

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:

Šercelj, M., 2016. Primerjalna analiza možnosti energetske rabe odseka reke Kokre. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Kozelj, D.): 66 str.

Datum arhiviranja: 09-09-2016

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:

Šercelj, M., 2016. Primerjalna analiza možnosti energetske rabe odseka reke Kokre. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Kozelj, D.): 66 pp.

Archiving Date: 09-09-2016

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 VODARSTVO IN  
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

**MATJAŽ ŠERCELJ**

**PRIMERJALNA ANALIZA MOŽNOSTI ENERGETSKE  
RABE ODSEKA REKE KOKRE**

Diplomska naloga št.: 307/VKI

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ENERGY  
EXPLOTATION POTENTIAL OF THE KOKRA RIVER  
SECTION**

Graduation thesis No.: 307/VKI

**Mentor:**

prof. dr. Franc Steinman

**Somentor:**

asist. dr. Daniel Kozelj

Ljubljana, 05. 09. 2016

## **ERRATA**

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

## IZJAVE

Spodaj podpisani študent Matjaž Šercelj, vpisna številka 26105612, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Primerjalna analiza možnosti energetske rabe odseka reke Kokre

## IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V / NA:

---

Datum:

---

Podpis študenta:

---

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 621.311.21:627.8(497.4)(043.2)

**Avtor:** Matjaž Šercelj

**Mentor:** prof. dr. Franc Steinman

**Somentor:** asist. dr. Daniel Kozelj

**Naslov:** Primerjalna analiza možnosti energetske rabe odseka reke Kokre

**Obseg in oprema:** 66 str., 42 pregl., 35 sl., 7 en., 4 graf.

**Ključne besede:** hidroenergetika, male hidroelektrarne, obnovljivi viri energije, reka Kokra, hidroenergetsko izkoriščanje, analiza, izračini, SMART Mini-Idro

### Izvleček

V Sloveniji predstavlja hidroenergija pomemben delež pri zagotavljanju oskrbe z električno energijo pridobljeno iz obnovljivih virov (OVE). Večino te energije pridobimo v hidroelektrarnah na večjih slovenskih vodotokih, del proizvodnje pa odpade na manjše enote ali tako imenovane male hidroelektrarne (mHE). Možnosti za pridobivanje električne energije iz malih hidroelektrarn je na naših vodotokih veliko. Eden takih vodotokov z velikim hidroenergetskim potencialom je tudi reka Kokra.

V diplomski nalogi je bila obravnavana možnost hidroenergetske rabe na izbranem odseku reke Kokre. S programskim orodjem SMART Mini – Idro je bila opravljena analiza proizvodnje električne energije. Pri tem sta obravnavani dve izvedbeni možnosti mHE glede na dolžino odvzema in s tem pogojeno razpoložljivo količino vode. Prva izvedbena možnost obravnava energetske rabo celotnega odseka z eno mHE z dolgim odvzemom vode. V drugem primeru pa je bilo analizirano izkoriščanje odseka z več mHE s kratkim odvzemom vode. S pomočjo prostorskih podatkov in dolžino odvzema so bile določene lokacije posameznih mHE. Za vsako odvzemno mesto je bila glede na velikost prispevne površine in velikosti ekološko sprejemljivega pretoka izračunana razpoložljiva količina vode. Na koncu je opravljena primerjalna analiza proizvodnje električne energije obeh izvedbenih možnosti.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

<b>UDC:</b>	<b>621.311.21:627.8(497.4)(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Matjaž Šercelj</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>prof. Franc Steinman, Ph.D</b>
<b>Cosupervisor:</b>	<b>assist. Daniel Kozelj, Ph.D.</b>
<b>Title:</b>	<b>Comparative analysis of the energy exploitation potential of the Kokra river section</b>
<b>Notes:</b>	<b>66 p., 42 tab., 35 fig., 7 eq., 4 ann.,</b>
<b>Key words:</b>	<b>Small hydropower plant, hydropower energy, renewable energy sources, river Kokra, exploitation of hydropower energy, analysis, calculations, SMART Mini-Idro</b>

**Abstract**

Exploitation of hydropower energy in Slovenia represents a significant share in securing the power supply, produced from renewable energy sources (RES). Most of this energy is obtained by hydropower plants in the major Slovenian rivers, but part of production goes to smaller units, or so-called small hydropower plants (SHPs). Many river in Slovenia are appropriate for SHPs. One of these, with high hydropower potential, is Kokra. In the present work options of hydropower uses on the selected section of the river Kokra are described. SMART Mini-Idro program was used to analyze the production of electric energy. Two implementation options of SHPs are presented, considering the penstock, together with the available amount of water. First implementation option addresses the energy use of the entire section, using one SHP with long penstock. Use of multiple SHPs with short penstock is given in the second implementation option. Spatial data and considered penstock length were used to determine the locations of SHPs. Considering the size of the catchments and ecologically acceptable flow, available amount of water for each sampling site was calculated. A comparative analysis of both options is also given.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem staršem, ki so mi ves čas študija in nastanka diplome nudili podporo. Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu. Zahvaljujem se tudi mag. Sašu Šantlu, ki je pomagal pri pridobivanju podatkov za diplomsko delo.

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

AN OVE	Akcijski načrt za obnovljive vire energije
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ESHA	European Small Hydropower Association (Evropsko združenje mHE)
HE	Hidroelektrarne
$H_{\text{neto}}$	Neto padec (bruto padec zmanjšan za vse izgube v hidravličnem sistemu mHE)
kW	Kilovat (1.000 vatov)
€/kWe	Cena glede na kilovat instalirane moči elektrarne
mHE	Male hidroelektrarne
MW	Megavat (1,000.000 vatov)
MWh	Megavatna ura (ena MWh ustreza energiji, ki ga HE z močjo 1 MW odda v času 1 ure)
$Q_{es}$	Ekološko sprejemljiv pretok
$Q_{\text{min}}$	Minimalni pretok
RS	Republika Slovenija
$sQ_{np}$	Srednji mali pretok
$sQ_s$	Srednji srednji srednji pretok
V.P.	Vodomerna postaja



## KAZALO VSEBINE

IZJAVE .....	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....	IV
ZAHVALA .....	V
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI.....	VI
KAZALO SLIK .....	X
1. UVOD .....	1
2. MALE HIDROELEKTRARNE.....	3
2.1. Definicija in delitev .....	3
2.2. Vrste mHE.....	3
2.2.1. Pretočne mHE .....	3
2.2.2. Akumulacijske mHE .....	4
2.3. Stanje mHE pri nas.....	4
2.4. Potencial za gradnjo mHE v Sloveniji .....	5
2.5. Zasnova mHE.....	6
2.5.2. Hidroelektrarne z zaprtim dovodom vode.....	7
2.5.3. Hidroelektrarne z delno odprtim dovodom vode.....	8
3. TEORETIČNA IZHODIŠČA ZA IZRAČUN PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE S PROGRAMSKO OPREMO SMART Mini-Idro .....	9
3.1. Program SMART Mini-Idro.....	9
3.2. Hidrološke analize.....	10
3.2.1. Hidrološki podatki.....	10
3.2.2. Krivulja trajanja pretokov .....	10
3.2.3. Ekološko sprejemljiv pretok.....	11
3.2.4. Razpoložljiv pretok .....	12
3.3. Izbira turbine .....	13
3.3.1. Bruto padec .....	13
3.3.2. Neto padec.....	14
3.3.3. Izbira turbine .....	15
3.3.4. Izkoristki turbine .....	16
3.4. Proizvodnja električne energije .....	17
3.4.1. Izkoristki elektromehanske opreme.....	17
3.4.2. Obratovalne izgube .....	18
3.4.3. Letna proizvodnja električne energije .....	20
3.5. Investicijski in obratovalni stroški ter cena vodnega nadomestila in koncesijske dajatve (finančna analiza).....	20
3.5.1. Investicijski stroški.....	20
3.5.2. Obratovalni stroški .....	22
3.5.3. Stroški vodnega nadomestila ter koncesijske dajatve .....	22

3.6.	Finančna analiza .....	22
4.	OSNOVNE ZNAČILNOSTI POREČJA REKE KOKRE .....	24
4.1.	Meteorološke in klimatske razmere.....	24
4.2.	Hidrološke lastnosti .....	24
4.3.	Obstoječa raba vode.....	25
4.3.1.	Proizvodnja električne energije .....	25
4.3.2.	Oskrba s pitno vodo.....	26
4.3.3.	Ribištvo in ribogojstvo .....	26
4.4.	Prodnosnost .....	26
4.4.1.	Območje sproščanja plavin.....	27
4.4.2.	Območje premeščanja plavin.....	27
4.5.	Zavarovana in varstvena območja .....	28
5.	ANALIZA ENERGETSKE RABE ODSEKA REKE KOKRE.....	29
5.1.	Obraavnani odsek reke Kokre .....	29
5.3.	Vzdolžni profil obravnavanega odseka .....	31
5.4.	Ena mHE - Določitev parametrov ter izračun energetskega izkoriščanja odseka .....	32
5.4.1.	Hidrološki podatki ter izračuni .....	32
5.4.2.	Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine.....	34
5.4.3.	Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije .....	34
5.4.4.	Ocena stroškov izgradnje.....	36
5.4.5.	Finančna analiza .....	36
5.5.	Določitev parametrov ter izračun energetskega izkoriščanja odseka z več mHE .....	38
5.5.1.	Lokacija mHE 1 .....	39
5.5.1.1.	Hidrološki podatki in izračuni .....	39
5.5.1.2.	Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine.....	40
5.5.1.3.	Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije.....	41
5.5.1.4.	Ocena stroškov izgradnje.....	42
5.5.1.5.	Finančna analiza .....	42
5.5.2.	Lokacija mHE 2.....	44
5.5.2.1.	Hidrološki podatki ter izračuni .....	44
5.5.2.2.	Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine.....	45
5.5.2.3.	Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije .....	46
5.5.2.4.	Ocena stroškov izgradnje.....	46
5.5.2.5.	Finančna analiza .....	47
5.5.3.	Lokacija mHE 3.....	49
5.5.3.1.	Hidrološki podatki ter izračuni .....	49
5.5.3.2.	Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine.....	50

5.5.3.3.	Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije.....	51
5.5.3.4.	Ocena stroškov izgradnje .....	51
5.5.3.5.	Finančna analiza .....	52
5.5.4.	Lokacija mHE 4 .....	54
5.5.4.1.	Hidrološki podatki ter izračuni .....	54
5.5.4.2.	Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine .....	55
5.5.4.3.	Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije.....	56
5.5.4.4.	Ocena stroškov izgradnje .....	57
5.5.4.5.	Finančna analiza .....	57
5.	ANALIZA REZULTATOV .....	59
6.	ZAKLJUČKI.....	62
7.	VIRI .....	63
	SEZNAM PRILOG: .....	66

## KAZALO SLIK

Slika 1: Število podeljenih koncesij za hidroenergetsko rabo .....	5
Slika 2: Hidroelektrarna z odprtim dovodom vode .....	7
Slika 3: Hidroelektrarna z zaprtim dovodom vode .....	8
Slika 4: Hidroelektrarna z delno odprtim dovodom vode .....	8
Slika 5: Prikaz računskega postopka v programu SMART-Mini Idro .....	9
Slika 6: Krivulja trajanja pretokov .....	11
Slika 7: Računsko interpolacijski postopek določitve razpoložljivega pretoka v prečnih prerezi vzdolž analiziranega vodotoka .....	13
Slika 8: Hidravlične izgube v dovodnem sistemu mHE ter potek energijske in tlačne črte v primeru reakcijske turbine.....	14
Slika 9: Zmanjševanje učinkovitosti posameznih vrst turbin glede na zmanjšan pretok .....	17
Slika 10: Hidrogram odtoka s prikazom področja omejenega obratovanja zaradi visokovodnih razmer (vodomerna postaja Kokra I na reki Kokri za leto 2008) .....	19
Slika 11: Krivulja trajanja odtoka s prikazom odstotkov časa omejenega obratovanja zaradi visokovodnih razmer).....	19
Slika 12: Deleži posameznih komponent v skupni vrednosti investicije za visokotlačne mHE .....	21
Slika 13 : Deleži posameznih komponent v skupni vrednosti investicije za nizkotlačne mHE .....	21
Slika 14: Referenčno območje vodotoka.....	28
Slika 15: Prikaz obravnavanega območja.....	29
Slika 16: Vodomerna postaja Kokra I .....	30
Slika 17: Krivulja trajanja in hidrogram povprečnih dnevni pretokov na vodomerni postaji Kokra ..	31
Slika 18: Vzdolžni profil obravnavanega odseka .....	31
Slika 19: Lokacija mHE z dolgim odvzemom – ena mHE.....	32
Slika 20: Krivulja trajanja pretokov na mestu odvzema elektrarne z dolgim odvzemom .....	33
Slika 21: Krivulja trajanja pretoka s pripadajočo proizvedeno močjo mHE –dolg odvzem .....	35
Slika 22: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – ena mHE.....	37
Slika 23: Lokacije posameznih mHE vzdolž obravnavanega odseka .....	38
Slika 24: Prikaz lokacije mHE 1.....	39
Slika 25: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 1 .....	41
Slika 26: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 1.....	43
Slika 27: Prikaz lokacije mHE 2.....	44
Slika 28: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 2 .....	46
Slika 29: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 2.....	48
Slika 30: Prikaz lokacije mHE 3.....	49
Slika 31: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 3 .....	51
Slika 32: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 3.....	53
Slika 33: Prikaz lokacije mHE 4.....	54
Slika 34: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 4 .....	56
Slika 35: Denarni tok za primer izkoriščanja odseka mHE na Lokaciji 4.....	58

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Študija hidroenergetskega potenciala za gradnjo mHE v Sloveniji .....	6
Preglednica 2: Lastnosti materialov cevovodov v uporabi .....	15
Preglednica 3 : Razpon delovanja turbin glede na neto padec .....	15
Preglednica 4: Največja učinkovitost posamezne vrste turbin .....	16
Preglednica 5: Izkoristki generatorja za različne nazivne moči mHE.....	18
Preglednica 6: Cene zagotovljenega odkupa električne energije glede na velikostni razred mHE.....	23
Preglednica 7: : Obratovalne podpore za električno energijo proizvedeno v mHE .....	23
Preglednica 8: Osnovni tehnični podatki mHE na povodju Kokre .....	25
Preglednica 9: Ocena celotnega hidropotenciala za gradnjo mHE na reki Kokri .....	25
Preglednica 10: Vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka na v.p. Kokra I .....	30
Preglednica 11: Hidrološki podatki na mestu odvzema – ena mHE .....	33
Preglednica 12: Podatki o lastnosti cevovoda / tunela – ena mHE .....	34
Preglednica 13: Izgube v dovodnem sistemu ter izkoristki elektromehanskih delov in naprav – ena mHE .....	35
Preglednica 14: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – ena mHE.....	35
Preglednica 15: Stroški investicije – ena mHE .....	36
Preglednica 16: Obratovalni stroški .....	37
Preglednica 17: Finančni kazalci investicije – ena mHE .....	37
Preglednica 18: Hidrološki podatki na mestu odvzema – Lokacija 1 .....	40
Preglednica 19: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 1 .....	40
Preglednica 20: Izgube v dovodnem sistemu ter izkoristki elektromehanskih delov in naprav – Lokacija 1 .....	41
Preglednica 21: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 1.....	42
Preglednica 22: Stroški investicije – Lokacija 1 .....	42
Preglednica 23: Obratovalni stroški – Lokacija1 .....	43
Preglednica 24: Finančni kazalci investicije – Lokacija 1 .....	43
Preglednica 25: Hidrološki podatki na mestu odvzema – Lokacija 2 .....	45
Preglednica 26: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 2 .....	45
Preglednica 27: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 2.....	46
Preglednica 28: Stroški investicije – Lokacija 2 .....	47
Preglednica 29: Obratovalni stroški – Lokacija 2 .....	47
Preglednica 30: Finančni kazalci investicije – Lokacija 2 .....	48
Preglednica 31: Podatki o razpoložljivi količini vode – Lokacija 3.....	50
Preglednica 32: Podatki o lastnosti cevovoda –Lokacija 3 .....	50
Preglednica 33: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 3.....	51
Preglednica 34: Stroški investicije – Lokacija 3 .....	52
Preglednica 35: Obratovalni stroški – Lokacija 3 .....	52
Preglednica 36: Finančni kazalci investicije – Lokacija 3 .....	53
Preglednica 37: Podatki o razpoložljivi količini vode – Lokacija 4.....	55
Preglednica 38: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 4 .....	55
Preglednica 39: Stroški investicije – Lokacija 4 .....	57

Preglednica 40: Obratovalni stroški – Lokacija 4.....	57
Preglednica 41: Finančni kazalci investicije – Lokacija 4.....	58
Preglednica 42: Izhodišča in izračuni proizvodnje električne energije posamezne lokacije .....	60

## 1. UVOD

Že v preteklosti so bile reke pomemben vir energije. V Sloveniji je na rekah delovalo veliko število mlinov in žag s klasičnimi vodnimi kolesi. Z razvojem sodobnejših tehnologij pri izkoriščanju vodne energije je veliko teh naprav prenehalo delovati. Danes je delujočih le še manjše število in so bolj etnološke narave.

Po drugi strani je bilo v prejšnjem stoletju v Sloveniji zgrajenih kar nekaj malih hidroelektrarn. Zanimivo je, da skoraj večina teh malih hidroelektrarn deluje z manjšimi ali večjimi posodobitvami še danes. Žal se je gradnja malih hidroelektrarn zaradi neustrezne (nepopolne) zakonodaje v zadnjih desetih letih praktično ustavila.

Danes je zaradi prekomernega izpusta toplogrednih plinov in posledično globalnega segrevanja potreba po izkoriščanju obnovljivih virov energije čedalje večja. Povečevanje deleža OVE, predvsem pri proizvodnji električne energije, je eden od ciljev evropske politike zmanjševanja izpustov emisij toplogrednih plinov. K temu smo se, kot članica EU, zavezali tudi v Sloveniji s sprejemom direktive 2009/28/ES. V sprejetem Akcijskem načrtu za obnovljive vire energije (AN OVE) smo si zastavili cilj postopnega povečevanja deleža do leta 2020. Prav male hidroelektrarne so, in bi lahko bile, še pomembnejši vir »čistek« električne energije. Možnosti za delovanje malih hidroelektrarn je na naših vodotokih veliko, zato za gradnjo obstaja velik interes.

Stanje na področju gradnje mHE je danes precej zaskrbljujoče. Gradnjo novih objektov ovirajo dolgotrajni in neučinkoviti postopki pridobivanja koncesij. Lokacije, kjer je koncesijo mogoče dobiti, so bolj izjema kot pravilo. Že v tej fazi postopka za dodelitev koncesije je treba uskladiti prostorske akte z vnašanjem spremenjene rabe prostora, za kar je potrebno pozitivno mnenje Zavoda za varstvo narave, Zavoda za ribištvo in Inštituta za vode RS. Celoten postopek od pobude do izdaje koncesije lahko traja tudi 5 do 10 let. Pred odločitvijo o gradnji mHE pa je potrebno opraviti analizo hidroenergetskega potenciala izbranega odseka vodotoka. S tem pridobimo osnovne podatke o velikosti, moči, proizvodnji električne energije in ceni izgradnje posameznih izvedbenih možnosti.

V diplomski nalogi je obravnavan odsek reke Kokre, na katerem so predhodne analize pokazale velik hidroenergetski potencial. Ugotovljeno je bilo, da so tako hidrološke, kot tudi geomorfološke značilnosti odseka, zelo primerne za energetske rabo. Izbran odsek se nahaja v srednjem toku reke Kokre, med obstoječo mHE Kokra in desnim pritokom Čemšeniškega potoka. Znotraj tega območja je tudi lokacija vodomerne postaje Kokra 1, iz katere so bili pridobljeni podatki o srednjih dnevnikih pretokih za obdobje 58 let.

Za vsako lokacijo in vrsto odvzema je bila izračunana razpoložljiva količina vode. Ta se vzdolž vodotoka na račun večje prispevne površine in dodatnih pritokov nenehno povečuje. Količina vode, namenjene za energetske rabo, pa je odvisna tudi od ekološko sprejemljivega pretoka, ki še zagotavlja ohranitev naravnega ravnovesja v in ob vodotoku. Določa se ga z Uredbo o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Velikost ekološko sprejemljivega pretoka je odvisna od lastnosti vodotoka kakor tudi vrste odvzema.

Izbira lokacij je bila opravljena s pomočjo programskih orodij ARCGIS in Atlas Okolja in z ogledi terena. Za odsek so bili pridobljeni natančni lidar podatki, ki pa so bili uporabljeni predvsem za izdelavo vzdolžnega profila vodotoka. Odvzemna mesta in mesta postavitve strojnice so umeščena glede na naravne danosti, in z upoštevanjem realnih možnosti (višina pregrade, prečni prerez). Pri

tem so dolžine odvzema za primer izkoriščanja odseka z verigo mHE določene tako, da ne presegajo dolžine določene za kratek odvzem. Tako se na račun ekološko sprejemljivega pretoka poveča tudi razpoložljiva količina vode.

S programskim orodjem SMART Mini – Idro je bila opravljena analiza proizvodnje električne energije za dva primera izkoriščanja odseka. Prvi primer obravnava celotni odsek z eno mHE z dolgim odvzemom vode. V drugem primeru pa je bilo analizirano izkoriščanje odseka z več mHE s kratkim odvzemom. Na koncu je opravljena primerjalna analiza proizvodnje električne energije na posameznih lokacijah in glede na vrsto odvzema.



## 2. MALE HIDROELEKTRARNE

### 2.1. Definicija in delitev

V Evropi še vedno ni enotnega dogovora pod katero mejo obravnavamo neko hidroelektrarno kot malo. V nekaterih državah članicah Evropske unije (Portugalska, Španija, Grčija, Belgija), med katere spada tudi Slovenija, je obveljalo, da vse hidroelektrarne pod 10 MW inštalirane moči definiramo kot male. V Italiji je ta meja postavljena na 3 MW, na Švedskem 1,5 MW, v Veliki Britaniji pa znaša 20 MW. To poimenovanje ni pomembno zgolj iz formalnega vidika temveč je povezano tudi s subvencijami držav tako pri odkupnih cenah električne energije, kakor tudi pri finančnih spodbudah za njihovo izgradnjo. Tako lahko male hidroelektrarne, glede na nazivno moč in s tem povezane velikostne razrede podpor za proizvodnjo električne energije iz OVE, razdelimo še na (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, 2009):

- mikro HE do 50 kW
- male HE 50 do 1000 kW
- srednje HE 1000 do 10000 kW

Mikro HE do 36 kW se lahko priključujejo na električno omrežje pri uporabnikih gospodinjstev. Do te priključne moči je tudi možna uporaba cenejše standardne električne opreme ter merilnih in zaščitnih naprav (Jerkovič, 1996)

mHE lahko naprej razdelimo tudi po višini razpoložljive energije, oz. neto padcu (ESHA, 2004).

- Visokotlačne nad 100 m energijske višine
- Srednjetačne od 30 do 100 m energijske višine
- Nizkotlačne od 2 do 30 m energijske višine

Zgornja delitev je predvsem pomembna pri izbiri turbine in pri vzpostavitvi osnovne sheme dovoda vode od zajetja do turbine.

### 2.2. Vrste mHE

V splošnem imamo dve različni izvedbeni možnosti mHE, ki se glede na naravne danosti potencialnih lokacij in potreb po električni energiji ločijo na pretočne in akumulacijske.

#### 2.2.1. Pretočne mHE

Značilnost pretočnih hidroelektrarn je v tem, da izkoriščajo izključno pretok, ki je v danih razmerah na voljo, in nimajo možnosti shranjevanja oz. akumuliranja vode. Ta način pridobivanja energije je podvržen letnemu vodnemu ciklu sušnih in deževnih obdobij, kar ne omogoča zanesljive in konstantne proizvodnje električne energije. Elektrarna lahko deluje samo takrat, ko je v strugi dovolj vode za delovanje turbin, oz. do ekološko sprejemljivega pretoka. Zato so pretočne hidroelektrarne primerne za priključitev na večje energetske omrežje kot dodaten vir električne energije in so le redko uporabljene kot edini vir.

Pri pretočnih hidroelektrarnah se običajno zgradi zadrževalni jez (pregrada), ki pa služi zgolj za nadzorovan in nemoten odvzem vode in ne kot akumulacija. Hkrati pa lahko z jezo pridobimo tudi dodatno razpoložljivo višino in s tem večjo moč elektrarne. Strojnico s turbino lahko postavimo kot del jez oz. pregrade in je priključena z nizkotlačnim cevovodom, lahko pa jo preko dovodnega kanala ali tlačnega cevovoda postavimo tudi na bolj ugodni dolvodni lokaciji, in s tem pridobimo tudi primerno večji padec. Pretočne hidroelektrarne so največkrat uporabljen tip mHE, saj so cenovno sprejemljive, hkrati pa je poseg v naravno strugo vodotoka minimalen.

### 2.2.2. Akumulacijske mHE

Pri akumulacijskih mHE je za pregrado eno ali več akumulacijskih jezer, v katerih se voda shranjuje v času, ko je električne energije dovolj. V času, ko potreba po električni energiji naraste, pa se voda porablja. Ta način nam omogoča bolj zanesljivo oskrbo z električno energijo, saj nismo vezani samo na vodne razmere. Akumulacija je lahko dnevna, tedenska ali mesečna, kar pa velja le za večje HE, saj imajo mHE običajno le dnevno akumulacijo. V primeru, da nimamo naravne akumulacije, to pomeni gradnjo večjega jez. To pa je povezano z veliko večjimi investicijskimi vlaganji, hkrati pa predstavlja gradnja akumulacijskega jez tudi velik poseg v okolje in rečno hidromorfologijo. Zato je takih mHE zgrajenih zelo malo.

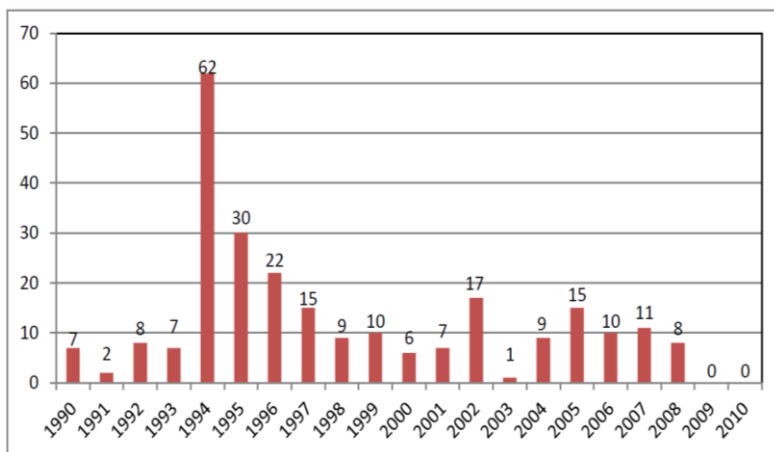
Za mHE je bolj običajna izvedba t.i. pretočno-akumulacijskih HE. Te imajo za pregrado jezero, vendar pa je le-to manjše kot pri akumulacijskih in omogoča le shranjevanje vode v nočnem času, ko so potrebe po električni energiji manjše, ter porabo vode podnevi, ko potrebe po električni energiji narastejo. Taka vrsta je za mHE bolj primerna, tako iz finančnega vidika, kot tudi iz vidika zadovoljevanja potreb po električni energiji.

Posebna vrsta akumulacijskih mHE so črpalne HE, pri katerih se voda iz nižje ležeče akumulacije, v času presežkov električne energije, prečrpava v višje ležečo akumulacijo. Izgube pri prečrpavanju vode se krijejo predvsem iz razlik v ceni električne energije. Ta lahko dosega večkratno razliko med dnevno in nočno ceno energije. Elektrarna v času prečrpavanja potrebuje drug vir energije, ki ga pogosto krijejo ekološko sporne termoelektrarne.

### 2.3. Stanje mHE pri nas

V Sloveniji je imelo po podatkih Ministrstva za okolje in prostor, do konca leta 2006 koncesijsko razmerje urejeno 487 upravljalcev mHE, katerih skupna proizvodnja električne energije je znašala predvidoma 334.000 MWh. Od teh jih 73 proizvede letno več kot 1.000 MWh elektrike, oz. skupno 255.000 MWh ali 76 % vse proizvedene elektrike v mHE. V 214 mHE, s proizvodnjo med 100 MWh in 1.000 MWh elektrike letno, se proizvede 71.000 MWh ali 21 % vse proizvedene elektrike. V ostalih 200, ki bi jih, glede na proizvodnjo električne energije lahko uvrstili med mikro hidroelektrarne, pa se proizvede okoli 8.000 MWh, ali manj kot 3% vse proizvedene elektrike v mHE (MOP, 2007).

Današnje stanje pri gradnji novih in obnovi obstoječih mHE je precej zaskrbljujoče. V zadnjih letih praktično ni bilo podeljene nobene nove koncesije za izrabo vode v mHE, čeprav je bilo vloženih preko 200 vlog. Dejstvo je, da gradnja HE predstavlja poseg v okolje, predvsem v rečno hidromorfologijo ter vodni in obvodni ekosistem. Vendar prav mHE, ob primerni izvedbi in upoštevanju vseh okoljskih zahtev, predstavljajo relativno majhno obremenitev za okolje.



Slika 1: Število podeljenih koncesij za hidroenergetsko rabo (Agencija RS za okolje, 2010)

Tako bi bilo potrebno le ugotoviti, na katerih območjih oz. vodotokih gradnja mHE zaradi varovanja okolja in krajine absolutno ni dovoljena, in na katerih območjih in pod kakšnimi pogoji, se gradnjo dovoli. S tem bi lahko skrajšali potrebne postopke pridobivanja soglasij in dovoljenj, hkrati pa bi investitorjem dali jasne smernice za investiranje v nove objekte.

#### 2.4. Potencial za gradnjo mHE v Sloveniji

Za odločitev o gradnji hidroelektrarne je bistveno, koliko električne energije bo proizvedla v enem letu. Da lahko to določimo, moramo poznati hidroenergetski potencial vodotoka. Po splošno veljavnem načelu delimo hidroenergetski potencial na:

- Teoretični hidroenergetski potencial
- Tehnično izkoristljiv hidroenergetski potencial
- Ekonomsko upravičen hidroenergetski potencial
- Ekološko sprejemljiv hidroenergetski potencial

Teoretični hidroenergetski potencial je izračunan iz zmnožka med številom ur v letu in bruto potencialom na delu vodotoka. V tehnično izkoristljivem potencialu so upoštevani še izgube v dovodnem sistemu in izkoristki elektromehanskih delov in naprav. Med ekonomsko upravičeni potencial se šteje tisti, pri katerem sta padec in pretok takšna, da omogočata ekonomsko upravičeno vlaganje v mHE, v ekološko sprejemljivem potencialu pa so vštete še okoljske zahteve, predvsem *Q<sub>es</sub>*.

Preglednica 1: Študija hidroenergetskega potenciala za gradnjo mHE v Sloveniji (MOP, 2007)

Porečje	HIDROENERGETSKI POTENCIAL		
	Teoretični (GWh/leto)	Tehnični (GWh/leto)	Ekonomski (GWh/leto)
<b>Drava</b>	290	260	140
<b>Sava</b>	1030	510	165
<b>Soča</b>	474	260	145
<b>Mura</b>	7	5	3
<b>Kolpa</b>	182	56	20
<b>Kras</b>	17	9	2
<b>Slovenija</b>	2000	1100	475

V Sloveniji se v mHE proizvede okoli 70 % ekonomskega hidroenergetskega potenciala. Največ možnosti za doseganje celotnega ekonomskega hidroenergetskega potenciala mHE obeta gradnja novih, oz. obnova obstoječih mHE na porečju Save, Soče in Drave, pri čemer je treba dati največji poudarek lokacijam, kjer hidroenergetski potencial omogoča proizvodnjo električne energije v mHE, ki letno dosega najmanj 1.000 MWh (MOP, 2007).

## 2.5. Zasnova mHE

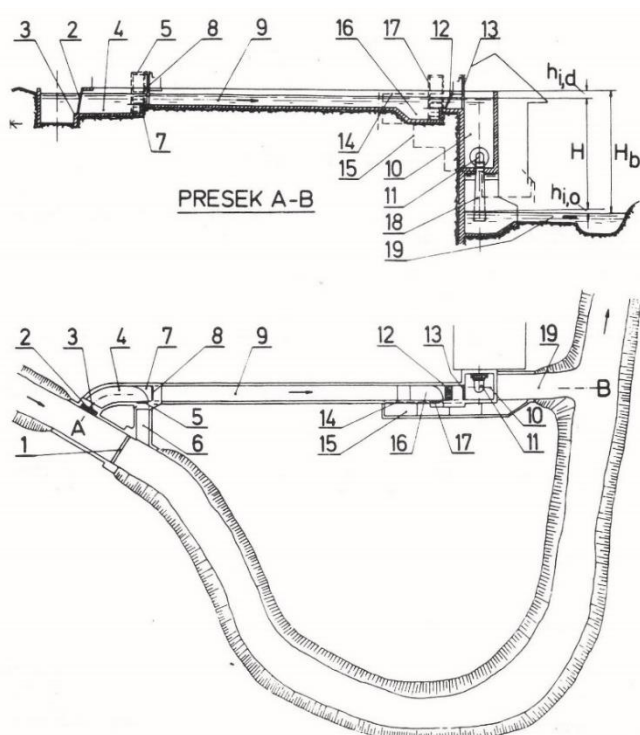
Male hidroelektrarne lahko glede na način dovoda vode od zajetja do strojnice, razdelimo na:

1. Male hidroelektrarne z odprtim (kanalskim) dovodom vode
2. Male hidroelektrarne z zaprtim (cevnim) dovodom vode
3. Male hidroelektrarne z delno odprtim (kombiniranim) dovodom vode

Ta delitev je zelo pomembna, saj opredeljuje splošno zasnovo mHE in s tem opremo dovoda samega, kakor tudi vrsto in konstrukcijsko izvedbo turbine. O načinu dovoda odloča več dejavnikov, med njimi na prvem mestu instalirani pretok, padec in teren. Tako npr. pridejo za padce do 5 m v poštev dovodni kanali, če jih le terenske razmere omogočajo. Pri večjih instaliranih pretokih je ta meja nekoliko višja, pri nižjih pretokih pa je že pod omenjeno mejo treba zgraditi cevovod ali pa kombinirani dovod s kanalom in cevovodom. V primerih, ko pretok, padec in teren dopuščajo več izvedb dovoda, odloča o njegovi izbiri cena (Šolc, L. 1986)

### 2.5.1. Male hidroelektrarne z odprtim dovodom vode

Hidroelektrarna z odprtim dovodom je običajno locirana tako, da dovodni in odvodni kanal sekata bodisi krivino naravnega vodotoka (Slika 2) ali premoščata njeno brzico. Strojnica je postavljena na primernem mestu med odvzemom vode iz naravne struge in njenim povratkom v strugo, najpogosteje blizu izliva odvodnega kanala v strugo. Na Sliki 2 je energetsko izkoriščen odsek vodnega toka med točkama A in B, kar daje bruto padec  $H_b$ . Bruto padec lahko povečamo z zgraditvijo jezusa, s čimer dvignemo zgornjo vodno gladino. Vstop v dovodni kanal namestimo nekaj metrov nad jezom.



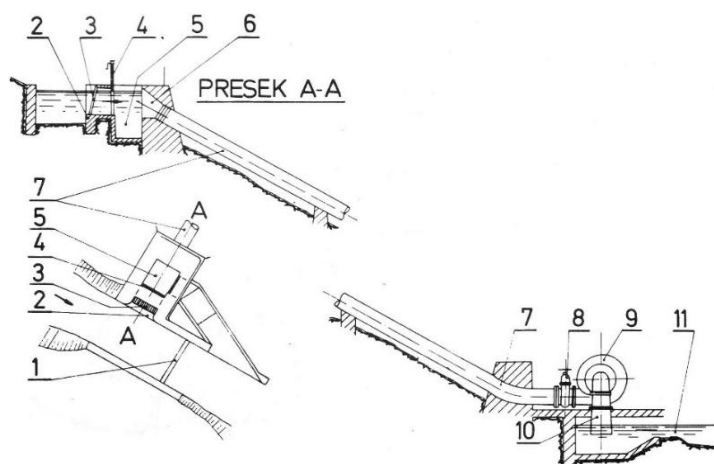
1-Jez; 2-groba rešetka; 3-vstopni prag; 4-peskolov; 5-izpustna zapornica; 6-čistilni kanal; 7-prag; 8-vstopna zapornica; 9-dovodni kanal; 10-turbinski jašek; 11-turbina; 12-drobna rešetka; 13-predturbinska zapornica; 14-preliv; 15-obtok; 16-peskolov; 17-izpustna zapornica; 18-sesalna cev; 19-odvodni kanal Odcep kanala izvedemo po možnosti pravokotno na strugo vodotoka, tako da plavje, tj. plavajoča telesa, ne silijo v kanal.

Slika 2: Hidroelektrarna z odprtim dovodom vode (Šolc, L., 1986, 33)

Plavje, ki se kljub temu usmeri v kanal, zadrži groba rešetka. Vstopanje v kanal je treba preprečiti tudi pesku in prod, ki ga nosi voda s seboj. Zaradi tega je treba vstopni prag nekoliko dvigniti nad dno struge. Pesek in prod se nato usedeta med odcepom kanala in jezom. Peskolov za grobo rešetko ujame še tisti pesek, ki ga voda prinaša skozi rešetko. Peskolov očistimo z odprtjem izpustne (prodne) zapornice, tako da voda odplavi pesek skozi čistilni kanal pod jez. Za peskolovom je dno kanala dvignjeno in voda vstopa preko praga v dovodni kanal. Na tem mestu je montirana vstopna zapornica. Ta je običajno popolnoma odprta, pripravimo pa jo v primeru visoke vode, da ne bi pritekala v kanal prevelika količina vode. Po kanalu teče voda v turbinski jašek. Pred vstopom v jašek teče voda skozi fino rešetko in predturbinsko zapornico. Sledi tok vode skozi turbino. Pri daljših dovodnih kanalih je treba tik pred strojnico izdelati preliv, preko katerega se preliwa presežna voda, če turbine nimamo popolnoma odprte ali jo celo ustavimo. Nazadnje vodo, ki izstopa iz turbine, po sesalni cevi ali odvodnem kanalu vračamo nazaj v vodotok (Šolc, L., 1986).

### 2.5.2. Hidroelektrarne z zaprtim dovodom vode

V primeru hidroelektrarne z zaprtim dovodom (Slika 3) je navadno nekaj metrov nad jezom zgrajena vtočna naprava, ki jo sestavljajo vstopni prag, drobna rešetka, vstopna zapornica, usedalnik in vtok v cevovod. V tem primeru vodo čistimo samo z eno rešetko, zaradi česar mora ta biti drobna. Voda teče po dovodnem cevovodu skozi predturbinsko zapiralo v turbino. V primeru, da uporabljamo reakcijsko turbino, izteka voda iz turbine skozi sesalno cev in nadaljuje po odvodnem kanalu nazaj v vodotok. Pri iztoku vode iz impulzno turbine pa pride v poštev le odvodni kanal.



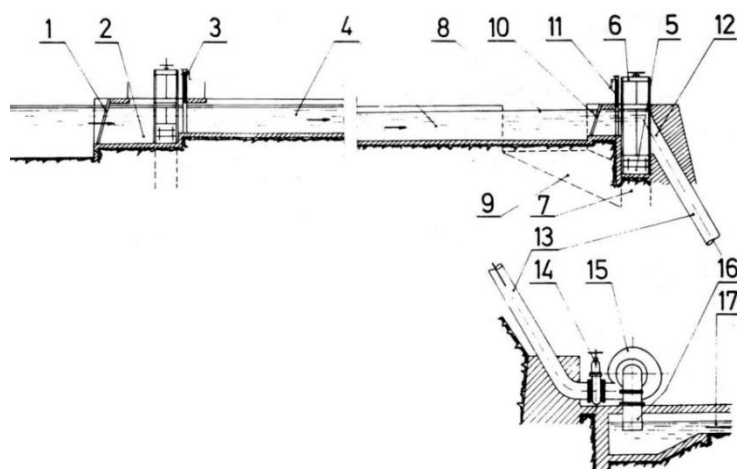
1-jez; 2-vstopni prag; 3-drobna vtočna rešetka; 4-vstopna zapornica; 5-peskolov; 6-vtok v cevovod; 7-dovodni cevovod; 8- predturbinsko zapiralo; 9-turbina; 10-sesalna cev; 11-odvodni kanal

Slika 3: Hidroelektrarna z zaprtim dovodom vode (Šolc, L., 1986, 35)

Pri dolgih cevovodih lahko pri regulaciji turbine in pri nenadni zaustavitvi pretoka pride do neželenih hidravličnih razmer (vodni udar). Težave lahko zmanjšamo tako, da razdelimo cevovod na dva dela. Prvi, daljši del, položimo z blagim naklonom, drugi, krajši del, strmo. Med obema deloma postavimo razbremenilnik. Delovanje le tega je podrobno opisano v seminarju (Šercelj, 2012).

### 2.5.3. Hidroelektrarne z delno odprtim dovodom vode

Zelo pogoste so hidroelektrarne z delno odprtim dovodom, kakršna je prikazana na sliki. Voda doteka najprej po odprtem kanalu in nato vstopa v dovodni cevovod. Vstopni del je enak kot pri elektrarni z odprtim dovodom. Vse ostale elemente sistema pa ponazarja Slika 4.



1-groba rešetka; 2-peskolov; 3-vstopna zapornica; 4-dovodni kanal; 5-peskolov; 6-izpustna zapornica; 7-čistilni kanal; 8-preliv; 9-obtok; 10-drobna rešetka; 11-vstopna zapornica; 12-vtok v cevovod; 13-dovodni cevovod; 14-predturbinsko zapiralo; 15-turbina; 16-sesalna cev; 17-odvodni kanal

Slika 4: Hidroelektrarna z delno odprtim dovodom vode (Šolc, L., 1986, 36)

### 3. TEORETIČNA IZHODIŠČA ZA IZRAČUN PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE S PROGRAMSKO OPREMO SMART Mini-Idro

V tem poglavju so predstavljena področja, pomembna za oceno potencialnih lokacij, s programom SMART Mini-Idro. V Poglavju 3 so, v istem vrstnem redu kot pri petih elementih programa, opisani: hidrologija, izbor turbine, proizvodnja energije, cena izgradnje in finančne analize.

#### 3.1. Program SMART Mini-Idro

Program SMART Mini – Idro je orodje za oceno tehničnega in ekonomskega potenciala mHE. Razvit je bil pod okriljem projekta SEE HydroPower pri čemer je kot partner sodelovala tudi Slovenija (UL FGG, KMtek). Program je bil financiran s strani Evropske unije v podporo odločanju v predinvesticijskih študijah. Program deluje v Excelovem okolju in je sestavljen iz petih sklopov, ki jih prikazuje tudi Slika 5.



Slika 5: Prikaz računskega postopka v programu SMART-Mini Idro

Vhodni podatki:

- Krivulja trajanja pretokov na obravnavanem območju
- Razpoložljiv padec obravnavanega območja
- Izbira vrste turbine glede na padec in pretok
- Koeficienti izkoristka elektromehanskih delov in naprav
- Cena energije
- Subvencije in podpore v obliki odkupne cene

### 3.2. Hidrološke analize

Za načrtovanje hidroenergetske izrabe vodotoka moramo v prvi vrsti poznati hidrološki režim vodotoka. Od kakovosti podatkov, ki jih imamo na voljo, je odvisna tudi natančnost vseh nadaljnjih hidroloških analiz. Nekaj načinov pridobivanja podatkov je opisanih v nadaljevanju. Pri načrtovanju moramo upoštevati tudi vse okoljske zahteve, predvsem ekološko sprejemljiv pretok, ter obstoječo rabo vode.

#### 3.2.1. Hidrološki podatki

Količina proizvedene električne energije v HE je v veliki meri odvisna od razpoložljive količine vode. Da bi lahko ocenili, koliko vode imamo na voljo za izkoriščanje, moramo poznati hidrološki režim vodotoka, ki ga najbolje opisuje hidrogram. Kadar imamo na vodotoku že opravljene meritve pretokov v daljšem obdobju, lahko iz njih enostavno pridobimo podatke, ki so za načrtovanje potrebni. Drugače pa je, kadar na vodotoku še ni bilo opravljenih meritev in moramo te opraviti sami, ali pa z empiričnimi metodami in modeli določiti pretok.

Pretočne karakteristike vodotoka lahko izračunamo s pomočjo meritev posameznih parametrov na vodotoku. Metode, ki jih pri tem uporabljamo so predvsem meritve hitrostnega polja v prečnem prerezu vodotoka, različni objekti za meritve pretokov in pa določene posredne meritve (npr. meritve s sledilom). Ker pri tem merimo predvsem količine, ki so posredno odvisne od pretoka, moramo nato z različnimi analitičnimi enačbami konstruirati pretočno krivuljo (Brilly, M., Šraj, M., 2005).

Drugi način izračuna površinskega odtoka iz povodja pa so različni računalniški modeli. Med njimi je pri nas najbolj zastopan program HEC-HMS (The Hydrologic Modeling System), ki ga je razvila Ameriške zvezna agencija USACE (The United States Army Corps of Engineers). S Programom HEC-HMS lahko s pomočjo efektivnih padavin simuliramo površinski odtok.

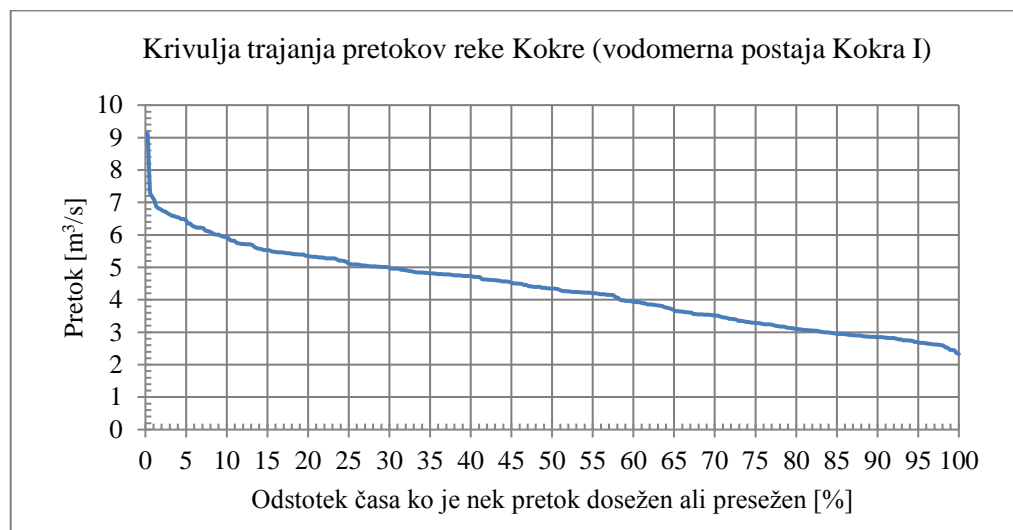
Namen zgoraj omenjenih metod je pridobiti statističen hidrogram odtoka iz povodja. Vendar za načrtovanje mHE taka oblika prikaza podatkov ni najbolj primerna. Tako običajno podatke prikažemo s krivuljo trajanja pretokov.

#### 3.2.2. Krivulja trajanja pretokov

Krivulja trajanja pretokov predstavlja odstotke časa, ko je nek pretok dosežen ali presežen. Dobimo jo iz hidrograma tako, da namesto kronološko, podatke o povprečnem dnevnem pretoku organiziramo po velikosti od največjega do najmanjšega. Nato določimo še pogostost posameznega dogodka, glede na celotno število dogodkov. Krivuljo trajanja pretokov uporabljamo predvsem za določitev inštaliranega pretoka in s tem velikosti turbine in ostalih delov in naprav mHE. Uporabna pa je tudi pri ekonomskih analizah za določevanje potencialno proizvedene električne energije in s tem smotrnosti naložbe.

Krivulji trajanja pretokov moramo odšteti še ekološko sprejemljiv pretok, ki pa se lahko spreminja z letnim časom. V tem primeru govorimo o krivulji trajanja razpoložljivega pretoka.





Slika 6: Krivulja trajanja pretokov (Vodomerna postaja Kokra 1)

### 3.2.3. Ekološko sprejemljiv pretok

Ekološko sprejemljiv pretok  $Q_{ES}$ , v tujini imenovan »preostali pretok« (residual flow (ang), Restwasser (nem)), pomeni količino in kakovost vode, ki še zagotavlja ohranitev naravnega ravnovesja v in ob vodotoku. Določa se ga z Uredbo o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uredba se uporablja za posebno rabo površinske vode, ki lahko povzroči zmanjšanje pretoka vode, znižanje gladine vode ali poslabšanje stanja voda. Ekološko sprejemljiv pretok se na podlagi hidroloških podatkov določi z izračunom po naslednji enačbi:

$$Q_{es} = f \cdot sQ_{np} \quad (1)$$

Pri čemer je  $Q_{es}$  ekološko sprejemljiv pretok,  $f$  faktor, odvisen od ekološkega tipa vodotoka, in  $sQ_{np}$  srednji mali pretok.

Vrednosti faktorja  $f$  so podane tabelarično v prilogah Uredbe in se določajo na podlagi naslednjih kriterijev:

- Nepovraten ali povraten odvzem,
- Dolžina povratnega odvzema,
- Količina odvzema, opredeljena glede na vrednost srednjega pretoka na mestu odvzema,
- Ekološki tip vodotoka
- Razmerjem med srednjim in srednjim malim pretokom

Srednji mali pretok je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka na mestu odvzema v daljšem opazovanem obdobju (običajno zadnjih 30 let). Srednji mali pretok se izraža v  $m^3/s$  in se izračuna po naslednji enačbi:

$$sQ_{np} = \sum_{i=1}^{i=N} \frac{Q_{np,i}}{N} \quad (2)$$

pri čemer je  $sQ_{np}$  srednji mali pretok,  $Q_{np,i}$  najmanjši srednji dnevni pretok v  $i$ -tem koledarskem letu in  $N$  število let v opazovanem obdobju.

Drugi pomemben računski pretok, ki lahko vpliva na velikost faktorja  $f$  je srednji srednji pretok na mestu odvzema. Določen je kot aritmetično povprečje srednjih letnih vrednosti na mestu odvzema (običajno zadnjih 30 let). Srednji srednji pretok se izraža v  $m^3/s$  in se izračuna po naslednji enačbi:

$$sQ_s = \sum_{i=1}^{i=N} \frac{Q_{s,i}}{N} \quad (3)$$

pri čemer je  $sQ_s$  srednji srednji pretok,  $Q_{s,i}$  srednji letni pretok v  $i$ -tem koledarskem letu in  $N$  število let v opazovanem obdobju.

Pri tem je treba poudariti, da se ekološko sprejemljiv pretok za dolgi odvzem tekom leta spreminja. Tako določamo ekološko sprejemljiv pretok posebej za sušno, in posebej za vodnato obdobje. Za skupine ekoloških tipov 2,3 in 4 veljajo kot sušno obdobje meseci januar, februar, junij, julij, avgust, september in december, za skupino ekoloških tipov 1 pa september, junij, julij ter avgust. Vodnato obdobje pa je obdobje koledarskega leta, ki ni opredeljeno kot sušno.

Ekološko sprejemljiv pretok se lahko določi tudi na podlagi študije za določitev ekološko sprejemljivega pretoka, ki jo ob predložitvi pobude ali vloge predloži pobudnik, oz. vlagatelj vloge za pridobitev vodne pravice. Študijo preveri Inštitut za vode RS, ki študijo potrdi ali pripravi končni strokovni predlog ekološko sprejemljivega pretoka (razen kadar je Inštitut za vode RS izdelovalec te študije). Minimalne zahteve za izdelavo študije so natančno določene v prilogah Uredbe.

Ekološko sprejemljivi pretok se ne določa za točkovne odvzeme, če gre za posebno rabo vode za proizvodnjo električne energije v mHE. Kadar je na mestu odvzema zagotovljen prehod za ribe v skladu s predpisi, ki urejajo sladkovodno ribištvo, mora imetnik vodne pravice na mestu odvzema v vseh letnih obdobjih zagotoviti tisto količino vode, ki je potrebna za prehod rib. Ekološko sprejemljiv pretok, določen v skladu s to uredbo, velja v vseh letnih obdobjih, razen v razmerah, ko je dejanski pretok na mestu odvzema manjši od ekološko sprejemljivega. Objekt ali naprava, oz. sistem naprav za odvzem vode, mora biti oblikovan tako, da ne omogoča odvzema vode, kadar se pretok na mestu odvzema zmanjša pod ekološko sprejemljivi pretok. Šteje se, da je s tem spremljanje ekološko sprejemljivega pretoka zagotovljeno (Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka, 2009).

### 3.2.4. Razpoložljiv pretok

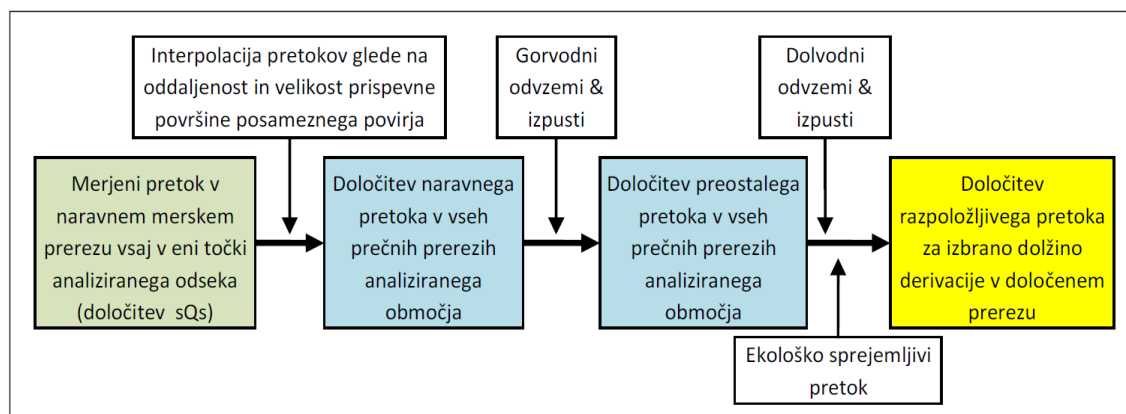
Za analizo in določanje potencialnih lokacij ter velikosti objektov za hidroenergetsko izkoriščanje moramo poznati razpoložljive količine vode. Pri tem so ključni podatki o statističnem pretoku (srednji letni pretok  $sQ_s$ ) vsaj v eni točki v analiziranem odseku, ekološko sprejemljivem pretoku ter morebitni obstoječi rabi vode. Slednje je predvsem pomembno pri analizi razpoložljive količine vode za derivacijske tipe elektrarn, kjer je pri dolžini odvzema potrebno upoštevati dolvodno rabo

vode. Pri tem so pomembni natančni podatki o lokacijah in količini odvzete, ter v primeru povratnega odvzema, tudi vrnjene vode. Razpoložljiv oziroma projektiran pretok v določenem prerezu  $x$  se tako določi z najmanjšo vrednostjo razpoložljive vode v celotni projektirani dolžini  $L$ , kar prikazuje tudi naslednja enačba (Šantl, S., et al., 2012):

$$Q_{he}(x, L) = \min_{[s = 0, L]}(Q_{max}(s)) \quad (4)$$

kjer  $Q_{HE}$  pomeni razpoložljivi pretok za hidroenergetsko rabo,  $Q_{max}(s)$  pa največji moženi odzvem v določenem prečnem prerezu  $s$ , ki že vključuje  $Q_{es}$ , in se določi v deležu  $sQ_s$ .

Pomemben korak pri analizi razpoložljivih pretokov je interpolacija pretokov glede na oddaljenost mesta odvzema od merilnega mesta in velikosti prispevne površine. Pri tem je potrebno upoštevati vse večje pritoke na obravnavanem območju ter morebitno sodelovanje reke z podtalnico (izcejanje vode v vodotok oz. dreniranje vodotoka). Na Sliki 7 je prikazana konceptualna shema postopka določanja razpoložljivih količin vode vzdolž analiziranega odseka.



Slika 7: Računsko interpolacijski postopek določitve razpoložljivega pretoka v prečnih prerezih vzdolž analiziranega vodotoka (Šantl, S., et al., 2012)

### 3.3. Izbira turbine

Za namen hidroenergetskega izkoriščanja vodotokov je bilo razvitih več različnih tipov turbin ki jih, glede na način delovanja, lahko delimo na impulzne in reakcijske turbine. Izbira primerne turbine je predvsem odvisna od razpoložljivega (instaliranega) pretoka oz. od oblike pretočne krivulje, ki jo prikazuje krivulja trajanja pretokov, ter od razpoložljivega padca. Proizvodnja energije z izbrano turbino se tako linearno povečuje s padcem. V prejšnjem poglavju so bili opisani postopki določanja hidroloških izhodišč. V tem poglavju pa so na podlagi pridobljenih hidroloških podatkov ter podatkov in izračunov o razpoložljivi tlačni višini (padcu) predstavljeni osnovni kriteriji izbora optimalne vrste ter velikosti turbine.

#### 3.3.1. Bruto padec

Vse tekoče vode imajo v naravi nagnjeno strugo, oz. rečemo, da imajo svoj padec. Pri tem navadno ne obravnavamo padca od izvira vode do njenega izliva, temveč govorimo le o padcu na določenem

odseku vodotoka. Tako so za energetske izrabe zanimivi le vodotoki, ki presegajo vrednosti, potrebne za počasni tok. Padec, ki ga ima vodni tok na določenem odseku, imenujemo bruto padec (Šolc, 1986). Bruto padec pomeni višinsko razliko med energijo vodnega toka v dveh krajiščih odseka. Pogosto pa se poenostavljeno določa kot razlika med vodnima gladinama na začetku in na koncu merjenega odseka vodnega toka. Ugotavljamo ga z meritvami na terenu (GPS in elektronski teodolit) in tudi z uporabo geografskih kart ter elektronskih baz podatkov (GIS – geografski informacijski sistem).

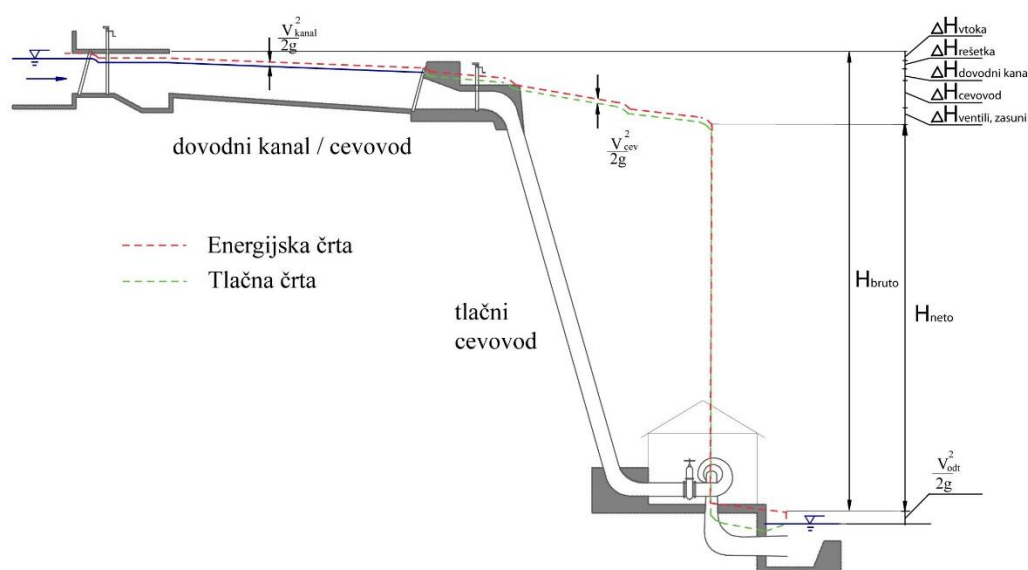
Razpoložljiv padec lahko povečujemo tudi z višino jezusa, a smo pri tem običajno omejeni zaradi gorvodnega vpliva ter same cene izgradnje.

Vendar pa vrednost tega padca v celoti ne pride v poštev za energetske izkoriščanje. Na voljo je le neto padec, ki ga dobimo tako, da bruto padcu odštejemo izgube v dovodnem sistemu mHE.

### 3.3.2. Neto padec

Moč, ki jo lahko odvezamo vodi s turbino, je med drugim, odvisna od neto padca. Zato je pri postavljanju male hidroelektrarne zelo važno poznati njegovo vrednost. Neto padec lahko izmerimo pri že zgrajeni napravi, neposredno z merjenjem tlaka v turbinski spirali z manometrom. Pri projektirani in še nezgrajeni napravi pa moramo računsko ugotoviti vse posamezne izgube na dovodnih ter odvodnih objektih in napravah.

Izgube v dovodnem sistemu računamo po principu seštevanja posameznih izgub objektov in naprav. Vrednosti, predvsem pa deleži posameznih izgub, se razlikujejo glede na vrsto mHE. Med ključne izgube lahko štejemo predvsem tiste v dovodnem kanalu in tlačnem cevovodu, ki običajno predstavljajo največji delež pri celotni izgubi energije. Hkrati pa imamo tudi veliko manjših, lokalnih izgub (vtok, rešetka, krivine, zaporni in regulacijski elementi, idr.), ki skupaj doprinesejo znaten del pri celotni izgubi energije, predvsem pri nizkotlačnih izvedbah mHE. Slika 8 prikazuje hidravlične izgube energije v dovodnem sistemu, ki hkrati definirajo neto razpoložljiv padec.



Slika 8: Hidravlične izgube v dovodnem sistemu mHE ter potek energijske in tlačne črte v primeru reakcijske turbine (Šercelj, 2012)

Postopki za izračun posameznih izgub so natančneje opisani že v seminarju (Šercelj, 2012) zato na tem mestu niso posebej obravnavani. Za izračun s programom SMART Mini-Idro moramo poznati vrednost koeficientov hrapavosti, ki so potrebni pri izračunu izgub v dovodnem sistemu elektrarne. V program moramo namesto Manningovega koeficienta, vnesti koeficient hrapavosti po Sticklerju. Razmerje je podano s spodnjo enačbo.

$$k_s = 1/n \quad (5)$$

Preglednica 2: Lastnosti materialov cevovodov v uporabi (ESHA, 2004, 137)

Material	Youngov modul elastičnosti E (N/m <sup>2</sup> )	Koeficient linearnega raztezka a (m/m°C)	Natezna trdnost (N/m <sup>2</sup> )	Koeficient hrapavosti (n)
<b>Varjeno jeklo</b>	206	12	400	0,012
<b>Polietilen</b>	0,55	140	5	0,009
<b>PVC</b>	2,75	54	13	0,009
<b>Lito železo</b>	78,5	10	140	0,014
<b>Duktilno jeklo</b>	16,7	11	340	0,013

### 3.3.3. Izbira turbine

Izbira primerne turbine je odvisna od značilnosti posamezne lokacije, na kar vplivata predvsem pretok in neto razpoložljiv padec. Veliko vlogo pri izbiri ima tudi vrtilna hitrost turbine, ki narekuje potrebo po menjalniku, in pa učinkovitost turbine pri zmanjšanem pretoku. Slednje je še posebej pomembno pri vodotokih z velikim letnim nihanjem pretoka, saj le z izbiro prave turbine lahko zagotovimo optimalno delovanje, oz. proizvodnjo energije skozi daljše obdobje v letu. Vrsto in velikost turbine izbiramo po naslednjih kriterijih (ESHA, 2004):

- Neto padec
- Pričakovan razpon pretokov
- Vrtilna hitrost
- Težave s kavitacijo
- Cena

Neto padec je eden od osnovnih kriterijev za izbor turbine. Postopek določanja le tega je bil predhodno že omenjen, spodaj pa so podani okviri delovanja posamezne vrste turbine.

Preglednica 3 : Razpon delovanja turbin glede na neto padec (ESHA, 2004; str. 175)

Vrsta turbine	Padec [m]
<b>Kaplan in propellerske turbine</b>	2 <H <sub>neto</sub> <40
<b>Francis</b>	25 <H <sub>neto</sub> <350
<b>Pelton</b>	50 <H <sub>neto</sub> <1300
<b>Banki</b>	5 <H <sub>neto</sub> <200
<b>Turgo</b>	50<H <sub>neto</sub> <250

### 3.3.4. Izkoristki turbine

Celo v najnaprednejši vodni turbini se, med spreminjanjem moči vode v mehansko moč, nekaj moči izgubi. Še tako gladke stene turbine ne morejo preprečiti izgube moči zaradi trenja ob ostenju turbine. Del moči se zaradi trenja izgubi tudi v ležajih, del izgub pa gre na račun vode, ki spolzi skozi špranje med gonilnikom in mirujočimi deli turbine, ne da bi oddala svoj del energije. Tako dobimo na gredi turbine vedno nekoliko manjšo moč, kot jo vsebuje voda, ki teče skozi turbino.

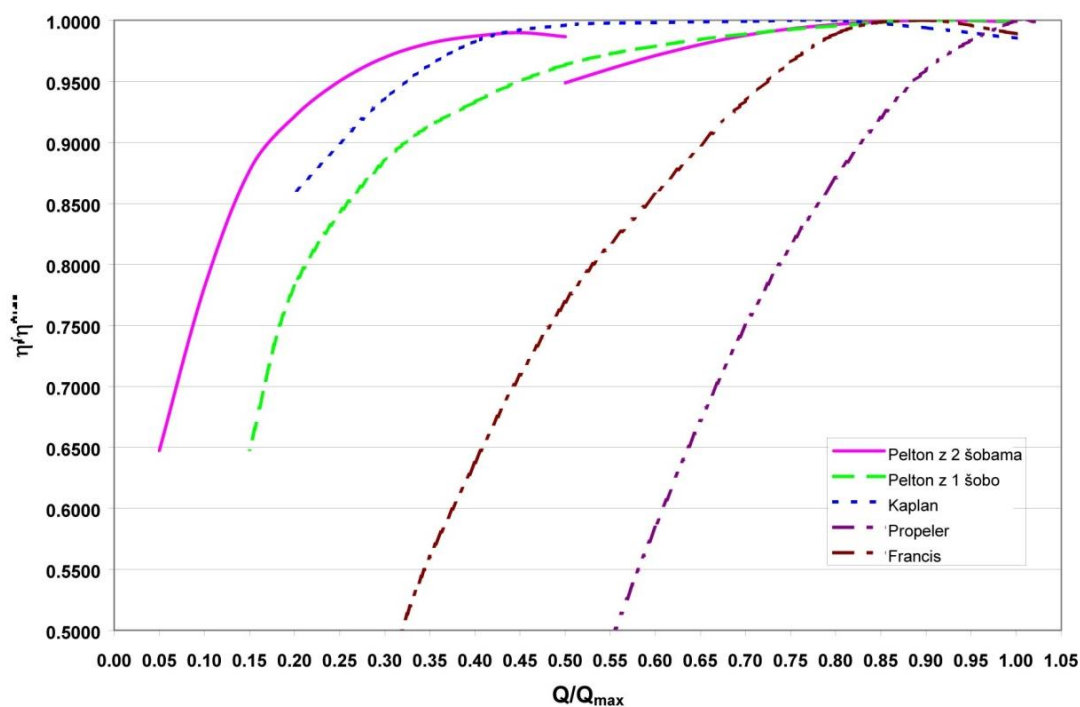
Število, ki pove, kolikšen del moči vode ostane kot koristna moč na vrteči se turbinski gredi, imenujemo izkoristek turbine. Pri polno odprti in polno obremenjeni turbini dosega izkoristek vrednosti, ki so podane v spodnji tabeli. Natančno vrednost izkoristka dobimo pri proizvajalcih turbine, ki običajno zanjo tudi jamčijo.

Preglednica 4: Največja učinkovitost posamezne vrste turbin (ESHA, 2004)

Vrsta turbine	Največja učinkovitost
<b>Kaplan-enojna regulacija</b>	0,91
<b>Kaplan-dvojna regulacija</b>	0,93
<b>Francis</b>	0,94
<b>Pelton z več šobami</b>	0,90
<b>Pelton z eno šobo</b>	0,89
<b>Turgo</b>	0,85

Glede izkoristka pri polni obremenitvi in instaliranem pretoku, so vse turbine skoraj enake in dosega vrednosti okoli devetdeset odstotkov. Izjema so le Bankijeve turbine, katerih izkoristek je nekoliko manjši. Z zmanjševanjem obremenitve, npr. zaradi manjšega pretoka, se izkoristki manjšajo, pri nekaterih vrstah turbin počasi, pri drugih zelo hitro.

Spreminjanje izkoristka turbine v odvisnosti od pretoka, ponazarja Slika 9. Na sliki so na ordinati podani izkoristki v razmerju z optimalnim izkoristkom turbine, na abscisi pa so podani deleži zmanjšane pretoka, glede na instalirani pretok turbine. To omogoča prikaz poteka delovanja turbine glede na zmanjšan pretok, ne prikazuje pa skupne učinkovitosti. Iz slike je razvidno, da lahko Peltonove in dvojno regulirane Kaplanove turbine obratujejo v največjem razponu pretokov, vse do petine instaliranega pretoka. Enojno regulirane Kaplanove turbine imajo sprejemljive izkoristke do tretjine in Francisove turbine nekje do polovice instaliranega pretoka. Bankijeve turbine, ki jih sicer na sliki ni, imajo podobno krivuljo kot Peltonove turbine.



Slika 9: Zmanjševanje učinkovitosti posameznih vrst turbin glede na zmanjšan pretok (ESHA, 2004, 183)

Iz zgornjega diagrama lahko tako sklepamo, da je pri velikih pričakovanih nihanjih pretoka bolje uporabiti turbino, ki lahko deluje in je učinkovita tudi pri zmanjšanem pretoku. Namesto ene turbine lahko vgradimo dve manjši kar seveda poveča investicijo, vendar s tem zagotovimo delovanje skozi večji razpon pretokov in večjo proizvodnjo električne energije.

### 3.4. Proizvodnja električne energije

Oceno proizvodnje električne energije (MWh/leto) običajno opravimo na podlagi krivulje razpoložljivih pretokov. V izračunu morajo biti upoštevane izgube pri pretvorbi mehanske (rotacijske) v električno energijo. Izkoristki turbine in značilnosti pri zmanjšanem pretoku so bili omenjeni že v prejšnjem podpoglavju. V tem poglavju pa bodo predstavljene predvsem osnovne vrednosti izkoristkov ostale elektromehanske opreme, ki vplivajo na količino proizvedene električne energije. Pri tem so ključni predvsem izkoristki generatorja, transformatorja, menjalnika (v kolikor je vgrajen) ter število obratovalnih ur mHE.

#### 3.4.1. Izkoristki elektromehanske opreme

Kot je bilo v uvodu poglavja že omenjeno je potrebno pri izračunu količine proizvedene električne energije upoštevati izkoristke elektromehanskih delov in naprav. Izkoristki generatorja (Preglednica 5) se povečujejo z večanjem nazivne moči generatorja. Asinhroni generatorji dosegajo izkoristek vse do 97 odstotkov, izkoristki sinhronih generatorjev pa so še nekoliko večji.

Preglednica 5: Izkoristki generatorja za različne nazivne moči mHE (ESHA, str.187)

Nazivna moč generatorja [kW]	Največji možni izkoristek
<b>10</b>	0,910
<b>50</b>	0,940
<b>100</b>	0,950
<b>250</b>	0,955
<b>500</b>	0,960
<b>1000</b>	0,970

Izgube, ki se pojavljajo v menjalniku, gredo predvsem na račun mehanskega trenja in lahko dosežajo tudi do 2% nazivne moči turbine. Tako je zelo pomembno primerno vzdrževanje, predvsem uporaba maziv, saj gre okoli 70% okvar menjalnika na račun slabega vzdrževanja. Uporabi menjalnika se lahko izognemo tudi z uporabo generatorjev z nizko vrtilno hitrostjo (ESHA, 2004).

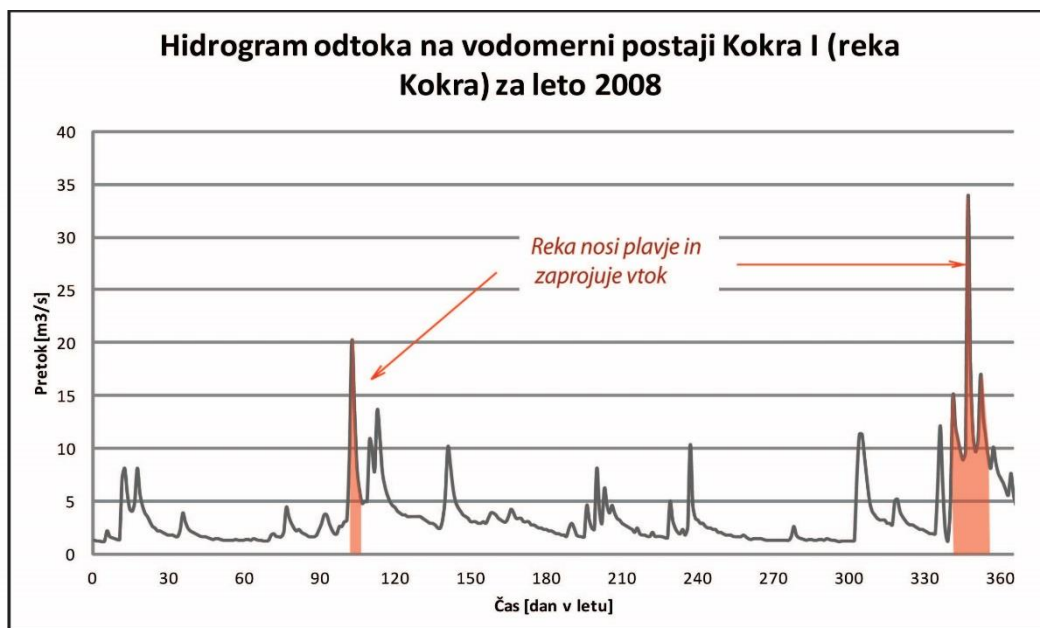
Transformator potrebujemo takrat, ko želimo proizvedeno energijo prenesti na daljše razdalje. Z njim dvignemo napetost in s tem znatno zmanjšamo transportne izgube, vendar za ceno izgube določenega dela pretvorjene energije. Pri transformaciji električne energije prihaja v transformatorjih do izgub v magnetnem jedru in navitjih. V magnetnem jedru prihaja do izgub v prostem teku, ki so konstantne, medtem ko so izgube v navitjih močno odvisne od obremenitve, saj rastejo s kvadratom obremenitve. Sodobni transformatorji običajno dosežajo učinkovitost okoli 95 odstotkov. Lahko pa z uporabo debelejših vodnikov navitja ali uporabo superprevodnikov izgube še precej zmanjšamo, vendar pa gre tukaj predvsem za vprašanje cene izdelave takega transformatorja (Kuphaldt, 2002).

#### 3.4.2. Obratovalne izgube

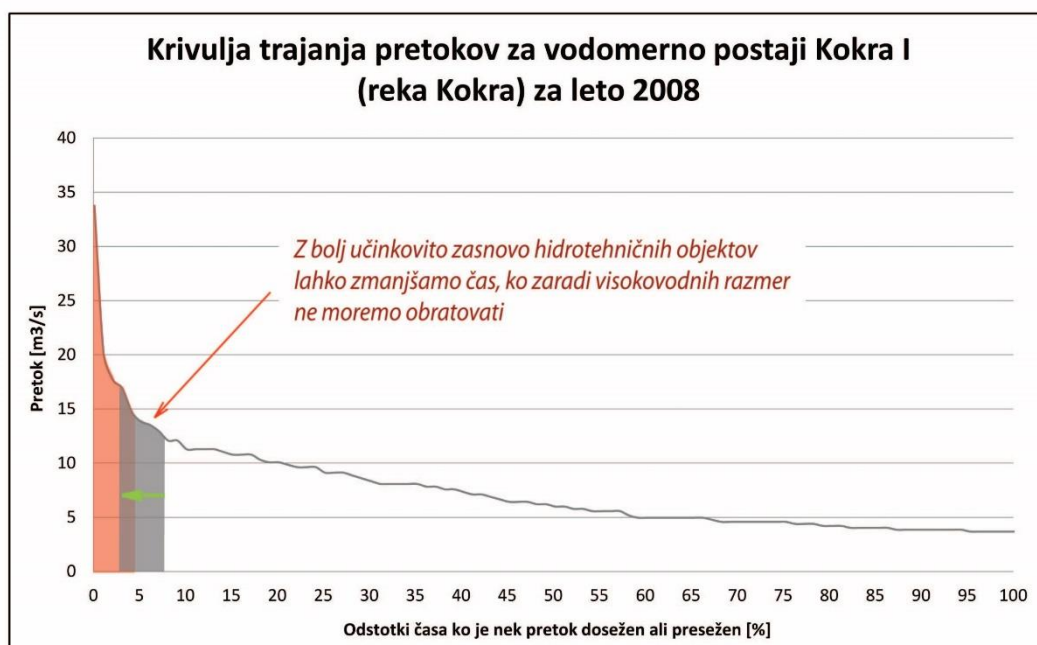
Skozi daljše obratovanje mHE je potrebno proizvodnjo električne energije večkrat ustaviti. Izpadi proizvodnje gredo predvsem na račun visokovodnih razmer, rednih in izrednih vzdrževalnih del ter okvar. Letno smo zaradi tega prisiljeni elektrarno ustaviti tudi za več dni ali celo tednov, kar lahko močno vpliva na skupno količino proizvedene električne energije.

Izgube pri proizvodnji električne energije zaradi visokovodnih razmer se pojavljajo predvsem pri hudourniških vodotokih. Ob izredno visokih vodostajih začne reka nositi veliko plavin, ki lahko onesposobijo ali celo poškodujejo turbino in ostale občutljive naprave. Takrat je običajno potrebno ustaviti proizvodnjo električne energije. Reka lahko tudi zaprodi vtok mHE, očistimo pa ga lahko šele takrat, ko se razmere nekoliko umirijo. To lahko traja tudi več dni ali celo tednov. Hidrogram na Sliki 10 prikazuje konice pretokov, pri katerih se običajno pojavljajo tovrstni problemi.





Slika 10: Hidrogram odtoka s prikazom področja omejenega obratovanja zaradi visokovodnih razmer (vodomerna postaja Kokra I na reki Kokri za leto 2008; Podatki: ARSO)



Slika 11: Krivulja trajanja odtoka s prikazom odstotkov časa omejenega obratovanja zaradi visokovodnih razmer (vodomerna postaja Kokra I na reki Kokri za leto 2008; Podatki: ARSO)

Rešitev v tem primeru je predvsem primerno načrtovano zajetje, sistem avtomatskega čiščenja rešetke in učinkovit usedalnik. Zajetje mora biti oblikovano tako, da v primeru visokovodnih razmer plavine odnaša stran od vtoka. S tem lahko to vrsto izgub preprečimo ali vsaj zmanjšamo na najnižjo možno raven.

Drugi dejavnik obratovalnih izgub so vsa redna in izredna vzdrževalna dela, pri katerih je potrebno pretok skozi elektrarno ustaviti. Vzdrževalna dela sicer lahko vnaprej načrtujemo tako, da običajno

ne predstavljajo daljšega zastoja proizvodnje. Drugače pa je ob morebitnih nepričakovanih okvarah, kjer lahko izpad traja dalj časa, če ne najdemo ustrezne rešitve ali ne dobimo primernih nadomestnih delov. Ocenjuje se, da lahko tovrstne obratovalne izgube letno doprinesejo okoli 4 % manjšo proizvodnjo električne energije in jih je zato v postopkih načrtovanja potrebno upoštevati.

### 3.4.3. Letna proizvodnja električne energije

Letno proizvodnjo električne energije lahko ocenimo z naslednjo enačbo (ESHA, 2004)

$$E_{letno} = \frac{1}{1000} \cdot \eta_{skupno} \cdot (1 - f) \cdot \int_0^{8760} P(t) \cdot dt \quad (6)$$

$$P(t) = \frac{1}{1000} \cdot \gamma \cdot Q_{prip}(t) \cdot H_{neto}(Q_{prip}(t)) \cdot \eta_{turbina}(Q_{prip}(t)) \quad (7)$$

Pri čemer  $E_{letno}$  pomeni letno proizvodnjo električne energije [kWh/leto],  $Q_{prip}$  pretok v [ $m^3/s$ ] za posamezne intervale iz krivulje trajanja pretokov,  $P(t)$  proizvedena moč [kW] (glede na pripadajoč pretok, padec in učinkovitost turbine),  $H_{neto}$  pripadajoč neto padec,  $\eta_{turbina}$  učinkovitost turbine za pripadajoči pretok,  $\eta_{skupno}$  učinkovitost generatorja, menjalnika in transformatorja,  $\gamma$  specifična teža vode [ $9810 N/m^3$ ] in  $f$  delež časa v letu ko elektrarna ne obratuje [-]

### 3.5. Investicijski in obratovalni stroški ter cena vodnega nadomestila in koncesijske dajatve (finančna analiza)

Idejna zasnova mHE zahteva poznavanje okvirnih vrednosti investicijskih stroškov, kakor tudi stroške obratovanja in vzdrževanja, ki nastajajo tekom življenjske dobe elektrarne. Vsi ti stroški so osnova za nadaljnje ekonomske analize in odločitve o ekonomičnosti vlaganja. Pri tem imamo na voljo več različnih mehanizmov in orodij, ki večinoma služijo kot prvo oceno investicije.

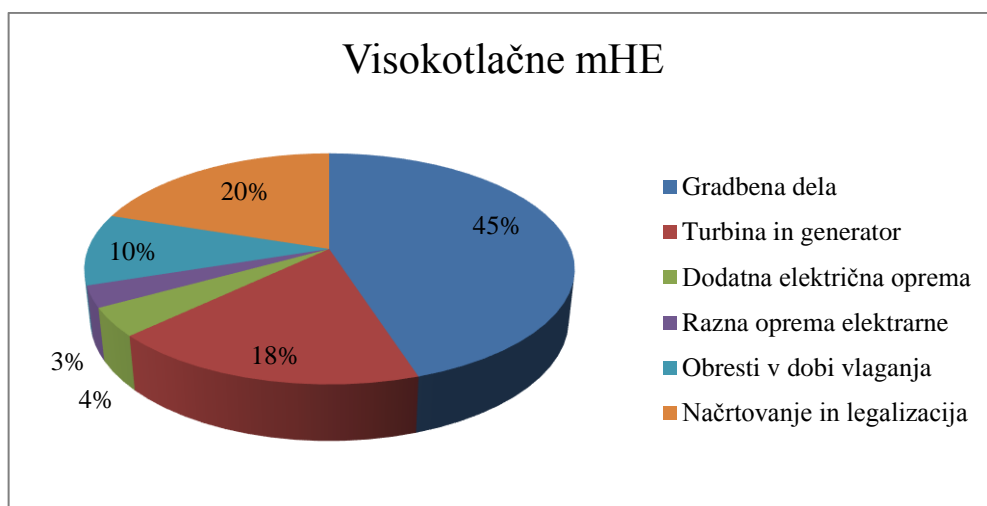
#### 3.5.1. Investicijski stroški

Stroški gradnje so pretežno odvisni od velikosti ter vrste mHE, vgrajene elektromehanske opreme, kakor tudi od specifičnih lastnosti lokacije. Stroške lahko ocenimo direktno z oceno stroškov posameznih gradbenih del in vgrajene elektromehanske opreme ali pa s primerjavo podobnih investicijskih projektov. Približno vrednost lahko določimo tudi z diagrami oz. tabelami tipičnih investicijskih stroškov glede na velikost mHE. Ena teh ocen za naše področje je tudi ocena Agencije za prestrukturiranje energetike. Ocenjuje se, da se gibljejo tipični investicijski stroški glede na velikost mHE (ApE d.o.o., 2013: str. 9):

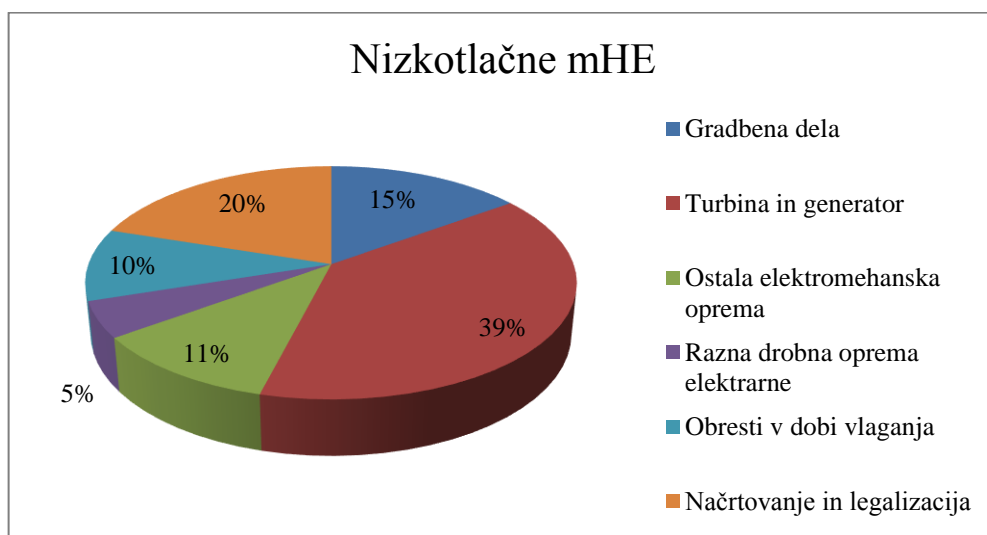
- za mHE do 50 kW okoli 2.300 €/kWe
- za večje mHE do 1 MW 1.700 €/kWe
- za elektrarne do 10 MW okoli 1.500 €/kWe

Zgoraj navedeni investicijski stroški ne zajemajo cen nakupa oz. najema zemljišč. V primeru, da zemljišča v območju gradnje mHE nimamo v lasti, moramo v izračunu cene upoštevati tudi ceno odkupa zemljišč oz. plačati nadomestilo za uporabo zemljišč.

Spodnji sliki nam prikazujeta okvirne deleže posameznih komponent v skupni vrednosti investicije za nizekotlačne in visokotlačne mHE. Razlikujeta se predvsem v razmerju deleža gradbenih del in vgrajene elektrostrojne opreme. V skladu s pričakovanji se pri visokotlačnih elektrarnah delež gradbenih del močno poveča na račun izgradnje daljšega cevovoda in dovodnega kanala.



Slika 12: Deleži posameznih komponent v skupni vrednosti investicije za visokotlačne mHE (Standards manuals guidelines for small hydro development, str. 29)



Slika 13 : Deleži posameznih komponent v skupni vrednosti investicije za nizekotlačne mHE (Standards manuals guidelines for small hydro development, str. 36)

### 3.5.2. Obratovalni stroški

Sami povprečni obratovalni in vzdrževalni stroški znašajo v povprečju od 9 – 12,5 €/MWh brez upoštevanja koncesnine in se gibljejo na nivoju od 1,5- 5% investicijskih stroškov. Velikost stroškov pa bistveno variira med različnimi velikostmi elektrarn (Agencija za prestrukturiranje energetike).

### 3.5.3. Stroški vodnega nadomestila ter koncesijske dajatve

Vodno nadomestilo se v RS plačuje za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč v skladu z Uredbo o vodnih povračilih. Za proizvodnjo elektrike v mHE je višina vodnega povračila odvisna od potencialne energije vode oz. razpoložljive energije vode, ki je določena s pridobitvijo vodne pravice (izražena v MWh). To pomeni, da je strošek iz tega naslova odvisen predvsem od potencialne energije določene lokacije in ne od količine prodane električne energije. Višina vodnega povračila za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah moči do 10 MW (mHE) v letu 2015 tako znaša 0,2361 €/MWh potencialne energije vode (Sklep o določitvi višine vodnega povračila za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč za leto 2015).

Drugi, variabilni strošek, pa predstavlja koncesijska dajatev. Plačuje se jo v primeru, da se proizvedena električna energija oddaja v elektrodistribucijsko omrežje, oz. da se jo prodaja na trgu. Višina plačila za koncesijo se odmeri od povprečne cene letne količine proizvedene električne energije, ki je v koledarskem letu v mHE proizvedena. Skladno z veljavno zakonodajo znaša višina plačila koncesnine 4,2 % povprečne vrednosti in v električno omrežje oddane električne energije (Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje).

## 3.6. Finančna analiza

Namen finančne analize oz. analize stroškov in koristi (CBA) v predinvesticijskih študijah je izdelati napovedi denarnih tokov projekta, da bi lahko izračunali primerno stopnjo donosnosti investicije. Ta analiza mora upoštevati večino podatkov o stroških in koristih skozi predvideno ekonomsko dobo objekta. Osnovni stroški, ki nastajajo ob gradnji in v fazi obratovanja, so bili predhodno že omenjeni. V tem delu pa so predstavljene koristi/prihodki ter osnovne finančne analize.

Pri izračunih in drugih postopkih za presojo upravičenosti projektov se v dokumentaciji lahko uporabljajo alineje iz Uredbe o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ:

- analiza stroškov in koristi (CBA)
- analiza stroškovne učinkovitosti
- analiza tveganja
- analiza občutljivosti
- analiza vplivov
- multikriterijska analiza
- druge primerne metode, ki upoštevajo pravila stroke ter posebnosti posameznega področja

Za izračun finančnih parametrov s programom SMART Mini-Idro moramo določiti življensko dobo objekta, odkupne cene električne energije, diskontno stopnjo, delež vzdrževalnih in obratovalnih stroškov ter višino vodnega nadomestila in koncesijskih dajatev. Življenska doba mHE lahko znaša tudi do 50 let in več vendar se običajno za ekonomsko dobo objekta vzame 30 let. Diskontna stopnja, predlagana s strani ministrstva, znaša 7 odstotkov, lahko pa se spreminja glede na spremenjene gospodarske razmere v državi (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006). V okviru sheme za obnovljive vire energije velja, da so odkupne cene električne energije za proizvodnjo v mHE zagotovljene za prvih 15 let obratovanja, kasneje pa se določajo na trgu. Poznamo dve vrsti podpor oz. subvencioniranih cen električne energije. Pri zagotavljenem odkupu se, ne glede na ceno električne energije na trgu, odkupi vso proizvedeno električno energijo, cena pa se določa z uredbo (Preglednica 6).

Preglednica 6: Cene zagotavljenega odkupa električne energije glede na velikostni razred mHE (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, priloga II)

<b>Velikostni razred proizvodne naprave</b>	<b>Cena zagotavljenega odkupa [EUR/MWh]</b>
<b>Mikro ( &lt; 50 kW )</b>	105,47
<b>Mala ( &lt; 1 MW )</b>	92,61
<b>Srednja (do 5 MW )</b>	82,34

Druga vrsta podpore se dodeli proizvajalcu, ki električno energijo prodaja sam na trgu ali pa jo porabi kot lasten odjem, vendar samo v primeru, če so stroški proizvedene energije večji od cene, ki jo je mogoče doseči na trgu (Preglednica 7). Podpore veljajo za nove proizvodnje obrate mlajše od 15 let. Kasneje cene določa trg, če to ni drugače dogovorjeno (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije Ur.l. RS, št. [37/2009](#)).

Preglednica 7: : Obratovalne podpore za električno energijo proizvedeno v mHE (Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije, priloga III)

<b>Velikostni razred proizvodne naprave</b>	<b>Obratovalna podpora [EUR/MWh]</b>
<b>Mikro ( &lt; 50 kW )</b>	49,57
<b>Mala ( &lt; 1 MW )</b>	36,71
<b>Srednja (do 10 MW )</b>	23,84

Program SMART Mini-Idro nam glede na omenjene vhodne podatke izračuna in izriše krivuljo stroškov in koristi. Kot rezultat izračuna dobimo neto sedanjo vrednost investicije (NSV), dobo vračanja ter skupni denarni tok. Tako lahko ob primerjavi različnih investicijskih projektov izberemo tistega, ki ima najboljše ekonomske pokazatelje.

#### 4. OSNOVNE ZNAČILNOSTI POREČJA REKE KOKRE

Kokra je alpska reka z 224 km<sup>2</sup> velikim povodjem. Sestavljata ga dve biogeografski območji, gorski svet Alp in nižinski svet kranjske ravnine. Prvi sega do Storžiča (2132 m) proti severu in vzhodu do meje z Avstrijo in preko Jezerskega Vrha (1218 m) in Kalškega grebena doseže Veliki Zvoh in Krvavec. Nižinski svet omejuje linija izpod južnega dela Kriške gore in Storžiča do Preddvora, mimo Tupalič, Hotemaž, Visokega, Britofa in Kranja. Zahodna meja povodja poteka po liniji od Seničnega (600 m), preko Udin boršta mimo naselja Mlake (412 m) in Kokrice na Kranjsko polje do Kranja. Tam se na nadmorski višini nekaj manj kot 400 m, Kokra izliva v Savo (Globevnik in sod. 1998)

Izvir Kokre je pod Virnikovo planino na nadmorski višini 1400 m. Pri preddvoru je povodje veliko 128 km<sup>2</sup> in po 24 kilometrih toka doseže 1,8 % padec. Kokra, ki v tem delu teče po koritasti soteski, ima izrazito hudourniški značaj, v strugi pa so številni balvani, prodišča in tolmoni. Na dolžini 12 kilometrov, kolikor Kokra vijuga po ledenodobnih terasastih nanosih nižinskega sveta od Preddvora do Kranja, se voda spusti od 440 m nadmorske višine na 343 m z povprečnim padcem 1,2 %. Pred Kranjem se ji pri Rupi pridruži še Rupovščica ali Kokrica. Ta drenira vznožje Kriške gore, Poljan in Storžiča (Globevnik in sod. 1998).

##### 4.1. Meteorološke in klimatske razmere

Med Preddvorom in Golnikom v povprečju pade 1400 mm padavin na leto, v predelu Jezerskega do 2000 mm. V nižinskem delu je evaporacija ocenjena na 600-700 mm na leto ter 400-600 mm v gorskem delu. Povprečne letne temperature nižinskega dela so 8°C, višinskega le 2°C. V zgornjem delu povodja je največ padavin oktobra in novembra (Jezersko 200 mm/mesec), v nižinskem pa julija in novembra (160 mm/mesec). Februar in marec pa sta ocenjena kot najbolj sušna meseca. Maksimalna dnevna višina padavin se na Jezerskem giblje okoli 214 mm, na območju Krvavca in Golnika pa okoli 114 mm. Enourni in dvourni nalivi s povratno dobo 10 let so 30 oziroma 40 mm na Jezerskem ter 34 in 41 mm na Brniku. Klima ima na območju gor alpski značaj, s kratkimi in svežimi poletji ter z dolgimi hladnimi zimami. V nižinskem delu povodnja je alpski značaj klime nekoliko omiljen (Globevnik in sod. 1998).

##### 4.2. Hidrološke lastnosti

Kokra je reka s snežno-dežnim ali nivalno-fluvialni rečnim režimom. Konice visokih vod se pojavljajo novembra, decembra in aprila, mesec, v katerem so pretoki najmanjši, pa je avgust. Merjeni srednji letni pretoki na vodomerni postaji (v.p.) Kokra je 4,47 m<sup>3</sup>/s, na vodomerni postaji Kranj pa 5,87 m<sup>3</sup>/s. Povprečje letnih nizkih konic na v.p. Kokra je 1,33 m<sup>3</sup>/s, na v.p. Kranj pa 1,12 m<sup>3</sup>/s. Ekstremi nizkih vod so 0,8 m<sup>3</sup>/s na v.p. Kokra in 0 m<sup>3</sup>/s na v.p. Kranj. Največji zabeleženi pretok na v.p. Kokra je bil 188 m<sup>3</sup>/s, na v.p. Kranj 218 m<sup>3</sup>/s (Globevnik in sod. 1998).

### 4.3. Obstoječa raba vode

Na reki Kokri s svojimi pritoki se voda uporablja predvsem za oskrbo s pitno vodo, ribogojstvo ter za proizvodnjo električne energije v mHE. Namakalnih sistemov na povodju ni, čeprav v suhih poletnih mesecih prebivalci vodo iz strug večkrat uporabljajo za zalivanje njiv in vrtov.

#### 4.3.1. Proizvodnja električne energije

Voda se za proizvodnjo električne energije rabi na dvanajstih lokacijah na celotnem povodju reke Kokre. Sedem na reki Kokri, dve na reki Kokrici oz. Rupovščici, po ena mHE pa stoji na vodotokih Murnov graben, Jezernica, Zabukovski potok in Belca (Mlinščica).

Preglednica 8: Osnovni tehnični podatki mHE na povodju Kokre

Vodotok	Ime mHE	Hzg [m.n.m.]	Hsp [m.n.m.]	Predvideni maks. odvzem [m <sup>3</sup> /s]	Bruto potencial [kW]	Pot. energija odseka [MWh]
<b>KOKRA</b>	Fužine	628,6	623,7	1,7	82	369
	Povšnar	600,8	597,2	0,73	25	55
	<b>Virnik</b>	<b>574,8</b>	<b>570,5</b>	<b>1</b>	<b>34</b>	<b>105</b>
	Jelovica	459,25	455,7	1,12	39	126
	T.O.G.	388,3	380,6	5	378	823
	Kokra	372,5	362,59	5,6	6038	1136
	Standard	354,9	347,3	2,5	186	850
<b>Jezernica</b>	Jezernica	845	770	0,33	243	549
<b>Murnov graben</b>	Zagar	816	767	0,045	112	38
<b>Belca-Mlinščica</b>	Rasinger	498,4	397	0,1 (+0,1)	199	23
<b>Kokrica-Rupovščica</b>	Lit Gorjanc	400,5	392	1,2	(100)	325

Ocenjuje se, da je neizkoriščenega še okoli polovica tehnično izkoristljivega potenciala reke Kokre. Obstoječe mHE na reki Kokri imajo skupno instalirano moč okoli 6,8 MW ocena celotnega tehnično izkoristljivega potenciala pa je podana v Preglednici 9.

Preglednica 9: Ocena celotnega hidropotenciala za gradnjo mHE na reki Kokri (Vir: Inženirski biro Elektroprojekt, Kataster vodnih moči).

Ime reke	Dolžina [km]	Pretok ustje [m <sup>3</sup> /s]	Bruto potencial [MW]	Tehnični potencial [MW]	Ocenjena letna proizvodnja energije [MWh]
<b>Kokra</b>	32,995	6,600	18,411	12,888	64,439

#### 4.3.2. Oskrba s pitno vodo

Povodje Kokre je pomembno za vodooskrbo velikega dela Gorenjske. Regionalno omrežje (Kranj) ima na povodju Kokre glavna zajetja pitne vode pri Povljah, Bašlju, Novi vasi, Čemšeniku, Tupaličah in Koreninški. Z vodo oskrbujejo območje upravne enote Kranj (občine Preddvor, Jezersko, Naklo, Šenčur in Mestna občina Kranj) in občino Medvode. Na povodju pa se nahajajo tudi zajetja za lokalne vodovode. Vseh zajetij na povodju je 35, od tega jih je 28 na območju UE Kranj. Na štirih lokacijah je podzemna voda zajeta z vrtinami, na eni z drenažo, na ostalih lokacijah pa so zajeti naravni izviri. Deset lokacij ima sprejete odloke o zaščiti oz. so razglašene vodovarstvene cone. (Globevnik in sod. 1998)

#### 4.3.3. Ribišstvo in ribogojstvo

Ribištvo in ribogojstvo je eden prvobitnih načinov izkoriščanja reke Kokre. Ribolov se planira in izvaja v višini t.i. športno ribolovnega prirasta, povečanega za količino dopolnilnih vlaganj, predvsem avtohtonih salmonidnih vrst. Na ta način se v športnih vodah zagotavlja primerna naseljenost oz. velikost ribjih populacij. Športno ribolovne vode so:

- Kokra od Jezerskega do mostu v Visokem, Kokra od jezua v Britofu do jezua pri Standardu
- Milka od vasi Žablje do izliva v Kokrico
- Črnava od jezera Črnava do Bistrice
- Kokrica od jezua v Tenetišah do izliva v Kokro
- Planšarsko jezero
- Milka-ribniki Bobovek

Ribogojnice se nahajajo predvsem na povodju reke Kokrice. Tehnologija vzreje salmonidnih vrst rib je taka, da zahteva pretok vode 100 l/s za letno proizvodnjo 10 t rib (Globevnik in sod. 1998).

#### 4.4. Prodnosnost

Hudourniška območja s pobočnimi grušči in območja, kjer je razvita bočna in globinska erozija so viri plavin za dinamične procese prodnosnosti. V zgornjem delu reke Kokre in njenih številnih hudourniških pritokih so prisotne vse oblike erozije, značilne za alpske in predalpske razmere. Nad gozdno mejo prevladujejo razne oblike in stopnje vodne in površinske erozije ter snežne erozije. Hudourniški so tipično gorski, s strmimi in neustaljenimi strugami. Vodostaji pri obilnejših padavinah močno narastejo ter imajo veliko transportno zmogljivost. Lokalno so prisotne vse oblike in jakosti erodiranja in sproščanja plavin.

Intenzivno premeščanje plavin je prisotno na Jezernici in Kokri vse do Preddvora. Na odseku do Fužin ima reka močno transportno zmogljivost. Do Preddvora se nato menjavajo uravnoteženi odseki, odseki z minimalno erozijo in krajši odseki zastajanja plavin. Pri Preddvoru se viški prodnih mas odlagajo na t.i. prehodnem območju. Na nižinskem odseku pod Preddvorom do Britofa so dinamični procesi zmerno izraziti. Skozi kanjon reke Kokre pri Kranju se zopet pojavljajo izraziti erozijski procesi. Tako lahko glede pojavnosti sproščanja in premeščanja plavin povodje Kokre tudi razdelimo.



#### 4.4.1. Območje sproščanja plavin

Poglavitne količine plavin prinašajo v Kokro hudourniški pritoki, vendar lahko tudi te na moč pojavov delimo na manj aktivne, srednje aktivne in zelo aktivne. Med slednje razvrščamo Neškarjev graben, ki je erozijsko in prodonosno najbolj aktiven pritok Kokre. Velike količine proda se nahajajo tudi v zgornjem toku Suhadolnikovega grabna pod Kokrskim sedlom, vendar polica pri Suhadolniku preprečuje pretok proda proti Kokri.

Dotoki plavin na ostalih pritokih so zmerni. Ob ekstremnih situacijah na posameznem delu povodja pa lahko pričakujemo povečan dotok plavin. Glede na tok Kokre so ti dotoki točkovni in predstavljajo kritične točke, kjer je pričakovati zaježbo na reki, preusmerjanje Kokre in povečano premeščanje plavin na dolvodnem odseku.

#### 4.4.2. Območje premeščanja plavin

Za območje premeščanja plavin velja celoten tok Kokre, od sotočja z Jezernico do izliva v Savo, vendar lahko tudi pri tem celoten tok razdelimo na posamezne zaključene celote.

Kot zaključeno celoto se lahko obravnava tok Kokre od sotočja z Jezernico do Preddvora, kjer Kokra teče v sorazmerno ozki dolini, ponekod celo soteski. Na tem odseku je korito Kokre sorazmerno stabilno. V zgornjem in srednjem toku (Kokra do Spodnje Kokre) osnovno korito tvorijo večji balvani, ki so zapolnjeni z grobimi grušči in prodi. Na odsekih, kjer Kokra teče po soteski, je naravno korito sprano oz. skalnato ter stabilno. Zastajanje naplavin na tem območju se pojavlja predvsem gorvodno od objektov, kjer je človek usmerjal padec reke (varovanje pred škodljivimi vplivi, energetska raba).

Tik pred Preddvorom se nahaja umetno ustvarjen prodni žep, kjer se zadržujejo viški prodnih mas. Na tem mestu se iz Kokre prod tudi odvzema. Vse do jezua pri Preddvoru in tudi pod njem je območje zastajanja plavin.

Pod jezom v Preddvoru se prične naslednji odsek, ki sega do Visokega. Kokra v tem delu teče po aluvialni naplavini, korito pa je v celoti regulirano. Glede na dotok proda iz zgornjega toka je ta odsek stabilen, območja erozije pa so omejena le na posamezne točke. Prodonosna zmogljivost na tem odseku je manjša kot na odseku nad Preddvorom. Zadrževanje in odvzem proda sta približno uravnana s transportno zmogljivostjo odseka.

Pri Visokem preide Kokra v nekoliko širšo, vendar relativno globoko sotesko, po kateri teče do Britofa. Tok reke na tem odseku naravno meandrira med levim in desnim bregom. Na tem odseku se menjavajo erozijski in zaplavni odseki.

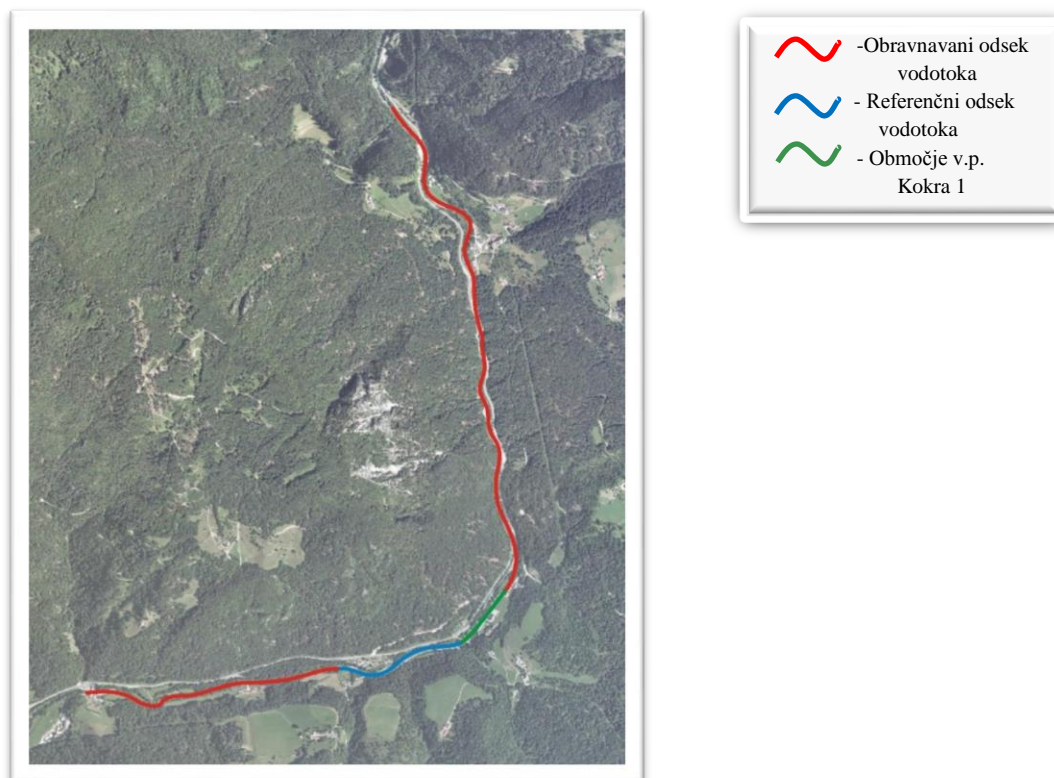
Kokra nato pod Oljarico preide v prvi kanjon, ki se konča pri sotočju s Kokrico. Na tem delu je dolina tudi nekoliko širša in, kot je značilno za večino sotočij, prihaja na tem odseku do tvorbe prodišč. Pod sotočjem pa ponovno preide v kanjon, po katerem teče vse do izliva v Savo. Oba kanjona sta vrezana v konglomeratno podlago. Ocenjuje pa se, da so procesi poglobljanja in spiranja na tem odseku sorazmerno počasni.

#### 4.5. Zavarovana in varstvena območja

Na povodju Kokre je več območij naravne dediščine, nekatere so zavarovane z odloki. Kot botanična, zoološka in paleontološka naravna dediščina so zavarovana glinokopna jezera Bobovek, kanjon reke Kokre v spodnjem delu ter širše območje Udin boršta. Nadalje so kot gozdni rezervat varovana določena območja v povodju kot so: Zadnje stence, Viševski hrib, Zaplata, Hude stene in Makekova Kočna.

V okviru sladkovodne ribiške in ribogojске dejavnosti je del voda razglašen kot ribiški rezervat. Na tem delu ogrožene vrste rib varujejo tako, da varujejo njihovi habitati, predvsem njihova drstišča. Na povodju Kokre so ribiški rezervati Kokra od mostu v Visokem do jezua v Britofu (rezervat za lipana), pritok Bistrica od izvira do izliva v Črnava (rezervat za matični fond lipana) in jezero Črnava.

Na posameznih delih povodja veljajo tudi varstvena območja virov pitne vode. Zaščitenih je 10 vodnih virov. To so zajem Čemšenik in vrtine Čemšenik, zajetja Nova vas in Belca-Bašelj, vrtine nad Preddvorom in drenaža Koreninšek. Zaščiteni sta še dve lokalni zajetji, v Trsteniku in na Jezerskem.



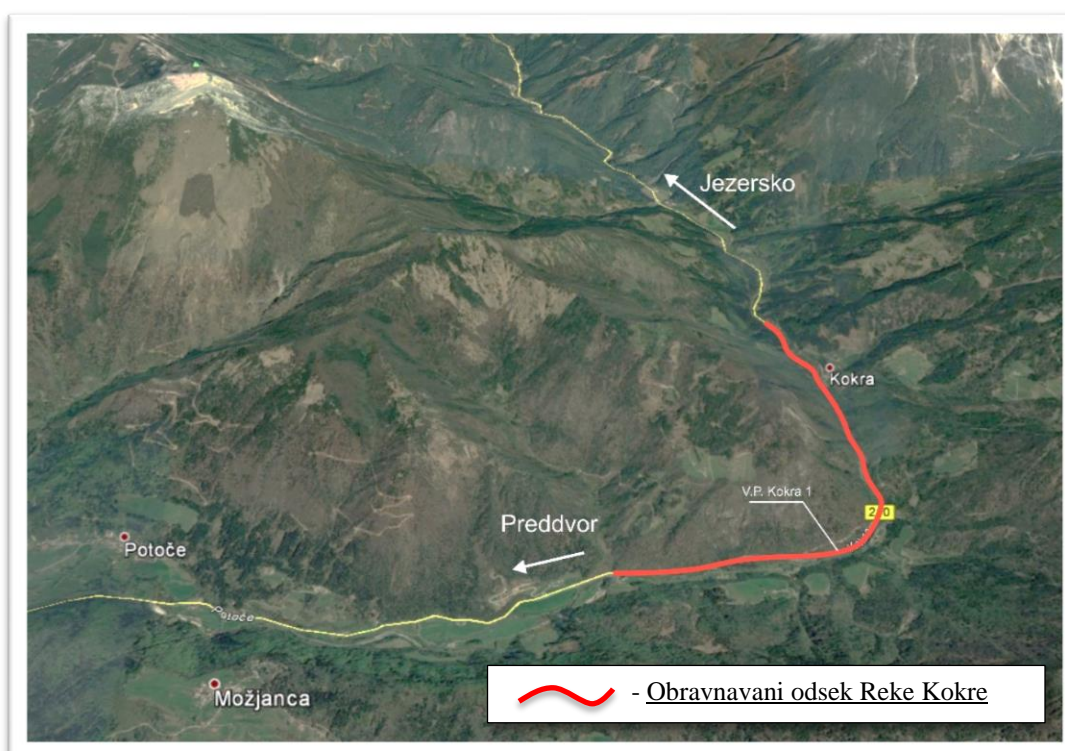
Slika 14: Referenčno območje vodotoka (Vir: Atlas Okolja) .

Na predvidenem odseku izkoriščanja je tudi območje referenčnih razmer vodotoka (Slika 14). Referenčna mesta predstavljajo stanje, ki se nanaša na zelo nizke obremenitve, brez učinkov industrializacije, urbanizacije ter intenzivnega kmetijstva in drugih podobnih aktivnosti človeka ali pa je ta vpliv na strukturo, produktivnost, funkcijo in diverzitetu ekosistema, zelo majhen. Velikost odvzema vode se lahko odraža le v majhnih spremembah pretoka in hitrosti vodnega toka.

## 5. ANALIZA ENERGETSKE RABE ODSEKA REKE KOKRE

### 5.1. Obravnavani odsek reke Kokre

Obravnavan odsek reke Kokre je bil izbran na podlagi študije hidroenergetskega potenciala celotnega vodotoka, ki ga je s pomočjo programa opravil mag. Sašo Šantl. Ugotovljeno je bilo, da je odsek med obstoječo mHE Virnik in pritokom Čemšeniški potok (Slika 15) zelo primeren za energetske rabe. Hkrati pa na tem odseku še ni obstoječih hidroenergetskih objektov, če ne upoštevamo mHE Virnik, s katero se odsek začne in je vključena v analizo.



Slika 15: Prikaz obravnavanega območja (Slika: Google Earth)

Analiza odseka obravnava dve izvedbeni možnosti izkoriščanja odseka. Pri prvem je celotni obravnavani odsek izkoriščen z eno mHE z dolgim dovodom vode. V drugem primeru je odsek izkoriščen z več mHE z kratkim odvzemom vode. Pri tem so dolžine odsekov posamezne mHE določene tako, da posamezni odsek ne presega dolžine določene za kratki odvzem vode (manj kot 500 m).

### 5.2. Hidrološki podatki

Za analizo pretočnih karakteristik obravnavanega odseka so bili podatki pridobljeni iz arhiva ARSO. Uporabljeni so bili podatki iz V.P. Kokra I od začetka njenega delovanja leta 1957 do leta 2014. Lokacija V.P. Kokra je med izlivom Tomažkovega potoka in Mešenika (Slika 16).



Slika 16: Vodomerne postaja Kokra I (Foto: Šercelj)

#### 5.2.1. Ekološko sprejemljiv pretok

Na podlagi hidroloških podatkov iz V.P. Kokra I od leta 1957 do 2015 je bil opravljen izračun srednjega malega pretoka  $sQ_{np}$ . Srednji mali pretok je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka in za V.P. Kokra I znaša  $1,356 \text{ m}^3/\text{s}$ . Prav tako je bil opravljen izračun srednjega pretoka  $sQ_s$ , ki je aritmetično povprečje srednjih letnih vrednosti pretoka na mestu odvzema. Na V.P. Kokra znaša srednji pretok  $4,335 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Za določitev ekološko sprejemljivega pretoka je pomembna tudi velikost prispevne površine, ekološki tip vodotoka ter vrsta odvzema (točkovni, kratki, dolgi odzem). Podatek o ekološkem tipu vodotoka je bil pridobljen na spletnih straneh ARSO (Atlas okolja) in za obravnavani odsek velja, da spada pod tip vodotoka 3. Velikost prispevne površine na V.P. znaša  $113,1 \text{ km}^2$ .

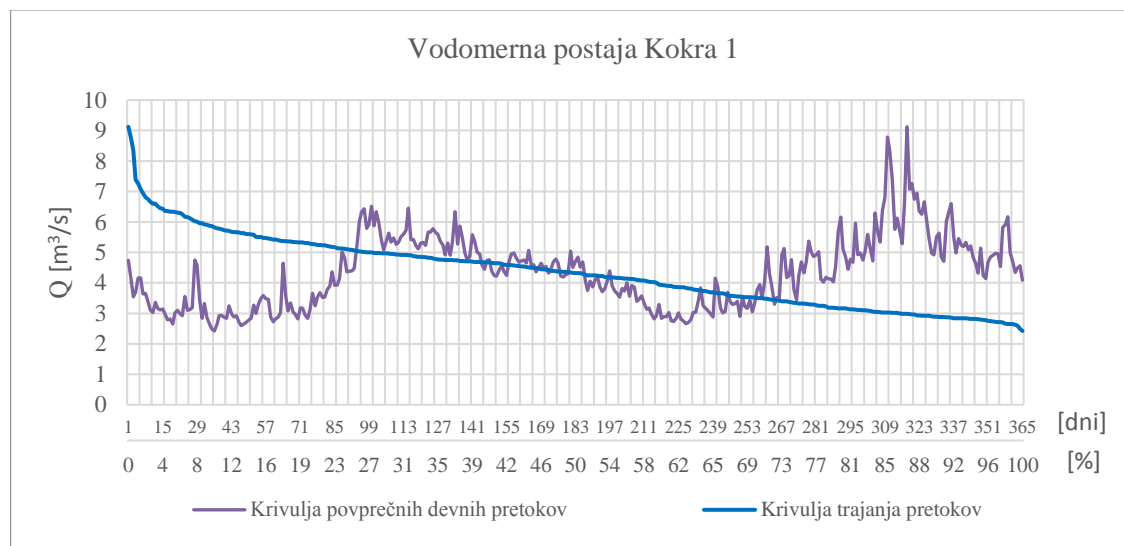
Velikost ekološko sprejemljivega pretoka, oz. vrednost faktorja  $f$ , se spreminja glede na vrsto odvzema. Pri tem velja, da se ekološko sprejemljivi pretok za dolgi odzem spreminja tudi glede na sušne in vodnate mesece v letu. Za obravnavani vodotok velja, da so sušni meseci: januar, februar, junij, julij, avgust, september in december. Posamezne vrednostne faktorje ter velikost ekološko sprejemljivega pretoka pa prikazuje Preglednica 10.

Preglednica 10: Vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka na v.p. Kokra I

Vrsta odvzema	Vrednost faktorja $f$	Qes	Dolžina odvzema
<b>Dolg odzem</b>			> 500 m
- sušno obdobje	1,1	1,492	
- vodnato obdobje	0,7	0,949	
<b>Kratek odzem</b>	0,7	0,949	< 500 m
<b>Točkovni odzem</b>	0,3	0,407	

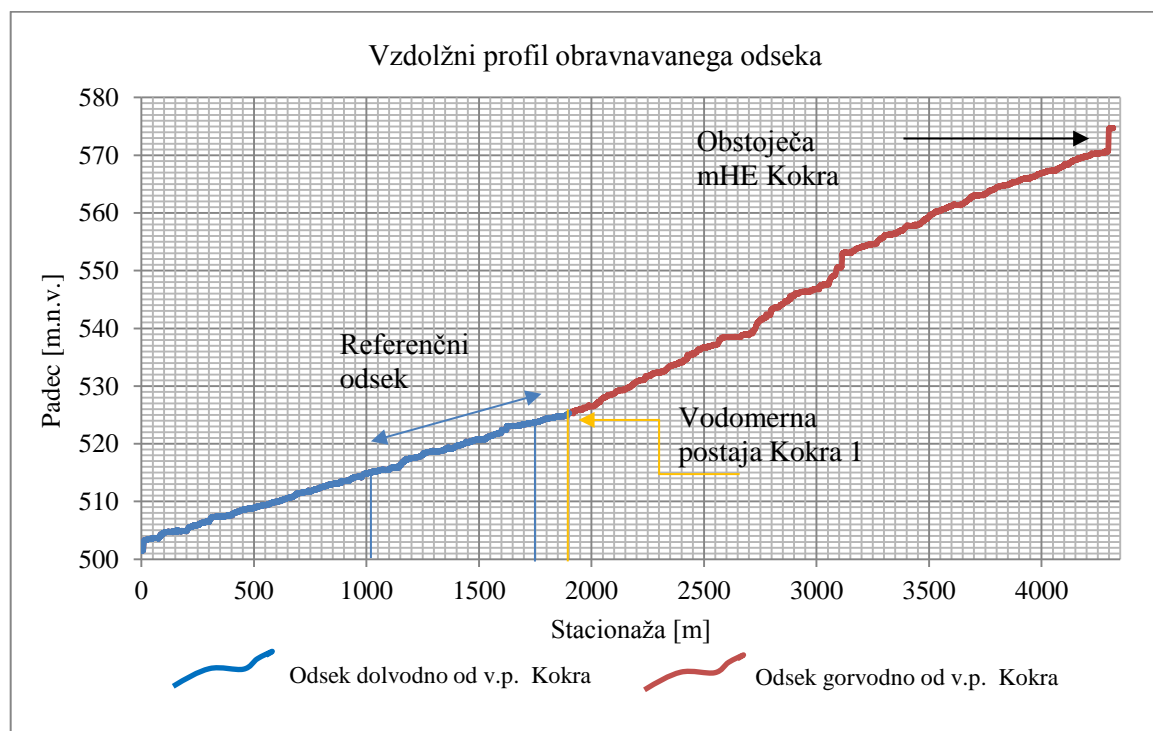
### 5.2.2. Krivulja trajanja pretokov

Iz podatkov vodomerne postaje Kokra I je bila izdelana krivulja trajanja pretokov. V izračun je zajetih 58 let meritev srednjih dnevnih pretokov. Na spodnjem diagramu je prikazan graf krivulje trajanja pretokov ter povprečni dnevni pretoki obravnavanega obdobja.



Slika 17: Krivulja trajanja in hidrogram povprečnih dnevnih pretokov na vodomerni postaji Kokra

### 5.3. Vzdolžni profil obravnavanega odseka



Slika 18: Vzdolžni profil obravnavanega odseka

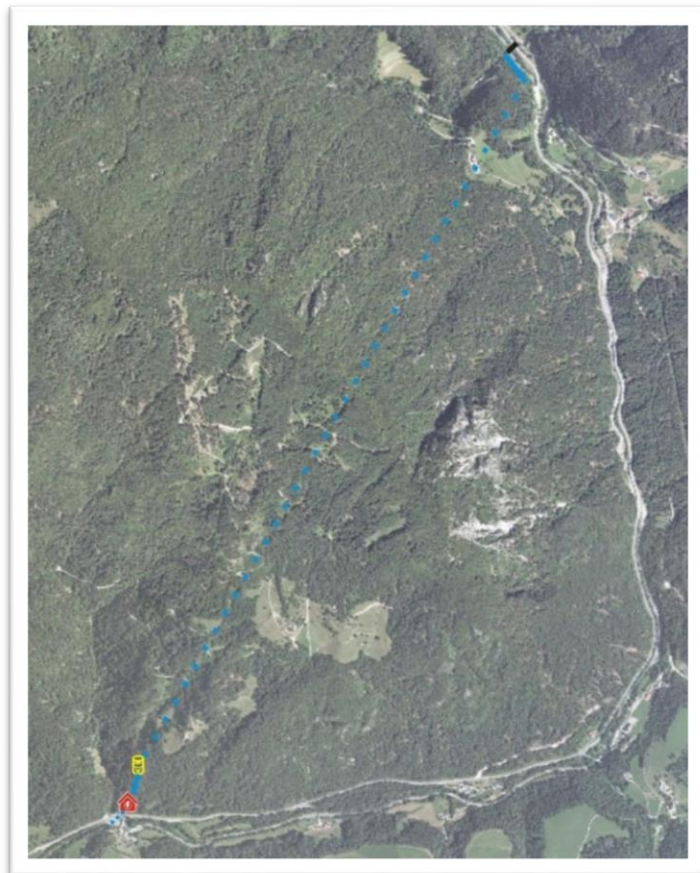
Za obravnavani odsek reke Kokre je bil izdelan vzdolžni profil vodotoka. Podatki za izdelavo so rezultat laserskega (lidar) posnetka celotnega porečja reke Kokre. Pridobljeni so bili na Geodetski

upravi Republike Slovenije ter obdelani s programom ArcGIS. V celotnem obravnavanem odseku je bilo v vzdolžni profil vnesenih več kot 30000 višinskih točk in s tem izdelan vzdolžni profil odseka.

#### 5.4. Ena mHE - Določitev parametrov ter izračun energetskega izkoriščenja odseka

Prva izvedbena možnost hidroenergetske rabe reke Kokre vključuje celotni obravnavani odsek z eno derivacijsko hidroelektrarno. V analizo je vključena obstoječa mHE Virnik s katero se obravnavani odsek tudi začne. Lokacija odvzema je na nadmorski višini 575 m.n.m., lokacija strojnice pa je predvidena na nadmorski višini 506 m.n.m. Tako znaša višinska razlika med odvzemom in izpustom 69 m.

Za zajem bi uporabili obstoječo pregrado katero bi bilo potrebno preurediti tako, da je vtok vode za derivacijo na desnem bregu reke (sedaj na levem). Tako bi morali na novo urediti potrebne vtočne objekte pred vstopom v tlačni cevovod (vtok, groba rešetka, peskolov, fina rešetka, dovodni kanal, vtok v tlačni cevovod). Na sedanjem mestu odvzema pa bi uredili ribjo stezo, ki je obstoječi jez nima. Transport vode od zajema do strojnice je načrtovan deloma kot cevovod, deloma kot tunel skozi hrib. Zaradi dolgega cevovoda oz. tunela je potrebna tudi izgradnja razbremenilnika. Osnovna teorija razbremenilnika je, postaviti prosto gladino čim bliže turbini, da tako skrajšamo dolžino cevovoda, na kateri se pojavi dinamični nadtlak. Ta je na Sliki 20 prikazan z rumeno barvo. Lokacijo strojnice predvidimo na desnem bregu reke Kokre pred pritokom Čemšeniškega potoka.



Slika 19: Lokacija mHE z dolgim odvzemom – ena mHE (Atlas Okolja)

##### 5.4.1. Hidrološki podatki ter izračuni

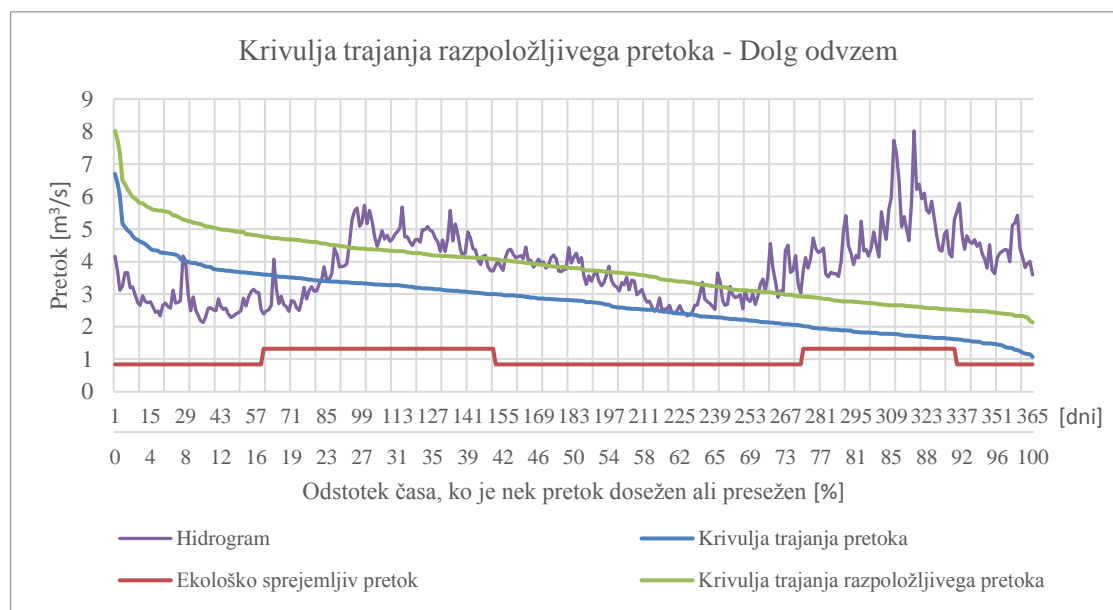
Za lokacijo mHE z dolgim odvzemom je bilo glede na velikost prispevne površine izračunano, da znaša  $sQ_s$  3,82 m<sup>3</sup>/s oz. dobrih 12% manj kot na merilnem mestu Kokra I. Temu prilagodimo celotno krivuljo trajanja pretokov in izračunamo ekološko sprejemljiv pretok. Srednji nizki pretok, ki je osnova za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pa 1,2 m<sup>3</sup>/s.

Za dolg odvzem velja, da se določa posebej za sušne mesece v letu in posebej za druge dele leta. Za sušna obdobja leta je faktor  $f$  za dana hidrološka izhodišča 0,7, za ostali del leta pa je ta faktor enak 1,1. Tako izračunamo posamezno vrednost  $Q_{es}$  po enačbi:

$$Q_{es, sušno\ obdobje} = f * sQnp = 0,7 * 1,2 = 0,841\ m^3/s$$

$$Q_{es, ostali\ del\ leta} = f * sQnp = 1,1 * 1,2 = 1,321\ m^3/s$$

Nato krivulji trajanja pretoka odštejemo ekološko sprejemljiv pretok, da dobimo pretok namenjen za hidroenergetsko rabo.



Slika 20: Krivulja trajanja pretokov na mestu odvzema elektrarne z dolgim odvzemom

Program SMART Mini-Idro ne omogoča prilagajanja ekološko sprejemljivega pretoka skozi letni cikel sušnih in mokrih obdobj, kot narekuje slovenska zakonodaja. Zato je potrebno v program vnesti že krivuljo trajanja, kateri odštejemo ekološko sprejemljiv pretok, glede na mesece v letu. Tako lahko izdelamo krivuljo trajanja razpoložljivih pretokov, ki je prikazana na Sliki 20.

Preglednica 11: Hidrološki podatki na mestu odvzema – ena mHE

<b>Razpoložljiva letna količina vode</b>	88.355.988	[m <sup>3</sup> ]
<b>Izkoriščena letna količina vode</b>	84.611.088	[m <sup>3</sup> ]
<b>Delež izkoristka</b>	95,76	[%]
<b>Inštaliran pretok</b>	3.650	[l/s]
<b>Povprečni pretok</b>	2.683	[l/s]

Instalirani pretok določimo kot pretok, ki ustreza 15 % časa na diagramu krivulje trajanja pretokov. Tako znaša instalirani pretok 3650 l/s. Za primer mHE z dolgim odvzemom, kjer izkoriščamo celoten odsek reke Kokre, s programskim orodjem izračunamo letno količino vode za odvzem. Ta je za primer mHE z dolgim odvzemom na lokaciji 1 ocenjena na 84.611.088 m<sup>3</sup> ali 95,76 % razpoložljive vode.

#### 5.4.2. Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine

Za izračun linijskih izgub v cevovodu moramo določiti material iz katerega je cevovod narejen ter dolžino cevovoda. Za lokacijo mHE z dolgim odvzemom je bila dolžina cevovoda oz. tunela, iz prostorskih podatkov v programu ARCGIS, ocenjena na 2800 m. Predvidena trasa cevovoda je prikazana na Sliki 19.

Vrsto in velikost turbine izberemo glede na pričakovan padec in predhodno izračunani pretok. Višinska razlika med odvzemom in izpustom znaša 69 m, dolžina cevovoda pa znaša 2800 m. Za izračun moramo poznati računске vrednosti hitrosti vode v cevovodu. Pri tem upoštevamo priporočila, da naj hitrost ne bi preseгла 3-5 m/s (ESHA, 2004). Vendar se je izkazalo, da je vrednost linijskih izgub v teh primerih, vseeno (pre)visoka. Seveda pa se z manjšanjem računске hitrosti povečuje potreben premer cevovoda oz. tunela. Tako smo, glede na omenjene lastnosti določili hitrost vode 2,5 m/s.

Preglednica 12: Podatki o lastnosti cevovoda / tunela – ena mHE

<b>Lastnosti cevovoda</b>			
<b>Dolžina cevovoda</b>	2800	m	
<b>Hitrost vode v cevovodu</b>	2,5	m/s	
<b>Koeficient hrapavosti</b>	80	$m^{1/3}/s$	
<b>Premer cevovoda</b>	1,364	m	→ vzamemo D = 1,4 m
<b>Linijske izgube v cevovodu</b>	<b>9,98</b>	<b>m</b>	
<b>Delež izgub padca</b>	14,46	%	
<b>Lokalne izgube (<math>= a \cdot v^2 / 2g</math>)</b>	0,57	m	(a = 2)

Za transport vode od zajetja do strojnice bi potrebovali cevovod premera 1,4 m. S tem imamo določen tudi delež linijskih izgub. Ugotoviti je potrebno še delež lokalnih izgub, ki nastanejo na vtočnih elementih (rešetka, peskolov, vtok v cevovod) ter na krivinah cevovoda in vseh regulacijskih elementih. V programu so te izgube določene s produktom faktorja  $a$  in energijske višine vode. Glede na podatke, ki sem jih pridobil pri izdelavi seminarske (Šercelj, 2012) sem ugotovil, da je v splošnem vrednost teh izgub majhna. Tako delež linijskih izgub določimo s faktorjem 2.

Neto izkoristljiv padec tako znaša 58,45 m in je osnova za izbor turbine ter izračun proizvedene električne energije. Za dani pretok in padec je najbolj primerna turbina vrste Pelton (Slika 9). Največji izkoristek izbrane turbine za dani pretok znaša 88 %. Minimalni pretok do katerega turbina še deluje učinkovito pa znaša 40% instaliranega pretoka ali 1,46  $m^3/s$ . V Prilogi A so podane vrednosti izkoristka glede na zmanjšani delež instaliranega pretoka.

#### 5.4.3. Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije

Za izračun proizvodnje električne energije moramo poznati nekatere vrednosti učinkovitosti elektromehanskih delov in naprav mHE. V ta namen izberemo povprečne vrednosti izkoristkov, ki so opisane že v prvem delu.



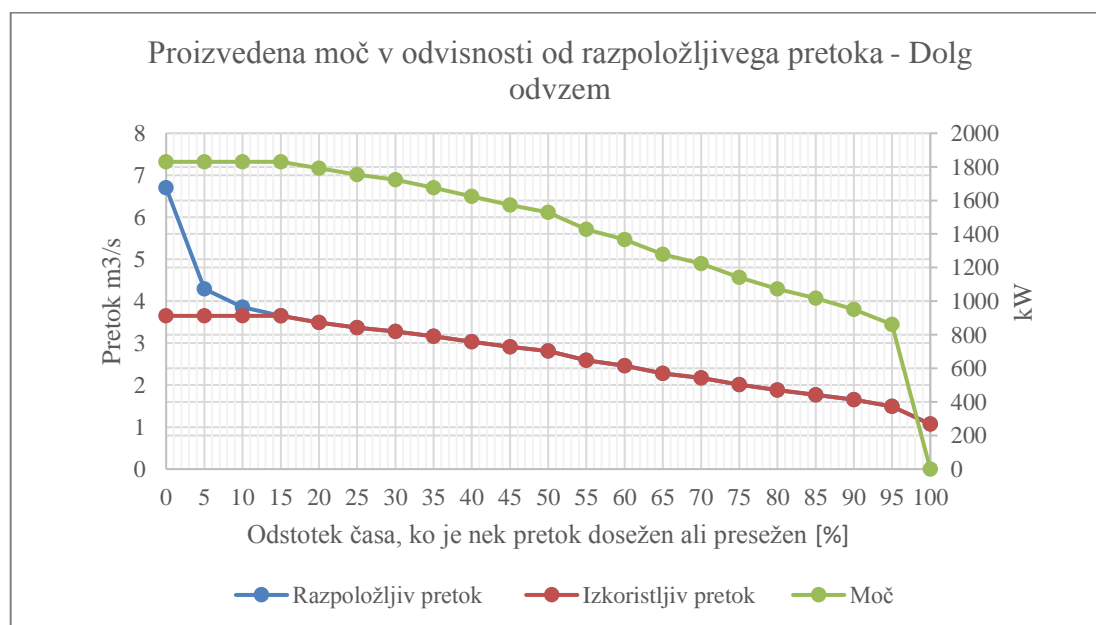
Preglednica 13: Izgube v dovodnem sistemu ter izkoristki elektromehanskih delov in naprav – ena mHE

<b>Učinkovitost turbine</b>	86 %
<b>Lokalne izgube</b>	1,15 m
<b>Maksimalne hidravlične izgube</b>	12,40 %
<b>Učinkovitost generatorja</b>	97 %
<b>Učinkovitost transformatorja</b>	98 %
<b>Učinkovitost menjalnika</b>	100 %
<b>Delež zaustavitev elektrarne</b>	5 %

S pomočjo programa tako izračunamo moč in količino proizvedene električne energije. Izračunana nazivna moč mHE z dolgim odvzemom je tako 1,623 MW. Letna proizvodnja električne energije pa v tem primeru 10.977 MWh.

Preglednica 14: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – ena mHE

<b>Največja moč</b>	1.830 kW
<b>Nazivna moč</b>	1.623 kW
<b>Povprečna moč</b>	1.459 kW
<b>Letna količina proizvedene električne energije</b>	10.977 MWh



Slika 21: Krivulja trajanja pretoka s pripadajočo proizvedeno močjo mHE – dolg odvzem

## 5.4.4. Ocena stroškov izgradnje

Preglednica 15: Stroški investicije – ena mHE

Vrsta inv. stroškov	Delež [%]	Vrednost [€]
<b>Gradbena dela</b>	45	1.710.000
<b>Turbina in generator</b>	18	684.000
<b>Dodatna električna oprema</b>	4	152.000
<b>Razna oprema elektrarne</b>	3	114.000
<b>Obresti v dobi vlaganja</b>	10	380.000
<b>Načrtovanje in administracija</b>	20	760.000
<b>Skupaj brez DDV</b>	100	3.800.000
<b>DDV</b>	22	836.000
<b>Okvirna vrednost investicije</b>		<b>4.636.000</b>

Groba ocena investicije za elektrarne velikosti med 1 MW in 10 MW moči je med 1700 €/kWe in 1500 €/kWe (ApE d.o.o, 2013). Ker je cena izgradnje tunela odvisna predvsem od geoloških lastnosti, dolžine tunela in zahtevnosti gradnje, je ceno takega projekta težko natančno ovrednotiti. Iz tega razloga je bila za izračun okvirne vrednosti investicije vzeta cena izgradnje mHE do 50 kW (2200 €/kWe). Tako je bila celotna investicija ocenjena na dobrih 4,6 MIO € brez upoštevanja odkupa zemljišč oz. druga nadomestila za uporabo zemljišč. V Preglednici 15 so podane vrednosti posameznih stroškov izgradnje.

## 5.4.5. Finančna analiza

Stroški pri proizvodnji električne energije v mHE nastajajo predvsem na račun vodenja in vzdrževanja, vodnega povračila ter koncesijske dajatve. Višina vodnega povračila za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah moči do 10 MW (mHE) v letu 2015 znaša 0,2361 eura na MWh potencialne energije vode (Sklep o določitvi višine vodnega povračila za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč za leto 2015). S programom je bilo izračunano, da naj bi letna proizvodnja električne energije znašala okoli 10.977 MWh. Strošek vodnega povračila na letni ravni tako znaša 2.616 €.

Skladno z veljavno zakonodajo znaša višina plačila koncesnine 4,2 % povprečne vrednosti in v električno omrežje oddane električne energije (Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje). Tako lahko izračunamo, da bi višina koncesnine znašala 19.279 € na leto. Ker implementacija naše zakonodaje v program ni popolnoma mogoča, moramo stroške koncesijske dajatve in vodnega povračila oceniti z deležem stroškov od proizvedene električne energije. Za primer mHE z dolgim odvzemom znaša ta faktor 13,3 €/kW/leto.

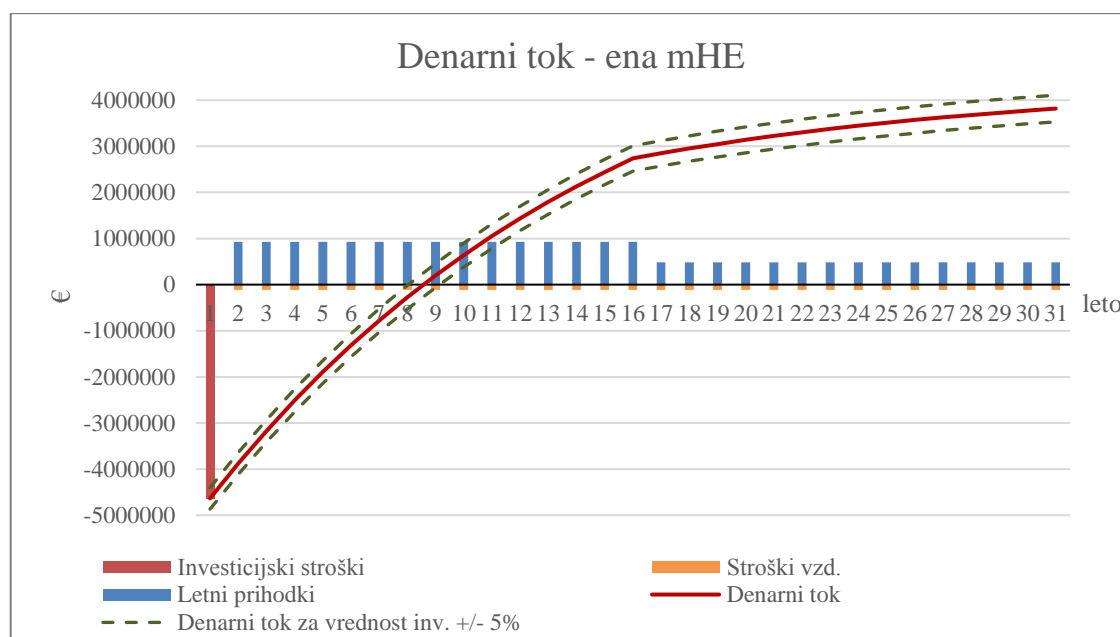
Preglednica 16: Obratovalni stroški

<b>Stroški</b>		
<b>Vodenje in vzdrževanje</b>	2 % (na leto od vrednosti investicije)	97.356 €/leto
<b>Vodno povračilo</b>	0,2361 €/MWh potencialne energije vode (ocena lokacije 10.080 MWh)	2.616 €/leto
<b>Koncesijske dajatve</b>	4,2 % povprečne vrednosti in v omrežje oddane električne energije	19.279 €/leto
<b>Skupno stroški</b>		<b>168.470 €/leto</b>

S programom SMART Mini-Idro tako ob predpostavki, da je zagotovljena odkupna cena za prvih 15 let 82,34 €/MWh, vsa nadaljnja leta pa računamo po trenutni tržni ceni 43,5 €/MWh (podatki Borzen) izračunamo denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo objekta (30 let). Izračun opravimo tudi za primer podražitve oz. pocenitve investicije za 5 %. Priznana diskontna stopnja za javne investicije v Sloveniji je 7 % (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006).

Preglednica 17: Finančni kazalci investicije – ena mHE

	<b>Osnovna vrednost investicije</b>	<b>Investicija + 5%</b>	<b>Investicija - 5%</b>	
<b>Neto sedanja vrednost NSV</b>	3.817.051	3.527.723	4.106380	€
<b>Doba vračanja</b>	8,16	8,63	7,69	let
<b>Doba izenačenja stroškov in koristi</b>	7,58	8,14	7,04	let
<b>Faktor koristi-stroškov (ang. benefit-cost rate)</b>	1,63	1,56	1,71	



Slika 22: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – ena mHE

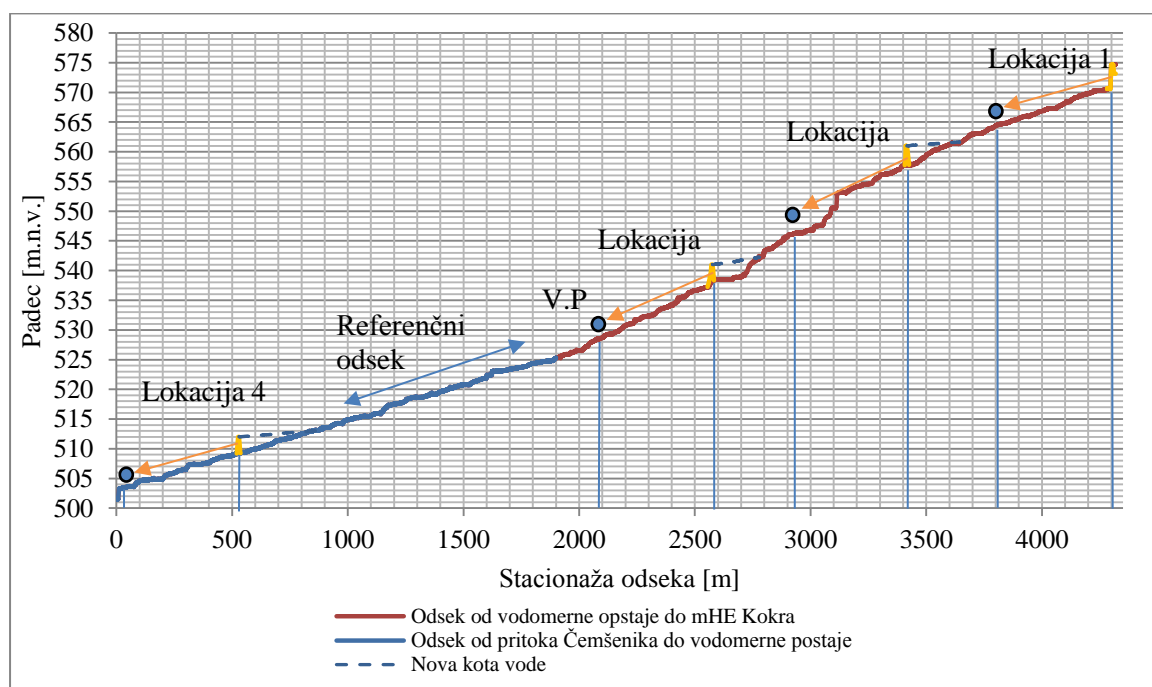
Ugotovimo lahko, da znaša doba vračanja za to investicijo, ob znanih predpostavkah, dobrih 8 let. Neto sedanja vrednost je ocenjena na okoli 3,8 MIO € ob predpostavki zagotovljenega odkupa in priznani diskontni stopnji. Faktor koristi in stroškov, ki ekonomsko definira upravičenost investicije, pa znaša 1,63. Analiza je bila opravljena tudi za 5 % povečanje in zmanjšanje vrednosti investicije. Na Sliki 22 je prikazan denarni tok, skupaj z investicijskimi stroški, stroški vzdrževanja ter prihodki od prodaje električne energije.

#### 5.5. Določitev parametrov ter izračun energetskega izkoriščanja odseka z več mHE

Druga izvedbena možnost obravnava hidroenergetsko izkoriščanje odseka reke Kokre z štirimi mHE. Lokacije so predvidene tako, da kar najbolje izkoriščajo naravne pogoje (padec) ter pretok. Dolžine odvzema so bile določene tako, da ne presegajo dolžine, predpisane za kratek odzem po uredbi o kriterijih za določitev, ter načinu spremljanja in poročanja o ekološko sprejemljivem pretoku (manj kot 500 m). S tem se na račun ekološko sprejemljivega pretoka poveča količina razpoložljive vode. Prav tako pa se vzdolž vodotoka, na račun pritokov in večje prispevne površine, povečuje tudi razpoložljiva količina vode. Tako za vsako lokacijo, s korekcijo krivulje trajanja pretokov, izračunamo razpoložljiv pretok za energetske rabo.

Iz odseka je v tem primeru izvzeto območje vodomerne postaje Kokra 1, ter referenčnega odseka brez bioloških obremenitev, prikazanem na Sliki 23. Odsek je v dolžini 1750 m po osi vodotoka locirano dolvodno od V.P. Postavitev v tem območju sicer ni prepovedana, vendar pa bi bila gradnja podvržena strožjim okoljskim kriterijem. Območje pa je bilo za potrebe primerjalne analize vseeno energetske ocenjeno. Ugotovljeno je bilo, da je odsek glede na razpoložljiv pretok in padec vodotoka, na tem območju primerljiv z lokacijo mHE 4. Ocena je podana v 5. poglavju.

Na Sliki 23 je prikazan vzdolžni potek osi vodotoka, ki je bil izdelan s pomočjo lidar podatkov pridobljenih za dolino Kokre (podatki: GURS). Označene so tudi lokacije posameznih mHE ter območje referenčnih razmer, na katerega nismo želeli vplivati.



Slika 23: Lokacije posameznih mHE vzdolž obravnavanega odseka

Hidrološke podatke glede na velikost prispevne površine (Priloga B) in podatke vodomerne postaje Kokra 1, prilagodimo lokaciji. S tem so določena tudi izhodišča za izračun ekološko sprejemljivega pretoka.

#### 5.5.1. Lokacija mHE 1

Pri prvi v verigi mHE gre za obnovo in povečanje zmogljivosti obstoječe mHE Virnik. Obnoviti bi bilo potrebno hidrotehnične objekte, da bi zadostili potrebam večjega odvzema vode ter ekološkim zahtevam (zagotavljanje prehodnosti za vodne organizme in ekološko sprejemljiv pretok). Zajem za mHE na lokaciji 1 bi ostal na istem mestu (levi breg) kot pri obstoječi mHE. Višina kote jezu obstoječe mHE je na višini 575 m.n.m. Strojnico bi bilo za potrebe večjega izkoristka prestaviti dolvodno na lokacijo kot kaže Slika 24. Tako bi z lokacijo strojnice na nadmorski višini 567 m.n.m pridobili 9 m padca. Za potreba dovoda vode izgradimo cevovod na dolžini 480 vzdolž osi ceste (Slika 24).



Slika 24: Prikaz lokacije mHE 1

##### 5.5.1.1. Hidrološki podatki in izračuni

Za lokacijo prve v verigi mHE je bilo enako kot pri mHE z dolgim odvzemom, glede na oceno velikosti prispevne površine izračunano da znaša  $sQ_s$  3,82 m<sup>3</sup>/s, oz. dobrih 12 % manj, kot na merilnem mestu Kokra I.

Temu smo prilagodili celotno krivuljo trajanja pretokov in izračunali ekološko sprejemljiv pretok. Tako smo iz korigirane krivulje trajanja izračunali srednji nizki pretok, ki je osnova za izračun ekološko sprejemljivega pretoka. Na lokaciji 1 znaša ta pretok 1,2 m<sup>3</sup>/s. Tako lahko ob predpostavki, da je faktor  $f$  za kratek odzvem 0,7, izračunamo minimalni ekološko sprejemljiv pretok.

$$Q_{es} = f * sQ_{np} = 0,7 * 1,2 = 0,841 \text{ m}^3/\text{s}$$

Določiti je potrebno še krivuljo trajanja razpoložljivega pretoka, da dobimo pretok razpoložljiv za energetske rabo (Priloga C1). Instalirani pretok določimo kot pretok, ki ustreza 15 % časa na diagramu krivulje trajanja pretokov. Tako znaša inštalirani pretok za mHE na lokaciji 1 3.990 l/s ali 340 l/s več, kot pri mHE z dolgim odvzemom. Razlika nastane predvsem pri izračunu ekološko sprejemljivega pretoka, ki se za primer dolgega odvzema določa drugače. S programski orodjem SMART Mini-Idro tako izračunamo, da je letna količina vode, ki jo koristimo v mHE na lokaciji 1 90.744.840 m<sup>3</sup> ali 95,67 % razpoložljive vode (Preglednica 18).

Preglednica 18: Hidrološki podatki na mestu odvzema – Lokacija 1

<b>Razpoložljiva letna količina vode</b>	94.852.404	[m <sup>3</sup> ]
<b>Izkoriščena letna količina vode</b>	90.744.840	[m <sup>3</sup> ]
<b>Delež izkoristka</b>	95,67	[%]
<b>Inštaliran pretok</b>	3.990	[l/s]
<b>Povprečni pretok</b>	2.878	[l/s]

## 5.5.1.2. Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine

Za izračun linijskih izgub v cevovodu moramo določiti material, iz katerega je cevovod narejen, ter dolžino cevovoda. Za lokacijo 1 je bila dolžina cevovoda, iz prostorskih podatkov v programu ARCGIS, ocenjena na 480 m. Predvidena trasa cevovoda je prikazana na Sliki 24.

Za cevovode se običajno uporabljajo PVC ali pa jeklene cevi. Manningov koeficient hrapavosti za duktilno jeklo je 0,013, za varjeno jeklo 0,012 in za PVC cevi 0,009 (Preglednica 2). V našem primeru se odločimo za jeklen cevovod z Manningovim koeficientom 0,0125. Nato po enačbi izračunamo koeficient hrapavosti po Strickerju  $k_s$ , katerega potrebujemo za izračun s programom Smart Mini-Idro.

$$k_s = 1/n = \frac{1}{0,0125} = 0,80$$

Za izračun s programom moramo določiti tudi računsko hitrost vode v cevovodu. Pri tem upoštevamo priporočila, da naj hitrost ne bi presegla 3-5 m/s (ESHA, 2004). Vendar se je izkazalo, da je vrednost linijskih izgub v teh primerih, vseeno (pre)visoka. V našem primeru tako določimo računsko hitrost vode 2,5 m/s.

Preglednica 19: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 1

<b>Lastnosti cevovoda</b>			
<b>Dolžina cevovoda</b>	480	m	
<b>Hitrost vode v cevovodu</b>	2,5	m/s	
<b>Koeficient hrapavosti</b>	80	m <sup>1/3</sup> /s	
<b>Premer cevovoda</b>	1,426	m	→ vzamemo D = 1,450 m
<b>Linijske izgube v cevovodu</b>	<b>1,70</b>	<b>m</b>	
<b>Delež izgub padca</b>	18,84	%	
<b>Lokalne izgube (= a*v<sup>2</sup>/2g)</b>	0,3	m (a = 1)	
<b>Neto izkoristljiv padec</b>	7,01	m	

Za transport vode od zajetja do strojnice bi potrebovali cevovod premera 1,45 m. S tem imamo določen tudi delež linijskih izgub. Ugotoviti je potrebno še delež lokalnih izgub, ki nastanejo na vtočnih elementih (rešetka, peskolov, vtok v cevovod), ter na krivinah cevovoda in vseh regulacijskih elementih. Tako po priporočilu ESHE določimo faktor  $a$ , ki določa skupno energijsko izgubo v elementih.

Neto izkoristljiv padec je tako po znanih predpostavkah enak 7,01 m in je osnova za izbor turbine in izračun proizvedene električne energije. Pri izračunu proizvodnje električne energije je bilo ugotovljeno, da je za dani padec in pretok najbolj primerna Kaplanova turbina. Lastnost te turbine je tudi v tem, da lahko izkorišča del energije vode v odvodnem kanalu. Tako nam strojnice ni potrebo postaviti neposredno v bližino vodotoka. Največji izkoristek izbrane turbine za dani pretok znaša 91 %. Minimalni pretok, do katerega turbina še deluje učinkovito, pa znaša 40 % instaliranega pretoka ali za naš primer 1,6 m<sup>3</sup>/s. V Prilogi A so podane vrednosti izkoristka glede na zmanjšani delež instaliranega pretoka.

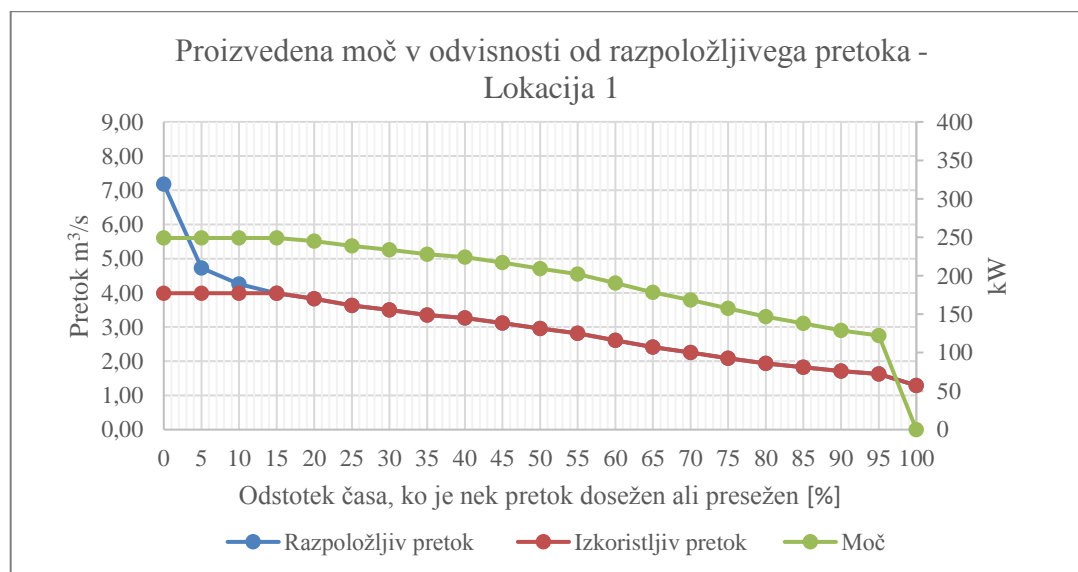
### 5.5.1.3. Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije

Za izračun proizvodnje električne energije moramo poznati nekatere vrednosti učinkovitosti elektromehanskih delov in naprav mHE. V ta namen izberemo povprečne vrednosti izkoristkov, ki so opisane že v prvem delu.

Preglednica 20: Izgube v dovodnem sistemu ter izkoristki elektromehanskih delov in naprav – Lokacija 1

<b>Učinkovitost turbine</b>	91 %
<b>Lokalne izgube</b>	0,30 m
<b>Maksimalne hidravlične izgube</b>	18,84 %
<b>Učinkovitost generatorja</b>	97 %
<b>Učinkovitost transformatorja</b>	98 %
<b>Učinkovitost menjalnika</b>	100 %
<b>Delež zaustavitev elektrarne</b>	5 %

S pomočjo programa tako izračunamo moč in količino proizvedene električne energije. Nazivna moč mHE na lokaciji 1 je tako 224 kW. Letna proizvodnja električne energije pa v tem primeru 1.521 MWh. Ocena bruto potenciala odseka obstoječe mHE Virnik je 34 kW, letna proizvodnja pa je ocenjena na 105 MWh.



Slika 25: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 1

Preglednica 21: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 1

<b>Največja moč</b>	249	kW
<b>Nazivna moč</b>	224	kW
<b>Povprečna moč</b>	201	kW
<b>Letna količina proizvedene električne energije</b>	1521	MWh

## 5.5.1.4. Ocena stroškov izgradnje

Ocenjuje se, da znaša investicija za izgradnjo mHE velikosti do 1 MW moči okoli 1700 €/kWe. Iz izračunane moči mHE na lokaciji 1 in predvidenih investicijskih stroškov na kW instalirane moči izračunamo vrednost investicije. Tako je bila celotna investicija ocenjena na 464.000 eurov brez upoštevanja odkupa zemljišč oz. druga nadomestila za uporabo zemljišč. V Preglednici 22 so izračunane vrednosti posameznih investicijskih stroškov v razmerjih, pridobljenih v poglavju 5.2.

Preglednica 22: Stroški investicije – Lokacija 1

<b>Vrsta inv. stroškov</b>	<b>Delež [%]</b>	<b>Vrednost [€]</b>
<b>Gradbena dela</b>	45	171.360
<b>Turbina in generator</b>	18	68.544
<b>Dodatna električna oprema</b>	4	15.232
<b>Razna oprema elektrarne</b>	3	11.424
<b>Obresti v dobi vlaganja</b>	10	38.080
<b>Načrtovanje in administracija</b>	20	76.160
<b>Skupaj brez DDV</b>	100	380.800
<b>DDV</b>	22	83.776
<b>Okvirna vrednost investicije</b>		<b>464.576</b>

## 5.5.1.5. Finančna analiza

Za primer mHE na lokaciji 1 izračunamo obratovalne stroške ter stroške vodnega povračila in koncesijske dajatve. Za velikost elektrarne do 10 MW znaša višina vodnega povračila 0,2361 eura na MWh potencialne energije vode. S programom je bilo izračunano, da naj bi letna proizvodnja električne energije znašala okoli 1.521 MWh. Strošek vodnega povračila na letni ravni tako znaša 359 €.

Skladno z veljavno zakonodajo znaša višina plačila koncesnine 4,2 % povprečne vrednosti in v električno omrežje oddane električne energije. Tako lahko ob predpostavki tržne cene zelene energije v letu 2015 (podatki Borzen), ki znaša 43,5 € MWh, izračunamo da bi višina koncesnine na letni ravni znašala 2646 €. Ker implementacija naše zakonodaje v program ni popolnoma mogoča, moramo stroške koncesijske dajatve in vodnega povračila oceniti z deležem stroškov od proizvedene električne energije. Za primer mHE na lokaciji 1 znaša ta faktor 13,4 €/kW/leto.



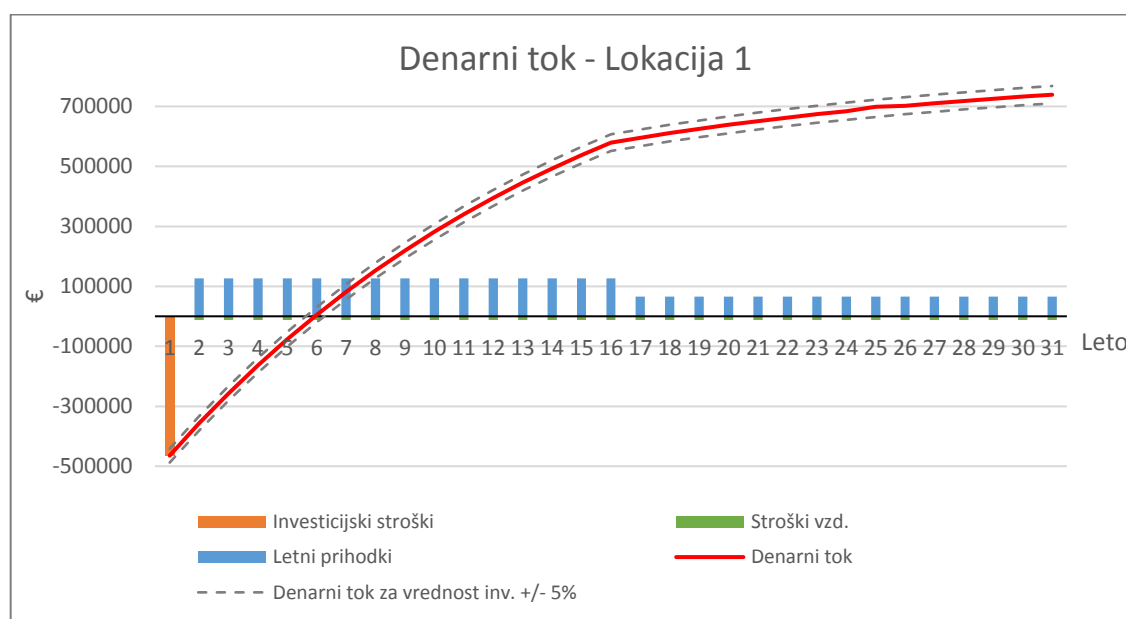
Preglednica 23: Obratovalni stroški – Lokacija 1

<b>Stroški</b>		
<b>Vodenje in vzdrževanje</b>	2 % (na leto od vrednosti investicije)	9291 €/leto
<b>Vodno povračilo</b>	0,2361 €/MWh potencialne energije vode (ocena lokacije 10.080 MWh)	359 €/leto
<b>Koncesijske dajatve</b>	4,2 % povprečne vrednosti in v omrežje oddane električne energije	2646 €/leto
<b>Skupno stroški</b>		<b>13297 €/leto</b>

S programom SMART Mini-Idro tako ob predpostavki, da je zagotovljena odkupna cena za prvih 15 let 82,34 €/MWh, vsa nadaljnja leta pa računamo po trenutni tržni ceni 43,5 €/MWh (podatki Borzen) izračunamo denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo objekta (30 let). Izračun opravimo tudi za primer podražitve oz. pocenitve investicije za 5 %. Priznana diskontna stopnja za javne investicije v Sloveniji je 7 % (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006).

Preglednica 24: Finančni kazalci investicije – Lokacija 1

	<b>Osnovna vrednost investicije</b>	<b>Investicija + 5%</b>	<b>Investicija - 5%</b>	
<b>Neto sedanja vrednost NSV</b>	738.979	709.979	767.975	€
<b>Doba vračanja</b>	5,7	6,02	5,38	let
<b>Doba izenačenja stroškov in koristi</b>	4,94	5,26	4,63	let
<b>Faktor koristi-stroškov (ang. benefit-cost rate)</b>	2,20	2,10	2,31	-



Slika 26: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 1

Ugotovimo lahko, da znaša doba vračanja za mHE na lokaciji 1, nekaj manj kot 6 let. Neto sedanja vrednost je ocenjena na okoli 740 tisoč € ob predpostavki zagotovljenega odkupa in priznani diskontni stopnji. Faktor koristi in stroškov, ki ekonomsko definira upravičenost investicije, pa znaša 2,2. Analiza je bila opravljena tudi za 5 % povečanje in zmanjšanje vrednosti investicije. V diagramu na Sliki 26 je prikazan denarni tok, skupaj z investicijskimi stroški, stroški vzdrževanja ter prihodki od prodaje električne energije.

### 5.5.2. Lokacija mHE 2



Slika 27: Prikaz lokacije mHE 2

Drugo mHE v verigi elektrarn smo locirali na odsek vodotoka z največjim padcem. Kota vodotoka na lokaciji odvzema je 558 m.n.m., iztoka pa 546 m.n.m. Za potrebe odvzema smo predvideli izgradnjo jezusa koto preliva 561 m.n.n (3 m višine). Predlagali smo izgradnjo t.i. Tirolskega zajetja, ki je za Alpske vodotoke s strmim padcem in veliko prodonosnostjo, najbolj primeren (ESHA, 2004). Pri gradnji zajetja je potrebno upoštevati tudi rečno kontinuiteto. V ta namen je potrebno urediti prehodnost za vodne organizme (t.i. ribje steze). Strojnico postavimo na levi breg vodotoka med hribom in cesto na koto 549,5 m.n.m. kot kaže Slika 27. Vtok vode za mHE na lokaciji 2, smo predvideli na desnem bregu vodotoka, po cevovodu v smeri osi ceste do strojnice. Dolžina cevovoda je ocenjena na 487m.

#### 5.5.2.1. Hidrološki podatki ter izračuni

Za lokacijo druge v verigi mHE, je bilo glede na oceno velikosti prispevne površine izračunano, da znaša  $sQ_s$  3,92 m<sup>3</sup>/s, oz. 9,6 % manj kot na merilnem mestu Kokra I. Temu smo prilagodili celotno krivuljo trajanja pretokov in izračunali ekološko sprejemljiv pretok. Tako smo iz korigirane krivulje trajanja izračunali srednji nizki pretok, ki je osnova za izračun ekološko sprejemljivega pretoka. Na lokaciji 1 pa znaša ta pretok 1,235 m<sup>3</sup>/s. Tako lahko ob predpostavki, da je faktor  $f$  za kratek odzem 0,7, izračunamo minimalni ekološko sprejemljiv pretok.

$$Q_{es} = f * sQ_{np} = 0,7 * 1,235 = 0,865 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ugotovimo lahko, da se ekološko sprejemljiv pretok, glede na odzemno mesto mHE na lokaciji 1, razlikuje za 24 l/s.

Iz pridobljenih podatkov nato izračunamo krivuljo trajanja razpoložljivega pretoka ter s pomočjo program tudi tehnično izkoristljivi pretok. Izračuni so prikazani v prilogi C1.

Instalirani pretok določimo kot pretok, ki ustreza 15 % časa na diagramu krivulje trajanja pretokov. Tako določeni instalirani pretok na lokaciji 2 znaša 4.115 l/s. Letna količina tehnično izkoristljive vode je v tem primeru 93.338.676 m<sup>3</sup> ali 95,72 % razpoložljive vode.

Preglednica 25: Hidrološki podatki na mestu odvzema – Lokacija 2

<b>Razpoložljiva letna količina vode</b>	97.509.312	[m <sup>3</sup> ]
<b>Izkoriščena letna količina vode</b>	93.338.676	[m <sup>3</sup> ]
<b>Delež izkoristka</b>	95,72	[%]
<b>Inštaliran pretok</b>	4.115	[l/s]
<b>Povprečni pretok</b>	2.960	[l/s]

#### 5.5.2.2. Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine

Za izračun linijskih izgub v cevovodu vzamemo enaka izhodišča kot pri mHE na lokaciji 1. Za lokacijo 2 je bila dolžina cevovoda iz prostorskih podatkov v programu ARCGIS ocenjena na 487 m. Predvidena trasa cevovoda je prikazana na Sliki 27. V tem primeru smo določili nekoliko manjšo računsko hitrost v cevovodu, da smo zmanjšali izgube, ki nastanejo pri transportu vode.

Preglednica 26: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 2

<b>Lastnosti cevovoda</b>			
<b>Dolžina cevovoda</b>	487	m	
<b>Hitrost vode v cevovodu</b>	2,4	m/s	
<b>Koeficient hrapavosti</b>	80	m <sup>1/3</sup> /s	
<b>Premer cevovoda</b>	1,478	m	→ vzamemo D = 1,500 m
<b>Linijske izgube v cevovodu</b>	1,53	m	
<b>Delež izgub padca</b>	12,73	%	
<b>Lokalne izgube (= a*v<sup>2</sup>/2g)</b>	0,28	m (a = 1)	
<b>Neto izkoristljiv padec</b>	10,2	m	

Za transport vode od zajetja do strojnice bi potrebovali cevovod premera 1,45 m. S tem je določen tudi delež linijskih izgub. Z izbiro dvojnega cevovoda lahko zmanjšamo potreben premer posamezne cevi. Ugotovili smo še delež lokalnih izgub, ki nastanejo na vtočnih elementih (rešetka, peskolov, vtok v cevovod) ter na krivinah cevovoda in vseh regulacijskih elementih. Tako po priporočilu ESHE določimo faktor *a*, ki določa skupno energijsko izgubo v elementih.

Neto izkoristljiv padec je tako pri znanih predpostavkah enak 10,20 m in je osnova za izbor turbine in izračun proizvedene električne energije. Pri izračunu proizvodnje električne energije je bilo ugotovljeno, da je za dani padec in pretok najbolj primerna Kaplanova turbina. Minimalni pretok do katerega turbina še deluje učinkovito pa znaša 40 % instaliranega pretoka, ali za naš primer 1,65 m<sup>3</sup>/s. V Prilogi A so podane vrednosti izkoristka glede na zmanjšani delež instaliranega pretoka.

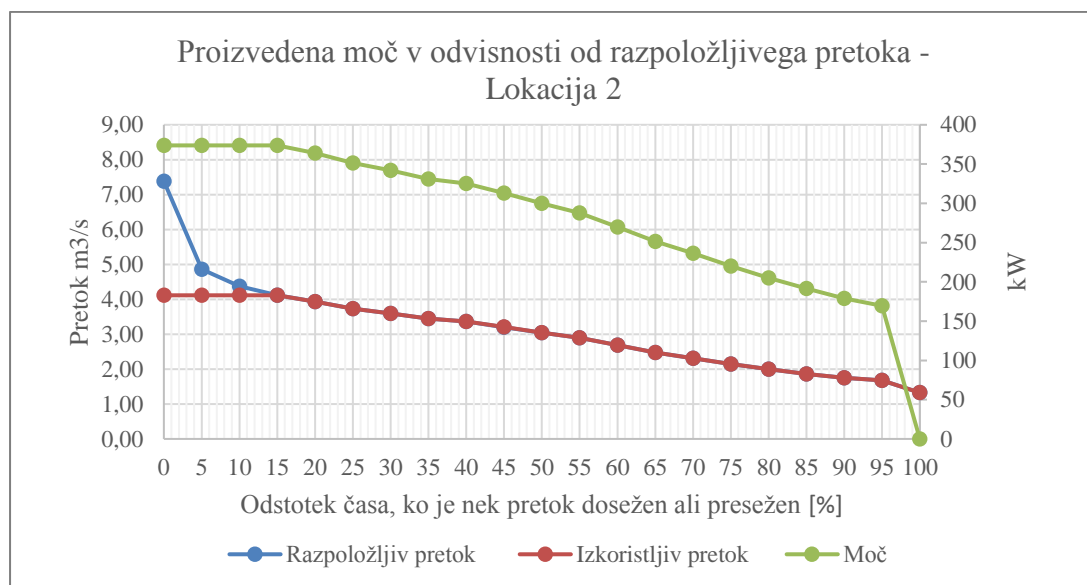
## 5.5.2.3. Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije

Enako kot pri mHE na lokaciji 1, smo določili delež izkoristkov elektro mehanskih delov in naprav ter izračunali delež izgub v dovodnem sistemu.

S pomočjo programa smo izračunali moč in količino proizvedene električne energije. Nazivna moč mHE na lokaciji 2 je tako 336 kW. Letna proizvodnja električne energije pa v tem primeru 2.203 MWh.

Preglednica 27: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 2

<b>Največja moč</b>	374 kW
<b>Nazivna moč</b>	336 kW
<b>Povprečna moč</b>	290 kW
<b>Letna količina proizvedene električne energije</b>	2.203 MWh



Slika 28: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 2

## 5.5.2.4. Ocena stroškov izgradnje

Tudi za mHE na lokaciji 1 velja, da je groba ocena investicije okoli 1700 €/kWe. Iz izračunane moči mHE na lokaciji 2 in predvidenih investicijskih stroškov na kW inštalirane moči izračunamo vrednost investicije. Tako je bila celotna investicija ocenjena na 697.000 eurov brez upoštevanja odkupa zemljišč oz druga nadomestila za uporabo zemljišč. V Preglednici 28 so izračunane vrednosti posameznih investicijskih stroškov v razmerjih pridobljenih v poglavju 5.2.

Preglednica 28: Stroški investicije – Lokacija 2

<b>Vrsta inv. stroškov</b>	<b>Delež [%]</b>	<b>Vrednost [€]</b>
<b>Gradbena dela</b>	45	257.040
<b>Turbina in generator</b>	18	102.816
<b>Dodatna električna oprema</b>	4	22.848
<b>Razna oprema elektrarne</b>	3	17.136
<b>Obresti v dobi vlaganja</b>	10	57.120
<b>Načrtovanje in administracija</b>	20	114.240
<b>Skupaj brez DDV</b>	100	571.200
<b>DDV</b>	22	125.664
<b>Okvirna vrednost investicije</b>		<b>696.864</b>

#### 5.5.2.5. Finančna analiza

Za primer mHE na lokaciji 2 izračunamo obratovalne stroške ter stroške vodnega povračila in koncesijske dajatve. Za velikost elektrarne do 10 MW znaša višina vodnega povračila 0,2361 eura na MWh potencialne energije vode. S programom je bilo izračunano, da naj bi letna proizvodnja električne energije znašala okoli 2.203 MWh. Strošek vodnega povračila na letni ravni tako znaša 520 €.

Skladno z veljavno zakonodajo znaša višina plačila koncesnine 4,2 % povprečne vrednosti in v električno omrežje oddane električne energije. Tako lahko ob predpostavki tržne cene zelene energije v letu 2015 (podatki Borzen), ki znaša 43,5 € MWh izračunamo, da bi višina koncesnine na letni ravni znašala 3.833 €. Ker implementacija naše zakonodaje v program ni popolnoma mogoča, moramo stroške koncesijske dajatve in vodnega povračila oceniti z deležem stroškov od proizvedene električne energije. Za primer mHE na lokaciji 2 znaša ta faktor 12,95 €/kW/leto.

Preglednica 29: Obratovalni stroški – Lokacija 2

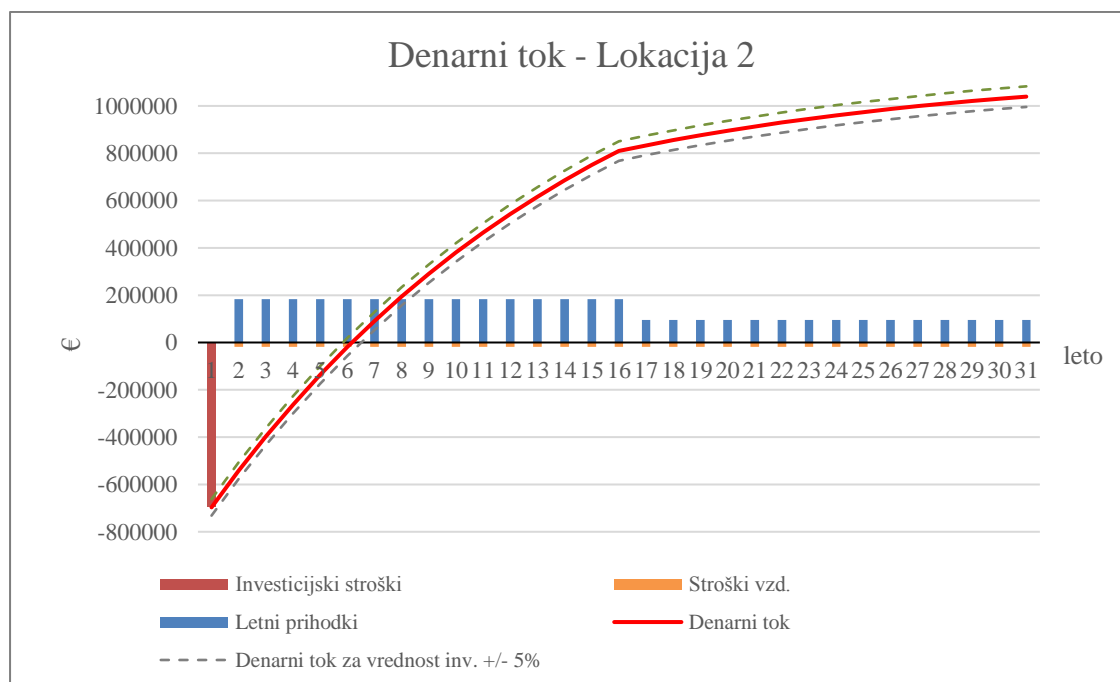
<b>Stroški</b>		
<b>Vodenje in vzdrževanje</b>	2 % (na leto od vrednosti investicije)	13.937 €/leto
<b>Vodno povračilo</b>	0,2361 €/MWh potencialne energije vode (ocena lokacije 2.203 MWh)	520 €/leto
<b>Koncesijske dajatve</b>	4,2 % povprečne vrednosti in v omrežje oddane električne energije	3.833 €/leto
<b>Skupno stroški</b>		<b>18.290 €/leto</b>

S programom SMART Mini-Idro tako ob predpostavki, da je zagotovljena odkupna cena za prvih 15 let 82,34 €/MWh, vsa nadaljnja leta pa računamo po trenutni tržni ceni 43,5 €/MWh (podatki Borzen), izračunamo denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo objekta (30 let). Izračun smo opravili tudi za primer podražitve oz. pocenitve investicije za 5 %. Priznana diskontna stopnja za javne investicije v Sloveniji je 7 % (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006).

Preglednica 30: Finančni kazalci investicije – Lokacija 2

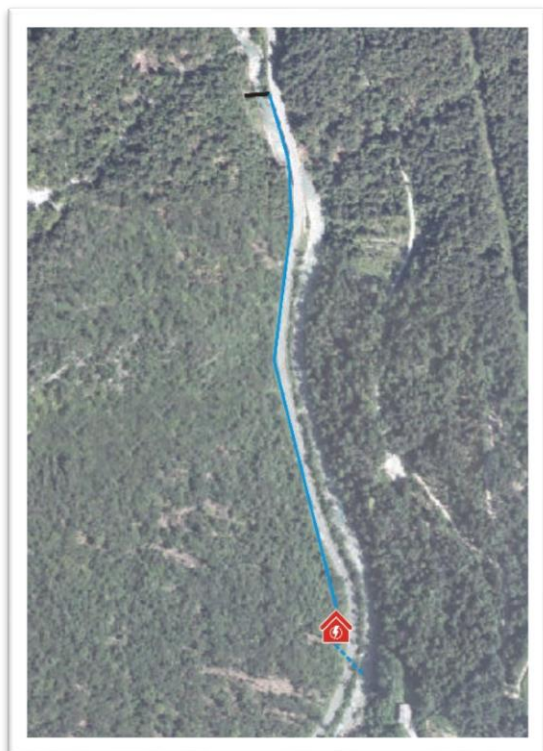
	Osnovna vrednost investicije	Investicija + 5%	Investicija - 5%	
<b>Neto sedanja vrednost NSV</b>	1.039.285	995.794	1.082.775	€
<b>Doba vračanja</b>	5,93	6,26	5,60	let
<b>Doba izenačenja stroškov in koristi</b>	5,17	5,51	1,84	let
<b>Faktor koristi-stroškov (ang. benefit-cost rate)</b>	2,12	2,03	2,23	-

Ugotovili smo, da znaša doba vračanja za mHE na lokaciji 2 nekaj manj kot 6 let. Neto sedanja vrednost je bila ocenjena na okoli 1 MIO €, ob predpostavki zagotovljenega odkupa in priznani diskontni stopnji. Faktor koristi in stroškov, ki ekonomsko definira upravičenost investicije, pa znaša 2,12. Analiza je bila opravljena tudi za 5 % povečanje in zmanjšanje vrednosti investicije. Na diagramu na Sliki 29 je prikazan denarni tok, skupaj z investicijskimi stroški, stroški vzdrževanja ter prihodki od prodaje električne energije.



Slika 29: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 2

### 5.5.3. Lokacija mHE 3



Tretja mHE v verigi elektrarn smo locirali v ozko dolino 350 m dolvodno od iztoka vode iz mHE na lokaciji 2. Kota vodotoka na lokaciji odvzema je 538,5 m.n.m., iztoka pa 528 m.n.m. Za potrebe odvzema smo predvideli izgradnjo jezusa koto preliva 541 m.n.m. (3,5 m višine). Tudi v tem primeru smo predlagali izgradnjo t.i. tirolskega zajetja, ki je za Alpske vodotoke s strmim padcem in veliko prodonosnostjo najbolj primeren (ESHA, 2004). Predvideli smo postavitev strojnice na desni breg vodotoka med hribom in cesto na koto 531 m.n.m. kot kaže Slika 30. Vtok vode za mHE na lokaciji 3 smo predvideli na levem bregu vodotoka po cevovodu v smeri osi ceste do strojnice. Dolžina cevovoda je ocenjena na 505 m. Pri gradnji zajetja je potrebno upoštevati tudi rečno kontinuiteto za to je potrebno urediti prehodnost za vodne organizme (t.i. ribje steze).

Slika 30: Prikaz lokacije mHE 3

#### 5.5.3.1. Hidrološki podatki ter izračuni

Za lokacijo druge v verigi mHE, je bilo glede na oceno velikosti prispevne površine izračunano, da znaša  $sQ_s$  4,24 m<sup>3</sup>/s, oz. 2,4 % manj kot na merilnem mestu Kokra I. Temu smo prilagodili celotno krivuljo trajanja pretokov in izračunali ekološko sprejemljiv pretok. Tako smo iz korigirane krivulje trajanja izračunali srednji nizki pretok, ki je osnova za izračun ekološko sprejemljivega pretoka. Na lokaciji mHE 3 pa znaša  $sQ_{np}$  1,334 m<sup>3</sup>/s. Tako lahko ob predpostavki, da je faktor  $f$  za kratek odvzem 0,7, izračunamo minimalni ekološko sprejemljiv pretok.

$$Q_{es} = f * sQ_{np} = 0,7 * 1,334 = 0,934 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ugotovili smo, da se ekološko sprejemljiv pretok glede na odzemno mesto mHE na lokaciji 1, razlikuje za 93 l/s.

Iz pridobljenih podatkov smo izračunali krivuljo trajanja razpoložljivega pretoka ter s pomočjo programa tudi tehnično izkoristljivi pretok. Podatki so prikazani v Prilogi C2.

Instalirani pretok smo določili kot pretok, ki ustreza 15 % časa na diagramu krivulje trajanja pretokov. Tako določeni instalirani pretok na lokaciji 3, znaša 4.436 l/s. Letna količina tehnično izkoristljive vode je v tem primeru 100.670.796 m<sup>3</sup> ali 95,72 % razpoložljive količine vode.

Preglednica 31: Podatki o razpoložljivi količini vode – Lokacija 3

<b>Razpoložljiva letna količina vode</b>	105.188.328 [m <sup>3</sup> ]
<b>Izkoriščena letna količina vode</b>	100.670.796 [m <sup>3</sup> ]
<b>Delež izkoristka</b>	95,71 [%]
<b>Inštaliran pretok</b>	4.436 [l/s]
<b>Povprečni pretok</b>	3.192 [l/s]

#### 5.5.3.2. Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine

Za izračun linijskih izgub v cevovodu vzamemo enaka izhodišča kot pri mHE na lokaciji 1. Za lokacijo 3 je bila dolžina cevovoda iz prostorskih podatkov v programu ARCGIS ocenjena na 505 m. Predvidena trasa cevovoda je prikazana na Sliki 30. Da zmanjšamo izgube, ki nastanejo pri transportu vode, smo vzeli nekoliko manjšo računsko hitrost v cevovodu.

Preglednica 32: Podatki o lastnosti cevovoda –Lokacija 3

<b>Lastnosti cevovoda</b>			
<b>Dolžina cevovoda</b>	505	m	
<b>Hitrost vode v cevovodu</b>	2,4	m/s	
<b>Koeficient hrapavosti</b>	80	m <sup>1/3</sup> /s	
<b>Premer cevovoda</b>	1,534	m	→ vzamemo D = 1,550 m
<b>Linijske izgube v cevovodu</b>	<b>1,55</b>	m	
<b>Delež izgub padca</b>	14,05	%	
<b>Lokalne izgube (= a*v<sup>2</sup>/2g)</b>	0,28	m (a = 1)	
<b>Neto izkoristljiv padec</b>	9,17	m	

Za transport vode od zajetja do strojnice bi potrebovali cevovod premera 1,55 m. S tem je določen tudi delež linijskih izgub. Izberemo lahko tudi dvojni cevovod in s tem zmanjšamo potreben premer posamezne cevi. Ugotoviti je bilo potrebno še delež lokalnih izgub, ki nastanejo na vtočnih elementih (rešetka, peskolov, vtok v cevovod) ter na krivinah cevovoda in vseh regulacijskih elementih. Tako smo po priporočilu ESHE določili faktor *a*, ki določa skupno energijsko izgubo v elementih.

Neto izkoristljiv padec je tako pri znanih predpostavkah enak 9,17 m in je osnova za izbor turbine in izračun proizvedene električne energije. Tudi v tem primeru je za dani padec in pretok najbolj primerna Kaplanova turbina. Ostale karakteristike so iste kot pri elektrarni na lokaciji 1. Minimalni pretok, do katerega turbina še deluje učinkovito, pa znaša 40 % instaliranega pretoka ali za naš primer 1,77 m<sup>3</sup>/s. V Prilogi A so podane vrednosti izkoristka glede na zmanjšani delež instaliranega pretoka



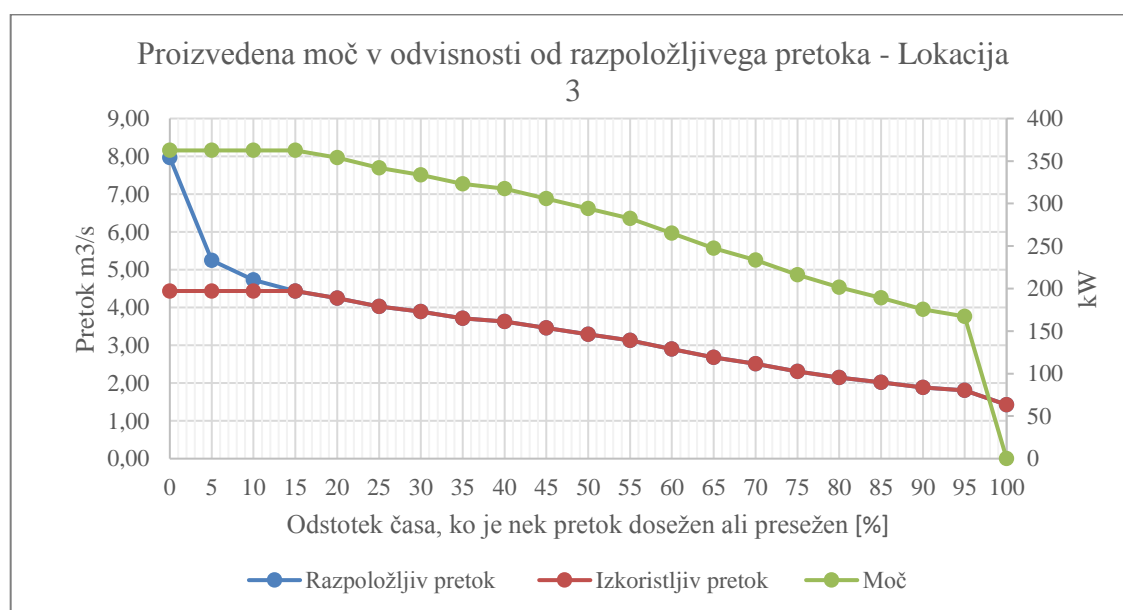
### 5.5.3.3. Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije

Enako kot pri mHE na lokaciji 1 smo določili delež izkoristkov elektromehanskih delov in naprav ter izračunli delež izgub v dovodnem sistemu.

S pomočjo programa smo izračunali moč in količino proizvedene električne energije. Nazivna moč mHE na lokaciji 3 je tako 326 kW. Letna proizvodnja električne energije pa v tem primeru 2.152 MWh.

Preglednica 33: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 3

<b>Največja moč</b>	363 kW
<b>Nazivna moč</b>	326 kW
<b>Povprečna moč</b>	283 kW
<b>Letna količina proizvedene električne energije</b>	2.152 MWh



Slika 31: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 3

### 5.5.3.4. Ocena stroškov izgradnje

Tudi za mHE na lokaciji 3 velja, da je groba ocena investicije okoli 1700 €/kWe. Iz izračunane moči mHE na lokaciji 3 in predvidenih investicijskih stroškov investicije na kW instalirane moči smo izračunali vrednost investicije.

Preglednica 34: Stroški investicije – Lokacija 3

Vrsta inv. stroškov	Delež [%]	Vrednost [€]
<b>Gradbena dela</b>	45	249.390
<b>Turbina in generator</b>	18	99.756
<b>Dodatna električna oprema</b>	4	22.168
<b>Razna oprema elektrarne</b>	3	16.626
<b>Obresti v dobi vlaganja</b>	10	55.420
<b>Načrtovanje in administracija</b>	20	110.840
<b>Skupaj brez DDV</b>	100	554.200
<b>DDV</b>	22	121.924
<b>Okvirna vrednost investicije</b>		<b>676.124</b>

Tako je bila celotna investicija ocenjena na 676.000 € brez upoštevanja odkupa zemljišč oz druga nadomestila za uporabo zemljišč. V Preglednici 34 so izračunane vrednosti posameznih investicijskih stroškov v razmerjih pridobljenih v poglavju 5.2.

#### 5.5.3.5. Finančna analiza

Tako kot v prejšnjih primerih tudi za mHE lokaciji 3, smo izračunali obratovalne stroške ter stroške vodnega povračila in koncesijske dajatve. S programom Smart Mini Idro je bilo izračunano, da naj bi letna proizvodnja električne energije znašala okoli 2.152 MWh. Strošek vodnega povračila na letni ravni tako znaša 508 €. Višina koncesnine pa je ocenjena na 3.833 €. Ker implementacija naše zakonodaje v program ni popolnoma mogoča, moramo stroške koncesijske dajatve in vodnega povračila oceniti z deležem stroškov od proizvedene električne energije. Za primer mHE na lokaciji 3 znaša ta faktor 13,05 €/kW/leto.

Preglednica 35: Obratovalni stroški – Lokacija 3

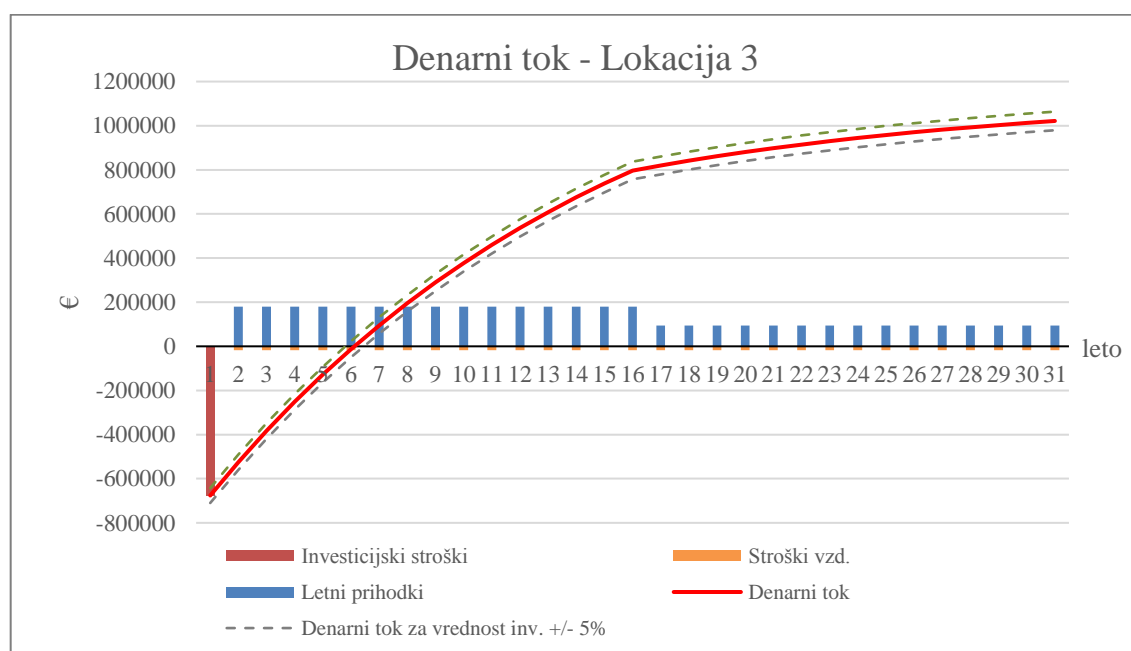
<b>Stroški</b>		
<b>Vodenje in vzdrževanje</b>	2 % (na leto od vrednosti investicije)	13.937 €/leto
<b>Vodno povračilo</b>	0,2361 €/MWh potencialne energije vode (ocena lokacije 2.203 MWh)	520 €/leto
<b>Koncesijske dajatve</b>	4,2 % povprečne vrednosti in v omrežje oddane električne energije	3.833 €/leto
<b>Skupno stroški</b>		<b>18.290 €/leto</b>

S programom SMART Mini-Idro smo ob predpostavki, da je zagotovljena odkupna cena za prvih 15 let 82,34 €/MWh, vsa nadaljnja leta pa računamo po trenutni tržni ceni 43,5 €/MWh (podatki Borzen), izračunali denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo objekta (30 let). Izračun smo opravili tudi za primer podražitve oz. pocenitve investicije za 5 %. Priznana diskontna stopnja za javne investicije v Sloveniji je 7 % (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006).

Preglednica 36: Finančni kazalci investicije – Lokacija 3

	Osnovna vrednost investicije	Investicija + 5%	Investicija - 5%	
<b>Neto sedanja vrednost NSV</b>	1.021.417	979.222	1.063.615	€
<b>Doba vračanja</b>	5,88	6,22	5,46	let
<b>Doba izenačenja stroškov in koristi</b>	5,12	5,46	4,80	let
<b>Faktor koristi-stroškov (ang. benefit-cost rate)</b>	2,14	2,04	2,24	-

Ugotovili smo, da znaša doba vračanja za mHE na lokaciji 3, nekaj manj kot 6 let. Neto sedanja vrednost je bila ocenjena na okoli 1 MIO €, ob predpostavki zagotovljenega odkupa in priznani diskontni stopnji. Faktor koristi in stroškov, ki ekonomsko definira upravičenost investicije, pa znaša 2,14. Analiza je bila opravljena tudi za 5 % povečanje in zmanjšanje vrednosti investicije. Na diagramu na Sliki 32 je prikazan denarni tok, skupaj z investicijskimi stroški, stroški vzdrževanja ter prihodki od prodaje električne energije.



Slika 32: Denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo mHE – Lokacija 3

#### 5.5.4. Lokacija mHE 4

Zadnja mHE v verigi elektrarn je bila predvidena za izkoriščanje 500 m odsek reke Kokre pred izlivom Čemšenika v reko Kokro. Zajetje je bilo predvideno 1500 m dolvodno po osi vodotoka od iztoka vode iz mHE 3. Vmesni odsek smo iz analize izvzeli (referenčno območje, vodomerna postaja). Kota zg. vode na lokaciji



Slika 33: Prikaz lokacije mHE 4

odvzema je v tem primeru 509,4 m.n.m., iztoka pa 502 m.n.m. Ker gre v tem primeru za bolj odprto dolino, smo predvideli izgradnjo za potrebe odvzema nizek jez s koto preliva 512 m.n.n (2,6 m višine). Strojnico smo postavili na desni breg vodotoka med hribom in cesto na koto 505 m.n.m., enako kot pri mHE z dolgim odvzemom kot kaže Slika 33. Vtok vode v cevovod na lokaciji 4 je na desnem bregu vodotoka. Traso cevovoda smo napeljali deloma vkopano čez travnik, kjer nato preči glavno cesto proti Jezerskim in nato vkopana sledi osi ceste do strojnice. Skupna dolžina cevovoda je ocenjena na 504 m. Pri gradnji zajetja je potrebno upoštevati tudi rečno kontinuiteto za to je potrebno urediti prehodnost za vodne organizme (t.i. ribje steze).

##### 5.5.4.1. Hidrološki podatki ter izračuni

Za lokacijo druge v verigi mHE je bilo, glede na oceno velikosti prispevne površine, izračunano da znaša  $sQ_s$  4,37 m<sup>3</sup>/s oz. 2,9 % več kot na merilnem mestu Kokra I. Temu smo prilagodili celotno krivuljo trajanja pretokov in izračunali ekološko sprejemljiv pretok. Iz korigirane krivulje trajanja izračunan srednji nizki pretok  $sQ_{np}$ , je osnova za izračun ekološko sprejemljivega pretoka. Na lokaciji 4 znaša izračunan  $sQ_{np}$  pa 1,375 m<sup>3</sup>/s. Tako lahko ob predpostavki, da je faktor  $f$  za kratek odvzem 0,7, izračunamo minimalni ekološko sprejemljiv pretok.

$$Q_{es} = f * sQ_{np} = 0,7 * 1,375 = 0,962 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ugotovimo lahko, da se ekološko sprejemljiv pretok, glede na odzemno mesto mHE na lokaciji 1, razlikuje za 121 l/s.

Iz pridobljenih podatkov smo izračunali krivuljo trajanja razpoložljivega pretoka, ter s pomočjo programa tudi tehnično izkoristljiv pretok. Podatki so prikazani v Prilogi C2.

Instalirani pretok smo določili kot pretok, ki ustreza 15 % časa na diagramu krivulje trajanja pretokov. Tako določeni instalirani pretok na lokaciji 4 znaša 4.578 l/s. Letna količina tehnično izkoristljive vode je v tem primeru 103.808.628 m<sup>3</sup> ali 95,72 % razpoložljive količine vode.

Preglednica 37: Podatki o razpoložljivi količini vode – Lokacija 4

<b>Razpoložljiva letna količina vode</b>	108.452.304 [m <sup>3</sup> ]
<b>Izkoriščena letna količina vode</b>	103.808.628 [m <sup>3</sup> ]
<b>Delež izkoristka</b>	95,72 [%]
<b>Inštaliran pretok</b>	4.578 [l/s]
<b>Povprečni pretok</b>	3.292 [l/s]

#### 5.5.4.2. Izračun neto izkoristljivega padca in izbira turbine

Za izračun linijskih izgub v cevovodu vzeli enaka izhodišča kot pri mHE na lokaciji 1. Za lokacijo 4 je bila dolžina cevovoda iz prostorskih podatkov v programu ARCGIS ocenjena na 504 m. Predvidena trasa cevovoda je prikazana na Sliki 33. V tem primeru smo vzameli nekoliko manjšo računsko hitrost v cevovodu, da zmanjšamo izgube, ki nastanejo pri transportu vode.

Preglednica 38: Podatki o lastnosti cevovoda – Lokacija 4

<b>Lastnosti cevovoda</b>	
<b>Dolžina cevovoda</b>	504 m
<b>Hitrost vode v cevovodu</b>	2,4 m/s
<b>Koeficient hrapavosti</b>	80 m <sup>1/3</sup> /s
<b>Premer cevovoda</b>	1,559 m → vzamemo D = 1,600 m
<b>Linijske izgube v cevovodu</b>	<b>1,39</b> m
<b>Delež izgub padca</b>	19,81 %
<b>Lokalne izgube (= <math>a \cdot v^2 / 2g</math>)</b>	0,26 m (a = 1)
<b>Neto izkoristljiv padec</b>	5,35 m

Za transport vode od zajetja do strojnice bi potrebovali cevovod premera 1,6 m, s čemer je določen tudi delež linijskih izgub. Možno je izbrati tudi dvojni cevovod in s tem zmanjšati potreben premer posamezne cevi. Ugotoviti je potrebno še delež lokalnih izgub, ki nastanejo na vtočnih elementih (rešetka, peskolov, vtok v cevovod) ter na krivinah cevovoda in vseh regulacijskih elementih. Tako po priporočilu ESHE določimo faktor  $a$ , ki določa skupno energijsko izgubo v elementih.

Neto izkoristljiv padec je tako pri znanih predpostavkah enak 5,35 m in je osnova za izbor turbine in izračun proizvedene električne energije. Tudi v tem primeru je za dani padec in pretok najbolj primerna Kaplanova turbina. Ostale karakteristike so iste kot pri elektrarni na lokaciji 1. Minimalni pretok do katerega turbina še deluje učinkovito pa znaša 40% instaliranega pretoka ali za naš primer 1,83 m<sup>3</sup>/s. V Prilogi A so podane vrednosti izkoristka glede na zmanjšani delež inštaliranega pretoka.

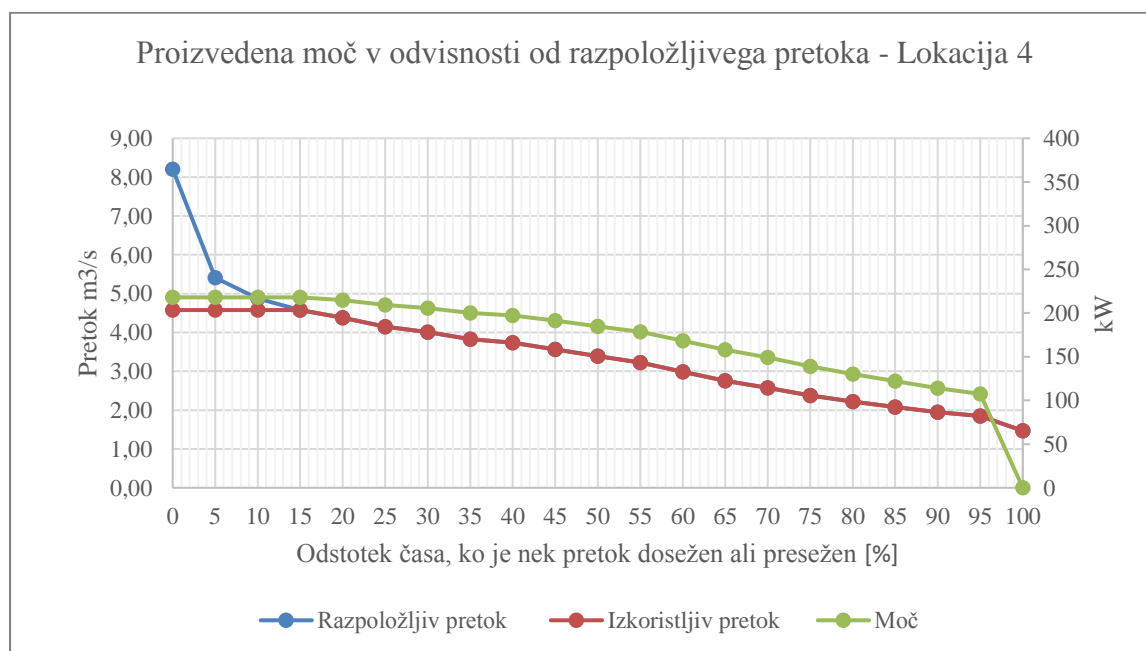
## 5.5.4.3. Izkoristki mHE in proizvodnja električne energije

Enako, kot pri mHE na lokaciji 1, smo določili delež izkoristkov elektromehanskih delov in naprav ter izračunali delež izgub v dovodnem sistemu.

S pomočjo programa smo izračunali moč in količino proizvedene električne energije. Nazivna moč mHE na lokaciji 4 je tako 196 kW. Letna proizvodnja električne energije pa v tem primeru 1.338 MWh, kar je pričakovano. Čeprav pri tej elektrarni izkoriščamo največji pretok med vsemi obravnavanimi lokacijami, smo jo postavili na odseku z najmanjšim padcem.

Preglednica: Podatki o moči in proizvedeni električni energiji – Lokacija 4

<b>Največja moč</b>	218 kW
<b>Nazivna moč</b>	196 kW
<b>Povprečna moč</b>	177 kW
<b>Letna količina proizvedene električne energije</b>	1.338 MWh



Slika 34: Proizvedena moč v odvisnosti od razpoložljivega pretoka – Lokacija 4

#### 5.5.4.4. Ocena stroškov izgradnje

Preglednica 39: Stroški investicije – Lokacija 4

Vrsta inv. stroškov	Delež [%]	Vrednost [€]
<b>Gradbena dela</b>	45	149.940
<b>Turbina in generator</b>	18	59.976
<b>Dodatna električna oprema</b>	4	13.328
<b>Razna oprema elektrarne</b>	3	9.996
<b>Obresti v dobi vlaganja</b>	10	33.320
<b>Načrtovanje in administracija</b>	20	66.640
<b>Skupaj brez DDV</b>	100	333.200
<b>DDV</b>	22	73.304
<b>Okvirna vrednost investicije</b>		<b>406.504</b>

Tudi za mHE na lokaciji 4 velja, da je groba ocena investicije okoli 1700 €/kWe. Iz izračunane moči mHE na lokaciji 4 in predvidenih stroškov investicije na kW instalirane moči, smo izračunali vrednost investicije. Tako je bila celotna investicija ocenjena na 406.504 eurov brez upoštevanja odkupa zemljišč oz druga nadomestila za uporabo zemljišč. V Preglednici 39 so izračunane vrednosti posameznih investicijskih stroškov v razmerjih pridobljenih v poglavju 5.2.

#### 5.5.4.5. Finančna analiza

Tako, kot v prejšnjih primerih, smo tudi za mHE 4 izračunali obratovalne stroške ter stroške vodnega povračila in koncesijske dajatve. S programom Smart Mini-Idro je bilo izračunano, da naj bi letna proizvodnja električne energije znašala okoli 1.338 MWh. Strošek vodnega povračila na letni ravni tako znaša 316 €. Višina koncesnine pa je ocenjena na 2328 €. Ker implementacija naše zakonodaje v program ni popolnoma mogoča moramo, je bilo potrebno stroške koncesijske dajatve in vodnega povračila oceniti z deležem stroškov od proizvedene električne energije. Za primer mHE na lokaciji znaša ta faktor 13,50 €/kW/leto.

Preglednica 40: Obratovalni stroški – Lokacija 4

<b>Stroški</b>		
<b>Vodenje in vzdrževanje</b>	2 % (na leto od vrednosti investicije)	8.130 €/leto
<b>Vodno povračilo</b>	0,2361 €/MWh potencialne energije vode (ocena lokacije 2.203 MWh)	316 €/leto
<b>Koncesijske dajatve</b>	4,2 % povprečne vrednosti in v omrežje oddane električne energije	2.328 €/leto
<b>Skupno stroški</b>		<b>10.774 €/leto</b>

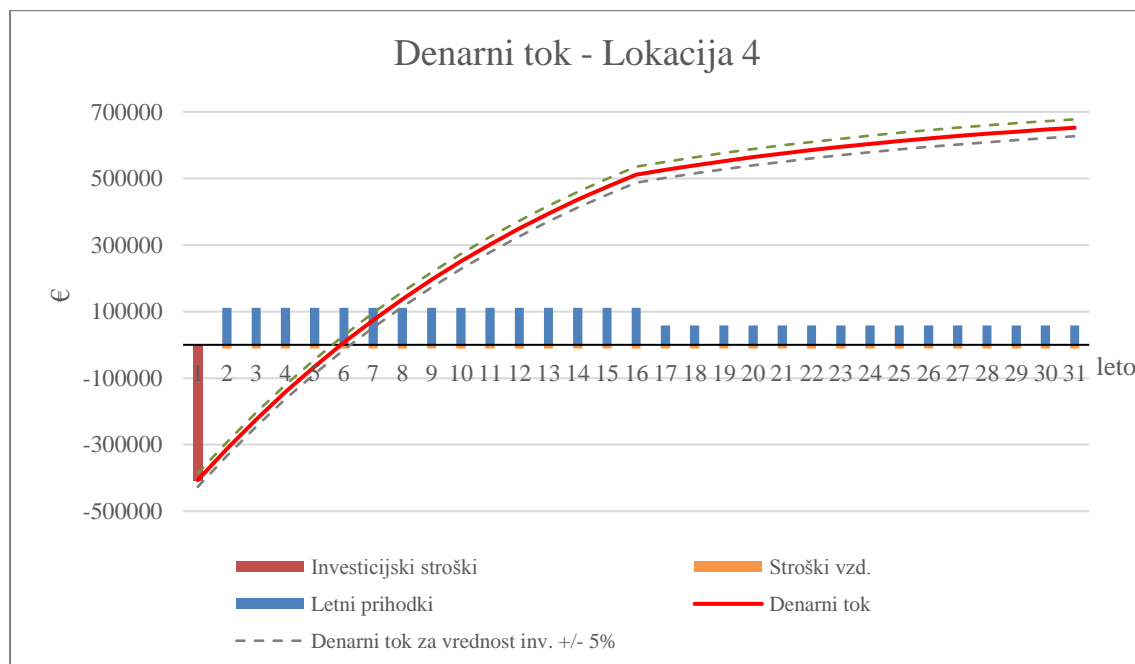
S programom SMART Mini-Idro smo tako ob predpostavki, da je zagotovljena odkupna cena za prvih 15 let 82,34 €/MWh, vsa nadaljnja leta pa računamo po trenutni tržni ceni 43,5 €/MWh (podatki Borzen), izračunali denarni tok skozi predvideno življenjsko dobo objekta (30 let). Izračun smo opravili tudi za primer podražitve oz. pocenitve investicije za 5 %. Priznana diskontna stopnja

za javne investicije v Sloveniji je 7 % (Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006).

Preglednica 41: Finančni kazalci investicije – Lokacija 4

	Osnovna vrednost investicije	Investicija + 5%	Investicija - 5%	
<b>Neto sedanja vrednost NSV</b>	652.621	626.900	677.639	€
<b>Doba vračanja</b>	5,67	5,99	5,36	let
<b>Doba izenačenja stroškov in koristi</b>	4,90	5,23	4,60	let
<b>Faktor koristi-stroškov (ang. benefit-cost rate)</b>	2,21	2,11	2,32	-

Ugotovili smo, da znaša doba vračanja za mHE na lokaciji 4 okoli 5,7 let. Neto sedanja vrednost je bila ocenjena na okoli 650.000 €, ob predpostavki zagotovljenega odkupa in priznani diskontni stopnji. Faktor koristi in stroškov, ki ekonomsko definira upravičenost investicije, pa znaša 2,21. Analiza je bila opravljena tudi za 5 % povečanje in zmanjšanje vrednosti investicije. Na diagramu na Sliki 34 je prikazan denarni tok, skupaj z investicijskimi stroški, stroški vzdrževanja ter prihodki od prodaje električne energije.



Slika 35: Denarni tok za primer izkoriščanja odseka mHE na Lokaciji 4



## 5. ANALIZA REZULTATOV

V poglavju analiza hidroenergetskega potenciala je bila izračunana proizvodnja električne energije za posamezne lokacije in vrste odvzema mHE. Izbira lokacij je bila opravljana s pomočjo programskih orodij (ARCGIS, Atlas Okolja) in z ogledi terena. Odvzemna mesta in mesta postavitve strojnice so umeščena predvsem glede na naravne danosti in z upoštevanjem realnih možnosti (višina pregrade, prečni prerez). Izračun je bil tako opravljen za izkoriščanje odseka z eno mHE z dolgim odvzemom in pa možnost izkoriščanja odseka s štirimi mHE s kratkim odvzemom. Pri vsaki lokaciji odvzema je bila opravljena korekcija krivulje trajanja pretokov glede na velikost prispevne površine. Prav tako je bila za posamezno lokacijo izračunana velikost ekološko sprejemljivega pretoka. S tem je bil določena razpoložljiva količina vode za energetske rabo.

Prva izvedbena možnost obravnava izkoriščanje odseka z eno mHE z dolgim odvzemom. Pri tem je bilo glede na velikost prispevne površine izračunano, da znaša  $sQ_s$  na mestu odvzema  $3,82 \text{ m}^3/\text{s}$  ali dobrih 12 % manj kot na merilnem mestu Kokra 1. Za dolgi odzem velja, da se izračun ekološko sprejemljivega pretoka opravi posebej za sušne dele leta (januar, februar, junij, julij, avgust, september in december) in posebej za ostali del leta. Ugotovimo lahko, da se razpoložljiv pretok glede na mHE na lokaciji 1 (isto odvzemno mesto) razlikuje za  $340 \text{ l/s}$  ali slabih 9 %. Razlika nastane predvsem zaradi drugačnega izračuna ekološko sprejemljivega pretoka za dolg odzem vode. Izračunana moč mHE z dolgim odvzemom je tako  $1.623 \text{ kW}$  z letno proizvodjo  $10.977 \text{ MWh}$  električne energije.

Primerjalno je bila opravljena analiza odseka z več mHE. Na območju vodomerne postaje Kokra 1 in odseka z referenčni razmerami mHE nismo predvideli. Lokacija posamezne mHE je bila glede na naravne danosti izbrana tako, da izkorišča odsek vodotoka krajšega od  $500 \text{ m}$ . S tem se zmanjša vrednost ekološko sprejemljivega pretoka (izračun  $Q_{es}$  za kratek odzem) in posledično poveča razpoložljiva količina vode za energetske rabo. Hkrati pa se vzdolž vodotoka, na račun večanja prispevne površine in pritokov v reko Kokro, povečuje razpoložljiva količina vode. Tako je za primer mHE na lokaciji 4 instalirani pretok večji za  $590 \text{ l/s}$  ali slabih 15 % v primerjavi z lokacijo 1. V primerjavi z elektrarno z dolgim odvzemom pa je razlika kar  $901 \text{ l/s}$  oz. slabih 25 %.

Z večanjem pretoka pa se povečuje tudi proizvodnja električne energije, ki pa je odvisna tudi od razpoložljivega padca na določenem odseku. Ta se vzdolž vodotoka spreminja in je največji v zgornji polovici odseka. Tako je bilo ugotovljeno, da je največji padeč na lokaciji mHE 2 ( $12 \text{ m}$ ). Primerljive so tudi lokacije 1 ( $9 \text{ m}$ ) in 3 ( $11 \text{ m}$ ) medtem ko je padeč na lokaciji mHE 4 manjši ( $7 \text{ m}$ ). Tako je tudi proizvodnja električne energije na odseku mHE 2 največja in znaša  $2.203 \text{ MWh}$ . V Preglednici 42 so podani podatki o posamezni lokaciji.

Da bi lahko primerjali proizvodnjo električne energije glede na vrsto odvzema in število mHE, je bil ocenjen tudi izpušeni odsek z referenčnimi razmerami. V tem primeru gre, tako kot na lokaciji mHE 4, za odsek z manjšim padcem (ocena  $7 \text{ m}$ ). Srednji pretok na mestu odvzema  $sQ_s$  je v tem primeru enak srednjemu pretoku na vodomerni postaji Kokra 1. Tako je bilo izračunano, da je letna količina proizvedene električne energije na tem odseku primerljiva z proizvodnjo na Lokaciji 4 in znaša dobrih  $1.330 \text{ MWh}$ .

Preglednica 42: Izhodišča in izračuni proizvodnje električne energije posamezne lokacije

Odvzemno mesto	Ena mHE	Več mHE				Ref. odsek
	Lokacija 1	Lokacija 1	Lokacija 2	Lokacija 3	Lokacija 4	
Inštaliran pretok [l/s]	3.650	3.990	4.115	4.436	4.578	4.551
Ekološko sprejemljiv pretok Qes [l/s]	0,841/1,321	0,841	0,865	0,934	0,962	0,957
Razpoložljiva letna količina vode [ MIO m <sup>3</sup> ]	88,355	94,852	97,338	105,188	108,452	107,809
Izkoriščena letna količina vode [ MIO m <sup>3</sup> ]	84,611	90,744	93,338	100,670	103,808	103,192
Višinska razlika [m]	69	9	12	11	7	7
Moč [kW]	1.623	224	336	283	196	197
Proizvodnja el. energije [kWh]	10.977	1.521	2.203	2.152	1.338	1.337
	<b>10.977</b>	<b>7.214</b>				<b>1.337</b>

S primerjavo zgornjih rezultatov lahko ugotovimo, da je količina proizvedene električne energije v primeru odseka z eno mHE največja. Tudi če upoštevamo izpuščen odsek na referenčnem območju, dobimo proizvodnjo električne energije manjšo za okoli 2.500 MWh/leto. To pa je primerljivo z količino proizvedene energije v mHE na lokaciji 3.

Do razlik v proizvodnji električne energije pride predvsem zaradi deleža izkoristka celotnega odseka. Pri gradnji verige mHE s kratkim odvzemom moramo zaradi dviga gladine gorvodno, ki nastane zaradi gradnje jezua, upoštevati primerno medsebojno oddaljenost med posameznimi odvzemi in izpusti iz mHE. Pri tem pa izgubimo del razpoložljivega padca, ki je v primeru elektrarne z dolgim odvzemom izkoriščen. Tako tudi večja količina vode, ki je na voljo pri izkoriščanju odseka z mHE s kratkim odvzemom, ne upraviči gradnje verige elektrarn.

Za vsak izvedbeni primer je bila ocenjena tudi okvirna vrednost investicije. Pri tem je bila izračunana doba vračanja, ter neto sedanja vrednost investicije (NSV) po predvideni življenjski dobi objekta. Vrednost objekta je ocenjena z okvirnimi vrednostmi na kilovat instalirane moči, ki jih podaja Agencija za prestrukturiranje energetike (ApE, d.o.o, 2013). Po podatkih naj bi znašala investicija za obravnavano velikost mHE okoli 1700 €/kWe. Vrednost investicije mHE z dolgim odvzemom pa je bila izračunana na podlagi cene mHE do 50 kW (2200 €/kWe). S tem smo predvideli višjo ceno investicije predvsem zaradi izgradnje dolgega cevovoda oz. tunela. S finančno analizo je bilo tako ugotovljeno, da vsaka od obravnavanih investicij upraviči izgradnjo mHE. Pri tem je doba vračanja za mHE z dolgim odvzemom ocenjena na dobrih 8 let, NSV investicije pa 3,8 MIO €. Pri obravnavanju odseka z več mHE daje najboljše rezultate mHE na lokaciji 2. Pri tem je bilo izračunano, da je doba vračanja krajša od 6 let, NSV investicije pa je ocenjena na okoli 1 MIO €.

Pri odločitvi o gradnji mHE moramo upoštevati tudi okoljski vidik posega v rečno kontinuiteto. Tako za zajem vode v primeru verige mHE večkrat prekinemo rečno kontinuiteto. V ta namen je potrebno zgraditi tudi več prehodov za vodne organizme oz. ti. ribjih stez. Na odseku reke Kokre

je za namen disipacije odvečne energije in izboljšanja poplavne varnosti že sedaj veliko nizkih in visokih pragov, ki nimajo urejenih prehodov za vodne organizme. Tako lahko sklepamo, da bi s primerno izbiro lokacij in izvedbe zajemov mHE lahko razmere celo izboljšali.

## 6. ZAKLJUČKI

Slovenija se je, tako kot druge države članice EU, zavezala k postopnemu povečevanju deleža OVE. Pri tem mora vsaka država članica prepoznati in učinkovito izkoristiti svoje strateške prednosti. Ena ključnih prednosti Slovenije je prav gotovo hidroenergija. Naravne danosti nam omogočajo, da že danes velik del električne energije pridobimo v hidroelektrarnah na večjih in manjših slovenskih vodotokih. Rezerv pa je še vedno dovolj. Ocenjuje se, da je neizkoriščenega še okoli 40 odstotkov potenciala. Del tega potenciala odpade prav na manjše vodotoke in s tem na področje malih hidroelektrarn.

Pred odločitvijo o gradnji mHE pa je potrebno opraviti analizo hidroenergetskega potenciala izbranega odseka vodotoka. S tem pridobimo osnovne podatke o velikosti, moči, proizvodnji električne energije in ceni izgradnje posameznih izvedbenih možnosti. V ta namen je bila opravljena analiza hidroenergetskega potenciala reke Kokre. Pri tem je bilo ugotovljeno, da ima reka Kokra na 4,3 km odseku med obstoječo mHE Virnik in desnim pritokom Čemšenikškega potoka velik hidroenergetski potencial. V diplomski nalogi je bila tako opravljena analiza proizvodnje električne energije na izbranem odseku reke Kokre. V analizo sta bili, glede na vrsto mHE, obravnavani dve izvedbeni možnosti izkoriščanja. V prvem primeru smo celotni odsek obravnavali z eno mHE z dolgim odvzemom. V drugem pa smo odsek razdelili na območja mHE s kratkim odvzemom (krajši od 500 m). Pri tem je bil opravljen izračun razpoložljive količine vode, ki se glede na lokacijo in vrsto mHE, vzdolž vodotoka spreminja. S tem je bil primerjalno tudi ocenjen vpliv povečanega pretoka na skupno proizvodnjo električne energije za posamezni izvedbeni primer. S programom SMART Mini-Idro je bila za vsako lokacijo, glede na naravne danosti, izračunana proizvodnja električne energije. Podana je bila tudi okvirna vrednost posamezne investicije glede na velikost mHE in instalirano moč ter izračunana doba vračanja in NSV investicije. Tako smo lahko ovrednotili posamezno lokacijo in s tem opravili primerjavo.

V analizi smo ugotovili, da je v danem primeru, glede na količino proizvedene električne energije, najbolj primerno izkoriščanje odseka z eno mHE z dolgim odvzemom. Pri tem je proizvodnja električne energije 10.977 MWh oz. dobrih 22 % več kot v primeru izkoriščanja odseka z več mHE. Razlika nastane predvsem na račun deleža izkoriščenega odseka.

Pri primerjavi posameznih izvedbenih možnosti je potrebno izpostaviti tudi okoljski vidik gradnje verige mHE. Za potrebe odvzema moramo v primeru izkoriščanja odseka z več mHE zgraditi tudi večje število pregrad (v našem primeru 4), ki posegajo v rečno kontinuiteto. V ta namen moramo zagotoviti prehod za vodne organizme, ki lahko močno podražijo investicijo in s tem ogrozijo vlaganja. Ob primernem načrtovanju pa lahko pregrade služijo tudi kot sistem umirjanja pretokov in s tem zmanjšajo škodljivo delovanje voda na obravnavanih območjih.

Glede na opravljeno analizo energetske rabe odseka reke Kokre lahko sklepamo, da je izkoriščanje tega odseka vsekakor upravičeno. Iz vidika proizvodnje električne energije je najbolj primerna izvedbena možnost ene mHE z dolgim odvzemom. Vendar pa tudi posamezne izvedbene možnosti v primeru izkoriščanja odseka z več mHE kažejo na to, da je odsek glede na hidroenergetski potencial primeren za gradnjo mHE.

## 7. VIRI

ApE d.o.o. 2013 . Koristni nasveti za izgradnjo manjših elektrarn. Ljubljana. Priročnik: 42 str.

ESHA. 2004. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Brussels. Comission of the European Communities, Directorate General for Energy: 290 str.

Globevnik, L. 1998. Načrt urejanja povodja, vodnogospodarsko načrtovanje v okvirih približevanja Evropski skupnosti: načrt urejanja povodja Kokre: šopek kapljic za vsakogar. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za varstvo narave: 103 str.

Peviani M., Alterach J., Danelli A. 2011. SEE HYDROPOWER Project, targeted to improve water resource management for a growing renewable energy production, HYDRO 2011 – Praha October 17-19

Santolin, A., Cavazzini, G., Pavesi, G., Ardizzon, G., Rossetti, A. 2011. Techno-economical method for the capacity sizing of a small hydropower plant. Energy Conversion and Management 52: 2533-2541 (9 str.)

Staničič, D., Urbančič, A., Česen, M., et al. 2010. Nacionalni akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020. Ljubljana. IJS delovno poročilo: 134 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin: 295 str.

Šantl, S., Alterach, J., Kozelj, D. 2012. Razvoj informacijskega orodja za ugotavljanje učinkovitega hidroenergetskega potenciala. Acta hydrotechnica 25, 42: 17-28.

Šercelj, M. 2012. Splošna zasnova mHE s poudarkom na analizi hidravličnih izgub in izkoristkov, Seminarska naloga, Ljubljana, UL FGG

Šolc, L. 1986. Zgradimo majhno hidroelektrarno, 1-2 del: Moč dajeta padec in pretok vode; Napeljava vode. Ljubljana. Zveza organizacij za tehnično kulturo Slovenije: 57 str.

### **Uredbe**

Uredba o podporah električni energiji, proizvedeni iz obnovljivih virov energije Ur.l. RS, št. [37/2009](#)

Sklep o določitvi višine vodnega povračila za osnove vodnih povračil za rabo vode, naplavin in vodnih zemljišč za leto 2013 [Ur.l. RS, št. 102/2012](#)

Uredba o enotni metodologiji za pripravo in obravnavo investicijske dokumentacije na področju javnih financ Ur. l. RS, št 60/2006

Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje Ur.l. RS, št. [23/2004](#) ; Spremembe Ur.l. RS, št. [98/2008](#)

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka Ur.l.RS, št. 97-12919/2009

Uredba o vodnih povračilih Ur.l. RS, št. [103/2002](#) ; Spremembe: Ur.l. RS, št. [122/2007](#), [14/2013](#)

### **Eleklektronski viri**

Atlas okolja

[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)

Standards manuals guidelines for small hydro development (8.4.2015)

<http://www.ahec.org.in/links/STANDARDS/HYDRAULIC%20TURBINES%20OD%20THAPER.pdf>

UMAR

[http://www.umar.gov.si/fileadmin/user\\_upload/publikacije/pr/2012/05/04\\_obnovljivivirienergije.pdf](http://www.umar.gov.si/fileadmin/user_upload/publikacije/pr/2012/05/04_obnovljivivirienergije.pdf) (11.7.2016)

MOP. Poročilo o plačilih koncesij za proizvodnjo elektrike v malih hidroelektrarnah z analizo vpliva višine plačila za koncesijo na ta sektor proizvodnje električne energije in analizo vplivov drugih razmerij razdelitve plačila koncesij med državo in občino

[http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/dokumenti/koncesijia\\_mHE\\_analiza\\_visine\\_koncesije\\_b.doc](http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/dokumenti/koncesijia_mHE_analiza_visine_koncesije_b.doc) ( 13.10.2013)

Hydroenergetski potencial. Elektrogospodarstvo Slovenije d.d.

<http://www.powerlab.uni-mb.si/Predavanja/Download/Voda/Mravljak.doc> (5.11.2015)

Kuphaldt, T. R. Lessons In Electric Circuits.

[https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/AC/AC\\_13.html](https://www.ibiblio.org/kuphaldt/electricCircuits/AC/AC_13.html) (23.7.2016)

SEEHYDROPOWER. Manual for sustainable surface water resources management and review of the national legislation concerning the WFD and RES-E directives

[http://www.seehydropower.eu/project/files/14/SEE\\_Hydropower\\_WP3\\_D3.1\\_TUG\\_111117.pdf](http://www.seehydropower.eu/project/files/14/SEE_Hydropower_WP3_D3.1_TUG_111117.pdf) (3.3.2016)

Finance: Kako do male hidroelektrarne

<http://www.finance.si/283930/Kako-do-male-hidroelektrarne> (21.5.2016)

### **Ostali viri**

Alexander, K. V., Giddens, E. P. 2008. Optimum penstocks for low head microhydro schemes. Renewable Energy 33: 507-519 (13 str.)

Anagnostopoulos, J. S., Papanonis, D, E. 2007. Optimal sizing of a run-of-river small hydropower plant. Energy Conversion and Management 48: 2663-2670 (8 str.).

Kryžanovski, A., Brilly, M., Porenta, M., Tomšič, L. 2008. Hydro potential and development opportunities in Slovenia. Hydropower & Dams 5: 41-46 (6 str.)

Mays, L. W. 1999. Hydraulic design handbook. New York. Mc Graw-Hill: loč. pag

Selak, L., Sluga, A. 2009. Mobilni nadzor male hidroelektrarne. Ventil: revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo 15 (3): 240-245 (6 str.)

Singal, S. K., Saini, R. P., Raghuvanshi, C. S. 2010. Optimization of low-head, dam-toe, small hydropower projects. Journal of renewable and sustainable energy 2 (4): 13 str.

Steinman, F., Banovec, P. 2004. Hidrotehnika: vodne zgradbe I. Ljubljana. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin: loč. pag.

Yi, C.-S., Lee, J.-H., Shim, M.-P. 2010. Site location analysis for small hydropower using geospatial information system. Renewable Energy 35: 852-861 (10 str.)

**SEZNAM PRILOG:**

PRILOGA A: IZKORISTKI TURBINE GLEDE NA ZMANJŠAN PRETOK ZA POSAMEZNE  
LOKACIJE mHE

PRILOGA B: SREDNJI SREDNJI PRETOK  $Q_{SR}$  S PRIPADAJOČO PRISPEVNO POVRŠINO  
VODOTOKA ZA REKO KOKRO OD IZLIVA V SAVO DO IZVIRA

PRILOGA C: KRIVULJA TRAJANJA RAZPOLOŽLJIVEGA PRETOKA NA LOKACIJI  
ODVZEMA

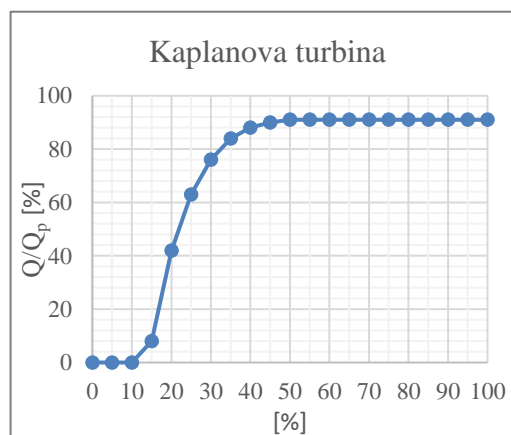
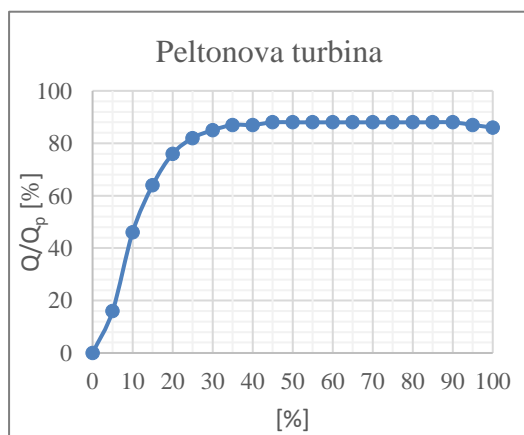
PRILOGA D: Q-H DIAGRAM IN PODOLŽNI PROFIL REKE KOKRE



PRILOGA A: Izkoristki turbine glede na zmanjšan pretok za posamezne lokacije mHE

Lokacija Dolg odvzem			Lokacija 1		Lokacija 2	Lokacija 3	Lokacija 4
Vrsta turbine	Pelton		Kaplan		Kaplan	Kaplan	Kaplan
Q/Q <sub>p</sub> [%]	Izkoristek turbine [%]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Izkoristek turbine [%]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
0	0	0	0	0	0	0	0
5	16	0,18	0	0,20	0,21	0,22	0,23
10	46	0,37	0	0,40	0,41	0,44	0,46
15	64	0,55	8	0,60	0,62	0,67	0,69
20	76	0,73	42	0,80	0,82	0,89	0,92
25	82	0,91	63	1,00	1,03	1,11	1,14
30	85	1,1	76	1,20	1,23	1,33	1,37
35	87	1,28	84	1,40	1,44	1,55	1,60
40	87	1,46	88	1,60	1,65	1,77	1,83
45	88	1,64	90	1,80	1,85	2,00	2,06
50	88	1,83	91	2,00	2,06	2,22	2,29
55	88	2,01	91	2,19	2,26	2,44	2,52
60	88	2,19	91	2,39	2,47	2,66	2,75
65	88	2,37	91	2,59	2,67	2,88	2,98
70	88	2,56	91	2,79	2,88	3,11	3,20
75	88	2,74	91	2,99	3,09	3,33	3,43
80	88	2,92	91	3,19	3,29	3,55	3,66
85	88	3,1	91	3,39	3,50	3,77	3,89
90	88	3,29	91	3,59	3,70	3,99	4,12
95	87	3,47	91	3,79	3,91	4,21	4,35
100	86	3,65	91	3,99	4,12	4,44	4,58

Izkoristki turbine glede na zmanjšan pretok:

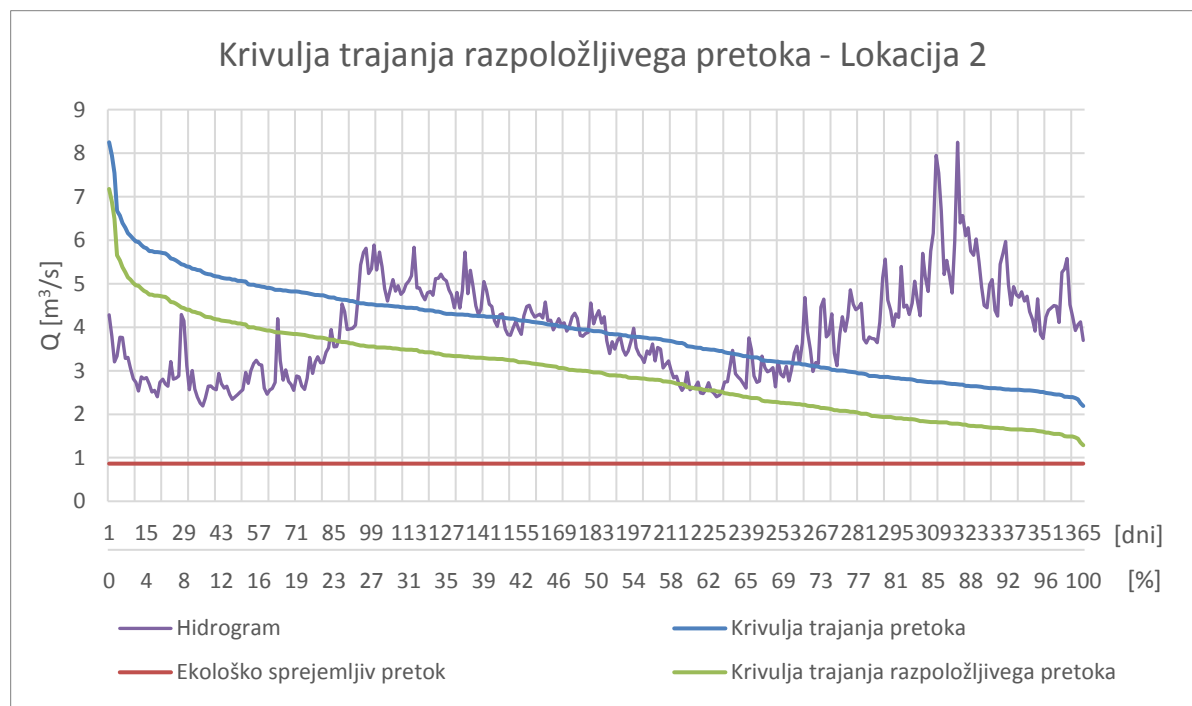
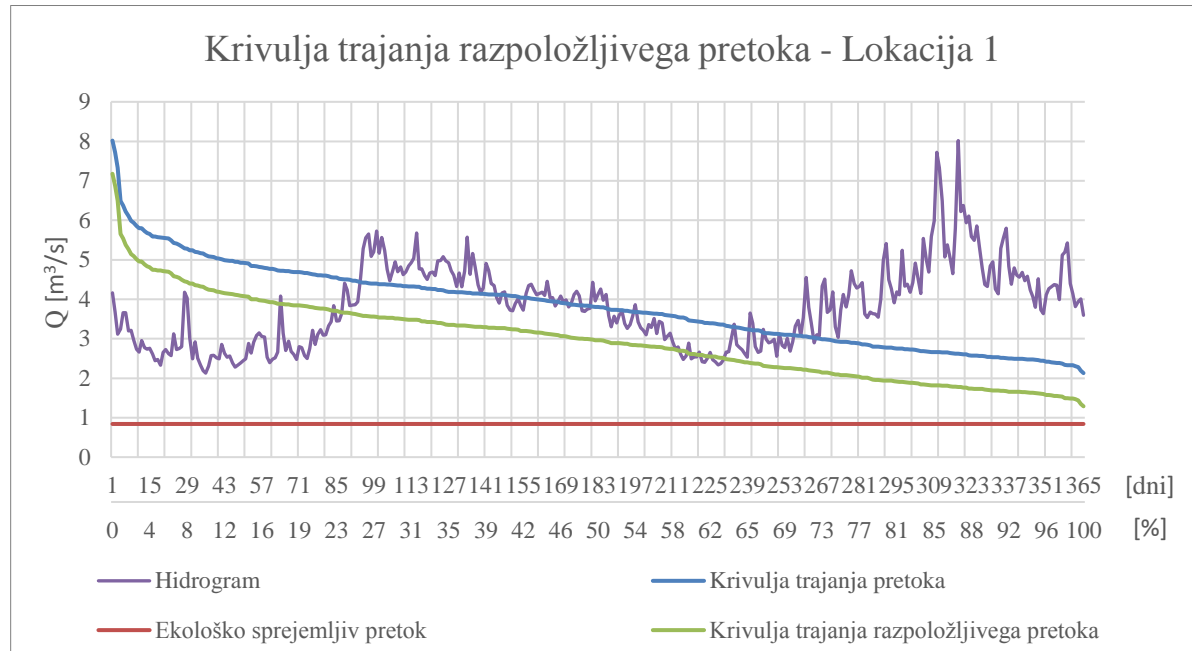


## PRILOGA B: Srednji srednji pretok Qsr s pripadajočo prispevno površino vodotoka za reko Kokro od izliva v Savo do izvira (Izračun: Sašo Šantl)

Stacionaža [km]	Površina [km <sup>2</sup> ]	Qsr[m <sup>3</sup> /s]	Stacionaža [km]	Površina [km <sup>2</sup> ]	Qsr [m <sup>3</sup> /s]
0	221,3412	5,32	17,6	116,245	4,35
0,44	221,1669	5,32	18,04	114,6306	4,34
0,88	220,9219	5,32	18,48	112,7412	4,32
1,32	220,4544	5,32	18,92	110,6569	4,24
1,76	220,2119	5,31	19,36	110,29	4,23
2,2	219,605	5,31	19,8	105,4175	4,04
2,64	150,57	4,67	20,24	101,7275	3,9
3,08	150,2225	4,67	20,68	101,1937	3,88
3,52	150,0781	4,67	21,12	99,09812	3,8
3,96	148,6362	4,65	21,56	98,12437	3,77
4,4	148,385	4,65	22	97,88812	3,76
4,84	147,7781	4,64	22,44	87,83938	3,38
5,28	147,5519	4,64	22,88	87,2675	3,36
5,72	147,4063	4,64	23,32	80,91187	3,12
6,16	147,1738	4,64	23,76	78,55813	3,03
6,6	147,01	4,64	24,2	78,13625	3,01
7,04	143,6938	4,61	24,64	77,43063	2,98
7,48	142,9837	4,6	25,08	76,29375	2,94
7,92	142,8244	4,6	25,52	75,37875	2,91
8,36	142,71	4,6	25,96	69,06125	2,67
8,8	142,3837	4,59	26,4	67,59563	2,61
9,24	142,1675	4,59	26,84	66,72375	2,58
9,68	141,8019	4,59	27,28	66,03938	2,55
10,12	141,6687	4,59	27,72	63,99187	2,48
10,56	141,055	4,58	28,16	63,75125	2,47
11	140,5963	4,58	28,6	62,46938	2,42
11,44	140,1738	4,57	29,04	45,41813	1,77
11,88	135,3806	4,53	29,48	44,5275	1,74
12,32	127,3881	4,46	29,92	43,83375	1,71
12,76	127,005	4,45	30,36	43,57063	1,7
13,2	126,1356	4,44	30,8	30,23125	1,2
13,64	125,1269	4,43	31,24	29,93063	1,19
14,08	124,3913	4,43	31,68	21,96	0,89
14,52	123,4306	4,42	32,12	20,60875	0,84
14,96	122,9825	4,41	32,56	20,50687	0,83
15,4	122,4019	4,41	33	19,66187	0,8
15,84	121,4187	4,4	33,44	15,29125	0,64
16,28	120,76	4,39	33,88	15,24687	0,63
16,72	117,4244	4,36	34,32	15,0725	0,63
17,16	116,7363	4,36	34,76	11,16938	0,48

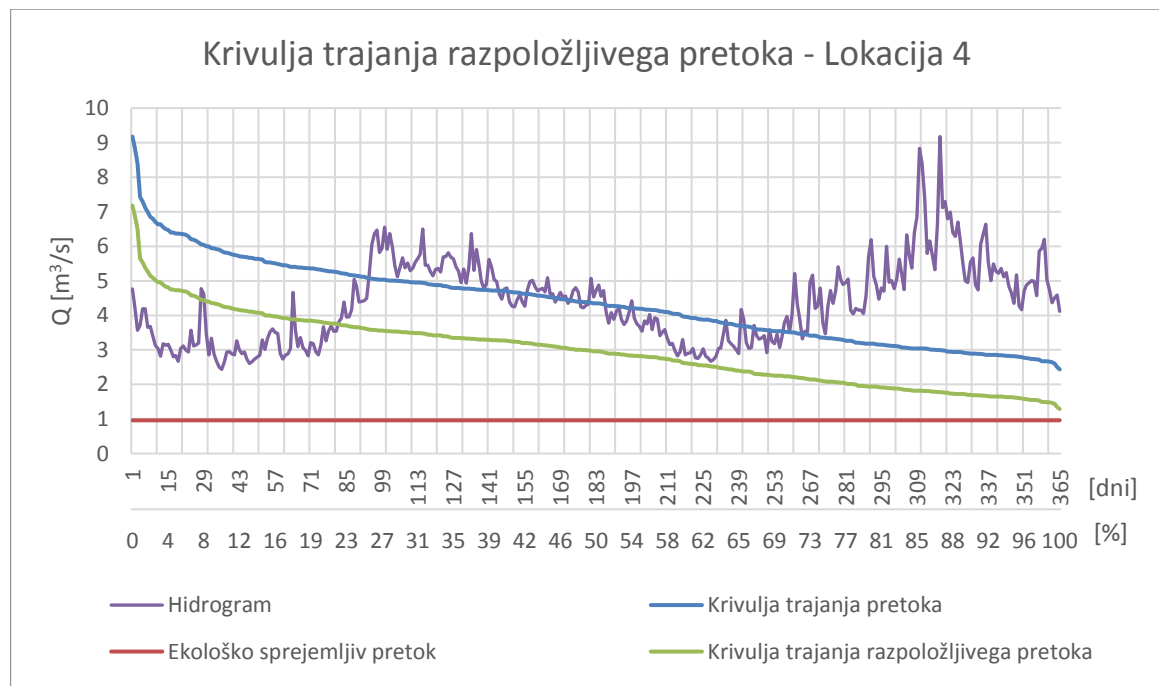
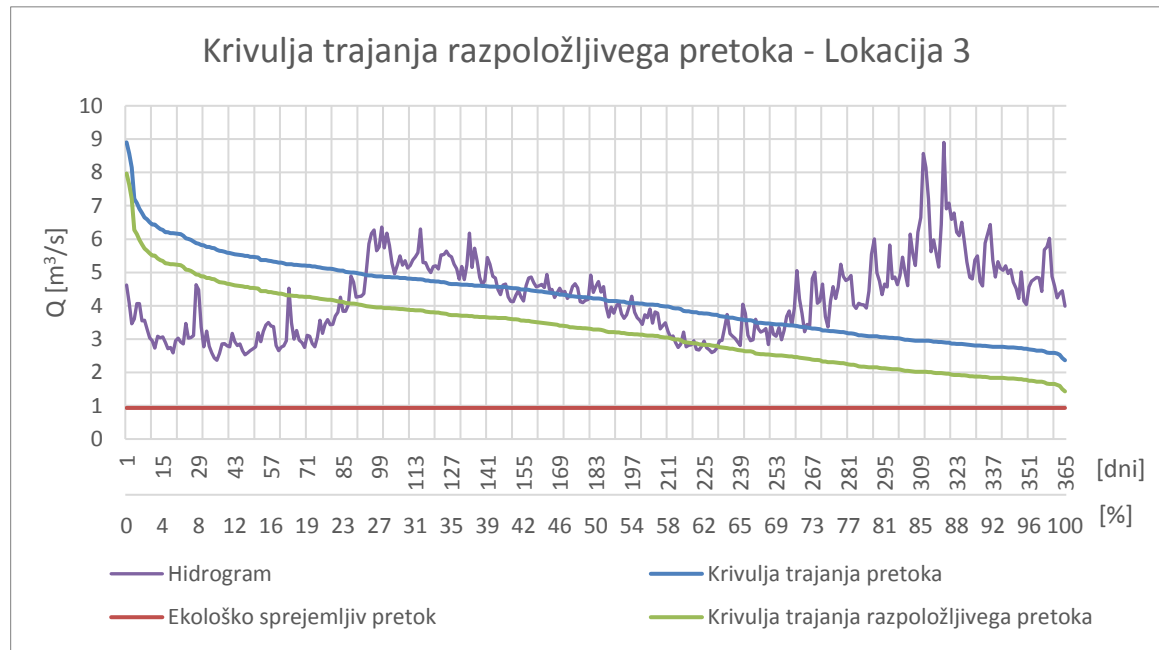
Obraunavani odsek je označen z modro barvo.

PRILOGA C 1: Krivulja trajanja razpoložljivega pretoka na lokaciji odvzema 1 in 2





PRILOGA C 2: Krivulja trajanja razpoložljivega pretoka na lokacijo odvzema 3 in 4



PRILOGA D: Q-H diagram in podolžni profil reke Kokre (Sašo Šantl)

