

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bedek, N., 2014. Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A., somentor Rusjan, S.): 33 str.

Datum arhiviranja: 01-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bedek, N., 2014. Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A., co-supervisor Rusjan, S.): 33 pp.

Archiving Date: 01-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**UNIVERZITETNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM  
PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 152/B-GR

Graduation thesis No.: 152/B-GR

**Mentor:**

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**

Ljubljana, 23. 09. 2014

## ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Nejc Bedek izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 18.9.2014

Nejc Bedek

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>627.8(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Nejc Bedek</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Andrej Kryžanowski</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Simon Rusjan</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>33 str., 8 pregl., 15 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>mala hidroelektrarna, energetski potencial, instalirani pretok, ekonomska upravičenost</b>

### **Izvleček**

Izkoriščanje obnovljivih virov energije, je ključnega pomena, zaradi vse večjih potreb po električni energiji. Kljub majhni količini proizvedene električne energije v malih hidroelektrarnah imajo takšne investicije veliko drugih prednosti. Pred začetkom opravil za izgradnjo elektrarne je natančna analiza, na osnovi kakovostnih vhodnih podatkov, mesta na katerem želimo izkoriščati vodni potencial, ključnega pomena. V oceni hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc, smo določili smiselnost revitalizacije starega objekta, v katerem so včasih vodni potencial že izkoriščali. Izhajali smo iz meritev pretokov na vodomerni postaji Trnovo, ki smo jih analizirali in smiselno ovrednotili. Topografske podatke terena smo pridobili z geodetskimi posnetki lokacije. Cilj takšne ocene je predvsem dobiti količino letne proizvedene električne energije in ekonomska upravičenost investicije. Za smiselno ovrednotenje vhodnih podatkov, smo izračune moči in električne energije primerjali z izračuni podjetja Siapro, ki smo jih dobili od lastnika objekta, g. Barbiša. Primerjava je bila izvedena za dvakrat regulirano Kaplanovo turbino, ki se glede na okoliščine, ni izkazala za optimalno izbiro. Ekonomsko upravičenost smo dokazovali z analizo finančnega toka, in sicer z rezultati neto sedanje vrednosti (NSV) za zakonsko predpisano diskontno stopnjo (DS) in interno stopnjo donosnosti (IDS). Pridobljeni rezultati so dobra podlaga za izdelavo idejnega projekta oziroma za nadaljnje projektne aktivnosti, v kolikor bi se lastnik objekta odločil za izdelavo male hidroelektrarne.

**BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>627.8(497.4)(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Nejc Bedek</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Andrej Kryžanowski, Ph. D.</b>
<b>Co-supervisor:</b>	<b>Simon Rusjan, Ph. D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Assessment of hydroenergetic potential on river Reka in Topolc.</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation thesis – University studies</b>
<b>Notes:</b>	<b>33 p., 8 tab., 15 fig.</b>
<b>Key words:</b>	<b>small hydropower plant, energy potential, rated flow, economic viability,</b>

**Abstract**

Due to increasing demand for electricity, the exploit of renewable energy resources has become essential. Despite the small amount of electricity produced by small hydropower plants, have such investments many other advantages. Before starting a project of small hydro power plant, it is vital to analyze quality input data of selected location for using water potential. In assessment of hydroenergetic potential of the Reka river in Topolc, the point of old object revitalization has been determined, in which water potential has already been exploited. We start with analysis and evaluation of daily flow measurements from gauging station in Trnovo. Topographical terrain data were collected with the geodetic location recordings. The aim of such an assessment is primarily to get the annual amount of electricity produced and the viability of investment. Calculations of produced power and electricity were compared with calculations from company Siapro, which were obtained from the owner of the object Mr. Barbiš. The comparison was made for double regulated Kaplan turbine, which, given the circumstances, is not proven to be optimal choice. Economic viability has been proven by analyzing cash flow, with the results of net present value (NPV) for a statutory discount rate (DS) and internal rate of return (IRR). The obtained results are a good basis for developing a conceptual design, or for further project activities, if the owner will decide to build small hydropower plant.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskem za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem somentorju doc. dr. Simonu Rusjanu in lastniku objekta g. Adotu Barbišu, ki sta mi pomagala s koristnimi nasveti.

Posebna zahvala gre moji družini, ki me je ves čas študija podpirala in potrpežljivo stala ob strani.

Hvala tudi vsem ostalim, ki so mi na kakršen koli način pomagali tekom študija.

**KAZALO**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Namen in cilj diplomske naloge .....	1
1.2	Zgodovina.....	2
<b>2</b>	<b>IZHODIŠČA .....</b>	<b>3</b>
2.1	Reka Reka.....	3
2.2	Topografski podatki.....	3
2.2.1	Prečni profili .....	4
2.3	Hidrološki podatki .....	5
2.3.1	Podatkovni niz 1952-1966.....	5
2.3.2	Podatkovni niz 1985-1999.....	6
2.3.3	Podatkovni niz 2000-2012.....	7
2.3.4	Letni pretok .....	8
2.3.5	Ovrednotenje podatkov.....	9
<b>3</b>	<b>IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA .....</b>	<b>10</b>
3.1	Račun pretočnih krivulj .....	10
3.2	Izračun energetskega potenciala.....	11
3.2.1	Ekološko razpoložljiv pretok Qes.....	12
3.2.2	Razpoložljiva moč .....	14
3.2.3	Razpoložljiv potencial .....	16
<b>4</b>	<b>DOLOČITEV OBRATOVALNIH KARAKTERISTIK HIDROELEKTRARNE .....</b>	<b>18</b>
4.1	Opis in definicija male hidroelektrarne .....	18
4.2	Izhodišča za primerjavo.....	19
4.3	Kaplanova turbina .....	20
4.4	Primerjava moči.....	21
4.5	Primerjava proizvedene električne energije.....	23
4.6	Ekonomska upravičenost.....	25
4.6.1	Stroški investicije .....	25
4.6.2	Denarni tok .....	27
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>29</b>
<b>VIRI .....</b>	<b>31</b>	



## KAZALO SLIK

Slika 1: Umestitev objekta v prostor [1] .....	1
Slika 2: Obravnavan objekt (lasten vir).....	2
Slika 3: Tloris obravnavane lokacije na podlagi geodetskih meritev.....	4
Slika 4: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1952 do leta 1966.....	6
Slika 5: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1985 do leta 1999.....	7
Slika 6: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 2000 do leta 2012.....	8
Slika 7: Spreminjanje povprečnih mesečnih pretokov skozi leto v vseh treh obdobjih.....	9
Slika 8: Pretočna krivulja z enačbama trendnih črt obeh profilov .....	11
Slika 9: Proizvodnja električne energije glede na razpoložljiv pretok.....	15
Slika 10: Dovodni kanali mlina v času delovanja [3] .....	19
Slika 11: Dovodni kanali mlina danes (lasten vir).....	19
Slika 12: Nekaterne komponente Kaplanove turbine [12] .....	21
Slika 13: Delež izkoriščanja instaliranega pretoka.....	22
Slika 14: Primerjava računske in povprečne dnevne proizvedene moči .....	23
Slika 15: Letna proizvodnja električne energije pri instaliranem pretoku $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	25

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Karakteristike profila 2 in profila 8 .....	5
Preglednica 2: Vrednost faktorja f za izračun Qes pri povratnem odvemu po uredbi o Qes 2009 [6] ..	13
Preglednica 3: Skupine ekoloških tipov razdeljenih po uredbi o Qes 2009 [6].....	13
Preglednica 4: Klasifikacija hidroelektrarn po velikosti proizvedene moči [10] .....	18
Preglednica 5: Primerjava izhodišč med izračunom in podatki iz projekta podjetja Siapro na podlagi $Q_{inst}=6,8m^3/s$ [11].....	20
Preglednica 6: Bruto padec, povprečna moč in letno proizvedena električna energija .....	23
Preglednica 7: Višina stroškov investicije podjetja Siapro in naših izračunov [11].....	26
Preglednica 8: Finančni tok investicije za dobo obratovanja 50 let z upoštevanjem $DS=7\%$ .....	27

## 1 UVOD

### 1.1 Namen in cilj diplomske naloge

Namen diplomske naloge je ocena energetskega potenciala za izgradnjo male hidroelektrarne (mHE) na reki Reki, v vasi Topolc pri Ilirski Bistrici, kjer so v preteklosti že izkoriščali vodni potencial. Na obravnavani lokaciji (na Sliki 1 je lokacija označena z rdečo piko) stoji objekt v katerem sta včasih delovali dve žagi in mlin. Za povečanje potenciala so zgradili široki prag in mlinščico. Mlinščica ima funkcijo odvajanja izkoriščene vode nazaj v glavno strugo.



Slika 1: Umestitev objekta v prostor [1]

V diplomski nalogi so na podlagi razpoložljivih hidroloških in topografskih podatkov, pridobljenih z geodetskimi posnetki, izračunane vse potrebne količine za relevantno oceno energetskega potenciala. Naše izračune smo primerjali z vrednostmi iz projekta za preliminarno oceno izgradnje male hidroelektrarne in jih ustrezno ovrednotil. Na podlagi stroškov investicije smo izdelali tudi finančno analizo, v primeru, da bi se za takšno investicijo odločili.

## 1.2 Zgodovina

Porečje reke Reke je v veliki meri poraščeno z gozdom, zato je bila osnovna gospodarska dejavnost v teh krajih predelovanje lesa z žagami. Žagarstvo in mlinarstvo, sta bili v teh krajih zelo razviti dejavnosti, ki sta izkoriščali vodni potencial. Prvič je ti dve dejavnosti omenjal že J. V. Valvasor leta 1689, ko je ob reki Reki in reki Bistrici naštel 45 mlinov in 16 žag. S pojavom industrializacije in povečanju potreb, je število mlinov in žag počasi upadalo. Tako je, na primer, leta 1976, v zborniku Lesna industrija na Pivškem, naštetih 31 objektov, v katerih so se ukvarjali z eno ali obema dejavnostma [2].

Z postavitvijo jezov in mlinščic so ljudje prvič posegli v vodni režim reke. V spodnjem toku reke Reke, so v času pomanjkanja vode mašili požiralnike, da bi podaljšali čas delovanja vodnih koles. Večji poseg v režim reke Reke je bila izgradnja akumulacij na potokih Molja (1973-1978) in Klivnik (1984-1987). Akumulaciji sta bili zgrajeni za zadrževanje poplavnih voda in bogatenje reke Reke v času nizkih pretokov [2].



Slika 2: Obravnavan objekt (lasten vir)

Obravnavani objekt (Slika 2) naj bi bil po pričevanjih zadnjega mlinarja in prejšnjega lastnika, Antona Barbiša, star več kot 300 let. V objektu sta delovala dva kamna za mletje bele in črne moke ter žaga venecijanka. Za obdelavo kubičnega metra lesa z žago, so potrebovali 16 ur dela. Poleg poslopja g. Barbiša, stoji kot podaljšek objekta še žaga Antona Možine, katere kapaciteta je bila 2-3 m<sup>3</sup> lesa dnevno. Žaga in mlin sta prenehala z delovanjem leta 1960. Razlog je predvsem v zagonu industrijskih obratov žaganja lesa in mletja žita. Tako so kmečki mlinci in žage prenehali z delovanjem in ostali prepuščeni zobu časa [3].

## 2 IZHODIŠČA

### 2.1 Reka Reka

Dolina Notranjske Reke je pokrajina v primorskem delu Notranjske. Leži v JV vznožju visoke pregrade dinarskih planot in je zato podvržena sredozemskim vplivom. Dolina Reke je v razmeroma nizki nadmorski legi od 350 do 500 m nad morjem, vendar jo z vseh strani obdajajo višje pokrajinske enote.

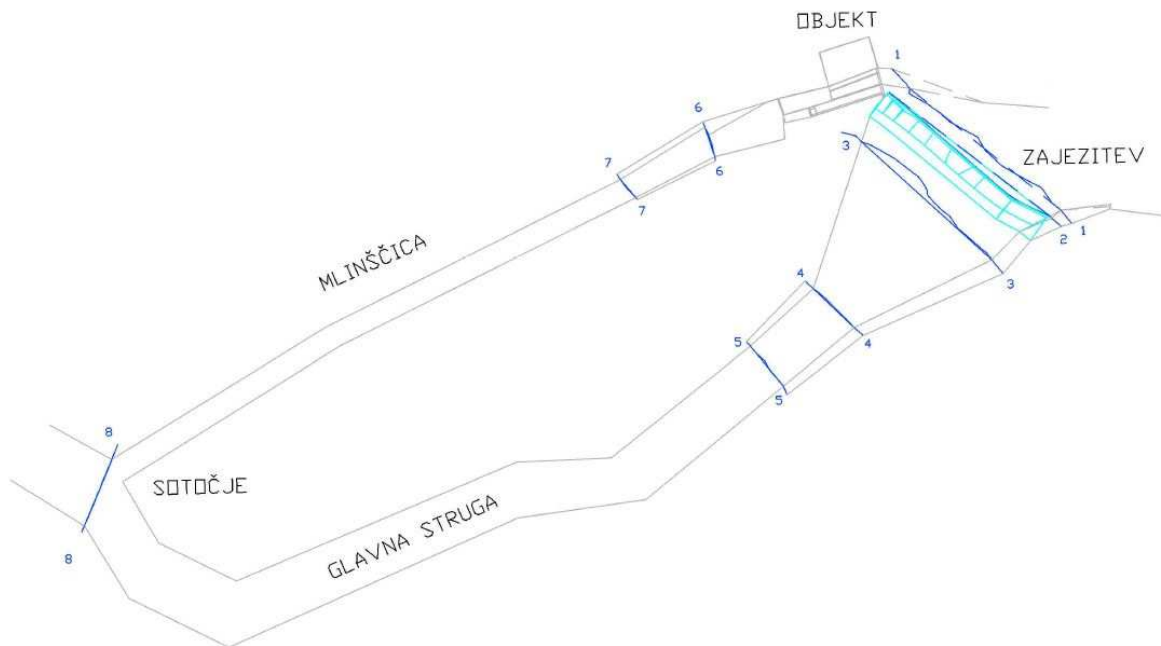
Celotno porečje Reke meri 442 km<sup>2</sup>, vendar je zaradi kraškega sveta razvodnico težko natančno določiti. Porečje sestavljajo celotni Brkini, Košanska dolina, velik del kraškega pogorja Snežnika in del kraškega obrobja Pivke, Prestranško-Slavinski ravniki oziroma Loža. Najvišja točka je vrh Snežnika z 1797 m n.v., najnižja točka nad morjem pa je ponor Reke v Škocjanskih jamah pri 320 m nad morjem.

Reka izvira na nadmorski višini 720m na neprepustnem flišu, kjer se več studencev in potočkov zbere v potok Reka. Potok preide v reko, ko ta zapusti tesne flišne grape nad vasjo Zabiče in začne teči po relativno široki dolini z ravnim dnom, ki poteka vzporedno z vznožjem Snežnika, na stiku med flišnimi in karbonatnimi kamninami. Z desne dobiva Reka številne pritoke. Največji pritoki reke Reke so Bistrica, Molja, Podstenjšek, Padež in Sušica. Dolina je tako rekoč v celoti izoblikovana v eocenskih flišnih kamninah, ki jih sestavljajo laporji, glinice, peščenjaki, breče in konglomerati. Flišni svet predstavlja 54% porečja. Spodnji del reške doline, ki se začne pri vasi Vremški Britof, je sestavljen iz karbonatnih kamnin, in sicer mezozojskega in eocenskega apnenca. Kraški del porečja pokriva 46% površine porečja, v katerega spada tudi Snežniško pogorje, ki je zakrasela planota, z vsemi značilnostmi globokega krasa. Notranjska Reka ponikne v Škocjanskih jamah in ponovno pride na površje v Devinu, 33km stran od ponora, kot reka Timav, ki se izliva v Jadransko morje [2][4].

### 2.2 Topografski podatki

Na voljo so bili geodetski podatki, pridobljeni z geodetskimi meritvami. Meritve so bile opravljene letos v mesecu marcu, z instrumentom Leica TCR803, ki deluje na podlagi merjenja horizontalnih in vertikalnih kotov. Instrument s triangulacijo izračuna in določi položaj izmerjenih točk. Triangulacija je metoda določevanja razdalje med točkami iz poznanih kotov med dvema referenčnima točkama in merjeno točko. Referenčni točki določimo z GPS instrumentom, ki ga priključimo na teodolit. Tako lahko merjene točke natančno postavimo v prostor.

Za študijo smo izmerili prečni profil struge reke Reke tik nad pregrado, profil na stiku mlinščice in glavne struge, dimenzije pregrade in obstoječega objekta ob pregradi. Podatke smo nato uvozili v AUTOCAD, ki omogoča izdelavo 3D modela lokacije. Na Sliki 3 je prikazan tloris posnete lokacije, kjer so s številkami od 1 do 8 označeni izmerjeni profili. S svetlo modro barvo je izrisana pregrada, označeni pa so še ostali elementi, ki so omenjeni v nalogi.



Slika 3: Tloris obravnavane lokacije na podlagi geodetskih meritev

### 2.2.1 Prečni profili

Za potrebe nadaljnjih preračunov sta ključna dva profila in sicer:

- Profil 2 - tik nad pragom in
- Profil 8 - na sotočju mlinščice in struge Reke.

Naravna struga Reke nima pravilne trapezne oblike, zato smo presek profila za potrebe računa priredili glede na izmerjene karakteristične točke.

V profilu 2 je merodajna višinska kota 394 m n.v., ki predstavlja vrh obstoječega praga. V profilu 8 pa je dno struge postavljeno v najnižjo točko profila, na 390,46 m. V spodnji tabeli so podane karakteristike obeh profilov, ki so uporabljene v izračunih.

b ... širina dna struge

n ... naklon levega brega struge

m ... naklon desnega brega struge

$n_g$  ... Manningov koeficient hrapavosti (naravna zaraščena struga v kateri se pojavljajo tolmoni)

$I_0$  ... vzdolžni naklon struge

n.v. dna ... višinska kota dna struge

*Preglednica 1: Karakteristike profila 2 in profila 8*

	b [m]	n [levi breg]	m [desni breg]	$n_g$	$I_0$ [‰]	n.v. dna [m]
<b>PROFIL 2</b>	41,49	2,744	1,823	0,048	2,9	394,0
<b>PROFIL 8</b>	13,15	1,420	1,520	0,048	2,9	391,17

## 2.3 Hidrološki podatki

Izhodiščni podatki za nalogo so dnevne meritve gladine reke Reke na vodomerni postaji Trnovo, v Ilirski Bistrici, ki jih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Merilno mesto je locirano 1,8 km gorvodno od obravnavane lokacije. Podatki so za oceno hidroenergetskega potenciala dovolj natančni, saj med točko meritve in točko analize ni nobenega večjega pritoka, ki bi znatno vplival na spremembo pretoka.

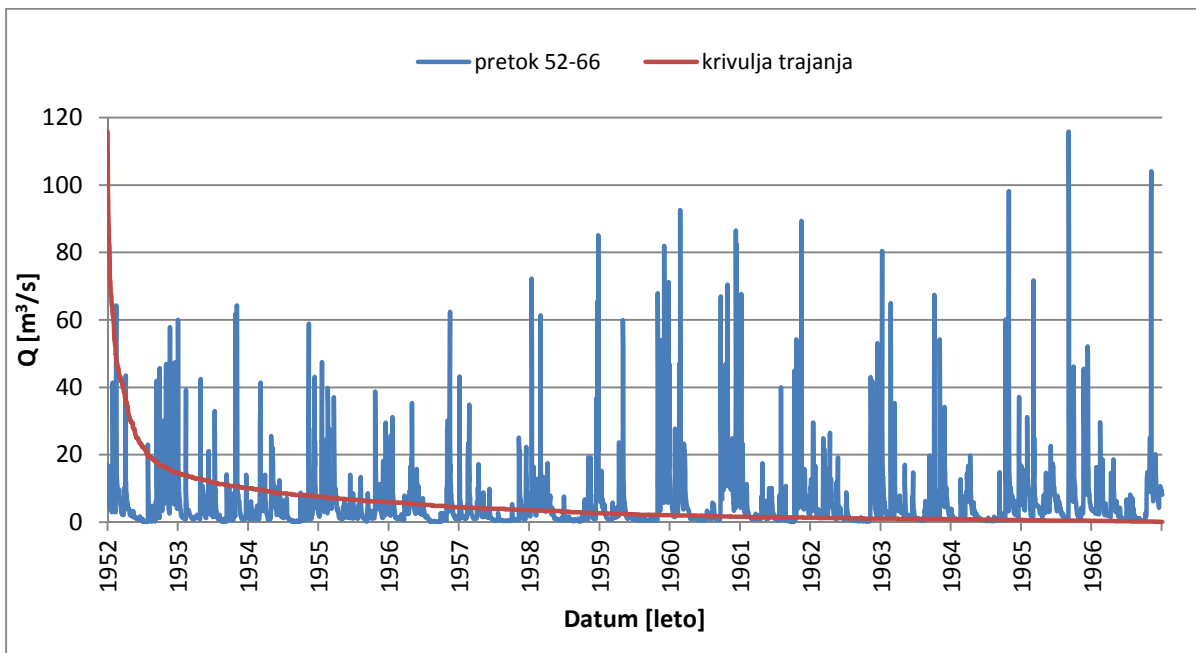
Analizirali smo meritve od leta 1952 do 2012 in jih zaradi lažje predstavitve, razdelili na tri dele. Prvo obdobje je pred izgradnjo akumulacij na porečju Reke, drugo obdobje obsega podatkovni niz do leta 2000 in zadnje obdobje do leta 2012. Od leta 1967 do vključno 1984 podatkov za to merilno postajo ni v hidroloških arhivih. Za vsak niz posebej smo izdelali hidrogram meritev in pripadajočo krivuljo trajanja. Za določitev karakterističnih pretokov posameznega obdobja, smo podatke statistično analizirali. Vse podane vrednosti prispevajo k hidrološkim karakteristikam vodotoka, na podlagi katerih je mogoča nadaljnja študija ocene energetskega potenciala.

### 2.3.1 Podatkovni niz 1952-1966

Za podatkovni niz je značilno pogosto pojavljanje visokih voda, v primerjavi z drugimi nizi (Slika 4). Največji razlog je, da so to merjenja, izvedena pred izgradnjo akumulacij Klivnik in Mola, ki služita zadrževanju poplavnega vala. Njihov izpust je lociran gorvodno od postaje Trnovo, zato so meritve na postaji Trnovo relevantne.

V obdobju od leta 1952 do leta 1966, je zabeleženih 5479 meritev dnevni pretokov, ki obsegajo pretoke od najmanjšega v konici  $Q_{nk}=0,12 \text{ m}^3/\text{s}$  (3. jul. - 5.jul. 1952, 22.jul. - 24.jul. 1952, 20.jul. - 22.jul. 1961, 27.sept. - 6.okt. 1961, 13.dec. - 31.dec. 1966) do največjega v konici  $Q_{vk}=115,8 \text{ m}^3/\text{s}$

(2.sept. 1965). Povprečni srednji dnevni pretok v omenjenemu obdobju znaša  $sQ_s=5,248 \text{ m}^3/\text{s}$  in ima koeficient variacije  $C_v=1,647$ . Največja verjetnost je, da se pojavi pretok  $Q=0,96 \text{ m}^3/\text{s}$ . V hidrologiji je za računanje povratnih dob pretokov najpogostejša uporaba Pearson III porazdelitvene funkcije. Za to obdobje znaša pretok, z 10 letno povratno dobo,  $v_{10Q}=102,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vrednost smo dobili iz povprečnih visokih pretokov tega obdobja.



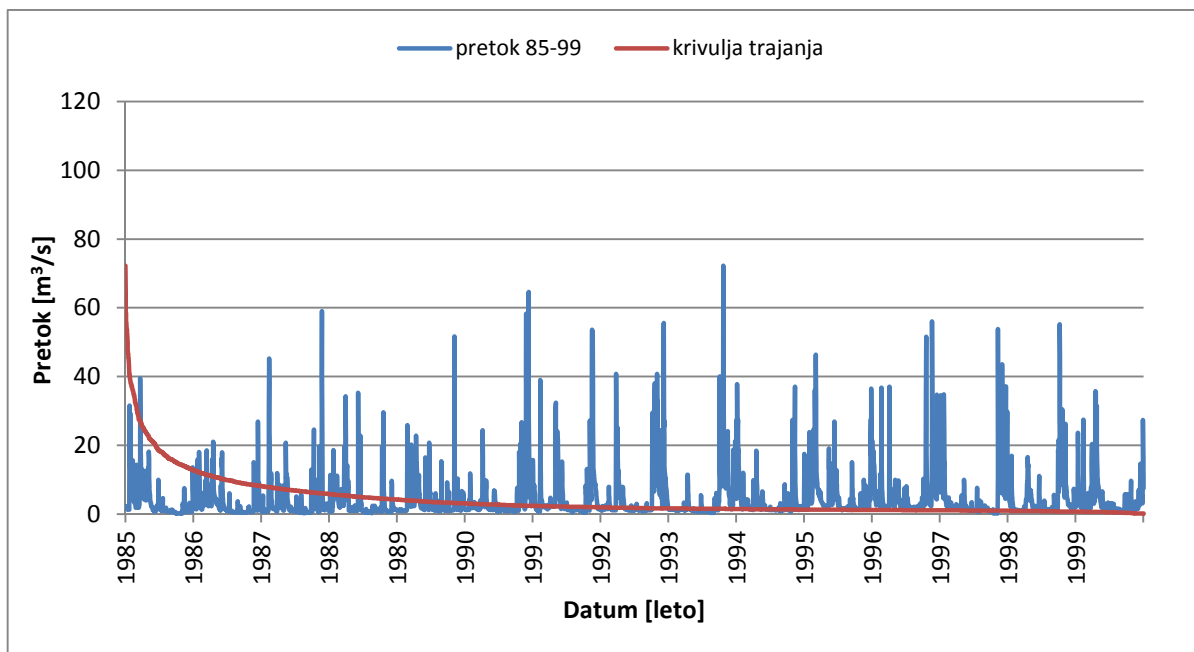
Slika 4: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1952 do leta 1966

### 2.3.2 Podatkovni niz 1985-1999

V meritvah tega obdobja je že mogoče zaznati vpliv izgradnje akumulacij, ki zadržujejo poplavni val, saj so maksimalne vrednosti pretokov mnogo nižje, kar posledično pomeni spremembo krivulje trajanja (Slika5).

V tem obdobju je bilo izmerjenih 5478 meritev dnevnih pretokov. Najmanjši konični pretok obdobja je  $Q_{nk}=0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (4.okt. 1985), največji v konici je  $Q_{vk}=72,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (22.okt. 1993). Povprečni srednji dnevni pretok je za to obdobje  $sQ_s=4,134 \text{ m}^3/\text{s}$  in ima koeficient variacije  $C_v=1,475$ . Pretok z vrednostjo  $Q=1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , ima največjo verjetnost pojava. Pretok z 10 letno povratno dobo, je v tem obdobju  $v_{10Q}=64,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .



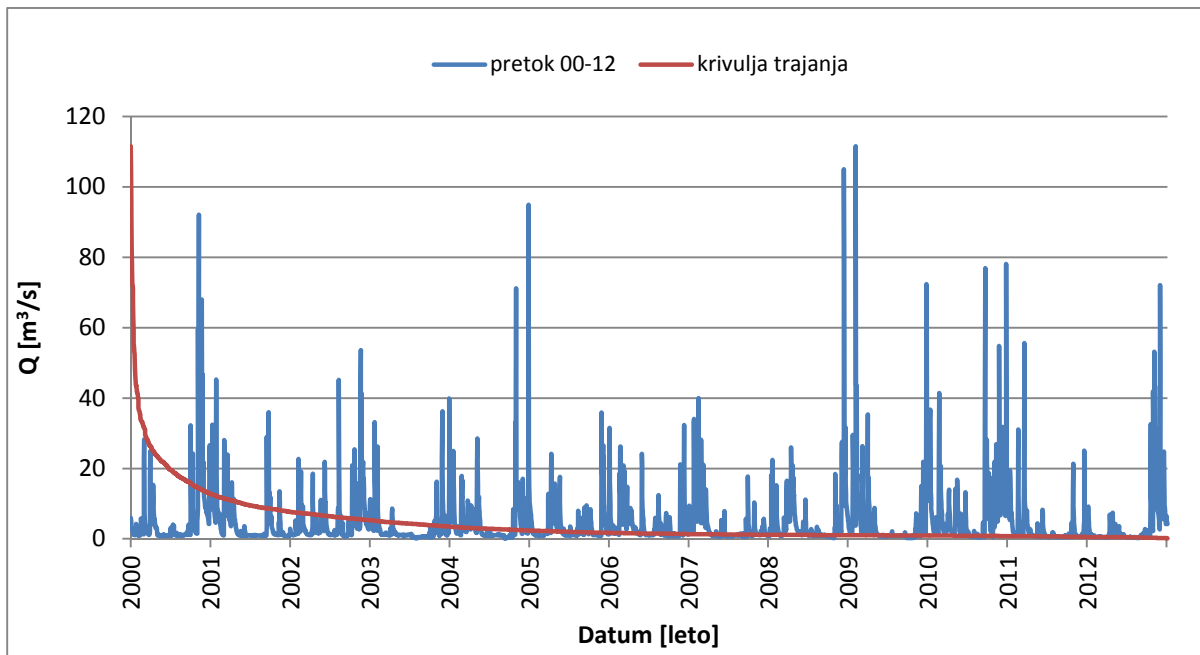


Slika 5: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1985 do leta 1999

### 2.3.3 Podatkovni niz 2000-2012

V tem podatkovnem nizu, nastopajo podatki z največjo razpršenostjo. Ponovno se pojavijo visoke vode nad  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Opaziti je mogoče povečanje frekvence ekstremnih visokih in nizkih pretokov (Slika6).

Med leti 2000 in 2012 je ARSO opravil 4749 meritev dnevni pretokov, z najmanjšim pretokom v konici  $Q_{nk} = 0,163 \text{ m}^3/\text{s}$  (8.sept. 2004 in 14.sept. 2004) in največjim pretokom v konici  $Q_{vk} = 111,546 \text{ m}^3/\text{s}$  (3.feb. 2009). Povprečni srednji dnevni pretok za to obdobje je  $sQ_s = 4,321 \text{ m}^3/\text{s}$ , s koeficientom variacije  $C_v = 1,708$ . Pretok z 10 letno povratno dobo, je za to obdobje  $v_{10Q} = 100,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , medtem ko je v tem obdobju največja verjetnost pojava pretoka  $Q = 1,064 \text{ m}^3/\text{s}$ .

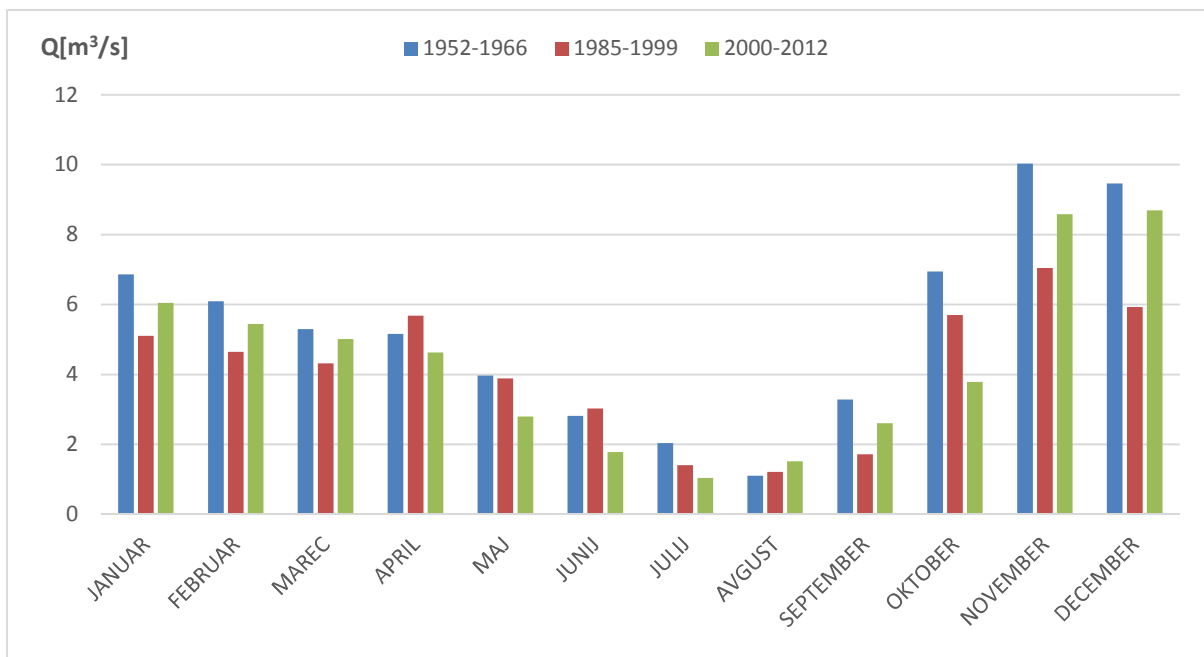


Slika 6: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 2000 do leta 2012

### 2.3.4 Letni pretok

Za oceno primernosti izgradnje je prav gotovo pomembno tudi spreminjanje pretokov na letni ravni. Od tega je odvisna izbira turbine in posledično proizvodnja električne energije.

Vodomerna postaja Trnovo je locirana na stacionaži 30.66 km in zajema vode, ki se stekajo v reko s področja 166,96 km<sup>2</sup>. Reka Reka spada v skupino rek s sredozemskim rečnim režimom. Rečni režim je pokazatelj nihanja pretoka skozi leto in je najbolj odvisen od količine in razporeditve padavin skozi leto ter temperature tal in tudi drugih podnebnih dejavnikov[5]. Za rečni režim so značilni viški padavin v jesenskem obdobju in posledično pojavljanje nadpovprečno visokih pretokov med oktobrom in aprilom z nastopom viška v novembru ali decembru. Količina vode se do aprila bistveno ne zmanjša. Podpovprečni pretoki nastopijo maja in trajajo do septembra. Najmanj vode je v avgustu, kar je posledica pomanjkanja padavin in velike evapotranspiracije.



Slika 7: Spreminjanje povprečnih mesečnih pretokov skozi leto v vseh treh obdobjih

Na Sliki 7, kjer so prikazani povprečni mesečni pretoki za vsa omenjena tri obdobja, je lepo razviden sredozemski rečni režim. Opazno je zmanjšanje spomladanskega viška in tudi minimalnih pretokov v juliju. Vzrok bi verjetno lahko pripisali višjim povprečnim temperaturam, ki znižujejo debelino in čas snežne odeje v Snežniškem pogorju, kar posredno vpliva na režim reke Reke. Na letni ravni je pomemben tudi vpliv akumulacij Mola in Klivnika, ki ob viških zadržujeta vodo, poleti pa bogatita vodotok.

### 2.3.5 Ovrednotenje podatkov

Na podlagi opravljene analize, v predhodnih poglavjih, smo prišli do zaključka, da meritve dnevni pretokov, v obdobju od leta 1952 do 1966, odstopajo od drugih dveh podatkovnih nizov. Verjetno je glavni razlog v izgradnji obeh akumulacij, ki sta pretoke reke Reke uravnale in zmanjšale število ekstremnih vrednosti pretokov. K razliki doprinejajo tudi manj natančne meritve v tistem obdobju. V nadaljevanju naloge, so meritve dnevni pretokov združene v en sam niz, in sicer od leta 1985 do leta 2012. Na ta način so nazornejše prikazane in analizirane količine, pomembne za oceno energetskega potenciala.

### 3 IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA

#### 3.1 Račun pretočnih krivulj

Za izračun potenciala, ki bi ga izkoriščala mala hidroelektrarna, je potrebno določiti višinsko razliko med profilom 2, na lokaciji vtočnega objekta hidroelektrarne in profilom 8, na lokaciji iztoka iz hidroelektrarne. V referenčnih profilih smo izračunali pretočno krivuljo rečnega profila, z upoštevanjem pretokov v obsegu meritev in uporabe Manningove enačbe. Na osnovi pretočne krivulje, smo izračunali globino za poljubno vrednost pretoka. Na ta način smo določili višinsko razliko med profiloma in jo uporabili pri izračunu energije.

Manningova enačba se uporablja v primeru stalnega enakomernega toka na prosti gladini. Takšen tok se pojavi, ko so globina, površina, pretok in hitrost, v daljšem časovnem obdobju in v vsakem prečnem preseku na daljšem odseku vodotoka, konstantne. Veljati mora  $Q(t, x) = \text{konst.}$  in  $S(t, x) = \text{konst.}$ , prav tako velja, da je naklon energijske črte vzporeden z gladino in dnom struge [8]. Pogojem na tem odseku v profilih 2 in 8, se dovolj približamo, da je enačba zadosten približek in končni rezultati dovolj natančni.

$$\tilde{u} = \frac{1}{n_g} * R^{2/3} * \sqrt{I_0}$$

$$Q = \tilde{u} * S$$

$$Q = \frac{\sqrt{I_0}}{n_g} * \frac{S^{5/3}}{O^{2/3}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{I_0}}{n_g} * \frac{\left[\frac{h}{2} * (b + (b + h * (n + m)))\right]^{5/3}}{[b + h * (\sqrt{1 + n^2} + \sqrt{1 + m^2})]^{2/3}}$$

Kjer so:

$\tilde{u}$  ... povprečna hitrost

$Q$  ... pretok iz meritev dnevnih pretokov [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$h$  ... globina vode v referenčnem profilu [m]

$n$  ... naklon levega brega struge

$m$  ... naklon desnega brega struge

$n_g$  ... Manningov koeficient hrapavosti (naravna zaraščena struga v kateri se pojavljajo tolmuni)

$I_0$  ... vzdolžni naklon struge

$b$  ... širina dna struge

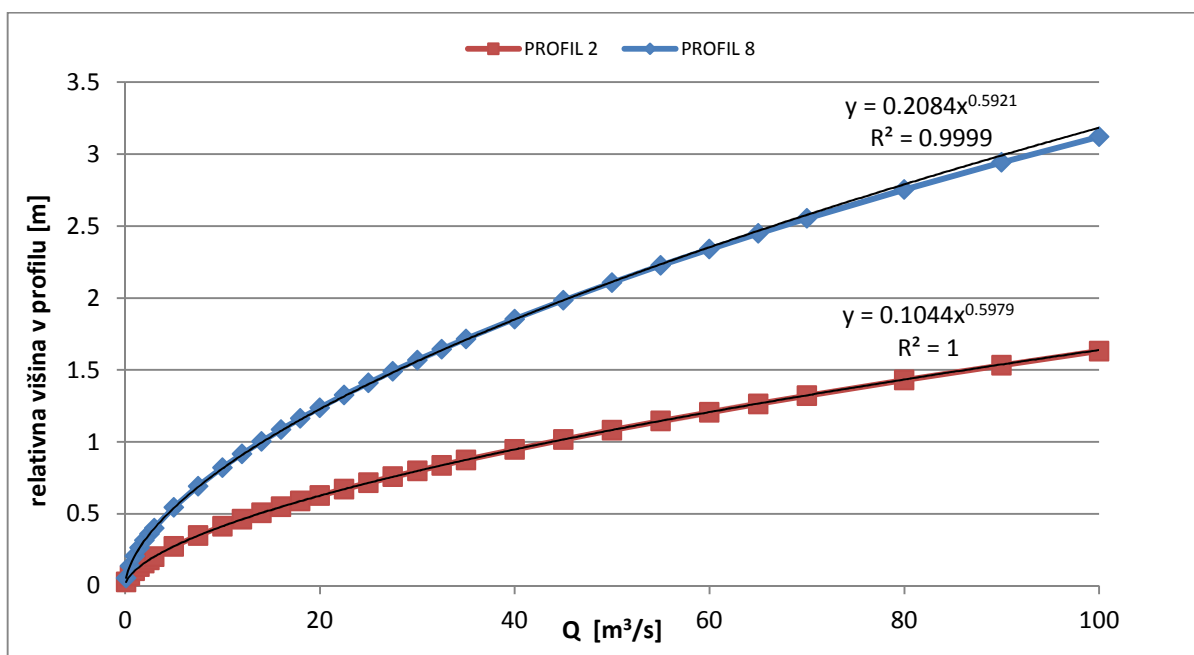
$R = \frac{S}{O}$  ... hidravlični radij je enak površini omočenega oboda deljeno obseg omočenega oboda

$$S = \frac{h}{2} * (b + L) \dots \text{površina omočenega oboda trapezne struge}$$

$$L = b + h * (n + m) \dots \text{dolžina gladine vode v trapezni strugi}$$

$$O = b + (\sqrt{1^2 + n^2} + \sqrt{1^2 + m^2}) * h \dots \text{obseg omočenega oboda trapezne struge}$$

Manningovo enačbo smo najprej preoblikovali v ustrezno obliko za računanje. Nato smo na podlagi vstavljanja robnih pogojev, s pomočjo dodatka reševalec v Excellu, za razpon pretokov med  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , v obeh profilih izračunali ustrezno globino. Rešitve so izrisane na grafu odvisnosti višine od pretoka oz. s pretočno krivuljo  $f(Q) = h$  (Slika 8). Pretočnima krivuljama profila 2 in profila 8 smo na grafu določil še trendni črti. Trendni črti najbolje opisuje eksponentna funkcija, saj je razlika kvadratov med meritvami in trendno črto najmanjša. Tako smo dobili enačbi, ki povezujeta globino in pretok v danih profilih  $h_8 = 0,2084 * Q^{0,5921}$  in  $h_2 = 0,1044 * Q^{0,5979}$ .



Slika 8: Pretočna krivulja z enačbama trendnih črt obeh profilov

### 3.2 Izračun energetskega potenciala

Pri izračunu energetskega potenciala lokacije, smo upoštevali podatke in rezultate predhodno izdelanih analiz. V analizah smo predpostavili, da hipotetična elektrarna obratuje med leti 1985 in 2012. Za to obdobje so poznani srednji dnevni pretoki. Z uporabo referenčnih pretočnih krivulj, v profilih 2 in 8, lahko za vsak dnevni pretok izračunamo pripadajočo bruto razliko višin in na osnovi tega vsakodnevno razpoložljivo moč. Predpostavimo, da elektrarna obratuje 24 ur na dan z razpoložljivo

močjo. Energetski potencial predstavlja maksimalna možna proizvedena energija na lokaciji z upoštevanjem naslednjih pogojev razpoložljivosti:

1. pretoka turbine
2. moči elektrarne
3. obratovalnega časa.

### 3.2.1 Ekološko razpoložljiv pretok Qes

Glede na naravne danosti, izkoriščamo vodni potencial, ki je ustvarjen z izgradnjo praga na reki Reki in derivacijskim dovodnim in odvodnim kanalom s katerim izkoristimo še naravni padec dna struge med profiloma 2 in 8. To pomeni, da so vodne količine, ki so namenjene energetski izrabi, speljane mimo naravne struge. Na odseku med profiloma, v dolžini 226 m, je treba v strugi Reke vzpostaviti takšen pretok (tako imenovani ekološko sprejemljivi pretok - Qes), ki ohranja lokalno ekološko ravnotežje v vodotoku. Ekološko ravnotežje zajema fizično, fizikalno, kemijsko in biološko ravnovesje, katerega lahko, s posegom v strugo vodotoka ali v pretočne razmere, porušimo.

Ekološko sprejemljiv pretok je določen po uredbi o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko spremenljivega pretoka, ki izhaja na podlagi tretjega odstavka 71. člena Zakona o vodah in je bila sprejeta leta 2009. Uredba določa izračun pretoka Qes na podlagi hidroloških izhodišč in se izračuna po enačbi [6] :

$$Q_{es} = f * sQ_{np}$$

$sQ_{np}$  je srednji mali pretok ki se določi po enačbi :

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^n Q_{np,i} / N$$

Pri čemer sta N število let opazovalnega obdobja in  $Q_{np,i}$  najmanjši srednji dnevni pretok v i-tem koledarskem letu.

Faktor f se določi na podlagi preglednice 2. Faktor f je poleg povratnega ali nepovratnega odvzema ki je zajet v preglednici 2, odvisen še od:

- dolžine povratnega odvzema vode,
- količine odvzema, opredeljeno glede na vrednost srednjega pretoka na mestu odvzema,
- skupine ekoloških tipov vodotokov (preglednica 2) in
- razmerja med srednjim in srednjim malim pretokom.

Preglednica 2: Vrednost faktorja  $f$  za izračun  $Q_{es}$  pri povratnem odvemu po uredbi o  $Q_{es}$  2009 [6]

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km <sup>2</sup>	10-100 km <sup>2</sup>	100-1.000 km <sup>2</sup>	1.000-2.500 km <sup>2</sup> in sQs <sup>(1)</sup> < 50 m <sup>3</sup>	> 2.500 km <sup>2</sup> ali sQs <sup>(1)</sup> > 50 m <sup>3</sup>
<b>Točkoven odvzem</b>					
1 <sup>(2)</sup>	0,8	0,8	0,6	0,5	/
2 <sup>(2)</sup>	0,8	0,6	0,5	0,5	/
3	0,6	0,5	0,4	/	/
4	/	/	/	/	0,4
<b>Kratek odvzem ali dolg odvzem v sušnem obdobju</b>					
1 <sup>(2)</sup>	1,6	1,6	1,2	1,0	/
2 <sup>(2)</sup>	1,6	1,2	1,0	1,0	/
3	1,2	1,0	0,8	/	/
4	/	/	/	/	0,8
<b>Dolg odvzem v vodnatem obdobju</b>					
1 <sup>(2)</sup>	3,2	3,2	2,4	2,0	/
2 <sup>(2)</sup>	3,2	2,4	2,0	2,0	/
3	2,4	2,0	1,6	/	/
4	/	/	/	/	1,6

<sup>(1)</sup> srednji pretok

<sup>(2)</sup> faktor  $f$  se pomnoži z 2, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20

Preglednica 3: Skupine ekoloških tipov razdeljenih po uredbi o  $Q_{es}$  2009 [6]

Skupina ekoloških tipov <sup>(1)</sup>	Ekoregija	Bioregija	Ekološki tip vodotoka <sup>(2)</sup>
1	3	Spodnja vipavska dolina in Brda	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Krško-brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji
<b>3</b>	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji
<b>4</b>		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji

<sup>(1)</sup> skupine ekoloških tipov so prikazane na publikacijski karti, ki je objavljena na spletnih straneh ministrstva

<sup>(2)</sup> ekološki tipi vodotokov v skladu s predpisi, ki urejajo stanje površinskih voda

Ekološko sprejemljiv pretok za reko Reko je  $Q_{es} = 625$  l/s, ki se meri na merilni postaji Trnovo.  $Q_{es}$  se na reki Reki, v času sušnega obdobja, vzdržuje s pomočjo akumulacijskih jezer Mola in Klivnik. Za izpust ustrezne količine vode, skrbi Vodnogospodarsko podjetje Drava, ki je tudi upravitelj vodotoka Reka.

V izračunu razpoložljivega pretoka, smo predpisano vrednost  $Q_{es}$  za reko Reko odšteli od dejansko izmerjenih pretokov in dobil razpoložljive pretoke za izračun razpoložljive moči. V primeru, ko je pretok reke Reke manjši od predpisanega  $Q_{es}$  elektrarna ne obratuje.

### 3.2.2 Razpoložljiva moč

Razpoložljiva moč na izbrani lokaciji je odvisna od razpoložljivega pretoka in pripadajočega padca.

Moč izračunamo z enačbo:

$$P = \gamma * Q * H_n * \eta$$

Kjer so:

$P$  ... moč vode na osi turbine [kW]

$H_n$  ... razpoložljiv hidravlični padec z upoštevanjem hidravličnih izgub [m]

$\gamma$  ... specifična teža vode 9,81 [kN/m<sup>3</sup>]

$\eta$  ... izkoristek elektrarne pri pretvorbi mehanske v električno energijo

$Q$  ... instalirani pretok [m<sup>3</sup>/s]

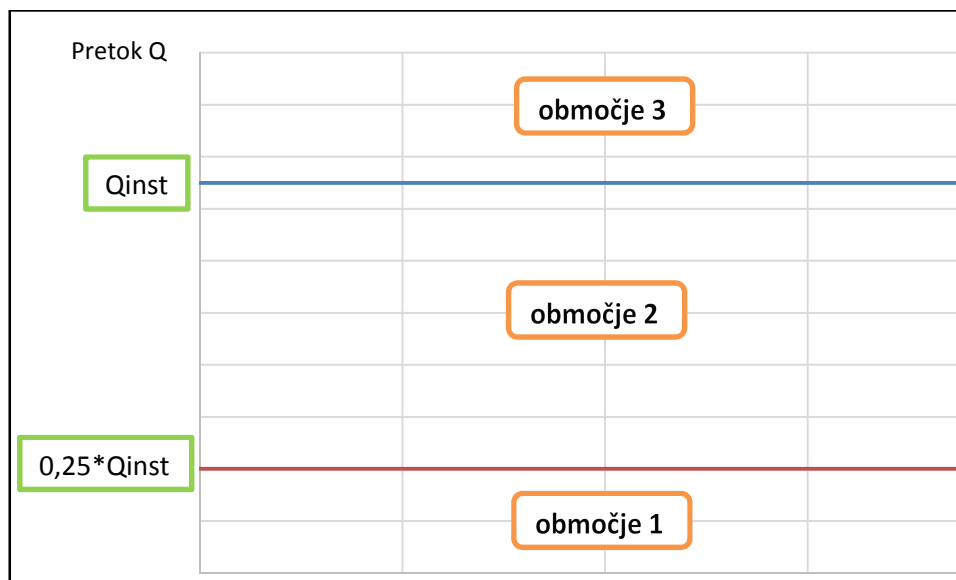


Pri izračunu razpoložljive moči smo upoštevali hidravlične izgube. Hidravlične izgube, so izgube energije vzdolž toka, ki nastajajo pri premagovanju hidravličnih uporov, zaradi toka tekočine. Delimo jih na izgube zaradi trenja vzdolž toka in lokalne izgube zaradi lokalnih motenj [7]. Detajlnega računa hidravličnih izgub nismo izvedli. Pri izračunu je upoštevana splošna privzeta aproksimativna vrednost derivacijske elektrarne v odvisnosti od bruto padca  $H_b$ :

$$H_n = 0,9 * H_b$$

Pri pretvorbi mehanske energije v električno, nastanejo na agregatu določene izgube, ki jih izrazimo s koeficientom izkoristka elektrarne. Izgube pri pretvorbi energije, so posledica trenja pri vrtenju mehanskih delov agregata (turbina, generator) in segrevanja pri prenosu in transformaciji električne energije. Pri izračunu je upoštevana aproksimacija za takšen tip elektrarne, z ocenjenim izkoristkom 82%.

V naslednjem koraku smo opredelili tudi obratovalne karakteristike turbine, ki vplivajo na razpoložljivost obratovanja turbine glede na pretok. Predvsem zaradi primerjave z že izdelano idejno zasnovo smo se odločili, da izberemo enak tip turbine – dvakrat regulirana Kaplanova turbina. V računu vodne moči, smo za ta tip turbine obratovalni režim razvrstili v tri območja. Meje med območji smo definirali glede na instalirani pretok turbine.



Slika 9: Proizvodnja električne energije glede na razpoložljiv pretok

**OBMOČJE1:** V to območje spadajo pretoki ki so manjši od 25% instaliranega pretoka turbine. V tem primeru turbina ne obratuje, ker je njen izkoristek, v primerjavi s proizvedeno električno energijo premajhen. Pri nizkih pretokih, se pojavljajo tudi drugi hidrodinamični efekti (vibracije, pulzacije

tlakov, kavitacija), ki lahko turbino poškodujejo in zato ta pogoj obravnavamo kot obratovalni minimum.

**OBMOČJE2:** Območje vsebuje vse pretoke, večje od 25% instaliranega pretoka in manjše od samega instaliranega pretoka. V tem območju turbina normalno obratuje, s spreminjajočim se izkoristkom. Tem bolj, ko se dejanski pretok na turbini približuje instaliranemu pretoku boljši je izkoristek turbine. V izračunu je upoštevana povprečna privzeta vrednost izkoristka 82% in je za vse pretoke enaka.

**OBMOČJE3:** Pretoki, ki so večji od instaliranega pretoka, spadajo v območje 3. V tem primeru turbina obratuje z instaliranim pretokom, medtem ko se višek vode preliva po strugi reke mimo elektrarne.

Predvidena je tudi zaustavitev delovanja mHE, v primeru prevelikih pretokov. Kot skrajno vrednost, smo določili pretok  $50\text{m}^3/\text{s}$ . Pri tej vrednosti začne reka poplavljati v območju pred pragom, zato bi bilo delovanje turbine onemogočeno.

V analizi smo razpoložljivo moč preračunali glede na različne vrednosti instaliranega pretoka. Osnovna vrednost je znašala  $0,25\text{m}^3/\text{s}$ , ki smo jo stopnjevali za  $0,25\text{m}^3/\text{s}$  do maksimalne vrednosti  $4,5\text{m}^3/\text{s}$ . V nalogi so izračunane energetske karakteristike tudi za pretok  $6,8\text{m}^3/\text{s}$ , ki predstavlja računski pretok v idejnem projektu mHE Topolc. Pridobljene podatke, smo primerjali z našimi podatki, pri nadaljnji analizi. Račun smo izvedli za obdobje zadnjih 28 let razpoložljivih meritev dnevnih pretokov.

### **3.2.3 Razpoložljiv potencial**

Ustvarjanje električne energije, je v primeru mHE, odvisno od trenutnega pretoka, možnosti akumulacije oziroma zvišanja naravnega potenciala in hidroloških karakteristik reke. Pretok je količina vode, ki preteče skozi določen prerez, v določenem času. Mera za pretok so kubični metri na sekundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Potencial ali padec je vertikalna razdalja med točko odvzema in točko izpusta vode iz turbine. V splošnem, ga razdelimo na teoretičnega, tehnično izkoristljivega in ekonomsko upravičenega. Teoretični ali bruto potencial je tisti, ki upošteva celoten razpoložljiv višinski padec. Za izkoriščanje energije, je bruto potencial omejen s hidravličnimi izgubami pri zajetju vode, izkoristki naprav in obdobjem vzdrževanja. Potencial, ki upošteva te parametre, je tehnični potencial. Pozitivno poslovanje izkoriščanja tehničnega potenciala, imenujemo ekonomsko upravičen potencial. Ker je napoved vodnatosti reke skozi leto nemogoče napovedati, se zanašamo na hidrološke študije izvedene na podlagi preteklih merjenj. Pri ustvarjanju električne energije, izkoriščamo potencialno in kinetično

energijo vode. Kombinacijo obeh oblik energije pretvarjamo v električno energijo, v razmerju, ki ga ponuja reka na določeni lokaciji [8][9].

Enačba za izračun električne energije:

$$E = P * t$$

E ... električna energija [kWh]

P ... moč vode [kW]

t ... čas (v izračunu vedno 24h, zaradi dnevnih meritev pretokov) [h]

Glede na definicije razpoložljivega potenciala, smo izvedli oceno tehnično izkoristljivega potenciala. Pri tem je treba upoštevati izgube pretokov za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka in visoke vode reke Reke, pri katerih je energetska izkoriščenost onemogočena. Glede na to, da smo korakoma povečevali razpoložljivo moč, se je s tem povečala tudi razpoložljivost elektrarne. S povečevanjem, smo želeli določiti vrednost instaliranega pretoka, za optimalno izkoriščenost energetskega potenciala na lokaciji, z upoštevanjem vseh, tehničnih in naravovarstvenih, omejitev pri obratovanju.

## 4 DOLOČITEV OBRATOVALNIH KARAKTERISTIK HIDROELEKTRARNE

### 4.1 Opis in definicija male hidroelektrarne

Hidroelektrarna ima nalogo spreminjanja potencialne energije vodotoka v električno energijo. Elektrarna je postavljena na mestu z velikim naravnim potencialom oz. na mestu, kjer s postavitvijo jezua potencial povišamo. V sklop male hidroelektrarne poleg jezua spada še objekt v katerem je nameščena strojna oprema, dovodni kanal do turbine in odvodni kanal ki vrača energetsko izkoriščeno vodo nazaj v strugo.

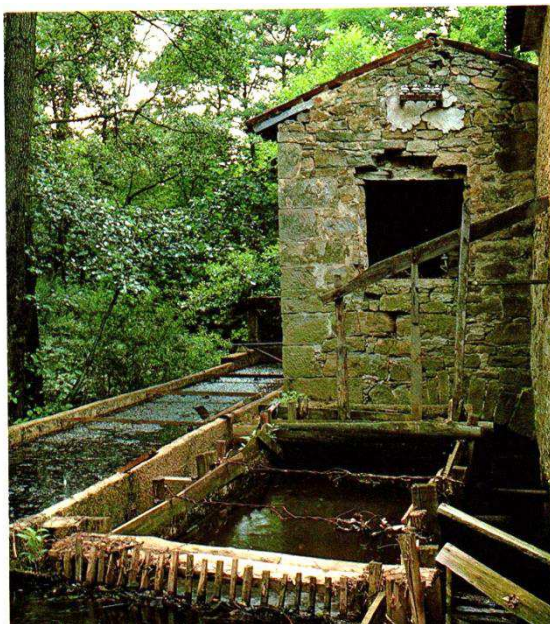
Hidroelektrarne se razvrščajo v razrede glede na proizvedeno moč turbine. Uredba o podporah električni energiji iz obnovljivih virov razvršča v 4. členu proizvodne naprave glede na nazivno električno moč v naslednje razrede.

*Preglednica 4: Klasifikacija hidroelektrarn po velikosti proizvedene moči [10]*

- Hidroelektrarna	Proizvedena moč
Ostale	>125 MW
Velika	10-125 MW
Srednja	1-10 MW
Mala	< 1MW
Mikro	Do 50 kW

Zajezitveni objekt je v obravnavanem primeru pretočni široki prag, kar pomeni, da zajezitev ne akumulira bistvene količine vode. Prag ima 1,9 m svetle višine (podatkov o globini temeljenja nismo uspeli pridobiti), dolg je 41,49 m in širok med 5 in 6 metri. Krona je glede na geodetske meritve postavljena do kote 394 m nadmorske višine. Prag je postavljen pravokotno na os vodotoka in spodnja voda ne vpliva na preliv, ki je neozračen in se preliva preko natočne stene, nagnjene proti smeri toka.

Po delno odprtem dovodu, ki poteka vzdolž obstoječega objekta, pripeljemo razpoložljiv del reke za energetsko izkoriščanje do turbine, ki pretvori kinetično in potencialno energijo vode, v mehansko delo. Kanal je bil zgrajen za potrebe mletja žita in žaganja lesa, zato bi ga v primeru postavitve elektrarne morali dimenzionirati za potrebe elektrarne. Ker je v slabem fizičnem stanju, bi bilo potrebno zgraditi nov dovodni kanal.



Slika 10: Dovodni kanali mlina v času delovanja [3]



Slika 11: Dovodni kanali mlina danes (lasten vir)

Ostala strojna oprema bi bila nameščena v objekt, postavljen ob vodotoku, ki bi služil tudi za upravljanje in kontroliranje proizvodnje električne energije. Na lokacijah kjer že stojijo objekti, ki so pod varstvom kulturne dediščine, je potrebno pri obnovi ali novogradnji upoštevati smernice za ohranitev dediščine. Energijsko izkoriščena voda odteče po mlinščici nazaj v glavno strugo reke. Ker smo se v računu naslanjali na najnižjo točko sotočja med mlinščico in glavno strugo reke Reke, bi bilo strugo mlinščice od sotočja navzgor potrebno poglobiti.

#### 4.2 Izhodišča za primerjavo

Lastnik objekta, g. Ado Barbiš, je v letu 2007 od podjetja Siapro pridobil preliminarno oceno ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne na vodotoku Reka. Projekt je bil izdelan za isto lokacijo, kot jo obravnavamo v tej nalogi. Izračune smo primerjali z izračuni iz projektne dokumentacije, in primerjane količine ovrednotili z ustreznimi komentarji.

Projektant je vhodne hidrološke podatke dobil iz arhiva hidroloških meritev postaje Trnovo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje za obdobje med leti 1952-2003. Podatki med leti 1967-1984 v izračunu niso upoštevani, saj jih ni v hidroloških arhivih. V dokumentaciji prikazujejo hidrološke razmere obravnavanega vodotoka naslednje karakteristične vrednosti:

- najmanjši nizek pretok v obdobju -  $nQ_{np} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$

- srednji nizek pretok v obdobju -  $sQ_{np} = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$
- povprečni srednji pretok v obdobju -  $sQ_s = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Natančnih topografskih podatkov očitno niso imeli, zato so bruto padec, skupaj z lastnikom ocenili na 1,8m. Elektrarna bi delovala 312 dni v letu (85% absolutni čas delovanja) in izkoriščala pretoke v razponu od  $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Upoštevan je tudi ekološko sprejemljiv pretok. Neto padec  $H_{neto} = 1,7\text{m}$ . S temi vhodnimi podatki, bi elektrarna na letni ravni, z dvakrat regulirano Kaplanovo turbino moči 82 kW, proizvedla 345190 kWh električne energije, kar bi po takratnih odkupnih cenah znašalo 21244 € bruto prihodka letno [11].

*Preglednica 5: Primerjava izhodišč med izračunom in podatki iz projekta podjetja Siapro na podlagi  $Q_{inst} = 6,8 \text{ m}^3/\text{s}$  [11]*

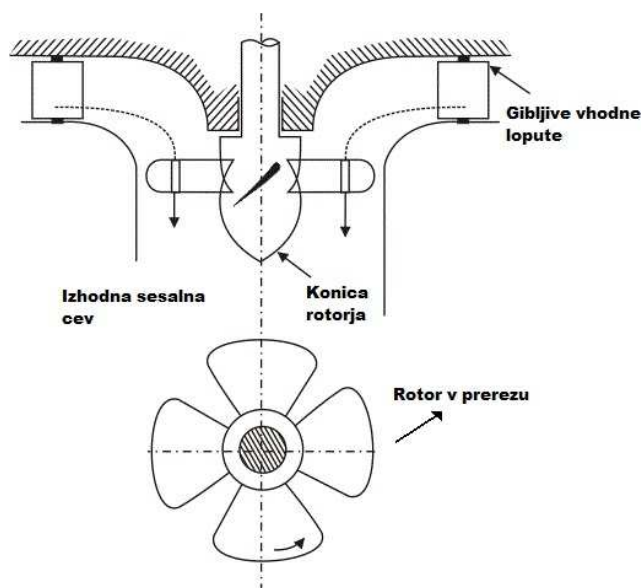
PODATKI	Analizirano obdobje	$sQ_s$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	H bruto [m]	Izkoristek turbine [%]	Časovni delež [%]	Čas delovanja [dni]
Siapro	1952-2003	4,6	1,8	72	85	312
	1985-2012	4,2	2,5	74	39	142

### 4.3 Kaplanova turbina

V projektu preliminarne ocene, temeljijo izračuni na osnovi dvakrat regulirane Kaplanove turbine. Izbrali smo isto turbino, z namenom, da smo lahko natančneje primerjali rezultate iz izračunov. Opozoriti je potrebno, da turbina ni izbrana optimalno, kar tudi ni del te diplomske naloge.

V splošnem delimo turbine za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah na:

- **Akcijske** - Impulzne turbine izkoriščajo sunek vode, ki ga povzroči kinetična energija vode. Taka turbina nima redukcije tlaka vode, kar pomeni da je na obeh straneh rotorja enak tlak.
- **Reakcijske** - Primerne za vodotoke, ki ne zagotavljajo velikega padca in imajo velik pretok. Lopatice v turbini izkoriščajo linearni in kotni moment toka v turbino in so popolnoma potopljene. Izkoriščajo potencialno in kinetično energijo vode na podlagi vzgona. Rotorji so v turbini fiksni ali gibki. Območje delovanja teh turbin je pri nizkih padcih in praktično vseh pretokih.



Slika 12: Nekatere komponente Kaplanove turbine [12]

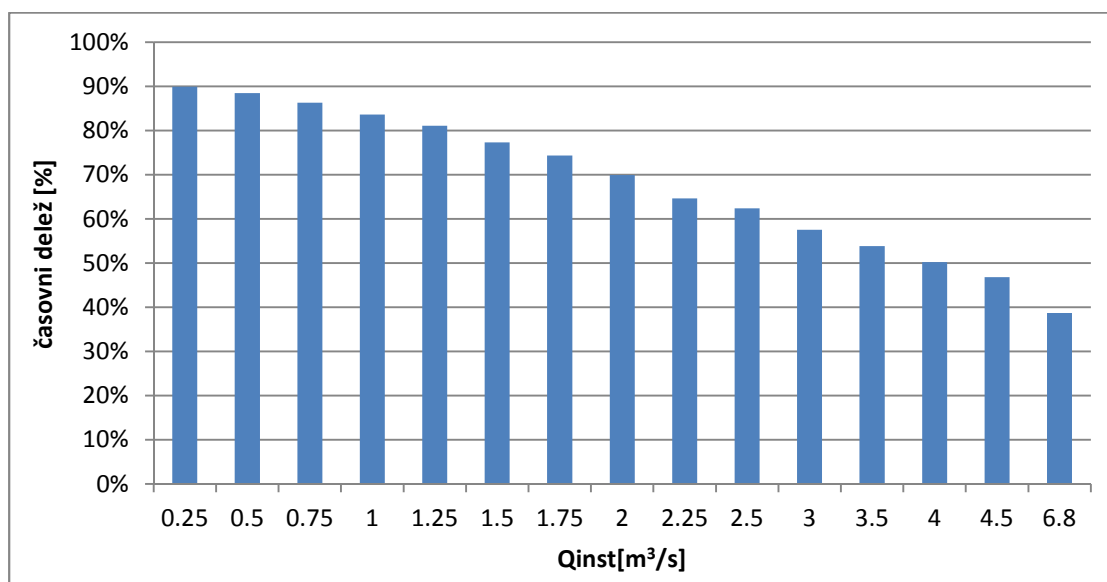
Kaplanova turbina je tipičen primer reakcijske turbine, ki izkorišča nizke padce in velike pretoke. Turbina ima radialni vtok vode, nato pa spremeni smer in se aksialno pretaka skozi rotor. Rotor, na katerega so pritrjene vrtljive gonilne lopatice, je popolnoma potopljen v vodo. Tok skozi turbino s spremembo tlaka v rotorju odda potencialno in kinetično energijo. Sesalna cev, ki odvaja vodo iz turbine ustvarja podtlak, zato tako turbino lahko namestimo tudi višje od gladine spodnje vode. V primeru dvakrat regulirane turbine (tip turbine izbran v preliminarni oceni energetskega potenciala) lahko uravnavamo moč vode z vrtljivimi lopaticami vodilnika ali z posebnim mehanizmom v pestu vrtimo lopatice gonilnika. Z regulacijo dosežemo ugodno krivuljo izkoristka do 25% nazivne obremenitve [13][14].

#### 4.4 Primerjava moči

Moč, ki jo proizvaja turbina je odvisna od instaliranega pretoka turbine. Instaliran pretok je tisti pretok, pri katerem turbina proizvede največjo moč hidroelektrarne. Hkrati pa je to tudi največji pretok, ki lahko steče skozi turbino. Ker so v nalogi izhodiščni podatki meritve pretokov, smo računali razpoložljiv energetski potencial s stopenjskim povečevanjem instaliranega pretoka. Na Sliki 13 je prikazan delež obratovanja turbine v obdobju, glede na izbran instalirani pretok. Iz slike je razvidno, da se z večanjem instaliranega pretoka obratovanje elektrarne časovno skrajšuje.

S povečanjem instalirane moči se manjša razpoložljivost elektrarne na račun tehnološkega minimuma, ki onemogoča izrabo manjših pretokov. Če bi instalirani pretok čezmejno povečevali bi se na račun tehnološkega minimuma začela zmanjševati proizvodnja. Zato v praksi praviloma iščemo tehnološko

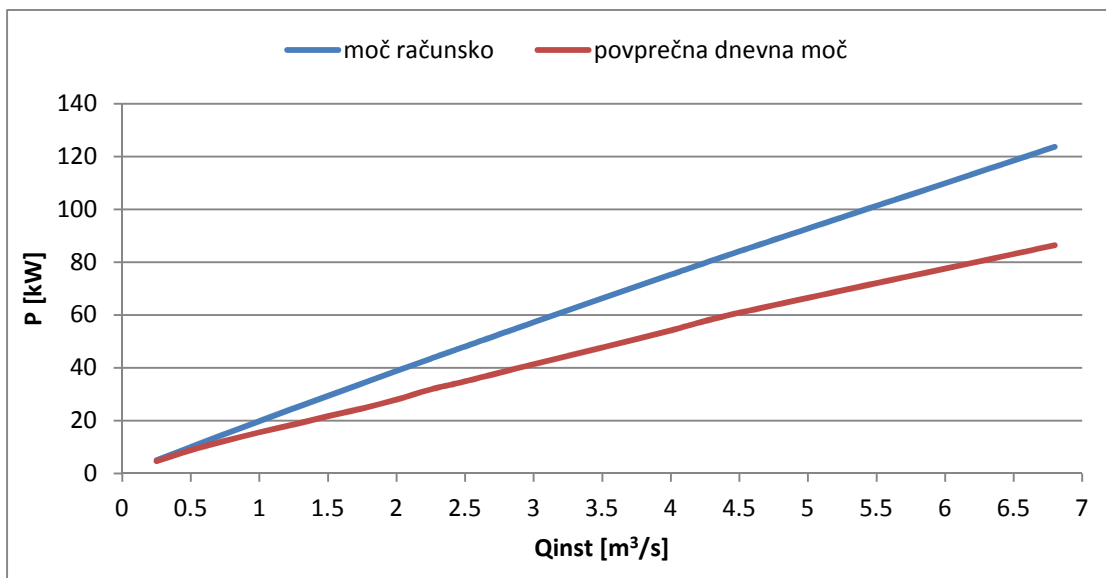
optimalne proizvodne kapacitete glede na naravne danosti. Problem fleksibilnosti obratovanja elektrarne v širšem razponu razpoložljivih pretokov rešujemo z instalacijo več agregatov ali pa s takim tipom turbin, ki omogočajo zadovoljive obratovalne karakteristike v večjem razponu pretokov. Posebej tega problema v nalogi nismo obravnavali, ker optimizacija sistema prekoračuje obseg naloge v tej fazi in je lahko predmet nadaljnjih študij.



Slika 13: Delež izkoriščanja instaliranega pretoka

Moč turbine izberemo na podlagi izračunane moči iz instaliranega pretoka in tehničnega padca pri tem pretoku. Za izbrane parametre, dobimo optimalno delujočo turbino, ki proizvaja maksimalno moč. Ker turbina v obratovalnem času ne deluje vse skozi optimalno, so na grafu primerjave računske in povprečne dnevne proizvedene moči (Slika 14), prikazane razlike med instalirano močjo in dejansko izračunano povprečno dnevno razpoložljivo močjo, glede na razpoložljivi pretok in tehnične obratovalne karakteristike turbine. Z večanjem instaliranega pretoka se razlika povečuje, kar je sorazmerno s časovnim deležem delovanja turbine za posamezni instalirani pretok in obratovalnim pretokom.





Slika 14: Primerjava računsko in povprečne dnevne proizvedene moči

Projektant je za izračunih izbral Kaplanovo turbino, z močjo 82 kW. Turbina naj bi delovala, ko bi se skozi preivali pretoki od 1,25m<sup>3</sup>/s do 6,8m<sup>3</sup>/s. Obratovalni minimum je postavljen na 20% instaliranega pretoka. S privzetim stalnim izkoristkom elektrarne 74%, bi turbina obratovala 85% dni v letu. V naši nalogi smo mejo obratovalnega minimuma za enake obratovalne karakteristike postavili na 25%. V tem primeru bi turbina obratovala 38,7% časa v analiziranem obdobju. Z instaliranim pretokom 6,8 m<sup>3</sup>/s bi turbina s privzetimi parametri iz naše naloge in tehničnim izkoristkom elektrarne 82%, proizvedla maksimalno moč 124 kW. Povprečna dnevna razpoložljiva moč glede na podane dnevne pretoke v obdobju pa znaša 86 kW.

#### 4.5 Primerjava proizvedene električne energije

Kot smo že ugotovili je proizvodnja električne energije odvisna od moči, ki jo proizvede turbina. Posledično je letna proizvodnja električne energije odvisna od razpoložljivih pretočnih razmer na vodotoku. Preglednica 6 prikazuje bruto padec, povprečno moč turbine in letno količino proizvedene električne energije, v obdobju od leta 1985 do leta 2012, glede na instalirani pretok.

Preglednica 6: Bruto padec, povprečna moč in letno proizvedena električna energija

Instalirani pretok [l/s]	Bruto padec [m]	Moč [kW]	El. Energija [MWh]
250	2.78	4.64	36.58
500	2.76	8.82	68.40
750	2.74	12.37	93.50
1000	2.73	15.58	114.17

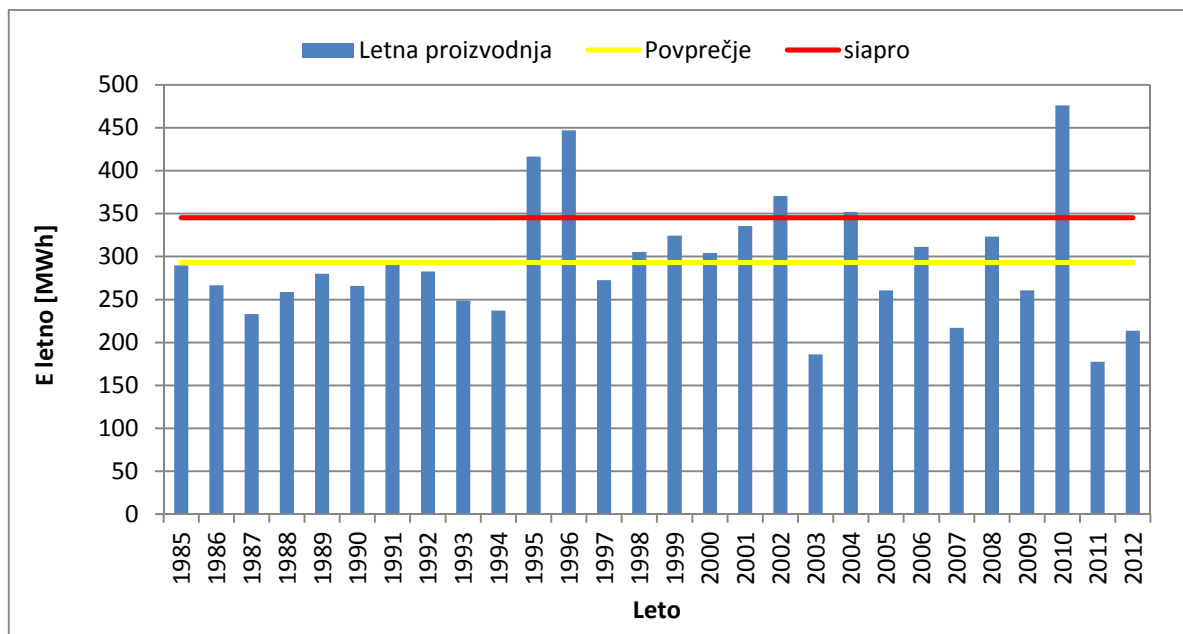
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 6

1250	2.71	18.55	131.79
1500	2.70	21.66	146.70
1750	2.69	24.62	160.43
2000	2.67	27.99	171.48
2250	2.66	31.83	180.26
2500	2.65	34.89	190.82
3000	2.63	41.36	208.63
3500	2.61	47.67	224.80
4000	2.59	54.18	238.52
4500	2.58	60.89	249.88
6800	2.51	86.42	293.19

Zaradi preglednejše primerjave je količina proizvedene električne energije, za turbino z instaliranim pretokom  $6,8\text{m}^3/\text{s}$ , za vsako leto v obdobju od leta 1985 do leta 2012 prikazana na sliki 15. V letih 1995, 1996 in 2010 je zaradi ugodnih hidroloških razmer letna proizvodnja električne energije presegala 400 MWh. Nasprotno pa bi več kot polovico manj elektrike proizvedla elektrarna v letih 2003 in 2011, kjer so vrednosti manjše od 200 MWh letno. Z rumeno je označeno povprečje proizvedene električne energije analiziranega obdobja in znaša 293 MWh.

V podjetju Siapro so v izračunih za isti instalirani pretok dobili 345 MWh letno proizvedene električne energije, v obdobju od leta 1952 do leta 2003, kar za 18% presega povprečje glede na naše izračune. Višja proizvodnja električne energije, kljub upoštevanju manjšega padca, je posledica izračuna na podlagi krivulje trajanja. Zaradi razpoložljivih dnevnih meritev pretoka, smo izračunali proizvodnjo električne energije na osnovi razpoložljivih podatkov z vsemi omejitvami. Tako smo dobili mnogo bolj natančne in realne rezultate.



Slika 15: Letna proizvodnja električne energije pri instaliranem pretoku  $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$

## 4.6 Ekonomska upravičenost

### 4.6.1 Stroški investicije

Projekt zajema tudi okvirno oceno stroškov investicije, ki so razdeljeni v dve fazi:

- faza A: Načrtovanje in projektiranje (stroški za pridobitev ustreznih dovoljenj in projektne dokumentacije)
- faza B: Nabave potrebne strojne, električne in hidromehanske opreme, gradbena dela, priključitev na omrežje in ostala potrebna dovoljenja.

Okvirna ocena stroškov investicije je izdelana na podlagi primerjanj stroškov podobnih projektov. Za oceno stroškov niso bile pridobljene informativne ponudbe izvajalcev del in dobaviteljev opreme. Prav tako v ceno ni vključen DDV in stroški lastništva zemljišč ter ureditve zemljiškoknjižnega stanja. V projektu je celotna investicija ocenjena na 290348€.

Preglednica 7: Višina stroškov investicije podjetja Siapro in naših izračunov [11]

Vrsta stroška	Stroški-Siapro [€]	Stroški-Izračun [€]
<b>A faza načrtovanja in projektiranja</b>	/	/
<b>1. IDZ, PGD, PZI</b>	8350	8350
<b>SKUPAJ A</b>	<b>8350</b>	<b>8350</b>
<b>B faza nabave in postavitve, uporabno dovoljenje</b>	/	/
<b>1. gradbena dela</b>	100000	100000
obnova dovodnega kanala, izgradnja strojnice, iztočnega kanala	/	/
<b>2. Strojna oprema</b>	100000	P*1000
kaplanova turbina, asihronski generator, strojni instrumenti za merjenje in regulacijo, ostalo	/	/
<b>3. Električna oprema</b>	22000	P*1000
Transformatorska postaja, razsvetljava in vtičnice, strelovod, ostalo	/	/
<b>4. Hidromehanska oprema</b>	11000	11000
Glavne in stranske zapornice, groba in fina rešetka, čistilni stroj	/	/
<b>5. Priključitev mHE na javno distribucijsko omrežje</b>	18000	Vključeno v točko 3
<b>6. inženiring, PID, tehnični nadzor, pridobitev uporabnega dovoljenja</b>	12550	12550
<b>7. Nepredvideni stroški</b>	18448	18448
<b>SKUPAJ B</b>	<b>281998</b>	/
<b>SKUPAJ A+B</b>	<b>290348</b>	/

Za naše izračune smo shemo stroškov, v primerjavi z višino stroškov predvidenih s strani podjetja Siapro, nekoliko regulirali. Višine stroškov faze A, gradbenih del, hidromehanske opreme, inženiringa in nepredvidenih stroškov, nismo spreminjali ter so ostali isti kot v izvornem projektu. Višino stroška strojne in električne opreme smo ocenili na 1000€/kW instalirane moč turbine, za vsako postavko posebej. Ti stroški naraščajo z izbrano močjo turbine in posledično povečujejo vrednost investicije. Priključitev na javno distribucijsko omrežje smo upoštevali, kot del stroškov električne opreme.

#### 4.6.2 Denarni tok

Za oceno ekonomske upravičenosti investicije, smo z metodo neto sedanje vrednosti (NSV) in interne stopnje donosnosti (ISD) izračunali finančni tok investicije, za vsako turbino posebej in rezultate podali v spodnji tabeli, pri čemer je upoštevana zakonsko predpisano vrednost 7% za diskontno stopnjo (DS).

Preglednica 8: Finančni tok investicije za dobo obratovanja 50 let z upoštevanjem DS=7%

Instaliran pretok [l/s]	Investicija [€]	Proizvodnja [€]	NSV				
			Prilivi-Proizvodnja [€]	Investicija [€]	Odlivi – vzdrževanje [€]	NSV pri DS 7%	ISD [%]
250	147798	2561	33031	-138129	-19063	-124161	-3.40
500	157798	4788	61758	-147475	-20353	-106069	0.07
750	167798	6545	84418	-156821	-21642	-94045	1.57
1000	177798	7992	103075	-166166	-22932	-86024	2.46
1250	187798	9225	118989	-175512	-24222	-80745	3.04
1500	195798	10269	132451	-182980	-25254	-75783	3.48
1750	205798	11230	144844	-192335	-26544	-74034	3.75
2000	215798	12004	154825	-201680	-27833	-74688	3.88
2250	225798	12618	162744	-211026	-29123	-77405	3.92
2500	233798	13357	172278	-218503	-30155	-76379	<b>4.07</b>
3000	251798	14604	188366	-235325	-32477	-79436	<b>4.18</b>
3500	269798	15736	202964	-252148	-34798	-83982	<b>4.22</b>
4000	287798	16696	215347	-268970	-37120	-90743	<b>4.18</b>
4500	305798	17492	225605	-285793	-39442	-99629	<b>4.08</b>
6800	385798	20524	264710	-360559	-49760	-145609	3.57

Izračun temelji na metodi neto sedanje vrednosti naložbe, z uporabo diskontne stopnje in niza bodočih plačil in dohodkov za obdobje 50 let. Izračun je narejen za vsako turbino posebej, od katere je odvisna višina investicije, stroški obratovanja in proizvodnja električne energije. Stroški obratovanja so ocenjeni na 1% celotne investicije. Za diskontno stopnjo smo upoštevali vrednost 7%. Rezultati analize so prikazani v stolpcu 7, v Preglednici 8, kot neto sedanja vrednost zbira prilivov (proizvodnja) in odlivov (investicija, obratovalni stroški) za obdobje 50 let obratovanja. Iz rezultatov je razvidno, da

investicija ne izkazuje pozitivnega donosa za izbrano diskontno stopnjo v nobenem od zgornjih primerov. Ker projekt na podlagi upoštevanja zakonske stopnje donosa ni upravičen, smo preverili še ISD (stolpec 8, preglednica 8), da bi dobili stopnjo donosa, z izhodiščno NSV nič. Kljub temu, da z izračuni nismo dosegli potrebnih 7% DS, je v nekaterih primerih donosnost večja od 4%, kar pomeni, da je finančni vložek v teh primerih utemeljen. Najbolj bi bila investicija upravičena, v primeru turbine z instaliranim pretokom  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , ko je notranja stopnja donosa 4,22%. Vrednost investicije, bi se v tem primeru povrnila v dobrih 20 letih, če računamo dobo vračanja za fiksno ceno oz. diskontno stopnjo nič procentov.

**Diskontna stopnja** je letna odstotna mera, po kateri se sedanja vrednost denarne enote v naslednjih letih zmanjšuje s časom. Izraža ovrednotenje prihodnjih stroškov in koristi v primerjavi s sedanjimi [15].

**ISD ali notranja stopnja donosa** je tista diskontna stopnja pri kateri je vsota sedanje vrednosti denarnih tokov naložbe enaka nič. Uporablja se za analizo smotrnosti investicije, kjer je projekt z višjim ISD boljša naložbena izbira [16].

Projektant je za preliminarno oceno ekonomsko upravičenost izračunal nekoliko drugače in prišel do zaključka, da bi se vrednost investicije povrnila v 14,9 letih. To velja za letni dobiček 21244 €, pri kateri je upoštevana 1% rast odkupa električne energije. Z instalacijo iste turbine smo glede na naše izračune določili povrnitev investicije v 26,5 letih, pri kateri je notranja stopnja donosa 3,57%.

## 5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo ocenjevali energetski potencial reke Reke v vasi Topolc pri Ilirski Bistrici. Objekt na obravnavani lokaciji, kjer so včasih izkoriščali vodni potencial za mletje žita in žaganje lesa, bi v sklopu obnovitve začeli izrabljati za proizvodnjo električne energije. Izračune smo izvedli na podlagi hidroloških meritev vodomerne postaje Trnovo, s katerimi smo pridobili natančne meritve pretokov, in topografskih podatkov, pridobljenih z geodetskimi posnetki. Natančnost in pomanjkanje teh vrst podatkov, predstavlja težavo pri ocenjevanju smiselnosti in ekonomske upravičenosti te vrste investicij. Takšna ocena je le del vseh potrebnih analiz, pred tehtno odločitvijo o začetku projekta, lahko pa jo uporabimo tudi kot zasnovo idejnega projekta.

Zaradi velike količine razpoložljivih hidroloških podatkov (1952-1966; 1985-2012), smo jih najprej smiselno razdelili na tri obdobja (1952-1966, 1985-1999 in 2000-2012) in izvedli statistično analizo vsakega dela posebej. Iz te analize smo dobili hidrološke razmere, s katerimi na obravnavani lokaciji razpolaga reka Reka. Ker je prvi niz, zaradi spremenjenih hidroloških pogojev z izgradnjo akumulacij Klivnik in Mola, preveč odstopal od zadnjih dveh, smo se odločili, da ga v nadaljevanju naloge ne upoštevamo pri računu. Iz poznanih geometrijskih karakteristik referenčnih prečnih profilov, smo določili pretočne krivulje teh, profilov iz katerih lahko za vsak pretok določimo bruto višinsko razliko med obema profiloma. Na podlagi izbranega tipa turbine, kjer smo, zaradi primerjave z obstoječim idejnim projektom izbrali Kaplanovo turbino, smo izračunali obratovalne karakteristike turbine.

Razpoložljivo moč smo določili z upoštevanjem instaliranega pretoka, ki smo ga povečevali s korakom 250 l/s, v območju od 0,25 m<sup>3</sup>/s do 4,5m<sup>3</sup>/s, in iz tega dobili vrednosti proizvedene električne energije. Račun smo opravili tudi za turbino s 6,8 m<sup>3</sup>/s instaliranega pretoka iz idejnega projekta. Ugotovili smo, da se z večanjem instaliranega pretoka pri enakih obratovalnih parametrih turbine, sorazmerno povečuje povprečna moč turbine, količina proizvedene letne energije in tudi letnega zaslužka. Ob tem pa se zmanjšuje obratovalni čas delovanja turbine z instaliranim pretokom. Zviševanje instaliranega pretoka je tudi omejeno z obratovalnim minimumom turbine ( za Kaplanovo turbino okoli 25%), kar pomeni nezmožnost obratovanja elektrarne v območju nizkih pretokov.

V nalogi smo izvedli tudi primerjavo s projektom preliminarne ocene ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne, ki jo je na zahtevo lastnika objekta izdelalo podjetje Sinapro leta 2007. Primerjava je izvedena za enak tip turbine in upoštevanju primerljivih stroškov investicije. Finančno utemeljenost investicije smo vrednotili za obdobje 50 let. Na podlagi preliminarne finančne ocene smo ugotovili, da je vlaganje v investicijo dolgoročno upravičeno (doba povrnitve investicijskih vlaganj znaša okoli 20 let) in je smiselno, da se projektne aktivnosti nadaljujejo v smeri izdelave projektne

dokumentacije, na osnovi katere bo možno bolj natančno določiti in utemeljiti tudi finančne pokazatelje investicije.

Za oceno energetskega potenciala obravnavane lokacije, smo upoštevali vse pomembne dejavnike, ki lahko vplivajo na rezultat. Poleg tega smo imeli na voljo zelo natančne podatke, kar je v praksi pri določevanju potenciala za takšne vrste projektov zelo redko. V nalogi smo dokazali, da je pristop določevanja energetskega potenciala na osnovi krivulje trajanja in povprečnih pretokov bistveno bolj nezanesljiv, kot izračun možne proizvodnje na osnovi časovnega niza podatkov. Zato lahko zaključimo, da je podana ocena kredibilna za upoštevanje podatke in se lahko nanjo opremo pri odločanju o postavitvi male hidroelektrarne ter izračunane količine uporabimo pri nadaljnjih izračunih.



## VIRI

### Uporabljeni viri:

- [1] Atlas okolja 2014  
[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 27. 8. 2014.)
- [2] Mihevc, A., Kranjec, A. 1988. Poplavni svet ob notranjski Reki. Geografski zbornik/Acta geographica. 28: 195-198
- [3] Cuscito, G., Halupca, E., Foscan, L., et al. 1990. Reka - Timav: podobe, zgodovina in ekologija kraške reke. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga: str. 239, 240
- [4] Kogovšek, J. 2001. Opazovanje poplavnega vala Reke maja 1999. Acta carsologica. 30/1: 55-68
- [5] Frantar, P. 2005. Pretočni režimi Slovenskih rek in njihova spremenljivost. Ujma. 19: 145-153
- [6] Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS, št. 97/09
- [7] Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Hidrotehnična smer FGG: str. 131-133
- [8] Bostan, I., Georghe, A., Dulgheru, V., et al. 2013. Resilient energy Systems. London, Springer Dordrecht Heidelberg New York: str. 176-215
- [9] Šantl, S., Kozelj, D. 2012. Razvoj informacijskega orodja za ugotavljanje učinkovitega hidroenergetskega potenciala. Acta hydrotechnica. 25/42: 19-30
- [10] Uredba o podporah električne energije za naprave iz obnovljivih virov. Uradni list RS, št. 37/2009
- [11] Preliminarna ocena ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne na vodotoku Reka. 2007. Laznica, Siapro: et al

- [12] Fluid Machinery  
[http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/machine/chapter\\_7/7\\_11.html](http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/machine/chapter_7/7_11.html)  
(Pridobljeno 24. 8. 2014.)
- [13] Orel, B. 1986 Energetski pretvorniki 1. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: str. 90-95
- [14] Penche, C. 1998 Layman's handbook on how to develop a small hydro site (Second edition).  
Commission of the European Communities
- [15] Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije javne  
finance, Uradni list RS, št. 60/2006
- [16] Wikipedija  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Internal\\_rate\\_of\\_return](http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_rate_of_return) (Pridobljeno 24. 8. 2014.)

#### Ostali viri:

Ministrstvo za okolje in prostor - Agencija Republike Slovenije za okolje. 2008. Vodna  
bilanca Slovenije 1971-2000, Ministrstvo za okolje in prostor - Agencija Republike Slovenije  
za okolje: str. 47,48

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove Hidrologije. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
gradbeništvo in geodezijo

Bernot, F., Bračič, V., Černe, A., et al. 1998. Geografija Slovenije. Ljubljana. Slovenska  
matica: str. 139-172

Burja, D., Smolar, N., Muck, P., Vrhovšek, D. 1995. Osnove določanja ekološko  
sprejemljivega pretoka (Qes). V: Mišičev vodarski dan, Maribor, 8. december 1995.  
Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: str. 67-71

Šolc, L. 1986. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 1. del: Moč dajeta padec in pretok vode,  
2. Del: Napeljava vode. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 23,37

Družba posest 2014

<http://www.posest.si/kaj-je-lokacijsko-dovoljenje/> (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

Arso

[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php?p\\_vodotok=Reka&p\\_postaja=9030](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Reka&p_postaja=9030)

(Pridobljeno 13. 5. 2014.)

Jerkovič, B. 1996. Male hidroelektrarne. Maribor, Javno podjetje EGS, Razvoj in inženiring:  
str. 6,7

Habič, T. 2006. Male hidroelektrarne danes. V: Mišičev vodarski dan, Maribor, 14. december  
2006. Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: str. 68-70



## ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani Nejc Bedek izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 18.9.2014

Nejc Bedek

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>627.8(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Nejc Bedek</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Andrej Kryžanowski</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Simon Rusjan</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Ocena hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>33 str., 8 pregl., 15 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>mala hidroelektrarna, energetski potencial, instalirani pretok, ekonomska upravičenost</b>

### **Izveček**

Izkoriščanje obnovljivih virov energije, je ključnega pomena, zaradi vse večjih potreb po električni energiji. Kljub majhni količini proizvedene električne energije v malih hidroelektrarnah imajo takšne investicije veliko drugih prednosti. Pred začetkom opravil za izgradnjo elektrarne je natančna analiza, na osnovi kakovostnih vhodnih podatkov, mesta na katerem želimo izkoriščati vodni potencial, ključnega pomena. V oceni hidroenergetskega potenciala reke Reke na lokaciji Topolc, smo določili smiselnost revitalizacije starega objekta, v katerem so včasih vodni potencial že izkoriščali. Izhajali smo iz meritev pretokov na vodomerni postaji Trnovo, ki smo jih analizirali in smiselno ovrednotili. Topografske podatke terena smo pridobili z geodetskimi posnetki lokacije. Cilj takšne ocene je predvsem dobiti količino letne proizvedene električne energije in ekonomska upravičenost investicije. Za smiselno ovrednotenje vhodnih podatkov, smo izračune moči in električne energije primerjali z izračuni podjetja Siapro, ki smo jih dobili od lastnika objekta, g. Barbiša. Primerjava je bila izvedena za dvakrat regulirano Kaplanovo turbino, ki se glede na okoliščine, ni izkazala za optimalno izbiro. Ekonomsko upravičenost smo dokazovali z analizo finančnega toka, in sicer z rezultati neto sedanje vrednosti (NSV) za zakonsko predpisano diskontno stopnjo (DS) in interno stopnjo donosnosti (IDS). Pridobljeni rezultati so dobra podlaga za izdelavo idejnega projekta oziroma za nadaljnje projektne aktivnosti, v kolikor bi se lastnik objekta odločil za izdelavo male hidroelektrarne.

**BIBLIOGRAPHIC – DOKUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>627.8(497.4)(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Nejc Bedek</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Andrej Kryžanowski, Ph. D.</b>
<b>Co-supervisor:</b>	<b>Simon Rusjan, Ph. D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Assessment of hydroenergetic potential on river Reka in Topolc.</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation thesis – University studies</b>
<b>Notes:</b>	<b>33 p., 8 tab., 15 fig.</b>
<b>Key words:</b>	<b>small hydropower plant, energy potential, rated flow, economic viability,</b>

**Abstract**

Due to increasing demand for electricity, the exploit of renewable energy resources has become essential. Despite the small amount of electricity produced by small hydropower plants, have such investments many other advantages. Before starting a project of small hydro power plant, it is vital to analyze quality input data of selected location for using water potential. In assessment of hydroenergetic potential of the Reka river in Topolc, the point of old object revitalization has been determined, in which water potential has already been exploited. We start with analysis and evaluation of daily flow measurements from gauging station in Trnovo. Topographical terrain data were collected with the geodetic location recordings. The aim of such an assessment is primarily to get the annual amount of electricity produced and the viability of investment. Calculations of produced power and electricity were compared with calculations from company Siapro, which were obtained from the owner of the object Mr. Barbiš. The comparison was made for double regulated Kaplan turbine, which, given the circumstances, is not proven to be optimal choice. Economic viability has been proven by analyzing cash flow, with the results of net present value (NPV) for a statutory discount rate (DS) and internal rate of return (IRR). The obtained results are a good basis for developing a conceptual design, or for further project activities, if the owner will decide to build small hydropower plant.



## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskem za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela. Prav tako se zahvaljujem somentorju doc. dr. Simonu Rusjanu in lastniku objekta g. Adotu Barbišu, ki sta mi pomagala s koristnimi nasveti.

Posebna zahvala gre moji družini, ki me je ves čas študija podpirala in potrpežljivo stala ob strani.

Hvala tudi vsem ostalim, ki so mi na kakršen koli način pomagali tekom študija.

**KAZALO**

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	Namen in cilj diplomske naloge .....	1
1.2	Zgodovina.....	2
<b>2</b>	<b>IZHODIŠČA</b> .....	<b>3</b>
2.1	Reka Reka.....	3
2.2	Topografski podatki.....	3
2.2.1	Prečni profili .....	4
2.3	Hidrološki podatki .....	5
2.3.1	Podatkovni niz 1952-1966.....	5
2.3.2	Podatkovni niz 1985-1999.....	6
2.3.3	Podatkovni niz 2000-2012.....	7
2.3.4	Letni pretok .....	8
2.3.5	Ovrednotenje podatkov.....	9
<b>3</b>	<b>IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA</b> .....	<b>10</b>
3.1	Račun pretočnih krivulj .....	10
3.2	Izračun energetskega potenciala.....	11
3.2.1	Ekološko razpoložljiv pretok Qes.....	12
3.2.2	Razpoložljiva moč .....	14
3.2.3	Razpoložljiv potencial .....	16
<b>4</b>	<b>DOLOČITEV OBRATOVALNIH KARAKTERISTIK HIDROELEKTRARNE</b> .....	<b>18</b>
4.1	Opis in definicija male hidroelektrarne .....	18
4.2	Izhodišča za primerjavo.....	19
4.3	Kaplanova turbina .....	20
4.4	Primerjava moči.....	21
4.5	Primerjava proizvedene električne energije.....	23
4.6	Ekonomska upravičenost.....	25
4.6.1	Stroški investicije .....	25
4.6.2	Denarni tok .....	27
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>29</b>
<b>VIRI</b> .....	<b>31</b>	

## KAZALO SLIK

Slika 1: Umestitev objekta v prostor [1] .....	1
Slika 2: Obravnavan objekt (lasten vir).....	2
Slika 3: Tloris obravnavane lokacije na podlagi geodetskih meritev.....	4
Slika 4: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1952 do leta 1966.....	6
Slika 5: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1985 do leta 1999 .....	7
Slika 6: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 2000 do leta 2012 .....	8
Slika 7: Spreminjanje povprečnih mesečnih pretokov skozi leto v vseh treh obdobjih.....	9
Slika 8: Pretočna krivulja z enačbama trendnih črt obeh profilov .....	11
Slika 9: Proizvodnja električne energije glede na razpoložljiv pretok.....	15
Slika 10: Dovodni kanali mlina v času delovanja [3] .....	19
Slika 11: Dovodni kanali mlina danes (lasten vir) .....	19
Slika 12: Nekaterne komponente Kaplanove turbine [12] .....	21
Slika 13: Delež izkoriščanja instaliranega pretoka.....	22
Slika 14: Primerjava računske in povprečne dnevne proizvedene moči .....	23
Slika 15: Letna proizvodnja električne energije pri instaliranem pretoku $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	25

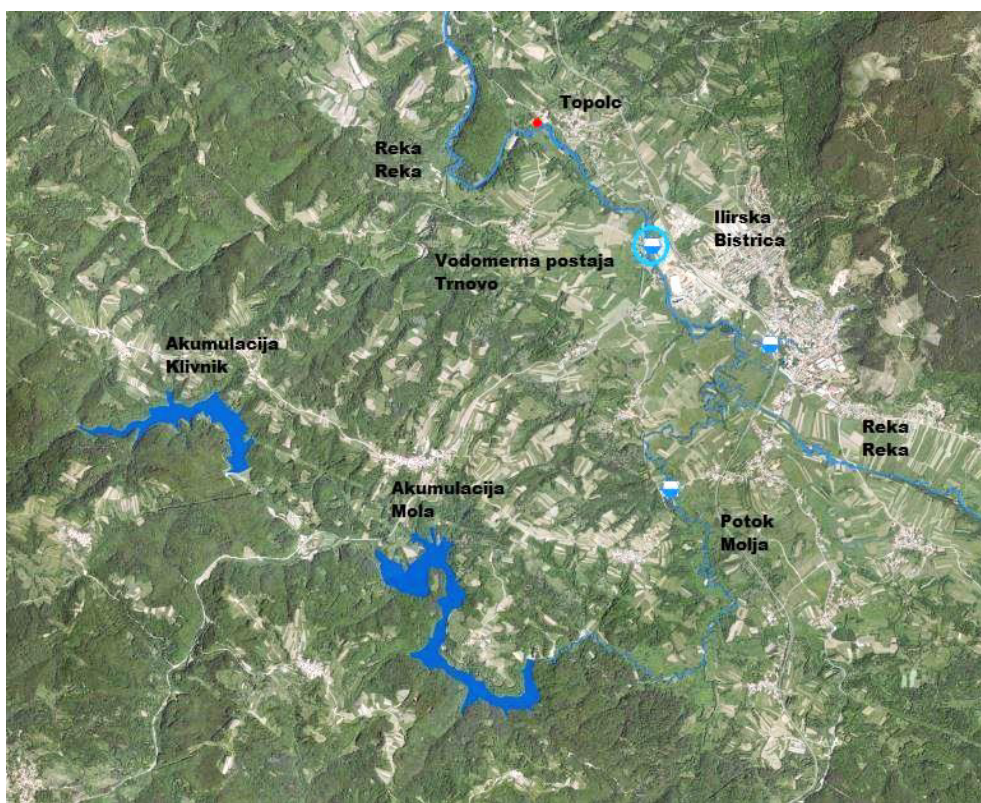
**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Karakteristike profila 2 in profila 8 .....	5
Preglednica 2: Vrednost faktorja f za izračun Qes pri povratnem odvemu po uredbi o Qes 2009 [6] ..	13
Preglednica 3: Skupine ekoloških tipov razdeljenih po uredbi o Qes 2009 [6].....	13
Preglednica 4: Klasifikacija hidroelektrarn po velikosti proizvedene moči [10] .....	18
Preglednica 5: Primerjava izhodišč med izračunom in podatki iz projekta podjetja Siapro na podlagi $Q_{inst}=6,8m^3/s$ [11].....	20
Preglednica 6: Bruto padec, povprečna moč in letno proizvedena električna energija .....	23
Preglednica 7: Višina stroškov investicije podjetja Siapro in naših izračunov [11].....	26
Preglednica 8: Finančni tok investicije za dobo obratovanja 50 let z upoštevanjem $DS=7\%$ .....	27

## 1 UVOD

### 1.1 Namen in cilj diplomske naloge

Namen diplomske naloge je ocena energetskega potenciala za izgradnjo male hidroelektrarne (mHE) na reki Reki, v vasi Topolc pri Ilirski Bistrici, kjer so v preteklosti že izkoriščali vodni potencial. Na obravnavani lokaciji (na Sliki 1 je lokacija označena z rdečo piko) stoji objekt v katerem sta včasih delovali dve žagi in mlin. Za povečanje potenciala so zgradili široki prag in mlinščico. Mlinščica ima funkcijo odvajanja izkoriščene vode nazaj v glavno strugo.



Slika 1: Umestitev objekta v prostor [1]

V diplomski nalogi so na podlagi razpoložljivih hidroloških in topografskih podatkov, pridobljenih z geodetskimi posnetki, izračunane vse potrebne količine za relevantno oceno energetskega potenciala. Naše izračune smo primerjali z vrednostmi iz projekta za preliminarno oceno izgradnje male hidroelektrarne in jih ustrezno ovrednotili. Na podlagi stroškov investicije smo izdelali tudi finančno analizo, v primeru, da bi se za takšno investicijo odločili.

## 1.2 Zgodovina

Porečje reke Reke je v veliki meri poraščeno z gozdom, zato je bila osnovna gospodarska dejavnost v teh krajih predelovanje lesa z žagami. Žagarstvo in mlinarstvo, sta bili v teh krajih zelo razviti dejavnosti, ki sta izkoriščali vodni potencial. Prvič je ti dve dejavnosti omenjal že J. V. Valvasor leta 1689, ko je ob reki Reki in reki Bistrici naštel 45 mlinov in 16 žag. S pojavom industrializacije in povečanju potreb, je število mlinov in žag počasi upadalo. Tako je, na primer, leta 1976, v zborniku Lesna industrija na Pivškem, naštetih 31 objektov, v katerih so se ukvarjali z eno ali obema dejavnostma [2].

Z postavitvijo jezov in mlinščic so ljudje prvič posegli v vodni režim reke. V spodnjem toku reke Reke, so v času pomanjkanja vode mašili požiralnike, da bi podaljšali čas delovanja vodnih koles. Večji poseg v režim reke Reke je bila izgradnja akumulacij na potokih Molja (1973-1978) in Klivnik (1984-1987). Akumulaciji sta bili zgrajeni za zadrževanje poplavnih voda in bogatenje reke Reke v času nizkih pretokov [2].



Slika 2: Obravnavan objekt (lasten vir)

Obravnavani objekt (Slika 2) naj bi bil po pričevanjih zadnjega mlinarja in prejšnjega lastnika, Antona Barbiša, star več kot 300 let. V objektu sta delovala dva kamna za mletje bele in črne moke ter žaga venecijanka. Za obdelavo kubičnega metra lesa z žago, so potrebovali 16 ur dela. Poleg poslopja g. Barbiša, stoji kot podaljšek objekta še žaga Antona Možine, katere kapaciteta je bila 2-3 m<sup>3</sup> lesa dnevno. Žaga in mlin sta prenehala z delovanjem leta 1960. Razlog je predvsem v zagonu industrijskih obratov žaganja lesa in mletja žita. Tako so kmečki mlini in žage prenehali z delovanjem in ostali prepuščeni zobu časa [3].

## 2 IZHODIŠČA

### 2.1 Reka Reka

Dolina Notranjske Reke je pokrajina v primorskem delu Notranjske. Leži v JV vznožju visoke pregrade dinarskih planot in je zato podvržena sredozemskim vplivom. Dolina Reke je v razmeroma nizki nadmorski legi od 350 do 500 m nad morjem, vendar jo z vseh strani obdajajo višje pokrajinske enote.

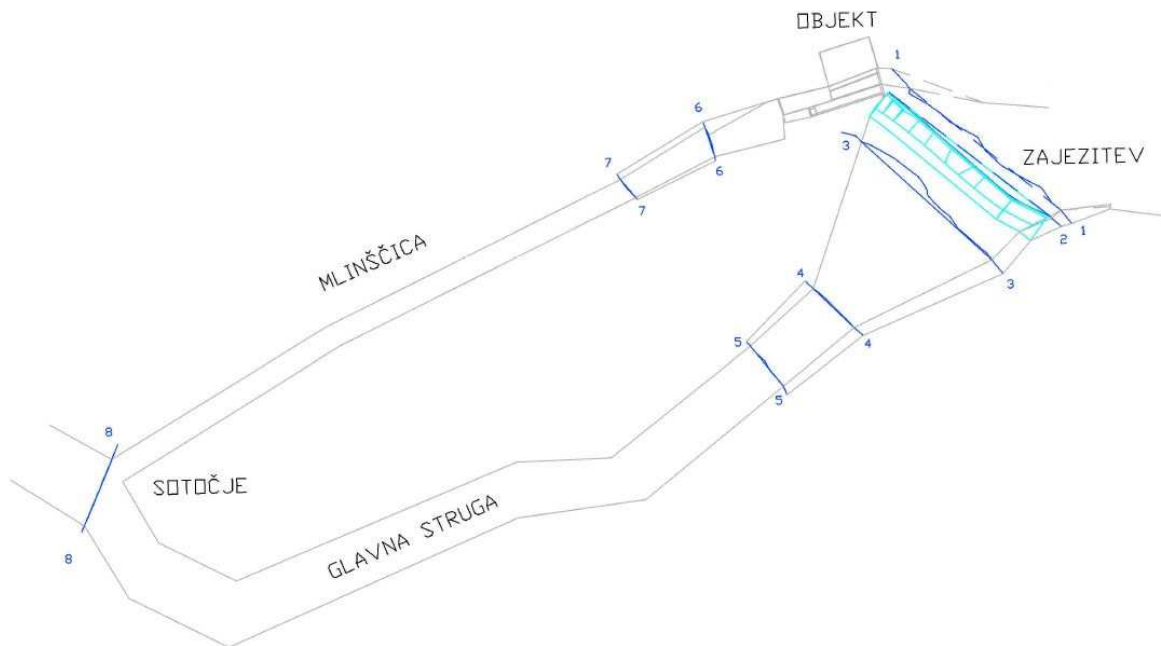
Celotno porečje Reke meri 442 km<sup>2</sup>, vendar je zaradi kraškega sveta razvodnico težko natančno določiti. Porečje sestavljajo celotni Brkini, Košanska dolina, velik del kraškega pogorja Snežnika in del kraškega obrobja Pivke, Prestranško-Slavinski ravniki oziroma Loža. Najvišja točka je vrh Snežnika z 1797 m n.v., najnižja točka nad morjem pa je ponor Reke v Škocjanskih jamah pri 320 m nad morjem.

Reka izvira na nadmorski višini 720m na neprepustnem flišu, kjer se več studencev in potočkov zbere v potok Reka. Potok preide v reko, ko ta zapusti tesne flišne grape nad vasjo Zabiče in začne teči po relativno široki dolini z ravnim dnom, ki poteka vzporedno z vznožjem Snežnika, na stiku med flišnimi in karbonatnimi kamninami. Z desne dobiva Reka številne pritoke. Največji pritoki reke Reke so Bistrica, Molja, Podstenjšek, Padež in Sušica. Dolina je tako rekoč v celoti izoblikovana v eocenskih flišnih kamninah, ki jih sestavljajo laporji, gline, peščenjaki, breče in konglomerati. Flišni svet predstavlja 54% porečja. Spodnji del reške doline, ki se začne pri vasi Vremški Britof, je sestavljen iz karbonatnih kamnin, in sicer mezozojskega in eocenskega apnenca. Kraški del porečja pokriva 46% površine porečja, v katerega spada tudi Snežniško pogorje, ki je zakrasela planota, z vsemi značilnostmi globokega krasa. Notranjska Reka ponikne v Škocjanskih jamah in ponovno pride na površje v Devinu, 33km stran od ponora, kot reka Timav, ki se izliva v Jadransko morje [2][4].

### 2.2 Topografski podatki

Na voljo so bili geodetski podatki, pridobljeni z geodetskimi meritvami. Meritve so bile opravljene letos v mesecu marcu, z instrumentom Leica TCR803, ki deluje na podlagi merjenja horizontalnih in vertikalnih kotov. Instrument s triangulacijo izračuna in določi položaj izmerjenih točk. Triangulacija je metoda določevanja razdalje med točkami iz poznanih kotov med dvema referenčnima točkama in merjeno točko. Referenčni točki določimo z GPS instrumentom, ki ga priključimo na teodolit. Tako lahko merjene točke natančno postavimo v prostor.

Za študijo smo izmerili prečni profil struge reke Reke tik nad pregrado, profil na stiku mlinščice in glavne struge, dimenzije pregrade in obstoječega objekta ob pregradi. Podatke smo nato uvozili v AUTOCAD, ki omogoča izdelavo 3D modela lokacije. Na Sliki 3 je prikazan tloris posnete lokacije, kjer so s številkami od 1 do 8 označeni izmerjeni profili. S svetlo modro barvo je izrisana pregrada, označeni pa so še ostali elementi, ki so omenjeni v nalogi.



Slika 3: Tloris obravnavane lokacije na podlagi geodetskih meritev

### 2.2.1 Prečni profili

Za potrebe nadaljnjih preračunov sta ključna dva profila in sicer:

- Profil 2 - tik nad pragom in
- Profil 8 - na sotočju mlinščice in struge Reke.

Naravna struga Reke nima pravilne trapezne oblike, zato smo presek profila za potrebe računa priredili glede na izmerjene karakteristične točke.

V profilu 2 je merodajna višinska kota 394 m n.v., ki predstavlja vrh obstoječega praga. V profilu 8 pa je dno struge postavljeno v najnižjo točko profila, na 390,46 m. V spodnji tabeli so podane karakteristike obeh profilov, ki so uporabljene v izračunih.

b ... širina dna struge

n ... naklon levega brega struge



m ... naklon desnega brega struge

$n_g$  ... Manningov koeficient hrapavosti (naravna zaraščena struga v kateri se pojavljajo tolmoni)

$I_0$  ... vzdolžni naklon struge

n.v. dna ... višinska kota dna struge

*Preglednica 1: Karakteristike profila 2 in profila 8*

	b [m]	n [levi breg]	m [desni breg]	$n_g$	$I_0$ [‰]	n.v. dna [m]
<b>PROFIL 2</b>	41,49	2,744	1,823	0,048	2,9	394,0
<b>PROFIL 8</b>	13,15	1,420	1,520	0,048	2,9	391,17

## 2.3 Hidrološki podatki

Izhodiščni podatki za nalogo so dnevne meritve gladine reke Reke na vodomerni postaji Trnovo, v Ilirski Bistrici, ki jih izvaja Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Merilno mesto je locirano 1,8 km gorvodno od obravnavane lokacije. Podatki so za oceno hidroenergetskega potenciala dovolj natančni, saj med točko meritve in točko analize ni nobenega večjega pritoka, ki bi znatno vplival na spremembo pretoka.

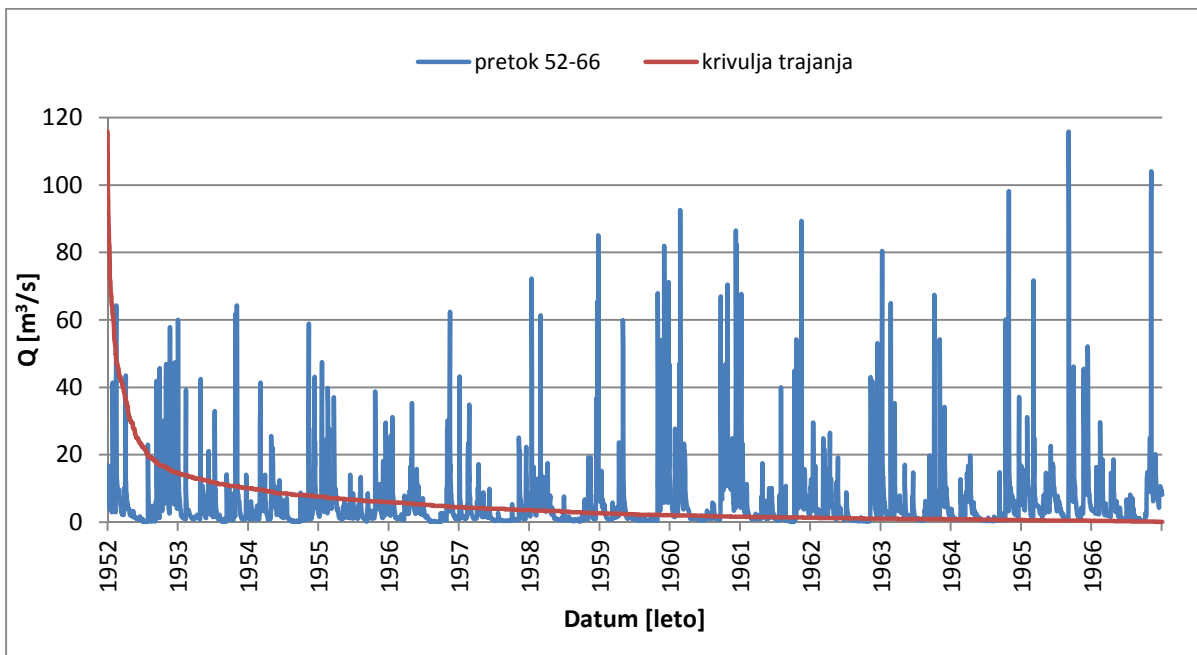
Analizirali smo meritve od leta 1952 do 2012 in jih zaradi lažje predstavitve, razdelili na tri dele. Prvo obdobje je pred izgradnjo akumulacij na porečju Reke, drugo obdobje obsega podatkovni niz do leta 2000 in zadnje obdobje do leta 2012. Od leta 1967 do vključno 1984 podatkov za to merilno postajo ni v hidroloških arhivih. Za vsak niz posebej smo izdelali hidrogram meritev in pripadajočo krivuljo trajanja. Za določitev karakterističnih pretokov posameznega obdobja, smo podatke statistično analizirali. Vse podane vrednosti prispevajo k hidrološkim karakteristikam vodotoka, na podlagi katerih je mogoča nadaljnja študija ocene energetskega potenciala.

### 2.3.1 Podatkovni niz 1952-1966

Za podatkovni niz je značilno pogosto pojavljanje visokih voda, v primerjavi z drugimi nizi (Slika 4). Največji razlog je, da so to merjenja, izvedena pred izgradnjo akumulacij Klivnik in Mola, ki služita zadrževanju poplavnega vala. Njihov izpust je lociran gorvodno od postaje Trnovo, zato so meritve na postaji Trnovo relevantne.

V obdobju od leta 1952 do leta 1966, je zabeleženih 5479 meritev dnevni pretokov, ki obsegajo pretoke od najmanjšega v konici  $Q_{nk}=0,12 \text{ m}^3/\text{s}$  (3. jul. - 5.jul. 1952, 22.jul. - 24.jul. 1952, 20.jul. - 22.jul. 1961, 27.sept. - 6.okt. 1961, 13.dec. - 31.dec. 1966) do največjega v konici  $Q_{vk}=115,8 \text{ m}^3/\text{s}$

(2.sept. 1965). Povprečni srednji dnevni pretok v omenjenemu obdobju znaša  $sQ_s=5,248 \text{ m}^3/\text{s}$  in ima koeficient variacije  $C_v=1,647$ . Največja verjetnost je, da se pojavi pretok  $Q=0,96 \text{ m}^3/\text{s}$ . V hidrologiji je za računanje povratnih dob pretokov najpogostejša uporaba Pearson III porazdelitvene funkcije. Za to obdobje znaša pretok, z 10 letno povratno dobo,  $v_{10Q}=102,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vrednost smo dobili iz povprečnih visokih pretokov tega obdobja.

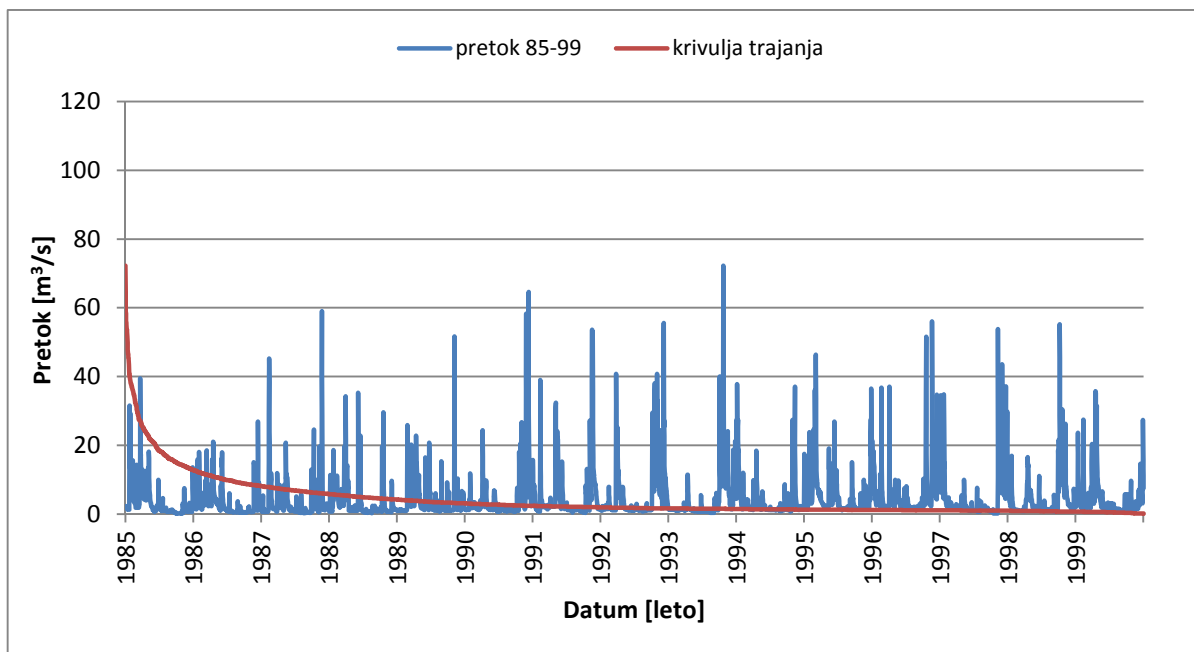


Slika 4: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1952 do leta 1966

### 2.3.2 Podatkovni niz 1985-1999

V meritvah tega obdobja je že mogoče zaznati vpliv izgradnje akumulacij, ki zadržujejo poplavni val, saj so maksimalne vrednosti pretokov mnogo nižje, kar posledično pomeni spremembo krivulje trajanja (Slika5).

V tem obdobju je bilo izmerjenih 5478 meritev dnevnih pretokov. Najmanjši konični pretok obdobja je  $Q_{nk}=0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  (4.okt. 1985), največji v konici je  $Q_{vk}=72,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (22.okt. 1993). Povprečni srednji dnevni pretok je za to obdobje  $sQ_s=4,134 \text{ m}^3/\text{s}$  in ima koeficient variacije  $C_v=1,475$ . Pretok z vrednostjo  $Q=1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ , ima največjo verjetnost pojava. Pretok z 10 letno povratno dobo, je v tem obdobju  $v_{10Q}=64,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

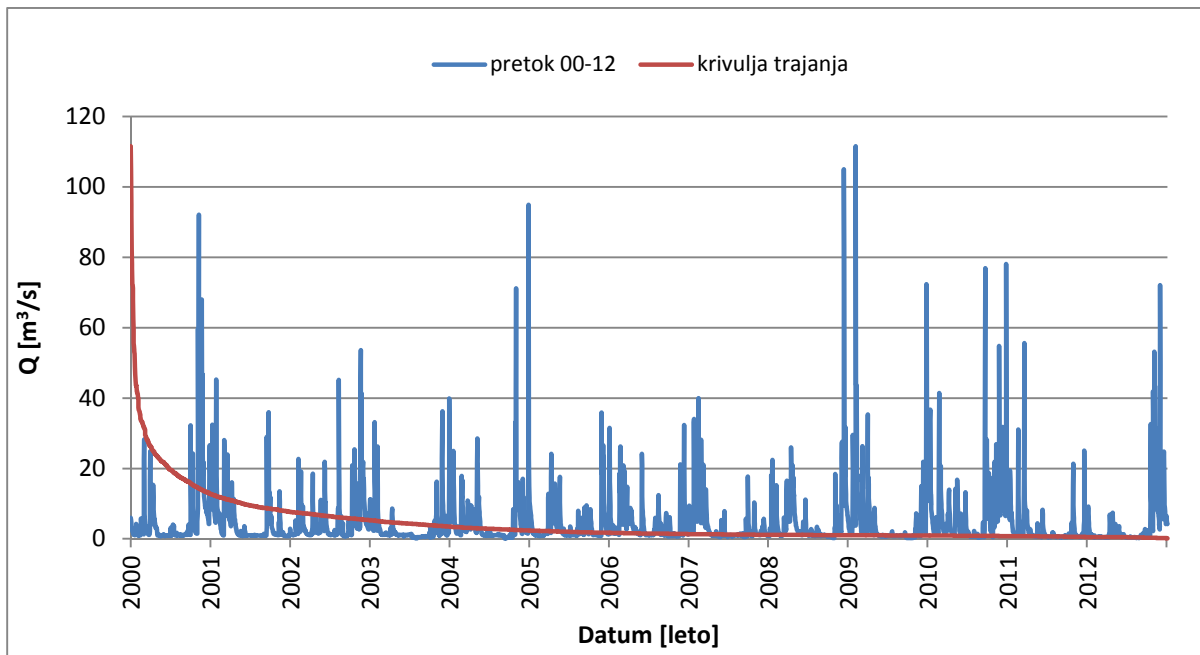


Slika 5: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 1985 do leta 1999

### 2.3.3 Podatkovni niz 2000-2012

V tem podatkovnem nizu, nastopajo podatki z največjo razpršenostjo. Ponovno se pojavijo visoke vode nad  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Opaziti je mogoče povečanje frekvence ekstremnih visokih in nizkih pretokov (Slika6).

Med leti 2000 in 2012 je ARSO opravil 4749 meritev dnevni pretokov, z najmanjšim pretokom v konici  $Q_{nk} = 0,163 \text{ m}^3/\text{s}$  (8.sept. 2004 in 14.sept. 2004) in največjim pretokom v konici  $Q_{vk} = 111,546 \text{ m}^3/\text{s}$  (3.feb. 2009). Povprečni srednji dnevni pretok za to obdobje je  $sQ_s = 4,321 \text{ m}^3/\text{s}$ , s koeficientom variacije  $C_v = 1,708$ . Pretok z 10 letno povratno dobo, je za to obdobje  $v_{10Q} = 100,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , medtem ko je v tem obdobju največja verjetnost pojava pretoka  $Q = 1,064 \text{ m}^3/\text{s}$ .

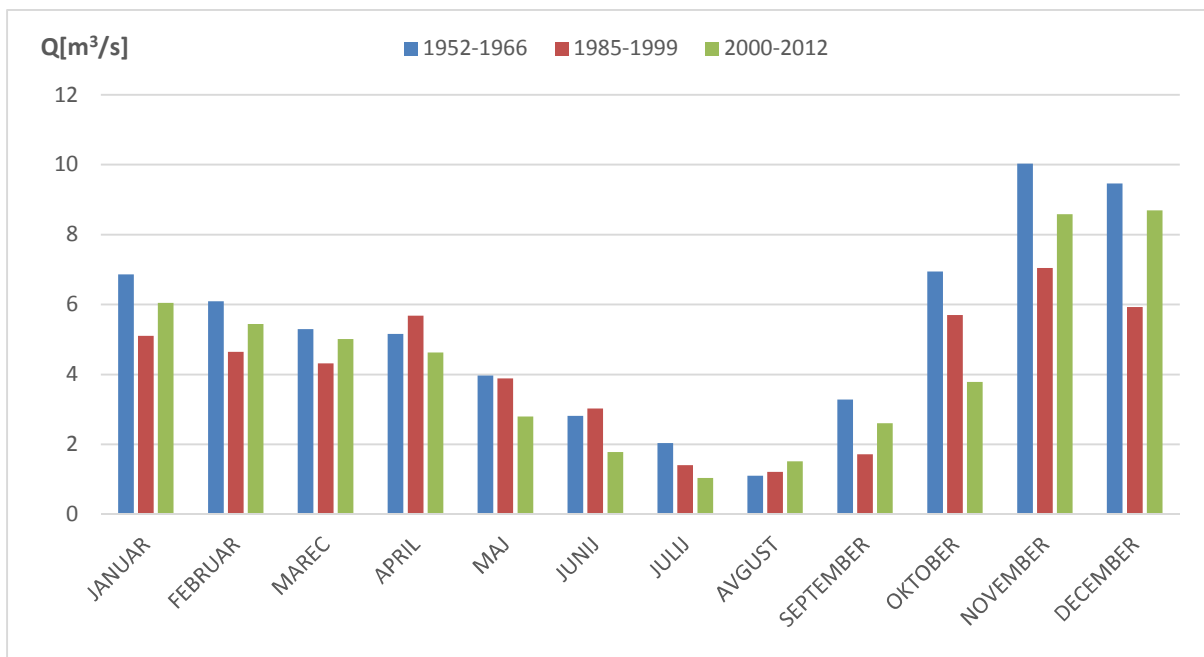


Slika 6: Hidrogram in krivulja trajanja vodomerne postaje Trnovo na reki Reki za obdobje od leta 2000 do leta 2012

### 2.3.4 Letni pretok

Za oceno primernosti izgradnje je prav gotovo pomembno tudi spreminjanje pretokov na letni ravni. Od tega je odvisna izbira turbine in posledično proizvodnja električne energije.

Vodomerna postaja Trnovo je locirana na stacionaži 30.66 km in zajema vode, ki se stekajo v reko s področja 166,96 km<sup>2</sup>. Reka Reka spada v skupino rek s sredozemskim rečnim režimom. Rečni režim je pokazatelj nihanja pretoka skozi leto in je najbolj odvisen od količine in razporeditve padavin skozi leto ter temperature tal in tudi drugih podnebnih dejavnikov[5]. Za rečni režim so značilni viški padavin v jesenskem obdobju in posledično pojavljanje nadpovprečno visokih pretokov med oktobrom in aprilom z nastopom viška v novembru ali decembru. Količina vode se do aprila bistveno ne zmanjša. Podpovprečni pretoki nastopijo maja in trajajo do septembra. Najmanj vode je v avgustu, kar je posledica pomanjkanja padavin in velike evapotranspiracije.



Slika 7: Spreminjanje povprečnih mesečnih pretokov skozi leto v vseh treh obdobjih

Na Sliki 7, kjer so prikazani povprečni mesečni pretoki za vsa omenjena tri obdobja, je lepo razviden sredozemski rečni režim. Opazno je zmanjšanje spomladanskega viška in tudi minimalnih pretokov v juliju. Vzrok bi verjetno lahko pripisali višjim povprečnim temperaturam, ki znižujejo debelino in čas snežne odeje v Snežniškem pogorju, kar posredno vpliva na režim reke Reke. Na letni ravni je pomemben tudi vpliv akumulacij Mola in Klivnika, ki ob viških zadržujeta vodo, poleti pa bogatita vodotok.

### 2.3.5 Ovrednotenje podatkov

Na podlagi opravljene analize, v predhodnih poglavjih, smo prišli do zaključka, da meritve dnevni pretokov, v obdobju od leta 1952 do 1966, odstopajo od drugih dveh podatkovnih nizov. Verjetno je glavni razlog v izgradnji obeh akumulacij, ki sta pretoke reke Reke uravnale in zmanjšale število ekstremnih vrednosti pretokov. K razliki doprinesejo tudi manj natančne meritve v tistem obdobju. V nadaljevanju naloge, so meritve dnevni pretokov združene v en sam niz, in sicer od leta 1985 do leta 2012. Na ta način so nazornejše prikazane in analizirane količine, pomembne za oceno energetskega potenciala.

### 3 IZRAČUN ENERGETSKEGA POTENCIALA

#### 3.1 Račun pretočnih krivulj

Za izračun potenciala, ki bi ga izkoriščala mala hidroelektrarna, je potrebno določiti višinsko razliko med profilom 2, na lokaciji vtočnega objekta hidroelektrarne in profilom 8, na lokaciji iztoka iz hidroelektrarne. V referenčnih profilih smo izračunali pretočno krivuljo rečnega profila, z upoštevanjem pretokov v obsegu meritev in uporabe Manningove enačbe. Na osnovi pretočne krivulje, smo izračunali globino za poljubno vrednost pretoka. Na ta način smo določili višinsko razliko med profiloma in jo uporabili pri izračunu energije.

Manningova enačba se uporablja v primeru stalnega enakomernega toka na prosti gladini. Takšen tok se pojavi, ko so globina, površina, pretok in hitrost, v daljšem časovnem obdobju in v vsakem prečnem preseku na daljšem odseku vodotoka, konstantne. Veljati mora  $Q(t, x) = \text{konst.}$  in  $S(t, x) = \text{konst.}$ , prav tako velja, da je naklon energijske črte vzporeden z gladino in dnom struge [8]. Pogojem na tem odseku v profilih 2 in 8, se dovolj približamo, da je enačba zadosten približek in končni rezultati dovolj natančni.

$$\tilde{u} = \frac{1}{n_g} * R^{2/3} * \sqrt{I_0}$$

$$Q = \tilde{u} * S$$

$$Q = \frac{\sqrt{I_0}}{n_g} * \frac{S^{5/3}}{O^{2/3}}$$

$$Q = \frac{\sqrt{I_0}}{n_g} * \frac{\left[\frac{h}{2} * (b + (b + h * (n + m)))\right]^{5/3}}{[b + h * (\sqrt{1 + n^2} + \sqrt{1 + m^2})]^{2/3}}$$

Kjer so:

$\tilde{u}$  ... povprečna hitrost

$Q$  ... pretok iz meritev dnevnih pretokov [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$h$  ... globina vode v referenčnem profilu [m]

$n$  ... naklon levega brega struge

$m$  ... naklon desnega brega struge

$n_g$  ... Manningov koeficient hrapavosti (naravna zaraščena struga v kateri se pojavljajo tolmuni)

$I_0$  ... vzdolžni naklon struge

$b$  ... širina dna struge

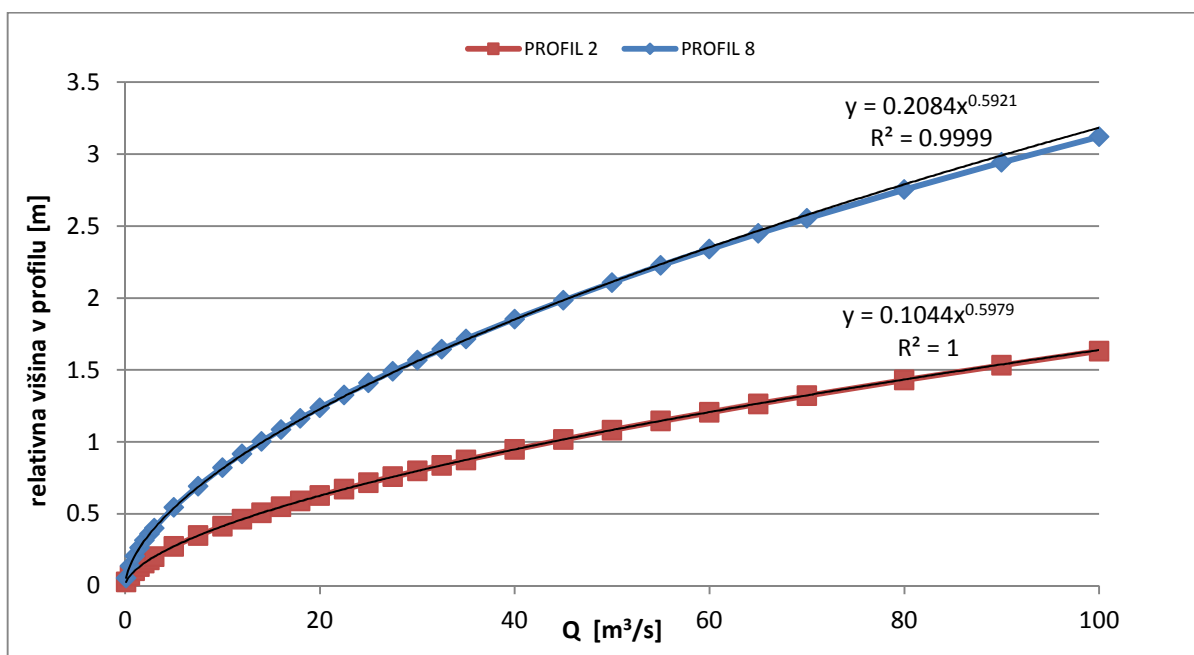
$R = \frac{S}{O}$  ... hidravlični radij je enak površini omočenega oboda deljeno obseg omočenega oboda

$$S = \frac{h}{2} * (b + L) \dots \text{površina omočenega oboda trapezne struge}$$

$$L = b + h * (n + m) \dots \text{dolžina gladine vode v trapezni strugi}$$

$$O = b + (\sqrt{1^2 + n^2} + \sqrt{1^2 + m^2}) * h \dots \text{obseg omočenega oboda trapezne struge}$$

Manningovo enačbo smo najprej preoblikovali v ustrezno obliko za računanje. Nato smo na podlagi vstavljanja robnih pogojev, s pomočjo dodatka reševalec v Excellu, za razpon pretokov med  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , v obeh profilih izračunali ustrezno globino. Rešitve so izrisane na grafu odvisnosti višine od pretoka oz. s pretočno krivuljo  $f(Q) = h$  (Slika 8). Pretočnima krivuljama profila 2 in profila 8 smo na grafu določil še trendni črti. Trendni črti najbolje opisuje eksponentna funkcija, saj je razlika kvadratov med meritvami in trendno črto najmanjša. Tako smo dobili enačbi, ki povezujeta globino in pretok v danih profilih  $h_8 = 0,2084 * Q^{0,5921}$  in  $h_2 = 0,1044 * Q^{0,5979}$ .



Slika 8: Pretočna krivulja z enačbama trendnih črt obeh profilov

### 3.2 Izračun energetskega potenciala

Pri izračunu energetskega potenciala lokacije, smo upoštevali podatke in rezultate predhodno izdelanih analiz. V analizah smo predpostavili, da hipotetična elektrarna obratuje med leti 1985 in 2012. Za to obdobje so poznani srednji dnevni pretoki. Z uporabo referenčnih pretočnih krivulj, v profilih 2 in 8, lahko za vsak dnevni pretok izračunamo pripadajočo bruto razliko višin in na osnovi tega vsakodnevno razpoložljivo moč. Predpostavimo, da elektrarna obratuje 24 ur na dan z razpoložljivo

močjo. Energetski potencial predstavlja maksimalna možna proizvedena energija na lokaciji z upoštevanjem naslednjih pogojev razpoložljivosti:

1. pretoka turbine
2. moči elektrarne
3. obratovalnega časa.

### 3.2.1 Ekološko razpoložljiv pretok Qes

Glede na naravne danosti, izkoriščamo vodni potencial, ki je ustvarjen z izgradnjo praga na reki Reki in derivacijskim dovodnim in odvodnim kanalom s katerim izkoristimo še naravni padec dna struge med profiloma 2 in 8. To pomeni, da so vodne količine, ki so namenjene energetski izrabi, speljane mimo naravne struge. Na odseku med profiloma, v dolžini 226 m, je treba v strugi Reke vzpostaviti takšen pretok (tako imenovani ekološko sprejemljivi pretok - Qes), ki ohranja lokalno ekološko ravnotežje v vodotoku. Ekološko ravnotežje zajema fizično, fizikalno, kemijsko in biološko ravnovesje, katerega lahko, s posegom v strugo vodotoka ali v pretočne razmere, porušimo.

Ekološko sprejemljiv pretok je določen po uredbi o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko spremenljivega pretoka, ki izhaja na podlagi tretjega odstavka 71. člena Zakona o vodah in je bila sprejeta leta 2009. Uredba določa izračun pretoka Qes na podlagi hidroloških izhodišč in se izračuna po enačbi [6] :

$$Q_{es} = f * sQ_{np}$$

$sQ_{np}$  je srednji mali pretok ki se določi po enačbi :

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^n Q_{np,i} / N$$

Pri čemer sta N število let opazovalnega obdobja in  $Q_{np,i}$  najmanjši srednji dnevni pretok v i-tem koledarskem letu.

Faktor f se določi na podlagi preglednice 2. Faktor f je poleg povratnega ali nepovratnega odvzema ki je zajet v preglednici 2, odvisen še od:

- dolžine povratnega odvzema vode,
- količine odvzema, opredeljeno glede na vrednost srednjega pretoka na mestu odvzema,
- skupine ekoloških tipov vodotokov (preglednica 2) in
- razmerja med srednjim in srednjim malim pretokom.



Preglednica 2: Vrednost faktorja  $f$  za izračun  $Q_{es}$  pri povratnem odvemu po uredbi o  $Q_{es}$  2009 [6]

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km <sup>2</sup>	10-100 km <sup>2</sup>	100-1.000 km <sup>2</sup>	1.000-2.500 km <sup>2</sup> in sQs <sup>(1)</sup> < 50 m <sup>3</sup>	> 2.500 km <sup>2</sup> ali sQs <sup>(1)</sup> > 50 m <sup>3</sup>
<b>Točkoven odvzem</b>					
1 <sup>(2)</sup>	0,8	0,8	0,6	0,5	/
2 <sup>(2)</sup>	0,8	0,6	0,5	0,5	/
3	0,6	0,5	0,4	/	/
4	/	/	/	/	0,4
<b>Kratek odvzem ali dolg odvzem v sušnem obdobju</b>					
1 <sup>(2)</sup>	1,6	1,6	1,2	1,0	/
2 <sup>(2)</sup>	1,6	1,2	1,0	1,0	/
3	1,2	1,0	0,8	/	/
4	/	/	/	/	0,8
<b>Dolg odvzem v vodnatem obdobju</b>					
1 <sup>(2)</sup>	3,2	3,2	2,4	2,0	/
2 <sup>(2)</sup>	3,2	2,4	2,0	2,0	/
3	2,4	2,0	1,6	/	/
4	/	/	/	/	1,6

<sup>(1)</sup> srednji pretok

<sup>(2)</sup> faktor  $f$  se pomnoži z 2, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20

Preglednica 3: Skupine ekoloških tipov razdeljenih po uredbi o  $Q_{es}$  2009 [6]

Skupina ekoloških tipov <sup>(1)</sup>	Ekoregija	Bioregija	Ekološki tip vodotoka <sup>(2)</sup>
1	3	Spodnja vipavska dolina in Brda	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Krško-brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji
<b>3</b>	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji
<b>4</b>		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji

<sup>(1)</sup> skupine ekoloških tipov so prikazane na publikacijski karti, ki je objavljena na spletnih straneh ministrstva

<sup>(2)</sup> ekološki tipi vodotokov v skladu s predpisi, ki urejajo stanje površinskih voda

Ekološko sprejemljiv pretok za reko Reko je  $Q_{es} = 625$  l/s, ki se meri na merilni postaji Trnovo.  $Q_{es}$  se na reki Reki, v času sušnega obdobja, vzdržuje s pomočjo akumulacijskih jezer Mola in Klivnik. Za izpust ustrezne količine vode, skrbi Vodnogospodarsko podjetje Drava, ki je tudi upravitelj vodotoka Reka.

V izračunu razpoložljivega pretoka, smo predpisano vrednost  $Q_{es}$  za reko Reko odšteli od dejansko izmerjenih pretokov in dobil razpoložljive pretoke za izračun razpoložljive moči. V primeru, ko je pretok reke Reke manjši od predpisanega  $Q_{es}$  elektrarna ne obratuje.

### 3.2.2 Razpoložljiva moč

Razpoložljiva moč na izbrani lokaciji je odvisna od razpoložljivega pretoka in pripadajočega padca.

Moč izračunamo z enačbo:

$$P = \gamma * Q * H_n * \eta$$

Kjer so:

$P$  ... moč vode na osi turbine [kW]

$H_n$  ... razpoložljiv hidravlični padec z upoštevanjem hidravličnih izgub [m]

$\gamma$  ... specifična teža vode 9,81 [kN/m<sup>3</sup>]

$\eta$  ... izkoristek elektrarne pri pretvorbi mehanske v električno energijo

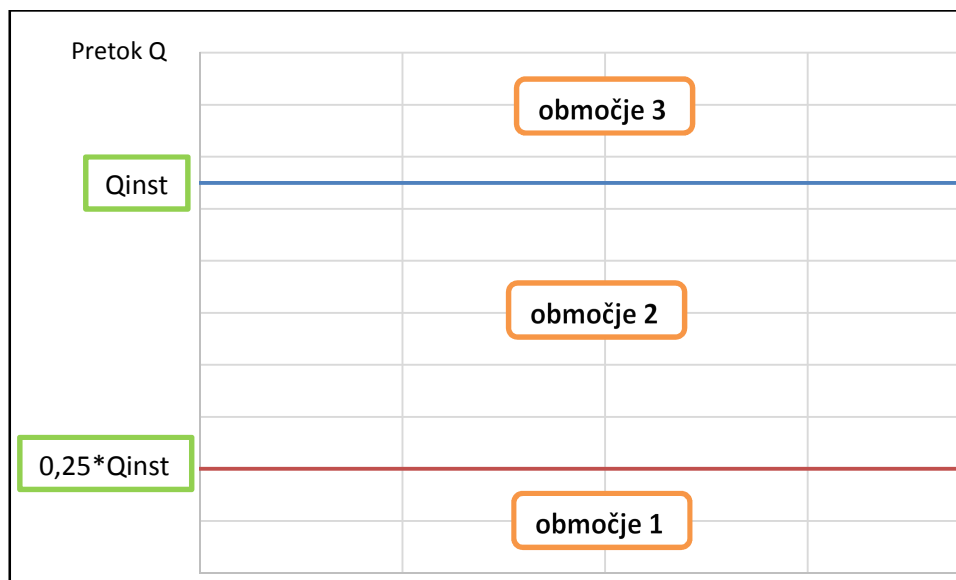
$Q$  ... instalirani pretok [m<sup>3</sup>/s]

Pri izračunu razpoložljive moči smo upoštevali hidravlične izgube. Hidravlične izgube, so izgube energije vzdolž toka, ki nastajajo pri premagovanju hidravličnih uporov, zaradi toka tekočine. Delimo jih na izgube zaradi trenja vzdolž toka in lokalne izgube zaradi lokalnih motenj [7]. Detajlnega računa hidravličnih izgub nismo izvedli. Pri izračunu je upoštevana splošna privzeta aproksimativna vrednost derivacijske elektrarne v odvisnosti od bruto padca  $H_b$ :

$$H_n = 0,9 * H_b$$

Pri pretvorbi mehanske energije v električno, nastanejo na agregatu določene izgube, ki jih izrazimo s koeficientom izkoristka elektrarne. Izgube pri pretvorbi energije, so posledica trenja pri vrtenju mehanskih delov agregata (turbina, generator) in segrevanja pri prenosu in transformaciji električne energije. Pri izračunu je upoštevana aproksimacija za takšen tip elektrarne, z ocenjenim izkoristkom 82%.

V naslednjem koraku smo opredelili tudi obratovalne karakteristike turbine, ki vplivajo na razpoložljivost obratovanja turbine glede na pretok. Predvsem zaradi primerjave z že izdelano idejno zasnovo smo se odločili, da izberemo enak tip turbine – dvakrat regulirana Kaplanova turbina. V računu vodne moči, smo za ta tip turbine obratovalni režim razvrstili v tri območja. Meje med območji smo definirali glede na instalirani pretok turbine.



Slika 9: Proizvodnja električne energije glede na razpoložljiv pretok

**OBMOČJE1:** V to območje spadajo pretoki ki so manjši od 25% instaliranega pretoka turbine. V tem primeru turbina ne obratuje, ker je njen izkoristek, v primerjavi s proizvedeno električno energijo premajhen. Pri nizkih pretokih, se pojavljajo tudi drugi hidrodinamični efekti (vibracije, pulzacije

tlakov, kavitacija), ki lahko turbino poškodujejo in zato ta pogoj obravnavamo kot obratovalni minimum.

**OBMOČJE2:** Območje vsebuje vse pretoke, večje od 25% instaliranega pretoka in manjše od samega instaliranega pretoka. V tem območju turbina normalno obratuje, s spreminjajočim se izkoristkom. Tem bolj, ko se dejanski pretok na turbini približuje instaliranemu pretoku boljši je izkoristek turbine. V izračunu je upoštevana povprečna privzeta vrednost izkoristka 82% in je za vse pretoke enaka.

**OBMOČJE3:** Pretoki, ki so večji od instaliranega pretoka, spadajo v območje 3. V tem primeru turbina obratuje z instaliranim pretokom, medtem ko se višek vode preliva po strugi reke mimo elektrarne.

Predvidena je tudi zaustavitev delovanja mHE, v primeru prevelikih pretokov. Kot skrajno vrednost, smo določili pretok  $50\text{m}^3/\text{s}$ . Pri tej vrednosti začne reka poplavljati v območju pred pragom, zato bi bilo delovanje turbine onemogočeno.

V analizi smo razpoložljivo moč preračunali glede na različne vrednosti instaliranega pretoka. Osnovna vrednost je znašala  $0,25\text{m}^3/\text{s}$ , ki smo jo stopnjevali za  $0,25\text{m}^3/\text{s}$  do maksimalne vrednosti  $4,5\text{m}^3/\text{s}$ . V nalogi so izračunane energetske karakteristike tudi za pretok  $6,8\text{m}^3/\text{s}$ , ki predstavlja računski pretok v idejnem projektu mHE Topolc. Pridobljene podatke, smo primerjali z našimi podatki, pri nadaljnji analizi. Račun smo izvedli za obdobje zadnjih 28 let razpoložljivih meritev dnevni pretokov.

### **3.2.3 Razpoložljiv potencial**

Ustvarjanje električne energije, je v primeru mHE, odvisno od trenutnega pretoka, možnosti akumulacije oziroma zvišanja naravnega potenciala in hidroloških karakteristik reke. Pretok je količina vode, ki preteče skozi določen prerez, v določenem času. Mera za pretok so kubični metri na sekundo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Potencial ali padec je vertikalna razdalja med točko odvzema in točko izpusta vode iz turbine. V splošnem, ga razdelimo na teoretičnega, tehnično izkoristljivega in ekonomsko upravičenega. Teoretični ali bruto potencial je tisti, ki upošteva celoten razpoložljiv višinski padec. Za izkoriščanje energije, je bruto potencial omejen s hidravličnimi izgubami pri zajetju vode, izkoristki naprav in obdobjem vzdrževanja. Potencial, ki upošteva te parametre, je tehnični potencial. Pozitivno poslovanje izkoriščanja tehničnega potenciala, imenujemo ekonomsko upravičen potencial. Ker je napoved vodnatosti reke skozi leto nemogoče napovedati, se zanašamo na hidrološke študije izvedene na podlagi preteklih merjenj. Pri ustvarjanju električne energije, izkoriščamo potencialno in kinetično

energijo vode. Kombinacijo obeh oblik energije pretvarjamo v električno energijo, v razmerju, ki ga ponuja reka na določeni lokaciji [8][9].

Enačba za izračun električne energije:

$$E = P * t$$

E ... električna energija [kWh]

P ... moč vode [kW]

t ... čas (v izračunu vedno 24h, zaradi dnevnih meritev pretokov) [h]

Glede na definicije razpoložljivega potenciala, smo izvedli oceno tehnično izkoristljivega potenciala. Pri tem je treba upoštevati izgube pretokov za zagotavljanje ekološko sprejemljivega pretoka in visoke vode reke Reke, pri katerih je energetska izkoriščenost onemogočena. Glede na to, da smo korakoma povečevali razpoložljivo moč, se je s tem povečala tudi razpoložljivost elektrarne. S povečevanjem, smo želeli določiti vrednost instaliranega pretoka, za optimalno izkoriščenost energetskega potenciala na lokaciji, z upoštevanjem vseh, tehničnih in naravovarstvenih, omejitev pri obratovanju.

## 4 DOLOČITEV OBRATOVALNIH KARAKTERISTIK HIDROELEKTRARNE

### 4.1 Opis in definicija male hidroelektrarne

Hidroelektrarna ima nalogo spreminjanja potencialne energije vodotoka v električno energijo. Elektrarna je postavljena na mestu z velikim naravnim potencialom oz. na mestu, kjer s postavitvijo jezua potencial povišamo. V sklop male hidroelektrarne poleg jezua spada še objekt v katerem je nameščena strojna oprema, dovodni kanal do turbine in odvodni kanal ki vrača energetsko izkoriščeno vodo nazaj v strugo.

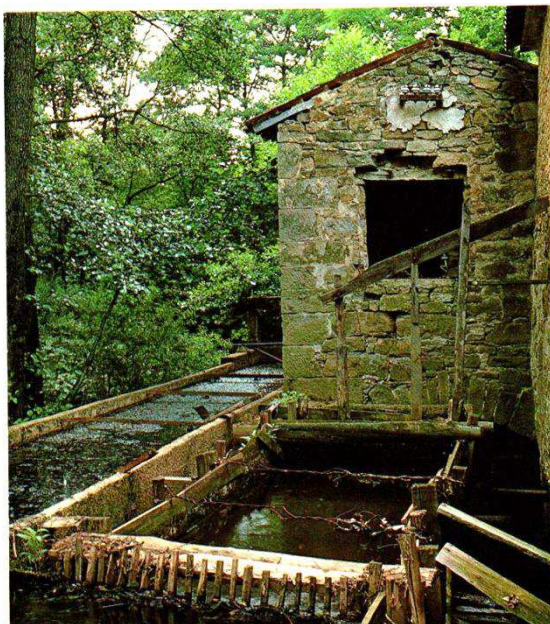
Hidroelektrarne se razvrščajo v razrede glede na proizvedeno moč turbine. Uredba o podporah električni energiji iz obnovljivih virov razvršča v 4. členu proizvodne naprave glede na nazivno električno moč v naslednje razrede.

*Preglednica 4: Klasifikacija hidroelektrarn po velikosti proizvedene moči [10]*

- Hidroelektrarna	Proizvedena moč
Ostale	>125 MW
Velika	10-125 MW
Srednja	1-10 MW
Mala	< 1MW
Mikro	Do 50 kW

Zaježitveni objekt je v obravnavanem primeru pretočni široki prag, kar pomeni, da zaježitev ne akumulira bistvene količine vode. Prag ima 1,9 m svetle višine (podatkov o globini temeljenja nismo uspeli pridobiti), dolg je 41,49 m in širok med 5 in 6 metri. Krona je glede na geodetske meritve postavljena do kote 394 m nadmorske višine. Prag je postavljen pravokotno na os vodotoka in spodnja voda ne vpliva na preliv, ki je neozračen in se preliiva preko natočne stene, nagnjene proti smeri toka.

Po delno odprtem dovodu, ki poteka vzdolž obstoječega objekta, pripeljemo razpoložljiv del reke za energetsko izkoriščanje do turbine, ki pretvori kinetično in potencialno energijo vode, v mehansko delo. Kanal je bil zgrajen za potrebe mletja žita in žaganja lesa, zato bi ga v primeru postavitve elektrarne morali dimenzionirati za potrebe elektrarne. Ker je v slabem fizičnem stanju, bi bilo potrebno zgraditi nov dovodni kanal.



Slika 10: Dovodni kanali mlina v času delovanja [3]



Slika 11: Dovodni kanali mlina danes (lasten vir)

Ostala strojna oprema bi bila nameščena v objekt, postavljen ob vodotoku, ki bi služil tudi za upravljanje in kontroliranje proizvodnje električne energije. Na lokacijah kjer že stojijo objekti, ki so pod varstvom kulturne dediščine, je potrebno pri obnovi ali novogradnji upoštevati smernice za ohranitev dediščine. Energijsko izkoriščena voda odteče po mlinščici nazaj v glavno strugo reke. Ker smo se v računu naslanjali na najnižjo točko sotočja med mlinščico in glavno strugo reke Reke, bi bilo strugo mlinščice od sotočja navzgor potrebno poglobiti.

## 4.2 Izhodišča za primerjavo

Lastnik objekta, g. Ado Barbiš, je v letu 2007 od podjetja Siapro pridobil preliminarno oceno ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne na vodotoku Reka. Projekt je bil izdelan za isto lokacijo, kot jo obravnavamo v tej nalogi. Izračune smo primerjali z izračuni iz projektne dokumentacije, in primerjane količine ovrednotili z ustreznimi komentarji.

Projektant je vhodne hidrološke podatke dobil iz arhiva hidroloških meritev postaje Trnovo na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje za obdobje med leti 1952-2003. Podatki med leti 1967-1984 v izračunu niso upoštevani, saj jih ni v hidroloških arhivih. V dokumentaciji prikazujejo hidrološke razmere obravnavanega vodotoka naslednje karakteristične vrednosti:

- najmanjši nizek pretok v obdobju -  $nQ_{np} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$

- srednji nizek pretok v obdobju -  $sQ_{np} = 0,46 \text{ m}^3/\text{s}$
- povprečni srednji pretok v obdobju -  $sQ_s = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Natančnih topografskih podatkov očitno niso imeli, zato so bruto padec, skupaj z lastnikom ocenili na 1,8m. Elektrarna bi delovala 312 dni v letu (85% absolutni čas delovanja) in izkoriščala pretoke v razponu od  $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$  do  $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Upoštevan je tudi ekološko sprejemljiv pretok. Neto padec  $H_{neto} = 1,7\text{m}$ . S temi vhodnimi podatki, bi elektrarna na letni ravni, z dvakrat regulirano Kaplanovo turbino moči 82 kW, proizvedla 345190 kWh električne energije, kar bi po takratnih odkupnih cenah znašalo 21244 € bruto prihodka letno [11].

*Preglednica 5: Primerjava izhodišč med izračunom in podatki iz projekta podjetja Siapro na podlagi  $Q_{inst}=6,8\text{m}^3/\text{s}$ [11]*

PODATKI	Analizirano obdobje	$sQ_s$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	H bruto [m]	Izkoristek turbine [%]	Časovni delež [%]	Čas delovanja [dni]
Siapro	1952-2003	4,6	1,8	72	85	312
	1985-2012	4,2	2,5	74	39	142

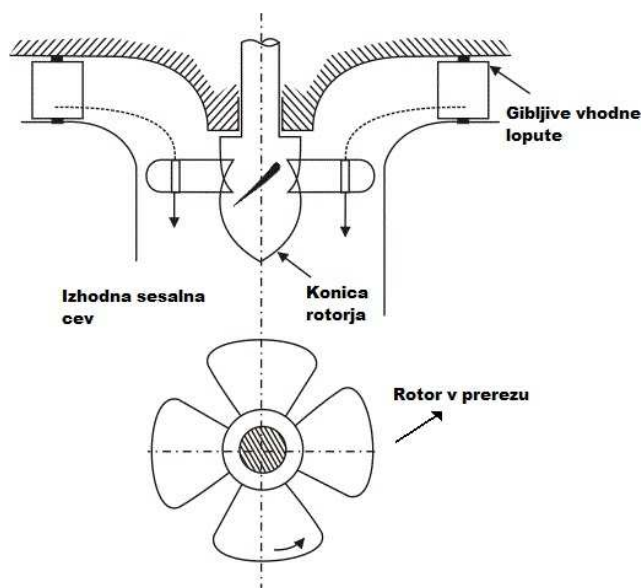
### 4.3 Kaplanova turbina

V projektu preliminarne ocene, temeljijo izračuni na osnovi dvakrat regulirane Kaplanove turbine. Izbrali smo isto turbino, z namenom, da smo lahko natančneje primerjali rezultate iz izračunov. Opozoriti je potrebno, da turbina ni izbrana optimalno, kar tudi ni del te diplomske naloge.

V splošnem delimo turbine za proizvodnjo električne energije v malih hidroelektrarnah na:

- **Akcijske** - Impulzne turbine izkoriščajo sunek vode, ki ga povzroči kinetična energija vode. Taka turbina nima redukcije tlaka vode, kar pomeni da je na obeh straneh rotorja enak tlak.
- **Reakcijske** - Primerne za vodotoke, ki ne zagotavljajo velikega padca in imajo velik pretok. Lopatice v turbini izkoriščajo linearni in kotni moment toka v turbino in so popolnoma potopljene. Izkoriščajo potencialno in kinetično energijo vode na podlagi vzgona. Rotorji so v turbini fiksni ali gibki. Območje delovanja teh turbin je pri nizkih padcih in praktično vseh pretokih.





Slika 12: Nekatere komponente Kaplanove turbine [12]

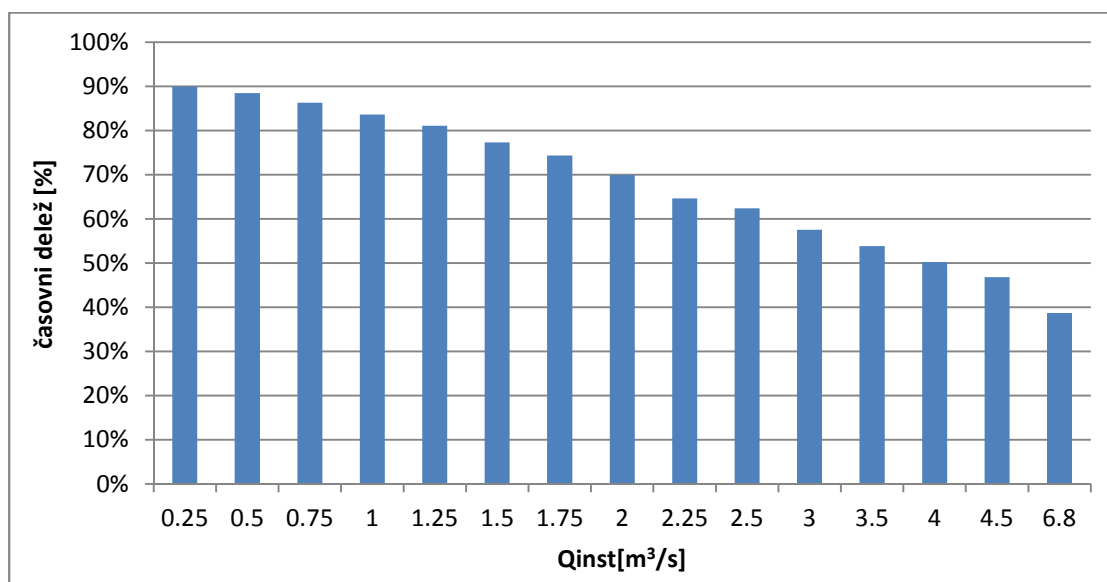
Kaplanova turbina je tipičen primer reakcijske turbine, ki izkorišča nizke padce in velike pretoke. Turbina ima radialni vtok vode, nato pa spremeni smer in se aksialno pretaka skozi rotor. Rotor, na katerega so pritrjene vrtljive gonilne lopatice, je popolnoma potopljen v vodo. Tok skozi turbino s spremembo tlaka v rotorju odda potencialno in kinetično energijo. Sesalna cev, ki odvaja vodo iz turbine ustvarja podtlak, zato tako turbino lahko namestimo tudi višje od gladine spodnje vode. V primeru dvakrat regulirane turbine (tip turbine izbran v preliminarni oceni energetskega potenciala) lahko uravnavamo moč vode z vrtljivimi lopaticami vodilnika ali z posebnim mehanizmom v pestu vrtimo lopatice gonilnika. Z regulacijo dosežemo ugodno krivuljo izkoristka do 25% nazivne obremenitve [13][14].

#### 4.4 Primerjava moči

Moč, ki jo proizvaja turbina je odvisna od instaliranega pretoka turbine. Instaliran pretok je tisti pretok, pri katerem turbina proizvede največjo moč hidroelektrarne. Hkrati pa je to tudi največji pretok, ki lahko steče skozi turbino. Ker so v nalogi izhodiščni podatki meritve pretokov, smo računali razpoložljiv energetski potencial s stopenjskim povečevanjem instaliranega pretoka. Na Sliki 13 je prikazan delež obratovanja turbine v obdobju, glede na izbran instalirani pretok. Iz slike je razvidno, da se z večanjem instaliranega pretoka obratovanje elektrarne časovno skrajšuje.

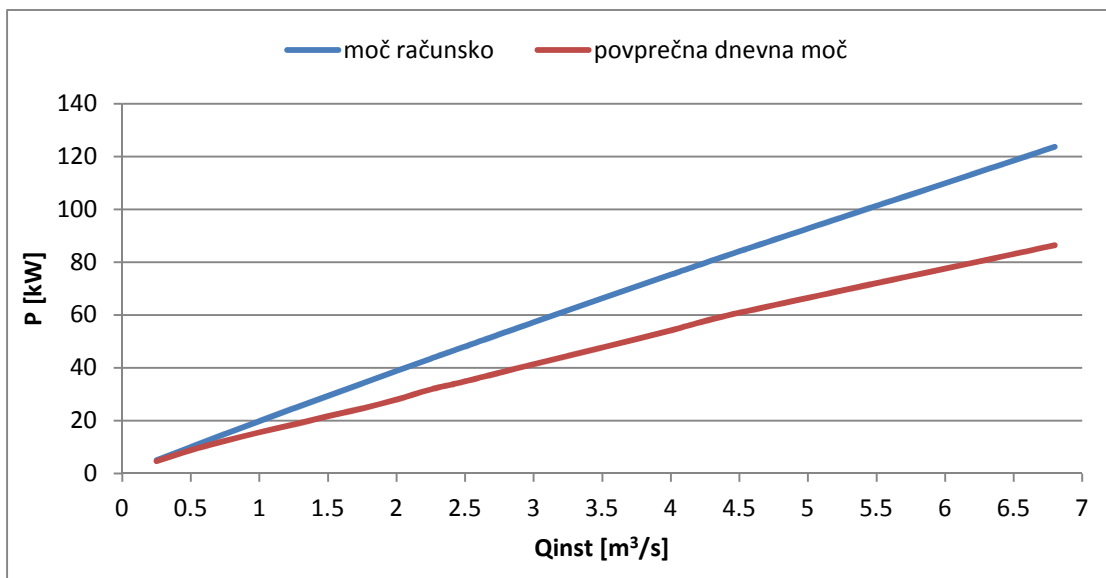
S povečanjem instalirane moči se manjša razpoložljivost elektrarne na račun tehnološkega minimuma, ki onemogoča izrabo manjših pretokov. Če bi instalirani pretok čezmejno povečevali bi se na račun tehnološkega minimuma začela zmanjševati proizvodnja. Zato v praksi praviloma iščemo tehnološko

optimalne proizvodne kapacitete glede na naravne danosti. Problem fleksibilnosti obratovanja elektrarne v širšem razponu razpoložljivih pretokov rešujemo z instalacijo več agregatov ali pa s takim tipom turbin, ki omogočajo zadovoljive obratovalne karakteristike v večjem razponu pretokov. Posebej tega problema v nalogi nismo obravnavali, ker optimizacija sistema prekoračuje obseg naloge v tej fazi in je lahko predmet nadaljnjih študij.



Slika 13: Delež izkoriščanja instaliranega pretoka

Moč turbine izberemo na podlagi izračunane moči iz instaliranega pretoka in tehničnega padca pri tem pretoku. Za izbrane parametre, dobimo optimalno delujočo turbino, ki proizvaja maksimalno moč. Ker turbina v obratovalnem času ne deluje vse skozi optimalno, so na grafu primerjave računske in povprečne dnevne proizvedene moči (Slika 14), prikazane razlike med instalirano močjo in dejansko izračunano povprečno dnevno razpoložljivo močjo, glede na razpoložljivi pretok in tehnične obratovalne karakteristike turbine. Z večanjem instaliranega pretoka se razlika povečuje, kar je sorazmerno s časovnim deležem delovanja turbine za posamezni instalirani pretok in obratovalnim pretokom.



Slika 14: Primerjava računsko in povprečne dnevne proizvedene moči

Projektant je za izračunih izbral Kaplanovo turbino, z močjo 82 kW. Turbina naj bi delovala, ko bi se skozi preivali pretoki od 1,25m<sup>3</sup>/s do 6,8m<sup>3</sup>/s. Obratovalni minimum je postavljen na 20% instaliranega pretoka. S privzetim stalnim izkoristkom elektrarne 74%, bi turbina obratovala 85% dni v letu. V naši nalogi smo mejo obratovalnega minimuma za enake obratovalne karakteristike postavili na 25%. V tem primeru bi turbina obratovala 38,7% časa v analiziranem obdobju. Z instaliranim pretokom 6,8 m<sup>3</sup>/s bi turbina s privzetimi parametri iz naše naloge in tehničnim izkoristkom elektrarne 82%, proizvedla maksimalno moč 124 kW. Povprečna dnevna razpoložljiva moč glede na podane dnevne pretoke v obdobju pa znaša 86 kW.

#### 4.5 Primerjava proizvedene električne energije

Kot smo že ugotovili je proizvodnja električne energije odvisna od moči, ki jo proizvede turbina. Posledično je letna proizvodnja električne energije odvisna od razpoložljivih pretočnih razmer na vodotoku. Preglednica 6 prikazuje bruto padec, povprečno moč turbine in letno količino proizvedene električne energije, v obdobju od leta 1985 do leta 2012, glede na instalirani pretok.

Preglednica 6: Bruto padec, povprečna moč in letno proizvedena električna energija

Instalirani pretok [l/s]	Bruto padec [m]	Moč [kW]	El. Energija [MWh]
250	2.78	4.64	36.58
500	2.76	8.82	68.40
750	2.74	12.37	93.50
1000	2.73	15.58	114.17

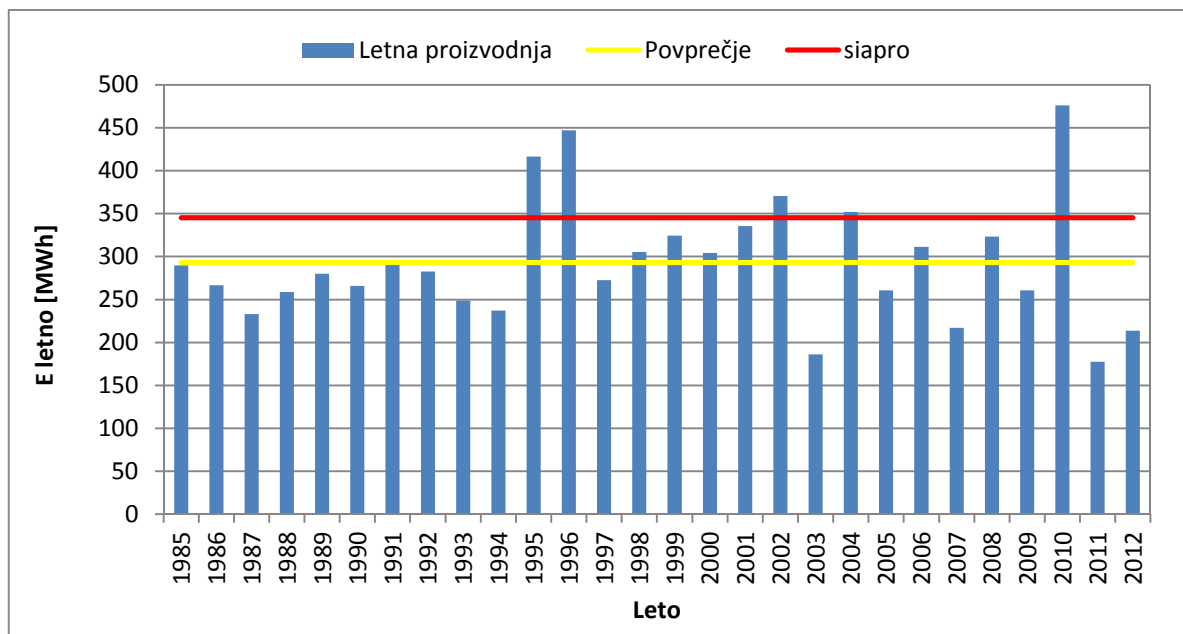
se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 6

1250	2.71	18.55	131.79
1500	2.70	21.66	146.70
1750	2.69	24.62	160.43
2000	2.67	27.99	171.48
2250	2.66	31.83	180.26
2500	2.65	34.89	190.82
3000	2.63	41.36	208.63
3500	2.61	47.67	224.80
4000	2.59	54.18	238.52
4500	2.58	60.89	249.88
6800	2.51	86.42	293.19

Zaradi preglednejše primerjave je količina proizvedene električne energije, za turbino z instaliranim pretokom  $6,8\text{m}^3/\text{s}$ , za vsako leto v obdobju od leta 1985 do leta 2012 prikazana na sliki 15. V letih 1995, 1996 in 2010 je zaradi ugodnih hidroloških razmer letna proizvodnja električne energije presegala 400 MWh. Nasprotno pa bi več kot polovico manj elektrike proizvedla elektrarna v letih 2003 in 2011, kjer so vrednosti manjše od 200 MWh letno. Z rumeno je označeno povprečje proizvedene električne energije analiziranega obdobja in znaša 293 MWh.

V podjetju Siapro so v izračunih za isti instalirani pretok dobili 345 MWh letno proizvedene električne energije, v obdobju od leta 1952 do leta 2003, kar za 18% presega povprečje glede na naše izračune. Višja proizvodnja električne energije, kljub upoštevanju manjšega padca, je posledica izračuna na podlagi krivulje trajanja. Zaradi razpoložljivih dnevnih meritev pretoka, smo izračunali proizvodnjo električne energije na osnovi razpoložljivih podatkov z vsemi omejitvami. Tako smo dobili mnogo bolj natančne in realne rezultate.



Slika 15: Letna proizvodnja električne energije pri instaliranem pretoku  $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$

## 4.6 Ekonomska upravičenost

### 4.6.1 Stroški investicije

Projekt zajema tudi okvirno oceno stroškov investicije, ki so razdeljeni v dve fazi:

- faza A: Načrtovanje in projektiranje (stroški za pridobitev ustreznih dovoljenj in projektne dokumentacije)
- faza B: Nabave potrebne strojne, električne in hidromehanske opreme, gradbena dela, priključitev na omrežje in ostala potrebna dovoljenja.

Okvirna ocena stroškov investicije je izdelana na podlagi primerjanj stroškov podobnih projektov. Za oceno stroškov niso bile pridobljene informativne ponudbe izvajalcev del in dobaviteljev opreme. Prav tako v ceno ni vključen DDV in stroški lastništva zemljišč ter ureditve zemljiškoknjižnega stanja. V projektu je celotna investicija ocenjena na 290348€.

Preglednica 7: Višina stroškov investicije podjetja Siapro in naših izračunov [11]

Vrsta stroška	Stroški-Siapro [€]	Stroški-Izračun [€]
<b>A faza načrtovanja in projektiranja</b>	/	/
<b>1. IDZ, PGD, PZI</b>	8350	8350
<b>SKUPAJ A</b>	<b>8350</b>	<b>8350</b>
<b>B faza nabave in postavitve, uporabno dovoljenje</b>	/	/
<b>1. gradbena dela</b>	100000	100000
obnova dovodnega kanala, izgradnja strojnice, iztočnega kanala	/	/
<b>2. Strojna oprema</b>	100000	P*1000
kaplanova turbina, asihronski generator, strojni instrumenti za merjenje in regulacijo, ostalo	/	/
<b>3. Električna oprema</b>	22000	P*1000
Transformatorska postaja, razsvetljava in vtičnice, strelovod, ostalo	/	/
<b>4. Hidromehanska oprema</b>	11000	11000
Glavne in stranske zapornice, groba in fina rešetka, čistilni stroj	/	/
<b>5. Priključitev mHE na javno distribucijsko omrežje</b>	18000	Vključeno v točko 3
<b>6. inženiring, PID, tehnični nadzor, pridobitev uporabnega dovoljenja</b>	12550	12550
<b>7. Nepredvideni stroški</b>	18448	18448
<b>SKUPAJ B</b>	<b>281998</b>	/
<b>SKUPAJ A+B</b>	<b>290348</b>	/

Za naše izračune smo shemo stroškov, v primerjavi z višino stroškov predvidenih s strani podjetja Siapro, nekoliko regulirali. Višine stroškov faze A, gradbenih del, hidromehanske opreme, inženiringa in nepredvidenih stroškov, nismo spreminjali ter so ostali isti kot v izvornem projektu. Višino stroška strojne in električne opreme smo ocenili na 1000€/kW instalirane moč turbine, za vsako postavko posebej. Ti stroški naraščajo z izbrano močjo turbine in posledično povečujejo vrednost investicije. Priključitev na javno distribucijsko omrežje smo upoštevali, kot del stroškov električne opreme.

#### 4.6.2 Denarni tok

Za oceno ekonomske upravičenosti investicije, smo z metodo neto sedanje vrednosti (NSV) in interne stopnje donosnosti (ISD) izračunali finančni tok investicije, za vsako turbino posebej in rezultate podali v spodnji tabeli, pri čemer je upoštevana zakonsko predpisano vrednost 7% za diskontno stopnjo (DS).

Preglednica 8: Finančni tok investicije za dobo obratovanja 50 let z upoštevanjem DS=7%

Instaliran pretok [l/s]	Investicija [€]	Proizvodnja [€]	NSV				
			Prilivi-Proizvodnja [€]	Investicija [€]	Odlivi – vzdrževanje [€]	NSV pri DS 7%	ISD [%]
250	147798	2561	33031	-138129	-19063	-124161	-3.40
500	157798	4788	61758	-147475	-20353	-106069	0.07
750	167798	6545	84418	-156821	-21642	-94045	1.57
1000	177798	7992	103075	-166166	-22932	-86024	2.46
1250	187798	9225	118989	-175512	-24222	-80745	3.04
1500	195798	10269	132451	-182980	-25254	-75783	3.48
1750	205798	11230	144844	-192335	-26544	-74034	3.75
2000	215798	12004	154825	-201680	-27833	-74688	3.88
2250	225798	12618	162744	-211026	-29123	-77405	3.92
2500	233798	13357	172278	-218503	-30155	-76379	<b>4.07</b>
3000	251798	14604	188366	-235325	-32477	-79436	<b>4.18</b>
3500	269798	15736	202964	-252148	-34798	-83982	<b>4.22</b>
4000	287798	16696	215347	-268970	-37120	-90743	<b>4.18</b>
4500	305798	17492	225605	-285793	-39442	-99629	<b>4.08</b>
6800	385798	20524	264710	-360559	-49760	-145609	3.57

Izračun temelji na metodi neto sedanje vrednosti naložbe, z uporabo diskontne stopnje in niza bodočih plačil in dohodkov za obdobje 50 let. Izračun je narejen za vsako turbino posebej, od katere je odvisna višina investicije, stroški obratovanja in proizvodnja električne energije. Stroški obratovanja so ocenjeni na 1% celotne investicije. Za diskontno stopnjo smo upoštevali vrednost 7%. Rezultati analize so prikazani v stolpcu 7, v Preglednici 8, kot neto sedanja vrednost zbira prilivov (proizvodnja) in odlivov (investicija, obratovalni stroški) za obdobje 50 let obratovanja. Iz rezultatov je razvidno, da

investicija ne izkazuje pozitivnega donosa za izbrano diskontno stopnjo v nobenem od zgornjih primerov. Ker projekt na podlagi upoštevanja zakonske stopnje donosa ni upravičen, smo preverili še ISD (stolpec 8, preglednica 8), da bi dobili stopnjo donosa, z izhodiščno NSV nič. Kljub temu, da z izračuni nismo dosegli potrebnih 7% DS, je v nekaterih primerih donosnost večja od 4%, kar pomeni, da je finančni vložek v teh primerih utemeljen. Najbolj bi bila investicija upravičena, v primeru turbine z instaliranim pretokom  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , ko je notranja stopnja donosa 4,22%. Vrednost investicije, bi se v tem primeru povrnila v dobrih 20 letih, če računamo dobo vračanja za fiksno ceno oz. diskontno stopnjo nič procentov.

**Diskontna stopnja** je letna odstotna mera, po kateri se sedanja vrednost denarne enote v naslednjih letih zmanjšuje s časom. Izraža ovrednotenje prihodnjih stroškov in koristi v primerjavi s sedanjimi [15].

**ISD ali notranja stopnja donosa** je tista diskontna stopnja pri kateri je vsota sedanje vrednosti denarnih tokov naložbe enaka nič. Uporablja se za analizo smotrnosti investicije, kjer je projekt z višjim ISD boljša naložbena izbira [16].

Projektant je za preliminarno oceno ekonomsko upravičenost izračunal nekoliko drugače in prišel do zaključka, da bi se vrednost investicije povrnila v 14,9 letih. To velja za letni dobiček 21244 €, pri kateri je upoštevana 1% rast odkupa električne energije. Z instalacijo iste turbine smo glede na naše izračune določili povrnitev investicije v 26,5 letih, pri kateri je notranja stopnja donosa 3,57%.



## 5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo ocenjevali energetskega potenciala reke Reke v vasi Topolc pri Ilirski Bistrici. Objekt na obravnavani lokaciji, kjer so včasih izkoriščali vodni potencial za mletje žita in žaganje lesa, bi v sklopu obnovitve začeli izrabljati za proizvodnjo električne energije. Izračune smo izvedli na podlagi hidroloških meritev vodomerne postaje Trnovo, s katerimi smo pridobili natančne meritve pretokov, in topografskih podatkov, pridobljenih z geodetskimi posnetki. Natančnost in pomanjkanje teh vrst podatkov, predstavlja težavo pri ocenjevanju smiselnosti in ekonomske upravičenosti te vrste investicij. Takšna ocena je le del vseh potrebnih analiz, pred tehtno odločitvijo o začetku projekta, lahko pa jo uporabimo tudi kot zasnovo idejnega projekta.

Zaradi velike količine razpoložljivih hidroloških podatkov (1952-1966; 1985-2012), smo jih najprej smiselno razdelili na tri obdobja (1952-1966, 1985-1999 in 2000-2012) in izvedli statistično analizo vsakega dela posebej. Iz te analize smo dobili hidrološke razmere, s katerimi na obravnavani lokaciji razpolaga reka Reka. Ker je prvi niz, zaradi spremenjenih hidroloških pogojev z izgradnjo akumulacij Klivnik in Mola, preveč odstopal od zadnjih dveh, smo se odločili, da ga v nadaljevanju naloge ne upoštevamo pri računu. Iz poznanih geometrijskih karakteristik referenčnih prečnih profilov, smo določili pretočne krivulje teh, profilov iz katerih lahko za vsak pretok določimo bruto višinsko razliko med obema profiloma. Na podlagi izbranega tipa turbine, kjer smo, zaradi primerjave z obstoječim idejnim projektom izbrali Kaplanovo turbino, smo izračunali obratovalne karakteristike turbine.

Razpoložljivo moč smo določili z upoštevanjem instaliranega pretoka, ki smo ga povečevali s korakom 250 l/s, v območju od 0,25 m<sup>3</sup>/s do 4,5m<sup>3</sup>/s, in iz tega dobili vrednosti proizvedene električne energije. Račun smo opravili tudi za turbino s 6,8 m<sup>3</sup>/s instaliranega pretoka iz idejnega projekta. Ugotovili smo, da se z večanjem instaliranega pretoka pri enakih obratovalnih parametrih turbine, sorazmerno povečuje povprečna moč turbine, količina proizvedene letne energije in tudi letnega zaslužka. Ob tem pa se zmanjšuje obratovalni čas delovanja turbine z instaliranim pretokom. Zviševanje instaliranega pretoka je tudi omejeno z obratovalnim minimumom turbine ( za Kaplanovo turbino okoli 25%), kar pomeni nezmožnost obratovanja elektrarne v območju nizkih pretokov.

V nalogi smo izvedli tudi primerjavo s projektom preliminarne ocene ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne, ki jo je na zahtevo lastnika objekta izdelalo podjetje Sinapro leta 2007. Primerjava je izvedena za enak tip turbine in upoštevanju primerljivih stroškov investicije. Finančno utemeljenost investicije smo vrednotili za obdobje 50 let. Na podlagi preliminarne finančne ocene smo ugotovili, da je vlaganje v investicijo dolgoročno upravičeno (doba povrnitve investicijskih vlaganj znaša okoli 20 let) in je smiselno, da se projektne aktivnosti nadaljujejo v smeri izdelave projektne

dokumentacije, na osnovi katere bo možno bolj natančno določiti in utemeljiti tudi finančne pokazatelje investicije.

Za oceno energetskega potenciala obravnavane lokacije, smo upoštevali vse pomembne dejavnike, ki lahko vplivajo na rezultat. Poleg tega smo imeli na voljo zelo natančne podatke, kar je v praksi pri določevanju potenciala za takšne vrste projektov zelo redko. V nalogi smo dokazali, da je pristop določevanja energetskega potenciala na osnovi krivulje trajanja in povprečnih pretokov bistveno bolj nezanesljiv, kot izračun možne proizvodnje na osnovi časovnega niza podatkov. Zato lahko zaključimo, da je podana ocena kredibilna za upoštevanje podatke in se lahko nanjo opremo pri odločanju o postavitvi male hidroelektrarne ter izračunane količine uporabimo pri nadaljnjih izračunih.

## VIRI

### Uporabljeni viri:

- [1] Atlas okolja 2014  
[http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas\\_Okolja\\_AXL@Arso](http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso) (Pridobljeno 27. 8. 2014.)
- [2] Mihevc, A., Kranjec, A. 1988. Poplavni svet ob notranjski Reki. Geografski zbornik/Acta geographica. 28: 195-198
- [3] Cuscito, G., Halupca, E., Foscan, L., et al. 1990. Reka - Timav: podobe, zgodovina in ekologija kraške reke. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga: str. 239, 240
- [4] Kogovšek, J. 2001. Opazovanje poplavnega vala Reke maja 1999. Acta carsologica. 30/1: 55-68
- [5] Frantar, P. 2005. Pretočni režimi Slovenskih rek in njihova spremenljivost. Ujma. 19: 145-153
- [6] Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS, št. 97/09
- [7] Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana, Hidrotehnična smer FGG: str. 131-133
- [8] Bostan, I., Georghe, A., Dulgheru, V., et al. 2013. Resilient energy Systems. London, Springer Dordrecht Heidelberg New York: str. 176-215
- [9] Šantl, S., Kozelj, D. 2012. Razvoj informacijskega orodja za ugotavljanje učinkovitega hidroenergetskega potenciala. Acta hydrotechnica. 25/42: 19-30
- [10] Uredba o podporah električne energije za naprave iz obnovljivih virov. Uradni list RS, št. 37/2009
- [11] Preliminarna ocena ekonomske upravičenosti izgradnje male hidroelektrarne na vodotoku Reka. 2007. Laznica, Siapro: et al

- [12] Fluid Machinery  
[http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/machine/chapter\\_7/7\\_11.html](http://nptel.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/machine/chapter_7/7_11.html)  
(Pridobljeno 24. 8. 2014.)
- [13] Orel, B. 1986 Energetski pretvorniki 1. Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko: str. 90-95
- [14] Penche, C. 1998 Layman's handbook on how to develop a small hydro site (Second edition).  
Commission of the European Communities
- [15] Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije javne  
finance, Uradni list RS, št. 60/2006
- [16] Wikipedija  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Internal\\_rate\\_of\\_return](http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_rate_of_return) (Pridobljeno 24. 8. 2014.)

#### Ostali viri:

Ministrstvo za okolje in prostor - Agencija Republike Slovenije za okolje. 2008. Vodna  
bilanca Slovenije 1971-2000, Ministrstvo za okolje in prostor - Agencija Republike Slovenije  
za okolje: str. 47,48

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove Hidrologije. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za  
gradbeništvo in geodezijo

Bernot, F., Bračič, V., Černe, A., et al. 1998. Geografija Slovenije. Ljubljana. Slovenska  
matica: str. 139-172

Burja, D., Smolar, N., Muck, P., Vrhovšek, D. 1995. Osnove določanja ekološko  
sprejemljivega pretoka (Qes). V: Mišičev vodarski dan, Maribor, 8. december 1995.  
Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: str. 67-71

Šolc, L. 1986. Zgradimo majhno hidroelektrarno. 1. del: Moč dajeta padec in pretok vode,  
2. Del: Napeljava vode. Ljubljana, Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: str. 23,37

Družba posest 2014

<http://www.posest.si/kaj-je-lokacijsko-dovoljenje/> (Pridobljeno 12. 8. 2014.)

Arso

[http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov\\_arhiv\\_tab.php?p\\_vodotok=Reka&p\\_postaja=9030](http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Reka&p_postaja=9030)

(Pridobljeno 13. 5. 2014.)

Jerkovič, B. 1996. Male hidroelektrarne. Maribor, Javno podjetje EGS, Razvoj in inženiring:  
str. 6,7

Habič, T. 2006. Male hidroelektrarne danes. V: Mišičev vodarski dan, Maribor, 14. december  
2006. Maribor, Zbornik referatov: Vodnogospodarski biro Maribor: str. 68-70