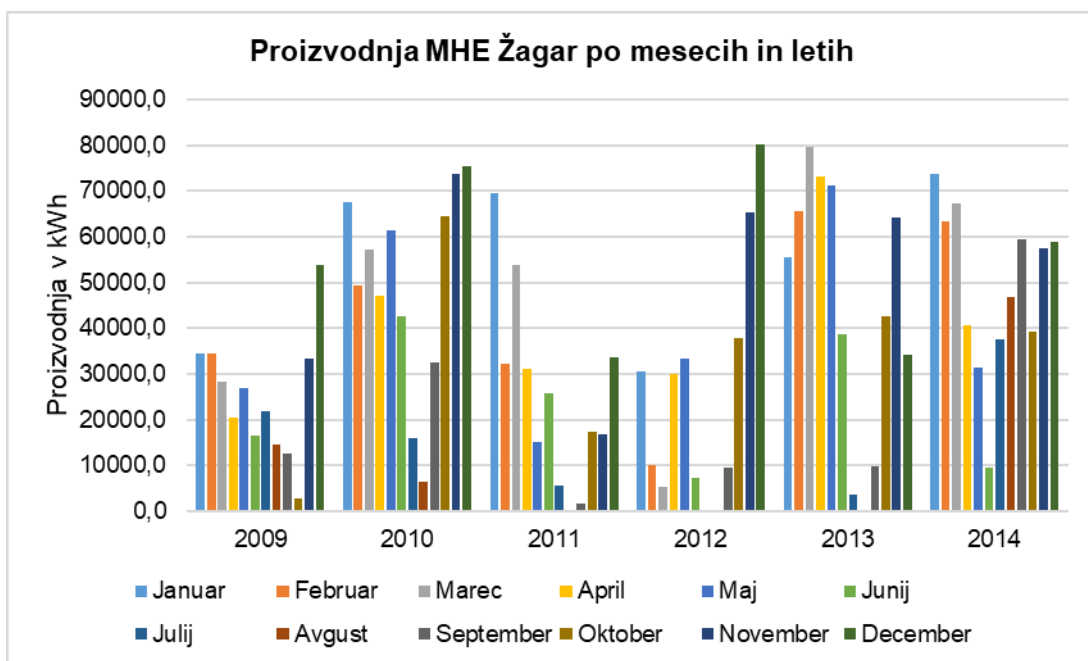
Tabela 3: Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2009–2014
(Vir: Elektro Primorska d.d., 2020)

	2015	2016	2017	2018	2019	Povprečje 2009– 2019
Januar	48574,0	44023,0	14259,0	69468,0	27582,0	48652,7
Februar	50663,0	62107,0	64643,0	57329,0	57403,0	49756,8
Marec	37398,0	62581,0	49521,0	71451,0	15369,0	48021,9
April	39136,0	23910,0	24999,0	66065,0	37273,0	39441,1
Maj	22684,0	48013,0	48167,0	27440,0	68058,0	41240,7
Junij	17163,0	55379,0	3206,0	23203,0	37148,0	25156,5
Julij	1526,0	8208,0	*	19251,0	3623,0	13024,0
Avgust	5860,0	1099,0	545,0	3048,0	6034,0	8519,6
September	1618,0	2621,0	49768,0	23753,0	5759,0	19007,8
Oktober	36966,0	29230,0	29647,0	22594,0	5608,0	29867,3
November	8877,0	65591,0	51451,0	71103,0	54490,0	51140,7
December	100,0	32691,0	63990,0	*	74508,0	50749,5
Skupaj	270565,0	435453,0	400196,0	454705,0	392855,0	424578,6
Max	50663,0	65591,0	64643,0	71451,0	74508,0	51140,7
Min	100,0	1099,0	545,0	3048,0	3623,0	8519,6
Povprečno	22547,1	36287,8	36381,5	41336,8	32737,9	35381,6

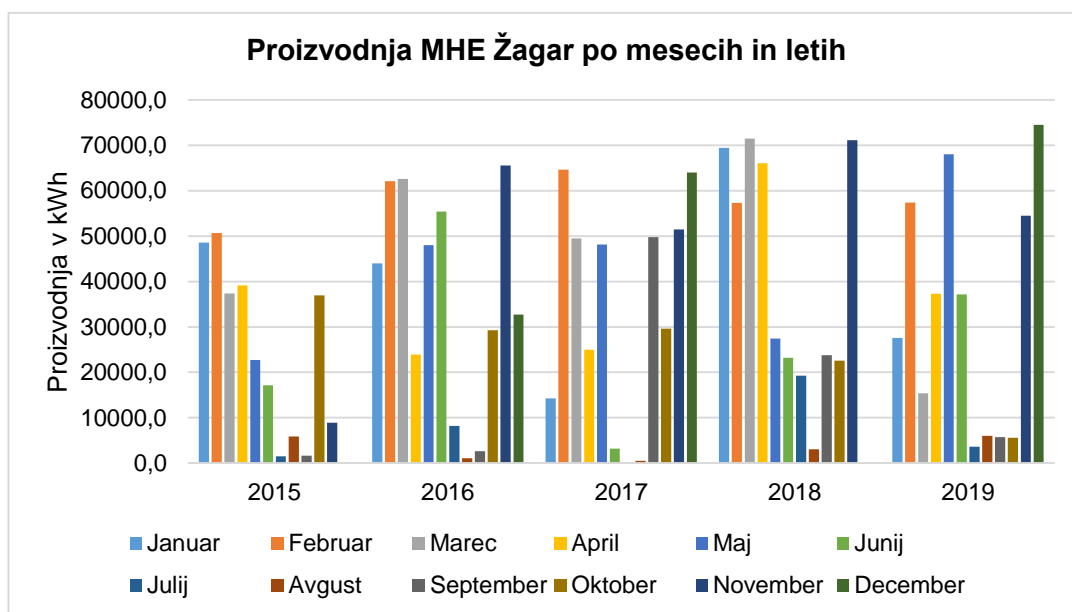
*Za to obdobje ni podatka.

*Tabela 4: Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2015–2019
(Vir: Elektro Primorska d.d., 2020)*

Za lažjo predstavo smo izdelali tudi sliko proizvodnje MHE Žagar po mesecih in letih za obdobje od leta 2009 do 2019 in jo razdelili na dva dela.

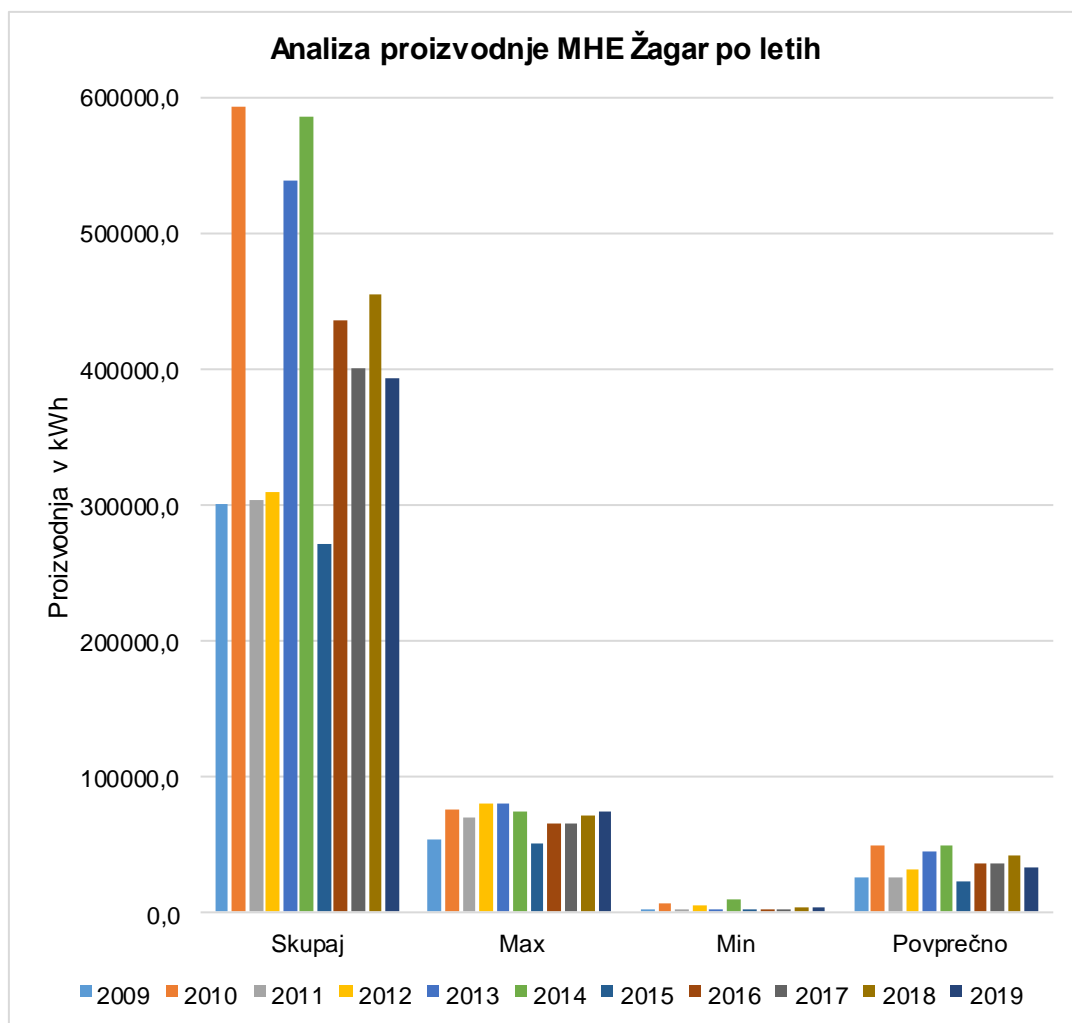


Slika 21: Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2009–2014
(Lastni vir)



Slika 22: Proizvodnja MHE Žagar za obdobje 2015–2019
(Lastni vir)

Na sliki 23 smo prikazali skupno proizvodnjo za vsako leto posebej, maksimalne in minimalne mesečne vrednosti po letih ter povprečje za vsako leto. Vidimo, da proizvodnja po letih zelo niha.



Slika 23: Skupna proizvodnja za vsako leto posebej, maksimalne, minimalne in povprečne vrednosti (Lastni vir)

V spodnji tabeli smo primerjali vsak mesec v letu s povprečno vrednostjo vsakega meseca iz prejšnje tabele. Vrednosti so v odstotkih.

	Leto 2009 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2010 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2011 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2012 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2013 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2014 (povpreč je 2009– 2019) (v 100 %)
Mesec						
Januar	71	139	143	63	114	152
Februar	69	99	65	20	132	127
Marec	59	119	112	11	166	140
April	52	120	79	76	185	103
Maj	65	149	37	81	173	76
Junij	66	170	103	29	153	38
Julij	168	123	42	*	29	288
Avgust	172	77	4	*	1	551
September	67	171	8	50	52	313
Oktober	9	216	59	127	143	132
November	65	144	33	128	125	112
December	106	149	66	158	68	116
Skupaj na leto	81	140	63	74	112	179

* Za ta mesec ni podatka.

*Tabela 5: Primerjava proizvodnje po mesecih s povprečnimi vrednostmi iz celotnega obdobja 2009–2019 (v %) (2009–2014)
(Lastni vir)*

	Leto 2015 (povprečje 2009– 2019) (v 100 %)	Leto 2016 (povprečje 2009–2019) (v 100 %)	Leto 2017 (povprečje 2009–2019) (v 100 %)	Leto 2018 (povprečje 2009–2019) (v 100 %)	Leto 2019 (povprečje 2009–2019) (v 100 %)
Mesec					
Januar	100	90	29	143	57
Februar	102	125	130	115	115
Marec	78	130	103	149	32
April	99	61	63	168	95
Maj	55	116	117	67	165
Junij	68	220	13	92	148
Julij	12	63	*	148	28
Avgust	69	13	6	36	71
September	9	14	262	125	30
Oktober	124	98	99	76	19
November	17	128	101	139	107
December	0	64	126	*	147
Skupaj na leto	61	94	95	114	84

* Za ta mesec ni podatka.

Tabela 6: Primerjava proizvodnje po mesecih s povprečnimi vrednostmi iz celotnega obdobja 2009–2019 (v %) (2015–2019)
(Lastni vir)

Kot lahko vidimo, sta bili leti 2010 in 2014 najboljši, kar se tiče proizvodnje, leti 2011 in 2015 pa najslabši.

5.4 PRIMERJAVA DEJANSKE PROIZVODNJE MALE HIDROELEKTRARNE IN PRETOKA REKE

Za boljšo analizo proizvodnje smo primerjali dejansko proizvodnjo električne energije iz MHE Žagar z vrednostmi izmerjenega pretoka reke Reke na merilni postaji Cerkenikov mlin. Ugotovili smo, da se pretok reke in njegove povprečne vrednosti po mesecih (z manjšimi odstopanji) ujema s proizvodnjo MHE Žagar.

Na spodnji tabeli so prikazane povprečne vrednosti proizvodnje po mesecih v kWh in povprečni pretok reke na merilni postaji Cerkenikov mlin v m³/s.

	Povprečje proizvodnje med letoma 2009–2019 (v kWh)	Povprečje pretoka med letoma 2009–2019 (v m³/s)
Januar	48652,73	11,52
Februar	49756,82	18,01
Marec	48021,91	11,08
April	39441,09	6,21
Maj	41240,73	6,26
Junij	25156,45	3,74
Julij	13024,00	1,57
Avgust	8519,60	1,4
September	19007,82	5,4
Oktober	29867,27	5,29
November	51140,73	18,68
December	50749,50	17,38

*Tabela 7: Primerjava proizvodnje in pretoka
(Lastni vir)*

6 VREDNOTENJE NALOŽBE

6.1 STROŠEK IZGRADNJE MALE HIDROELEKTRARNE ŽAGAR

Največji strošek za izgradnjo MHE Žagar je predstavljal gradbeni in elektro-strojni del. Ob izgradnji je bilo treba obnoviti jez in strugo reke do hidroelektrarne, poglobiti odtočni kanal, zgraditi dve zapornici in vgraditi sesalno cev.

Predračunski stroški investicije	Znesek v EUR
A. Ureditev MHE na kmetiji Žagar	99.254
Gradbena dela: rušitvena, zemeljska, betonska in armirano betonska dela, zidarska in tesarska dela.	86.142
Obrtniška dela: krovška, kleparska, slikopleskarska, ključavničarska in nepredvidena dela.	13.112
B. Žagarjev jez Pripravljalna dela, sanacija jez, izdelava zapornic, izdelava železnih grabelj.	69.156
C. Elektro-strojna oprema Turbina, multiplikator, turbinska regulacija, pomožna oprema, električna oprema, generator, krmilna enota, kompenzacijska enota, enosmerni razvod.	125.000
Stroški investicije (A+B+C)	293.410

Tabela 8: Stroški izgradnje MHE
(Vir: Dekleva, 2020)

6.2 PRIHODKI

V finančnem izračunu smo upoštevali, da je življenjska doba elektrarne vsaj 30 let. Za prihodke smo uporabili odkupno ceno, ki je bila takrat aktualna na tržišču, in sicer 0,06572 €/kWh (PIS, 2020).

Od leta 2020 naprej smo za proizvodnjo vzeli kar povprečno vrednost vse proizvodnje do sedaj.

Leto	Proizvodnja (kWh)	Odkupna cena (EUR/kWh)	Prihodki (v EUR)
2009	300.618,00	0,0657	19.756,61
2010	593.764,00	0,0657	39.022,17
2011	303.671,00	0,0657	19.957,26
2012	309.197,00	0,0657	20.320,43
2013	538.328,00	0,0657	35.378,92
2014	585.696,00	0,0657	38.491,94
2015	270.565,00	0,0657	17.781,53
2016	435.453,00	0,0657	28.617,97
2017	400.196,00	0,0657	26.300,88
2018	454.705,00	0,0657	29.883,21
2019	392.855,00	0,0657	25.818,43
2020	416.822,55	0,0657	27.393,58
2021	416.822,55	0,0657	27.393,58
2022	416.822,55	0,0657	27.393,58
2023	416.822,55	0,0657	27.393,58
2024	416.822,55	0,0657	27.393,58
2025	416.822,55	0,0657	27.393,58
2026	416.822,55	0,0657	27.393,58
2027	416.822,55	0,0657	27.393,58
2028	416.822,55	0,0657	27.393,58
2029	416.822,55	0,0657	27.393,58
2030	416.822,55	0,0657	27.393,58
2031	416.822,55	0,0657	27.393,58
2032	416.822,55	0,0657	27.393,58
2033	416.822,55	0,0657	27.393,58
2034	416.822,55	0,0657	27.393,58
2035	416.822,55	0,0657	27.393,58
2036	416.822,55	0,0657	27.393,58
2037	416.822,55	0,0657	27.393,58
2038	416.822,55	0,0657	27.393,58
Skupaj	12.504.676,45		821.807,34

Tabela 9: Finančni izračun MHE Žagar
(Lastni vir)

7 OCENA UČINKOV NALOŽBE

Na podlagi vrednotenja naložbe in vseh pridobljenih podatkov s strani investitorja (lastnika) MHE Žagar smo poskušali oceniti učinkovitost naložbe in smotrnost investicije. Pridobljene podatke smo tako primerjali z lastnim izračunom prihodkov in stroškov.

7.1 REALNI DENARNI TOK

V izračun realnega denarnega toka spadajo vsi prihodki in odhodki s stališča investitorja v življenjski dobi projekta. Skozi dobo projekta se nam pokaže doba vračanja naložbe, ki pomeni čas, ko vsota prilivov denarnega toka pokrije naložbena sredstva. Za življenjsko dobo projekta smo izbrali 30 let obratovanja elektrarne, ki je nekako realna življenjska doba vgrajene opreme v elektrarni.

V izračunu realnega denarnega toka smo upoštevali skupni prihodek od prodaje električne energije, stroške obratovanja (ki vključujejo zavarovanje objekta, dnevno obratovanje ter mesečni in letni pregled opreme) ter stroške koncesijskih dajatev za življenjsko dobo elektrarne. Seveda pa smo v tem izračunu upoštevali samo zneske, ki smo jih imeli na voljo. V izračunih tako nismo upoštevali morebitnih subvencij za izgradnjo elektrarne in morebitnih kreditov, ki bi bili potrebni za takšno investicijo, kot tudi raznih popravil in zamenjav materiala oziroma rezervnih delov.

V nadaljevanju je v tabeli in sliki prikazan realni denarni tok.

Leto	Skupaj	0	1	2	3	4	5	6
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
I SKUPNI DONOS	838547,81	0,00	19756,61	39022,17	19957,26	20320,43	35378,92	38491,94
Skupni prihodek od prodaje	838547,91	0,00	19756,61	39022,17	19957,26	20320,43	35378,92	38491,94
II SKUPNI ODHODKI	518410,00	293410,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00
Strošek obratovanja	195000,00		6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00
Koncesijske dajatve	30000,00		1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
III NETO SKUPNI DONOS	320137,81	-293410,00	12256,61	31522,17	12457,26	12820,43	27878,92	30991,94
IV. KOMULATIVNI SKUPNI DONOS		-293410,00	-281153,39	-249631,22	-237173,96	-224353,53	-196474,61	-165482,67

Tabela 10: Realni denarni tok do šestega leta obratovanja elektrarne
(Lastni vir)

Leto	7	8	9	10	11	12	13	14
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
I SKUPNI DONOS	17781,53	28617,97	26300,88	29883,21	25818,43	27393,58	27393,58	27393,58
Skupni prihodek od prodaje	17781,53	28617,97	26300,88	29883,21	25818,43	27393,58	27393,58	27393,58
II SKUPNI ODHODKI	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00
Strošek obratovanja	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00
Koncesijske dajatve	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
III NETO SKUPNI DONOS	10281,53	21117,97	18800,88	22383,21	18318,43	19893,58	19893,58	19893,58
IV. KOMULATIVNI SKUPNI DONOS	-155201,14	-134083,17	-115282,29	-92899,08	-74580,65	-54687,07	-34793,49	-14899,91

Tabela 11: Realni denarni tok od sedmega do 14. leta obratovanja elektrarne
(Lastni vir)

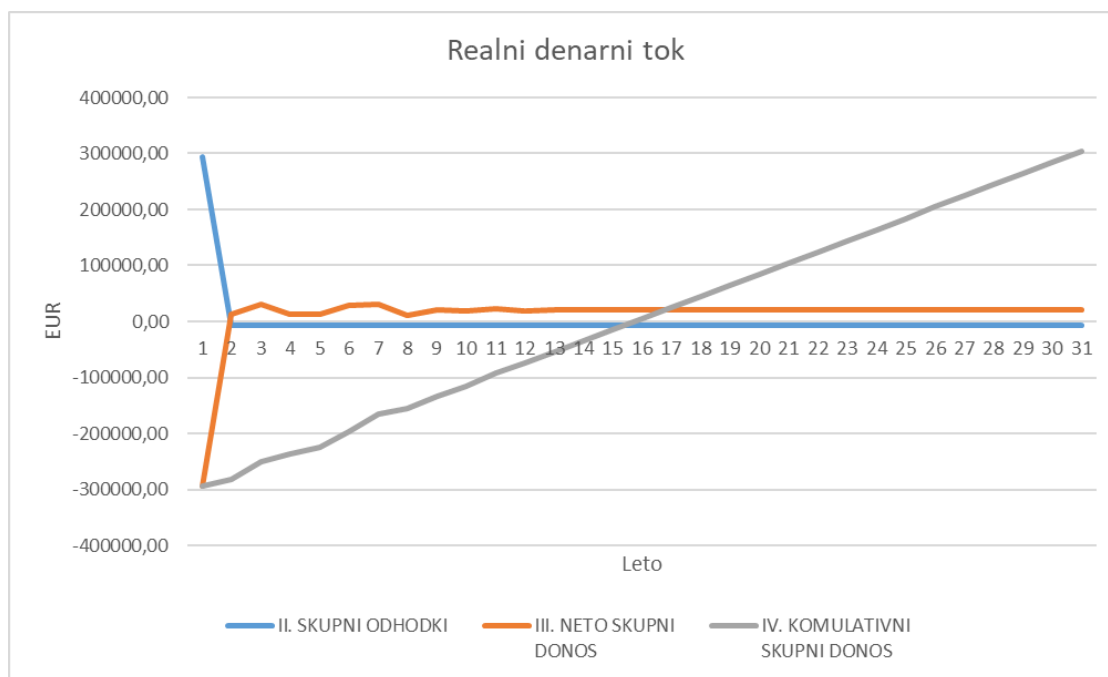
Leto	15	16	17	18	19	20	21	22
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
I SKUPNI DONOS	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58
Skupni prihodek od prodaje	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58	27393,58
II SKUPNI ODHODKI	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00
Strošek obratovanja	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00
Koncesijske dajatve	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
III NETO SKUPNI DONOS	19893,58	19893,58	19893,58	19893,58	19893,58	19893,58	19893,58	19893,58
IV. KOMULATIVNI SKUPNI DONOS	4993,67	33815,51	53709,09	73602,67	93496,25	113389,83	133283,41	153176,99

Tabela 12: Realni denarni tok od 15. do 22. leta obratovanja elektrarne
(Lastni vir)

Leto	23	24	25	26	27	28	29	30
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
I SKUPNI DONOS	15301,56	15301,56	15301,56	15301,56	15301,56	15301,56	15301,56	15301,56
Skupni prihodek od prodaje	27927,11	27927,11	27927,11	27927,11	27927,11	27927,11	27927,11	27927,11
II SKUPNI ODHODKI	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00	-7500,00
Strošek obratovanja	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00	6500,00
Koncesijske dajatve	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00	1000,00
III NETO SKUPNI DONOS	7801,56	7801,56	7801,56	7801,56	7801,56	7801,56	7801,56	7801,56
IV. KOMULATIVNI SKUPNI DONOS	160978,55	168780,11	176581,67	184383,23	192184,79	199986,35	207787,91	215589,47

Tabela 13: Realni denarni tok od 23. do 30. leta obratovanja elektrarne
(Lastni vir)

Zaradi boljše preglednosti smo dodali še sliko realnega denarnega toka.



Slika 24: Realni denarni tok
(Lastni vir)

Kot je iz izračunov in s slike razvidno, se investitorju naložba povrne po 15. letu obratovanja. Takrat komulativni skupni donos preide iz negativnega v pozitivni.

8 ZAKLJUČEK

V današnjem času je zelo pomembno ohranjanje čistega okolja, še posebno zaradi globalnega segrevanja ozračja, ki je posledica uporabe fosilnih goriv za zagotavljanje energetskih potreb. Za proizvodnjo električne energije v Sloveniji so fosilna goriva še vedno v ospredju, saj iz njih pridobimo približno tretjino celotne električne energije. Zato je pomembno, da se začnemo osredotočati na proizvodnjo električne energije iz drugih, okolju bolj prijaznih virov in s tem posledično zmanjšati emisije CO₂ v ozračje in obvarovati okolje.

Za proizvodnjo električne energije iz drugih okolju bolj prijaznih virov moramo več poudarka nameniti obnovljivim virom energije. Eden takih je tudi vodna energija, ki je opisana v diplomskem delu.

Slovenija je zelo močna na področju hidroenergije in proizvajalka kakovostne opreme za velike in MHE. Ker se je že v preteklosti pri nas izkoriščalo vodo, predvsem za pogon mlinov in žag, so se na podlagi tega razvijale izkušnje in predvsem znanje za načrtovanje in gradnjo hidroelektrarn ter vse pripadajoče

opreme. Na podlagi tega lahko rečemo, da bi z izkoriščanjem le-tega večji del oziroma skoraj celotno investicijo izpeljali z domačim znanjem.

Kot povsod se tudi pri gradnji MHE pojavi vprašanje glede vplivov na okolje. Negativni vplivi se pojavijo predvsem ob gradnji objektov, vendar se s pravilnim načrtovanjem in doslednim delom ter z zagotavljanjem ekološko sprejemljivega pretoka in ribjimi stezami za pretok vodnih organizmov lahko te negativne vplive zelo zmanjša.

Velik problem pri gradnji predstavljajo tudi ekonomski vidiki, ker je gradnja takih elektrarn kar velik zalogaj v finančnem smislu. Kot smo prikazali že v diplomskem delu, je treba vedeti, da se MHE gradi na dolgi rok in ni pričakovati takojšnjih finančnih rezultatov.

Še večji problem je predvsem v nerazumni okoljski zaščiti, ki preprečuje podeljevanje koncesij, in v dolgotrajnih postopkih za pridobitev dovoljenj, ki lahko trajajo več let. Povprečni čas od prve vloge za pridobitev vodnega dovoljenja za rabo vode v MHE do pravnomočnega gradbenega dovoljenja v Republiki Sloveniji še vedno traja približno pet do deset let. »Glavna težava je napačno zasnovana procedura za pridobivanje mnenj, potrebnih pred izdajo vodnega dovoljenja. Postopek je večstopenjski: Zavod za varstvo narave, Zavod za ribištvo Slovenije in Direkcija za vode RS najprej podajo mnenje pred izdajo vodnega dovoljenja. Pozitivna mnenja vseh treh so predpogoj za izdajo vodnega dovoljenja. Iste institucije nato v fazi pridobitve gradbenega dovoljenja podajo projektne pogoje in nato še soglasje za pridobitev gradbenega dovoljenja. Izdaja vodnega dovoljenja pogosto ni usklajena s prostorskimi načrti interesa občine, tako da se pogosto izkaže, da gradnja MHE pod pogoji, ki jih predpiše vodno dovoljenje, sploh ni možna. V takih primerih se postopek zaključi, začne se lahko nov postopek z novo vlogo in novo pridobitvijo vseh potrebnih dokumentov. Zaradi nepotrebnih vračanj na začetek se tako postopek vleče povprečno od 5 do 10 let.« (Čadež, 2016, str. 443)

Zato lahko le upamo, da se bo v prihodnosti z državno pomočjo (predvsem pri urejanju zakonodaje) in finančno podporo začelo graditi MHE za potrebe proizvodnje električne energije predvsem tam, kjer vodni potencial še ni izkoriščen. Smotrno bi bilo tudi, da se omogoči obnovo stavb in namestitev MHE tam, kjer so nekoč že obratovali mlinci in žage, saj bi s tem ohranjali kulturno dediščino.

9 LITERATURA IN VIRI

ARSO. (b. l.). *Arhiv površinskih voda*. Pridobljeno 5. 6. 2020 z naslova http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Reka&p_postaja=9050.

Čadež, J. (2016). *Okolju prijazne nizkopadne MHE in slovenska zakonodaja*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova http://www.bc-naklo.si/fileadmin/konferenca/VIVUS_2016/Naravovarstvo/51_Cadez_S.pdf.

Dekleva, I. (2020). Posredovani podatki: *Izgradnja MHE Žagar*.

ECE. (b. l.). *Vrste elektrarn in SPT (kogeneracija)*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://www.ece.si/za-podjetja/dodatna-ponudba/ustvarjanje-energije/vrste-elektrarn-in-spte-kogeneracija/>.

Elektro Primorska d.d. (2020). Interno gradivo: *DE Sežana, GIS, Sežana*. Sežana: Elektro Primorska d.d.

E-svet. (b. l.a). *Kako je sestavljena hidroelektrarna?* Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://www.esvet.si/vodna-energija/kako-deluje-hidroelektrarna#kako-je-sestavljena-hidroelektrarna>.

E-svet. (b. l.b). *Vodna energija*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://www.esvet.si/vodna-energija>.

Finance. (2010). *Kako do male hidroelektrarne?* Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://gradbenistvo.finance.si/283930/Kako-do-male-hidroelektrarne?cctest&>.

Glavič, M. (2011). *Male hidroelektrarne*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://gradbenistvo.finance.si/321897/Male-hidroelektrarne>.

Hočevar, M. in Dular, M. (2015). *Uvod v hidroenergetske sisteme*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Hydro hit. (b. l.). *HE Žagar*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova http://hydro-hit.si/projekti/novogradnje/7/he_zagar/.

IV. osnovna šola Celje. (b. l.). *Temperaturna in padavinska karta Slovenije*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <http://www.o-4os.ce.edus.si/gradiva/geo/podnebje/temp.html>.

Jaiko Japan. (b. I.). *Water turbine parts*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova http://www.onlymadeinjapan.in/japan_product/water-turbine-parts/.

Medved, S. in Arkar, C. (2009). *Energija in okolje: obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta in projekt Concerto remining-Lowex.

Medved, S. in Novak, P. (2000). *Varstvo okolja in obnovljivi viri energije*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

NKT. (2018). *Priročnik univerzalnih kablov*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova <https://mr-ei.si/wp-content/uploads/2019/03/PRIROCNIK-UNI-KABLOV.pdf>.

Novak, P. in Medved, S. (2000). *Energija in okolje: izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja*. Ljubljana: Svet za varstvo okolja Republike Slovenije.

OŠ Poljane nad Škofjo Loko. (b. I.). *Hidroelektrarna*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <http://www.fizika-poljane.splet.arnes.si/za-pouk/gradiva/hidroelektrarne/>.

PIS. (b. I.). *Sklep o cenah in premijah za odkup električne energije od kvalificiranih proizvajalcev električne energije*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=SKLE7604>.

Wikipedija. (b. I.a). *Hidroelektrarna*. Pridobljeno 9. 8. 2020 z naslova <https://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna9>.

Wikipedija. (b. I.b). *Kaplanova turbina*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Kaplanova_turbina.

Wikipedija. (b. I.c). *Reka (reka)*. Pridobljeno 25. 10. 2020 z naslova [https://sl.wikipedia.org/wiki/Reka_\(reka\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Reka_(reka)).

Wikipedija. (b. I.č). *Hidroelektrarna*. Pridobljeno 15. 10. 2020 z naslova <https://sl.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrarna>.