

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:

Svažič, T., 2016. Analiza možnosti energetske izrabe HE Žegar na reki Zrmanji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Kryžanowski, A.): 56 str.

Datum arhiviranja: 21-09-2016

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:

Svažič, T., 2016. Analiza možnosti energetske izrabe HE Žegar na reki Zrmanji. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Kryžanowski, A.): 56 pp.

Archiving Date: 21-09-2016

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 GRADBENIŠTVO
KOMUNALNA SMER**

Kandidat:

TOMAŽ SVAŽIČ

**ANALIZA MOŽNOSTI ENERGETSKE IZRABE HE
ŽEGAR NA REKI ZRMANJI**

Diplomska naloga št.: 3499/KMS

**ASSESSMENT OF HYDROENERGETIC POTENTIAL
OF THE ŽEGAR HPP ON THE ZRMANJA RIVER**

Graduation thesis No.: 3499/KMS

Mentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 15. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

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

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Tomaž Svažič, vpisna številka 26104152, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Analiza možnosti energetske izrabe HE Žegar na reki Zrmanji

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/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a 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.

Podpis študenta:

Kraj in datum: V Ljubljani, 26. 8. 2016

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.8(497.5)
Avtor:	Tomaž Svažič
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Naslov:	Analiza možnosti energetske izrabe HE Žegar na reki Zrmanji
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	56 str., 18 pregl., 41 sl., 1 pril.
Ključne besede:	pretok, derivacijska hidroelektrarna, akumulacijska hidroelektrarna, energetska proizvodnja

Izvleček

V diplomski nalogi je bil na osnovi večletnih meritev pretokov vodomerne postaje Nadvode, 7245 na reki Zrmanji na Hrvaškem izračunan energetski hidropotencial morebitne hidroelektrarne Žegar. Reka Zrmanja je namreč energetska še neizkoriščena in kot takšna nudi prostor za energetska izkoriščanje. Trenutni trendi v energetiki dajejo prednost t.i. obnovljivim virom energije. Ljudje so se namreč pričeli zavedati dejstva, da je izkoriščanje fosilnih goriv omejeno in da hkrati s svojo potrošnjo povzročajo velike okoljske rane. Hidroelektrarne kot vir energije pa med svojim obratovanjem v okolje ne oddajajo skoraj nobenih emisij ter ne porabljajo drugih energentov. Tako jih uvrščamo med obnovljive vire. V ta namen je bil preučen hrvaški pravilnik o podporah za energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov. Na osnovi geodetskih podatkov je bil modeliran teren v okolici lokacije hidroelektrarne Žegar ter določene glavne tehnične karakteristike elektrarne, ki kakorkoli vplivajo na izračun hidroenergetskega potenciala hidroelektrarne Žegar. Podatki srednjih dnevnih pretokov za obdobje meritev so bili obdelani in ovrednoteni in kot takšni potem upoštevani v preračunu hidroenergetskega potenciala. Hidroenergetski potencial lokacije je bil izračunan za dva tipa hidroelektrarn, in sicer za derivacijsko hidroelektrarno in akumulacijsko hidroelektrarno. Oba potenciala se je medsebojno primerjalo. V nadaljevanju sta bila oba tipa hidroelektrarn ocenjena tudi stroškovno. Na koncu je bila na osnovi predhodno izračunanega hidroenergetskega potenciala opravljena še ekonomska analiza upravičenosti morebitnih investicij v oba tipa hidroelektrarn, in sicer na osnovi letnih prihodkov, odhodkov in sposobnosti vračanja morebitnega kredita za izgradnjo hidroelektrarne.

BIBLIOGRAPHIC-DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	627.8(497.5)
Author:	Tomaž Svažič
Supervisor:	Andrej Kryžanowski, Ph. D.
Title:	Assessment of hydroenergetic potential of the Žegar HPP on the Zrmanja River
Document type:	Graduation thesis – University studies
Notes:	56 p., 18 tab., 41 fig., 1 ann.
Key words:	flow, derivational hydropower plant and the accumulative hydropower, energy production

Abstract

In this thesis, based on measurements of the water flow at the water measurement station Nadvode, 7245 on the Zrmanja river in Croatia, conducted over the course of several years, the energy hydro-potential of the potential Žegar hydropower plant was calculated. The Zrmanja river is not yet utilised for harvesting energy and as such offers possibilities for harvesting energy. Current energy trends emphasise to so-called renewable sources of energy. People have become aware of the fact that the utilisation of fossil fuels is limited and that at the same time their consumption causes great harm to the environment. On the other hand, hydropower plants, as a source of energy, emit almost no emissions in the course of their operation and do not consume other energy products. Therefore, they are classified as renewable sources of energy. For this purpose, the Croatian Rules on the Support for Energy Produced by Renewable Sources of Energy have been analysed. Based on geodetic data, a model was made of the terrain in the surrounding area of the Žegar hydropower plant as well as certain main technical characteristics of the power plant, which may in any way affect the calculation of the hydro-energetic potential of the Žegar hydropower plant. Data about the medium daily flows during the period of measurements was processed, evaluated and later considered in the calculation of the hydro-energetic potential. The hydro-energetic potential of the location was calculated for two types of hydropower plants, namely for the derivational hydropower plant and the accumulative hydropower plant. Both potentials have been compared with each other. Later, both types of hydropower plants were cost-assessed as well. Finally, based on the previously calculated hydro-energetic potential, an economic analysis of the feasibility of possible investments in both types of hydropower plant was conducted, this was achieved based on annual revenues, expenditures and the ability to pay back a possible loan for the construction of the hydropower plant.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu za pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Posebej se zahvaljujem tudi svoji družini, ki me je podpirala med pisanjem diplomske naloge kot tudi med študijem.

Za lektoriranje diplomske naloge se zahvaljujem gospe Mariji Kolenc.

Hvala tudi vsem, ki so verjeli, da mi bo uspelo.

KAZALO

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOKUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO.....	VI
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	X
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilj naloge.....	1
2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE.....	3
3 LOKACIJA	4
3.1 Zrmanja.....	5
4 TOPOGRAFSKI PODATKI.....	8
4.1 Geodetski posnetek terena	8
4.2 Prečni profili	9
4.3 Vzdolžni profil.....	12
5 HIDROLOŠKI PODATKI	13
5.1 Veliki, srednji in mali mesečni pretoki	13
5.2 Mokro, sušno, povprečno leto	15
5.3 Krivulje trajanja.....	18
5.4 Hidrogram dnevni pretokov.....	20
6 DOLOČANJE VIŠINSKEGA BRUTO POTENCIALA	24
7 DERIVACIJSKA HIDROELEKTRARNA	25
7.1 Razpoložljiv energetski potencial derivacijske hidroelektrarne	26
7.2 Ocena stroška izgradnje derivacijske hidroelektrarne	30
7.3 Prihodki derivacijske hidroelektrarne.....	31
7.4 Izbira tipa turbine	32
8 AKUMULACIJSKA HIDROELEKTRARNA.....	34
8.1 Profili.....	36

8.2	Pregrada.....	36
8.3	Določanje volumna akumulacije.....	37
8.4	Določanje trenutnega volumna akumulacije v odvisnosti od kote gladine	37
8.5	Določanje najvišje dnevne razlike gladine (največje dnevno nihanje gladine).....	38
8.6	Razpoložljiv energetski potencial akumulacijske hidroelektrarne	40
8.6.1	Potencial na osnovi dnevnih pretokov celotnega obdobja	40
8.6.2	Potencial za mokro, sušno in povprečno leto	42
8.7	Ocena stroška izgradnje akumulacijske hidroelektrarne	43
8.8	Prihodki akumulacijske hidroelektrarne.....	44
8.9	Primerjava hidroenergetskih potencialov akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne	46
9	EKONOMSKA UPRAVIČENOST IZGRADNJE HIDROELEKTRARNE	48
9.1	Stroškovna učinkovitost derivacijske hidroelektrarne.....	48
9.2	Stroškovna učinkovitost akumulacijske hidroelektrarne.....	50
10	ZAKLJUČEK.....	52
VIRI.....		55
PRILOGE		A1

KAZALO SLIK

Slika 1: Ostanke opustošenega mlina v neposredni okolici lokacije HE Žegar	1
Slika 2: Lokacija hidroelektrarne Žegar [7]	4
Slika 3: Kanjon reke Zrmanje v spodnjem toku [10]	5
Slika 4: Izvir reke Zrmanje - Vrelo Zrmanje [lasten vir].....	5
Slika 5: Kanjon reke Zrmanje gorvodno od lokacije pregrade HE Žegar [lasten vir]	6
Slika 6: Obstoječa črpalna hidroelektrarna Velebit na reki Zrmanji [13].....	6
Slika 7: Geodetski posnetek	8
Slika 8: Prikaz prečnih profilov A–C in 1–6, kjer je strojnica hidroelektrarne na mestu profila 1.	10
Slika 9: Mesta prečnih profilov 7–12	11
Slika 10: vzdolžni potek dna struge reke Zrmanje na odseku med strojnico hidroelektrarne Žegar in mestom zajema vode za derivacijsko hidroelektrarno	12
Slika 11: Diagram nihanja malih pretokov Q_{np} po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013.....	13
Slika 12: Diagram nihanja srednjih pretokov Q_s po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013....	14
Slika 13: Diagram nihanj velikih pretokov Q_{vk} po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013.....	15
Slika 14: Diagram letnih pretokov za 3 mokra leta: 2004, 2010 in 2013	16
Slika 15: Diagram mesečnih pretokov za sušna leta: 1989, 2006, 2007, 2011 in 2012	16
Slika 16: Diagram mesečnih pretokov za povprečna leta obdobja	17
Slika 17: Krivulja trajanja pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245 za obdobja 1986–1991 in 1999–2013.	18
Slika 18: Krivulje tranja pretoka za mokra leta.....	19
Slika 19: Krivulje trajanja pretoka za sušna leta	19
Slika 20: Primerjava krivulj trajanja pretoka – mokro, sušno, povprečno leto in celotno obdobje meritev	20
Slika 21: Hidrogram pretokov za mokro leto – 2010	21
Slika 22: Hidrogram pretokov za sušno leto – 2011.....	22
Slika 23: Hidrogram za povprečno leto – 2009.....	22
Slika 24: Skica derivacijske hidroelektrarne – prirejeno po [18]	24
Slika 25: Skica akumulacijske hidroelektrarne – prirejeno po [18].....	24
Slika 26: Lokacija hidroelektrarne Žegar z vrisano lokacijo zajema vode za derivacijsko hidroelektrarno na ortofoto posnetku [19].....	25
Slika 27: Eden izmed mnogih vmesnih izvirov na reki Zrmanji [lasten vir].....	27

Slika 28: Diagram odvisnosti povprečne letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarne od inštaliranega pretoka hidroelektrarne	28
Slika 29: Diagram letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarn za mokro, sušno in povprečno leto .	29
Slika 30: Diagram odvisnosti stroškov izgradnje derivacijske hidroelektrarne od nazivne moči	30
Slika 31: Diagram za določitev tipa turbine [20]	32
Slika 32: Francisova turbina [21]	33
Slika 33: Posnetek kanjona reke Zrmanje gorvodno od lokacije hidroelektrarne Žegar [22]	34
Slika 34: Tloris akumulacije hidroelektrarne Žegar z vrisano lokacijo težnostne pregrade	35
Slika 35: Ločna pregrada akumulacijske hidroelektrarne Žegar	36
Slika 36: Težnostna pregrada za akumulacijo hidroelektrarne Žegar	36
Slika 37: Diagram odvisnosti volumna akumulacije od kote gladine vode (kota gladine izražena v nadmorski višini).....	38
Slika 38: Diagram povprečne letne proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne v odvisnosti od skupnega inštaliranega pretoka akumulacijske hidroelektrarne	41
Slika 39: Diagram proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne za mokro, sušno in povprečno leto	42
Slika 40: Diagram odvisnosti stroškov izgradnje akumulacijske hidroelektrarne od nazivne moči	44
Slika 41: Diagram primerjave povprečnih letnih proizvodenj akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne	47

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti malih pretokov Q_{np} (m^3/s) po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013	13
Preglednica 2: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti srednjih pretokov Q_s po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013	14
Preglednica 3: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti velikih pretokov Q_{vk} (m^3/s) po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013	15
Preglednica 4: Izračun hidroenergetskega potenciala derivacijske hidroelektrarne	27
Preglednica 5: Letne proizvodnje (kWh) derivacijske hidroelektrarne za sušno, mokro in povprečno leto ter povprečna letna proizvodnja v obdobjih meritev 1986–1991 in 1999–2013 za različne inštalirane pretoke	29
Preglednica 6: Stroški izgradnje derivacijske hidroelektrarne v odvisnosti od nazivne moči.....	30
Preglednica 7: Prihodki derivacijske hidroelektrarne s prikazano povratno dobo investicije za primera prodaje proizvedene električne energije po tržni ceni 40,00 EUR/kWh ter po t.i. subvencionirani ceni za obnovljive vire električne energije 111,40 EUR/kWh.	31
Preglednica 8: Površine prečnih profilov na različnih kotah gladine vode v akumulaciji – iz programa HEC RAS	37
Preglednica 10: Izračun hidroenergetskega potenciala akumulacijske hidroelektrarne	41
Preglednica 11: Letne proizvodnje (kWh) akumulacijske hidroelektrarne za sušno, mokro in povprečno leto ter povprečna letna proizvodnja v obdobju meritev 1986–1991 in 1999–2013 za različne inštalirane pretoke.....	42
Preglednica 12: Višina stroškov izgradnje akumulacijske hidroelektrarne	43
Preglednica 13: Prihodki akumulacijske hidroelektrarne Žegar za različne inštalirane pretoke oziroma moči	45
Preglednica 14: Primerjava povprečnih letnih proizvedenj akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne.....	46
Preglednica 15: Vhodni podatki, ki smo jih uporabili pri preračunu ekonomske učinkovitosti derivacijske hidroelektrarne	49
Preglednica 16: Prihodki in odhodki derivacijske hidroelektrarne za prvih 14 let obratovanja.....	49
Preglednica 17: Vhodni podatki za preračun ekonomske učinkovitosti akumulacijske hidroelektrarne.....	50
Preglednica 18: Prihodki in odhodki akumulacijske hidroelektrarne za prvih 14 let obratovanja	50

KRATICE

HE Hidroelektrarna

NSV Neto sedanja vrednost

HRK Hrvatska kuna

RH Republika Hrvatska

1 UVOD

1.1 Namen in cilj naloge

Namen diplomske naloge je ugotoviti oz. preveriti hidroenergetski potencial reke Zrmanje, natančneje hidroenergetski potencial lokacije morebitne hidroelektrarne na lokaciji Žegar in oceniti smiselnost izgradnje hidroelektrarne na tej lokaciji.

Hidroelektrarna Žegar je kot potencialna lokacija navedena v študiji izkoriščanja vodnega potenciala v Strategiji energetskega razvoja Republike Hrvaške [1].

Po podatkih iz navedene študije naj bi znašal energetski potencial reke Zrmanje 0,10 TWh električne energije letno, na lokaciji Žegar pa naj bi bilo možno izvesti hidroelektrarno nazivne moči 8,80 MW. Tip elektrarne, ki bi jo bilo mogoče izvesti po podatkih študije, ni definiran.

Izkoriščenost reke Zrmanje v hidroenergetske namene je zelo slaba. Če ne upoštevamo črpalne elektrarne Velebit [2], ki naj bi po prvotnih načrtih trošila nočne viške nikoli zgrajenih jedrskih elektrarn na Hrvaškem, na reki Zrmanji ni delujoče hidroelektrarne.

Precejšnje število mlinov (od katerih jih je v izvornem stanju ostalo zelo malo), vse od izvira reke Zrmanje pa do njenega spodnjega toka, govori v prid izkoriščanju reke Zrmanje v hidroenergetske namene.



Slika 1: Ostanke opustošenega mlina v neposredni okolici lokacije HE Žegar

Za oceno hidroenergetskega potenciala lokacije Žegar na reki Zrmanji je treba predhodno pridobiti hidrološke in topografske podatke širšega območja lokacije Žegar.

Hidrološke podatke je treba obdelati in pretvoriti v obliko, primerno za nadaljnjo obdelavo in izračune. V ta namen je treba izdelati krivulje trajanja pretokov, hidrograme, določiti rečni režim obravnavanega odseka reke Zrmanje.

Topografske podatke je treba smiselno uporabiti in na njihovi osnovi izdelati prečne in vzdolžni profil trase. Na osnovi teh profilov je treba določiti geometrijske karakteristike hidroelektrarne.

Nadalje je treba na osnovi obdelanih hidroloških in topografskih podatkov po enačbah za moč in energijo določiti povprečno letno proizvodnjo hidroelektrarne, kar na koncu opišemo kot hidroenergetski potencial obravnavane lokacije.

Zaradi večje verodostojnosti izračunanega potenciala je treba izdelati še ekonomsko analizo, to je preveriti upravičenost izgradnje hidroelektrarne. V ta namen je treba pridobiti podatke o stroških investicije v izgradnjo hidroelektrarne, cenah za proizvedeno električno energijo iz hidroelektrarn ter stroških in načinih financiranja takšne investicije.

2 OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE

Hidroelektrarne spadajo po mnenju mnogih med najbolj »čiste« vire energije. Med svojim obratovanjem v okolje ne spuščajo nikakršnih toplogrednih plinov ali kako drugače onesnažujejo okolje. Prav zato se hidroelektrarne uvrščajo med t.i. obnovljive vire energije, natančneje med obnovljive vire električne energije.

Izkoriščanje obnovljivih virov energije je eden izmed strateških interesov Republike Hrvaške, kar utemeljujejo sprejeta t.i. Strategija energetskega razvoja Republike Hrvaške [3] ter niz drugih zakonov in predpisov, s katerimi se urejajo energetske dejavnosti v Republiki Hrvaški.

Z izkoriščanjem obnovljivih virov želijo na Hrvaškem v največji meri izpolniti nekatere cilje. Uresničiti državni cilj glede rabe energije iz obnovljivih virov v neposredni rabi energije v letu 2020 (Nacionalni cilj korištenja energije iz obnovljivih izvora energije u ukupnoj neposrednoj potrošnji energije u Republici Hrvatskoj u 2020. godini). Povečevanje izkoriščanja lastnih naravnih energetskih virov. Dolgoročno zmanjševanje energetske odvisnosti od uvoza energentov. Učinkovito izkoriščanje energije in zmanjševanje vpliva rabe fosilnih goriv na okolje. Ustvarjanje novih delovnih mest in razvoj podjetništva v panogi energetike in drugih dejavnostih, ki se oživijo z razvojem energetskih projektov in njihovih rezultatov v lokalnih skupnostih. Razpršitev proizvodnih virov energije, in s tem izboljšanje varnosti oskrbe.

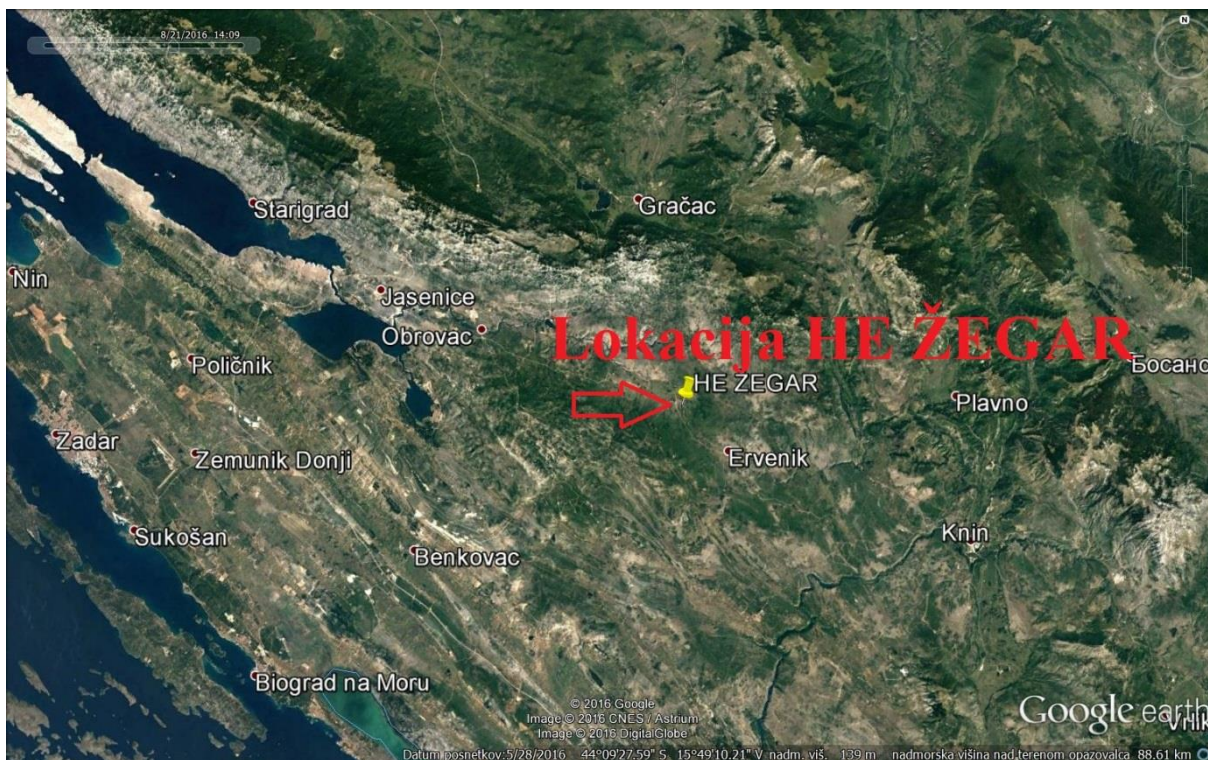
V ta namen je bil na Hrvaškem sprejet Zakon o obnovljivih virih energije in visoko učinkoviti kogeneraciji [4].

Po navedenem zakonu se obravnavana hidroelektrarna Žegar uvršča med obnovljive vire energije in je kot takšna upravičena do t.i. obratovalne podpore [5]. Obratovalna podpora je namenjena električni energiji, ki jo hidroelektrarna proizvede in preda v elektrodistribucijsko omrežje.

Obratovalna podpora je natančneje definirana v tarifnem pravilniku za proizvedeno energijo iz obnovljivih virov [6].

Po navedenem pravilniku znaša obratovalna podpora za proizvedeno električno energijo iz hidroelektrarn 845,50 HRK za vsako proizvedeno megavatno uro električne energije (MWh), kar po veljavnem menjalnem tečaju za hrvaško kuno na dan 9. 8. 2016 pomeni 111,40 EUR/MWh.

3 LOKACIJA



Slika 2: Lokacija hidroelektrarne Žegar [7]

Lokacija hidroelektrarne Žegar se nahaja v Republiki Hrvaški, ki je razdeljena na 20 županij [8]. Po tej delitvi se lokacija nahaja v Zadarski županiji, pripada pa občini Obrovac.

Mesto Obrovac [9] kot upravno središče občine Obrovac leži ob reki Zrmanji, točneje ob njenem spodnjem toku, 12 km pred izlivom reke Zrmanje v Novigradsko morje.

Lokaciji hidroelektrarne Žegar je najbližji kraj Kaštel Žegarski.

Širše območje lokacije hidroelektrarne Žegar je območje, kjer mejijo tri hrvaške županije: Zadarska, Ličko-senjska in Šibensko-kninska.

Podnebje je pretežno celinsko, z zelo vročimi poletji in nizkimi temperaturami pozimi.

Lokacija hidroelektrarne Žegar je pretežno prometno dobro povezana z Obrovcem, do koder pa vodijo ceste z več smeri. Do same lokacije hidroelektrarne je treba speljati približno 600 m dostopne poti, kar pa glede na konfiguracijo terena naj ne bi predstavljalo posebne ovire.

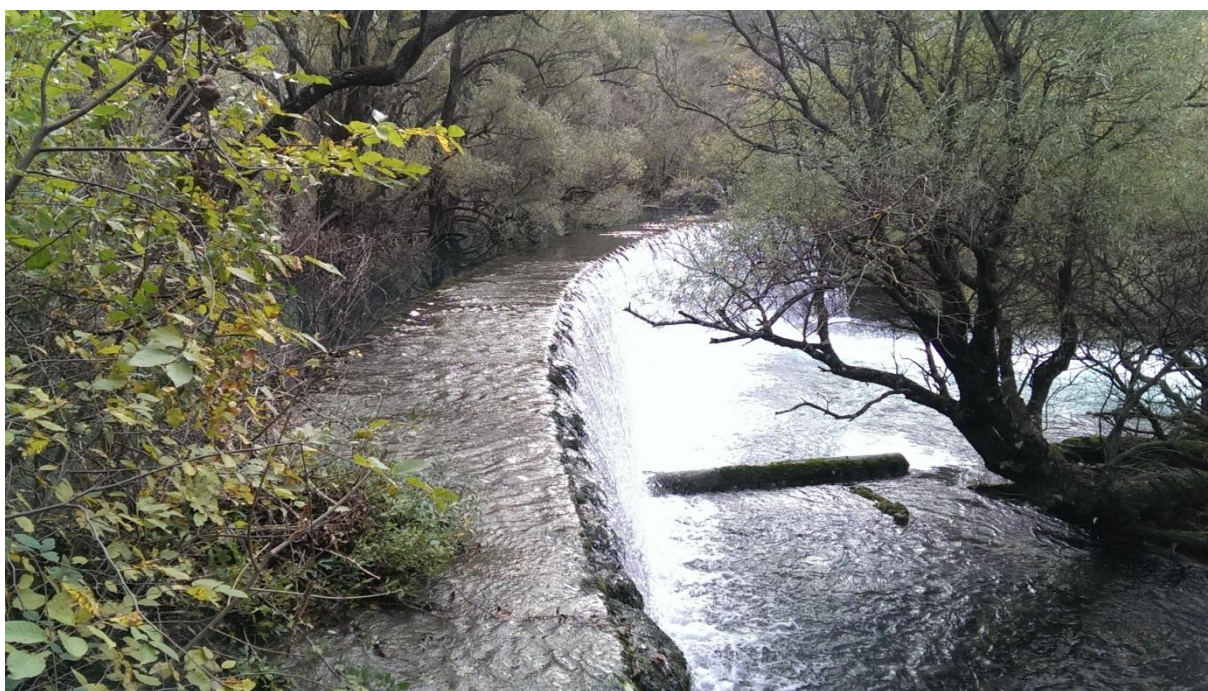
Daljnovid, na katerega se priključuje hidroelektrarna Žegar, je od lokacije oddaljen približno 4.000 m.

3.1 Zrmanja



Slika 3: Kanjon reke Zrmanje v spodnjem toku [10]

Zrmanja izvira pod vrhom Poštak na planini Velebit v južnem delu hrvaške Like. Izliva se v Novigradsko morje. Izvir je lijakaste oblike [11].



Slika 4: Izvir reke Zrmanje - Vrelo Zrmanje [lasten vir]

Po dolgi in ozki dolini, obdani z ravnimi polji, reka Zrmanja pri kraju Kravlje Drage vstopa v globok kanjon, ki se ponovno razširi v dolino Mokro polje. Na zahodnem delu Mokrega polja reka izgublja dobršen del vode v kraško podzemlje, kar je še posebej opazno v poletnih mesecih. Nadzemni tok se spet pojavi na površju pri »izviru« Crno vrelo pod vasjo Vujanič, od kjer dalje se reka prebija po plitvem kanjonu do Žegarskega polja. Na koncu tega kanjona je bilo zgrajenih več mlinov, od katerih je ohranjenih zelo malo. Prav na mestu nekdanjega mlina, pod vasjo Žegar, je predvidena lokacija strojnice hidroelektrarne Žegar.

Za krajem Žegar reka Zrmanja vstopa v globok kanjon, čigar stene so visoke tudi do 300 m. Od tod dolvodno, kjer se Zrmanji priključi tudi njen največji pritok, reka Krupa, je nastalo veliko število

prelepih naravnih slapov. Na poti do izliva v morje velja omeniti še akumulacijsko jezero črpalne hidroelektrarne Velebit ter plovnost reke Zrmanje od izliva do kraja Obrovac [12].



Slika 5: Kanjon reke Zrmanje gorvodno od lokacije pregrade HE Žegar [lasten vir]



-Slika 6: Obstoječa črpalna hidroelektrarna Velebit na reki Zrmanji [13]

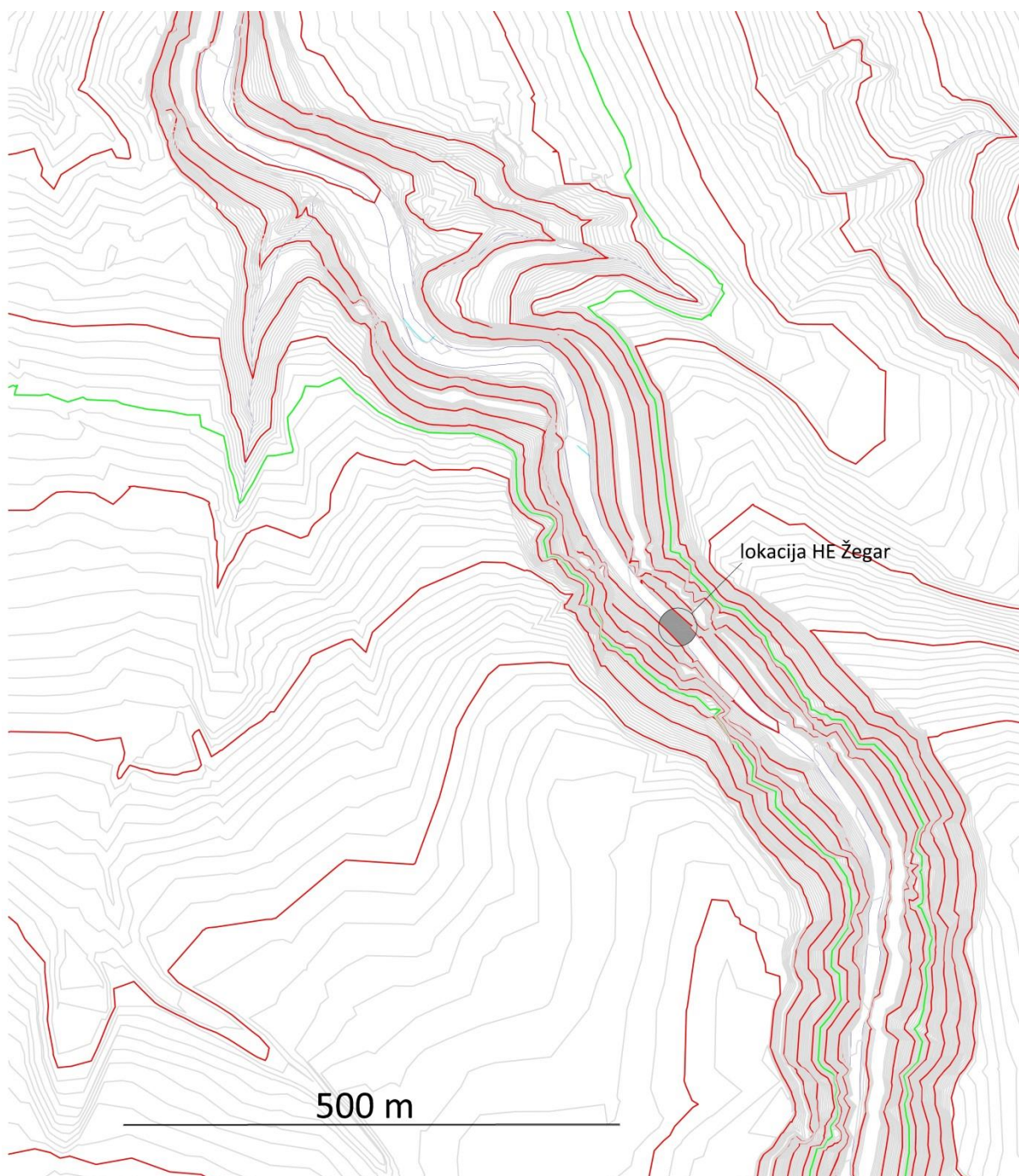
Reka Zrmanja izvira na nadmorski višini 395 m ter je dolga 69 km. To pomeni, da ima povprečen padec 5,7 m na kilometer. Porečje reke Zrmanje je široko. Čeprav se v reko Zrmanjo največji del vode zliva s planine Poštak, imajo velik vpliv na količino vode tudi ponori na robovih kraških polj pri Gračacu, ki se kažejo kot številni izviri vzdolž toka reke Zrmanje [14].

Sestava tal na območju toka reke Zrmanje je precej raznolika. Opazimo lahko apnenca in dolomite na območju izliva, vodoprepustne stene iz apnenca, slabo prepustne stene iz dolomita in plošč apnenca ter neprepustne stene iz peščenjaka, škriljavcev, laporja in dolomita [15].

4 TOPOGRAFSKI PODATKI

4.1 Geodetski posnetek terena

Za obravnavano lokacijo je bil narejen detajlni geodetski posnetek terena vključno z vsemi višinskimi kotami. Posneto je bilo dno korita struge, obala ter stene kanjona v precej širšem obsegu, kot je zaježitveno območje akumulacije predvidene hidroelektrarne.



Slika 7: Geodetski posnetek

Na geodetskem posnetku (slika 7) so desetice višin (80, 90 ...) označene rdeče, izohipsa višine 115 pa zeleno.

Geodetski podatki so bili zbrani v elektronski obliki in obdelani s programom AutoCad.

Geodetski posnetek je bil glavna podlaga za izdelavo prečnih profilov in vzdolžnega profila struge reke na območju predvidene hidroelektrarne.

4.2 Prečni profili

Na podlagi geodetskega posnetka v elektronski obliki smo v programu AutoCad vrisali lokacijo strojnice hidroelektrarne Žegar. Lokacija je bila izbrana tako, da bi morebitna postavitve pregrade akumulacijske hidroelektrarne bila najenostavnejša, oz. bi bile količine, potrebne za postavitve pregrade, najmanjše. Tako smo pregrado (strojnico) locirali na rob t.i. kanjona in dobili zaprt bazen – akumulacijo na enostavnejši način. Za to točko, gledano dolvodno, se kanjon na hitro razširi, kar pa je neugodno za izvedbo pregrade. Hkrati pa se od te točke dolvodno padec struge precej zmanjša (kar je razvidno iz vzdolžnega profila na sliki 10). Tako je izbrana točka optimalna tudi za izkoriščanje celotnega razpoložljivega potenciala.

Nato smo gorvodno od pregrade poiskali najbolj skrajno točko, ki na gorvodnem delu omogoča akumulacijo brez omembe vrednih dodatnih posegov. Želeli smo se izogniti vplivom, ki bi jih akumulacija lahko imela na okoliško infrastrukturo, poselitveno območje ter hkrati tudi vsem gradbenim ukrepom, ki bi bili obvezni, če akumulacije ne bi v celoti omejevale stene kanjona. Prišli smo do višinske kote 115 m, ki smo jo definirali kot najvišjo koto gladine akumulirane vode v akumulaciji. V tem primeru se skrajna točka nahaja približno 3.700 gorvodno od lokacije strojnice hidroelektrarne Žegar.

V primeru izvedbe derivacijske hidroelektrarne bi na tej točki (nadmorska višina 115 m) izvedli zajem vode, v primeru akumulacijske hidroelektrarne pa bi do te točke segala akumulirana voda v akumulaciji.

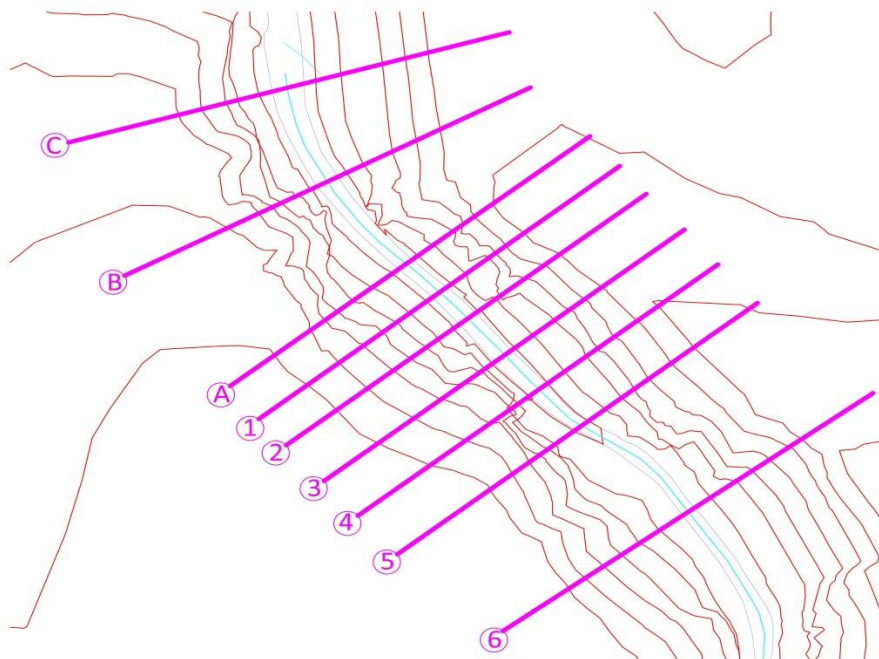
Na trasi od strojnice hidroelektrarne do zgoraj navedene skrajne točke smo označili 12 prečnih profilov, dolvodno od strojnice pa še dodatne 3 prečne profile, skupno torej 15 prečnih profilov.

Strojnico hidroelektrarne smo locirali na mesto profila 1. Prav tako bi na mestu profila 1 postavili pregrado za akumulacijsko hidroelektrarno.

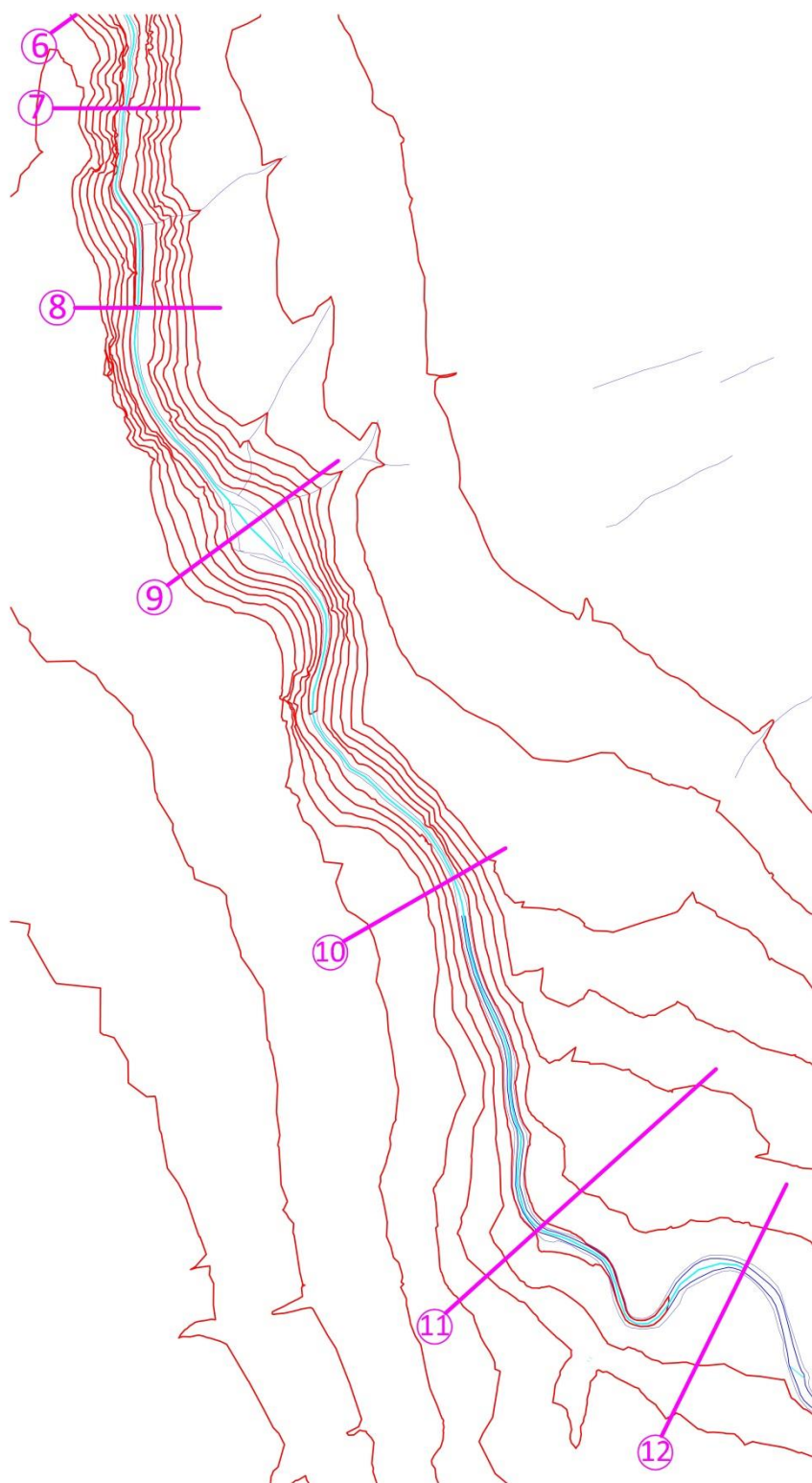
V okolici profila 1 smo uredili zgostitev prečnih profilov, saj smo želeli teren v okolici pregrade temeljito preučiti.

Profili A–C predstavljajo strugo reke Zrmanje dolvodno od lokacije hidroelektrarne Žegar oziroma dolvodno od pregrade akumulacije.

Profili 2–12 pa predstavljajo prečne profile reke gorvodno od lokacije hidroelektrarne. Ti prečni profili so hkrati tudi prečni profili akumulacije.



Slika 8: Prikaz prečnih profilov A–C in 1–6, kjer je strojnica hidroelektrarne na mestu profila 1.

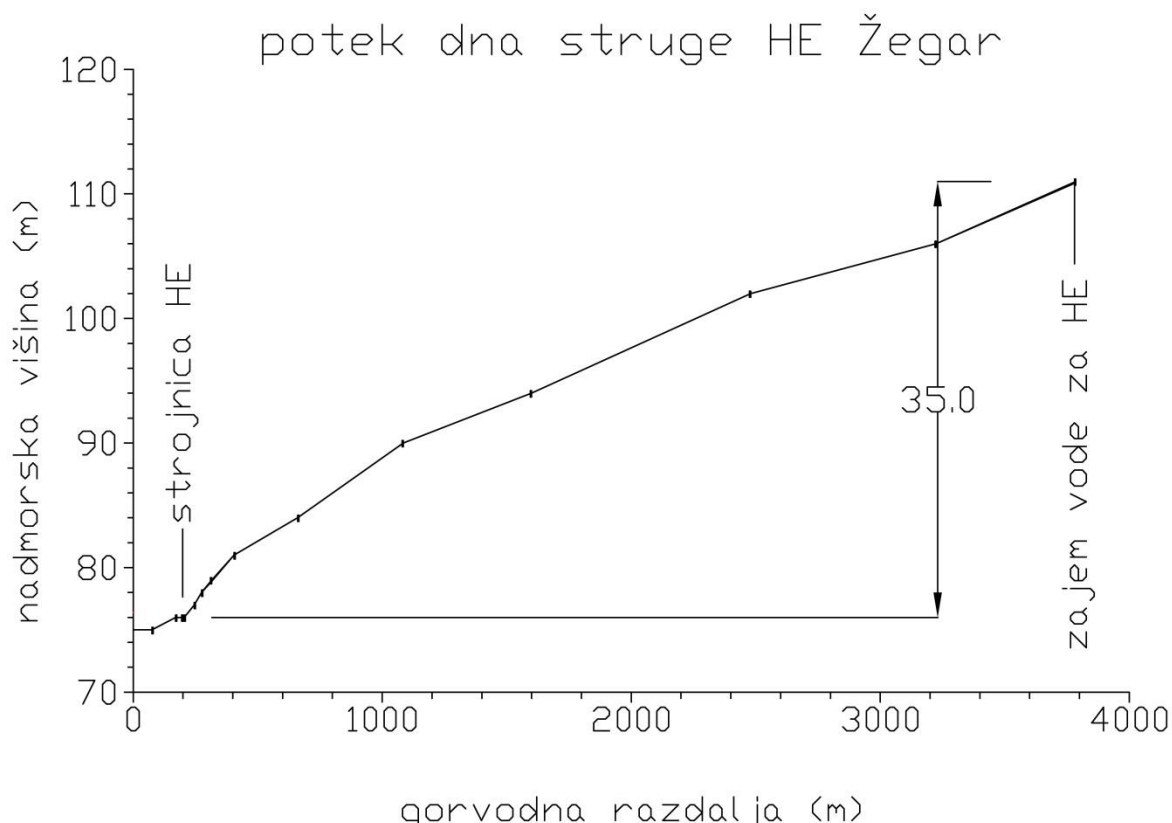


Slika 9: Mesta prečnih profilov 7–12

Geometrijske podatke prečnih profilov smo uporabili pri modeliranju struge v programu HEC RAS (PRILOGA A).

4.3 Vzdolžni profil

Za navedeno traso smo, prav tako na osnovi podatkov iz geodetskega načrta, izdelali še vzdolžni profil terena struge, ki je hkrati tudi potek dna akumulacije za akumulacijsko hidroelektrarno. Podatke za vzdolžni profil smo vzeli na mestih prečnih profilov, med prečnimi profili pa predpostavili linearni potek dna.



Slika 10: Vzdolžni potek dna struge reke Zrmanje na odseku med strojnico hidroelektrarne Žegar in mestom zajema vode za derivacijsko hidroelektrarno

Geometrijske podatke vzdolžnega poteka dna struge reke Zrmanje smo prav tako uporabili pri modeliranju v programu HEC RAS.

Pri izboru bruto višinskega potenciala (H_b) smo upoštevali geodetsko točko dna struge v profilu zajema vode oz. najvišjega vpliva akumulacije (profil 12) pri pretoku $0 \text{ m}^3/\text{s}$ in geodetsko točko dna struge v profilu strojnice, prav tako pri pretoku $0 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz vzdolžnega profila na sliki 10 razberemo višinsko razliko 35 m.

Opomba: Običajno pri določanju bruto višinskega potenciala privzamemo višinsko razliko med gladinama pri srednjem pretoku med gorvodno in dolvodno točko. To pa se bistveno ne razlikuje od našega primera, ker se padeč na tem odseku bistveno ne spreminja in lahko privzamemo razliko kot dno struge.

5 HIDROLOŠKI PODATKI

Pri izračunih so bili uporabljeni podatki hrvaškega hidrometeorološkega zavoda (Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske), in sicer podatki vodomerne postaje Nadvode, 7245.

Pridobiti je bilo mogoče hidrološke podatke navedene vodomerne postaje za obdobja 1986–1991 in 1999–2013. Vodomerne postaje Nadvode, 7245 v obdobju 1992–1998 zaradi vojnih razmer na obravnavanem območju ni delovala.

V obdobju meritev 1986–1991 in 1999–2013 je znašal povprečni dnevni pretok Q_s 4,2 m³/s. Največji dnevni pretok Q_{max} je znašal 121,1 m³/s, najmanjši Q_{min} pa 0,053 m³/s.

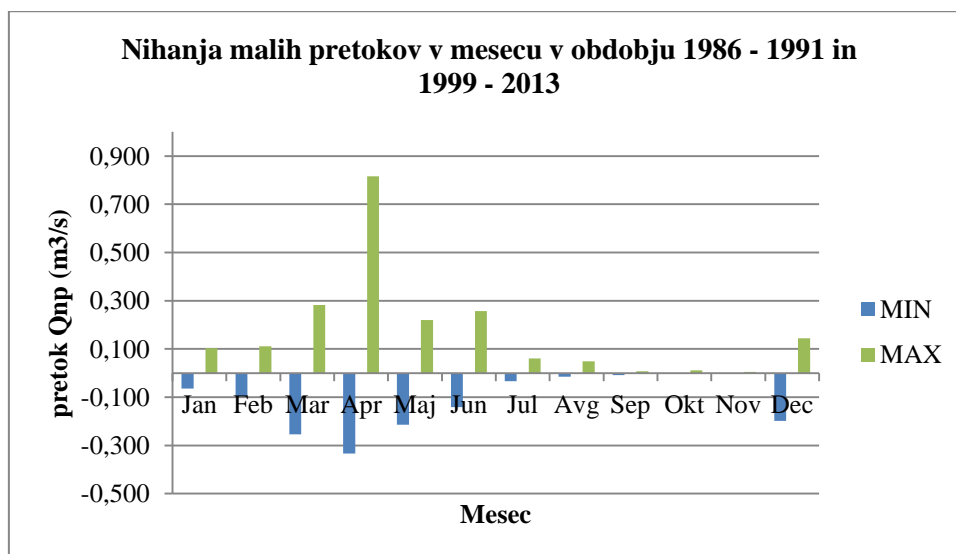
Podatek o ekološko sprejemljivem pretoku Q_{es} je bil pridobljen s strani pristojnega zavoda (Hrvatske vode) in za navedeno lokacijo znaša 1,65 m³/s.

5.1 Veliki, srednji in mali mesečni pretoki

Podatke pretokov za obdobje 1986–1991 in 1999–2013 smo v nadaljevanju obdelali in na njihovi osnovi določili minimalne, maksimalne in povprečne mesečne pretoke za vsak mesec v letu navedenega obdobja.

Preglednica 1: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti malih pretokov Q_{np} (m³/s) po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Min	-0,064	-0,095	-0,254	-0,334	-0,213	-0,141	-0,034	-0,014	-0,009	-0,003	-0,002	-0,199
Max	0,104	0,112	0,282	0,816	0,221	0,258	0,061	0,049	0,008	0,012	0,005	0,144

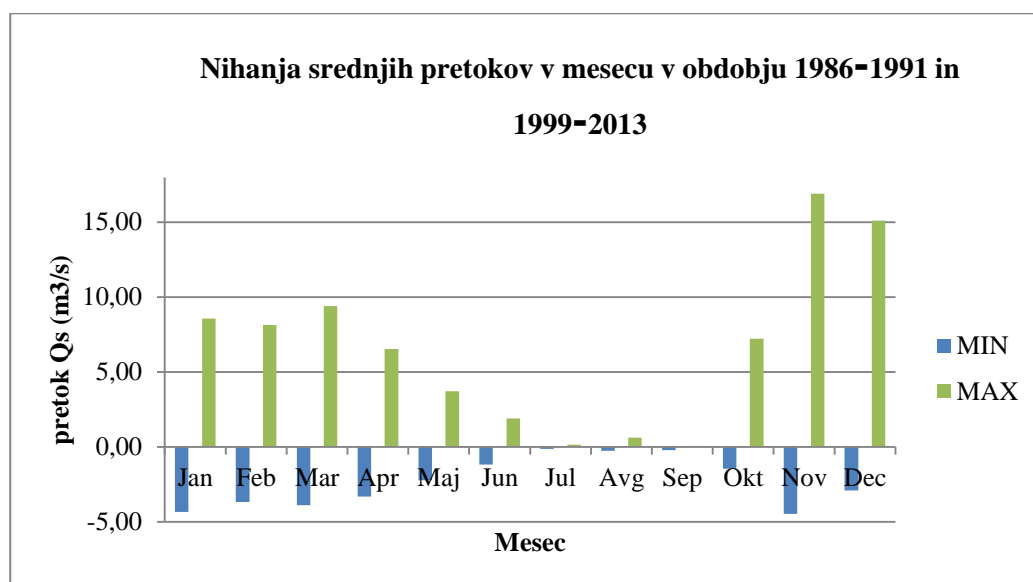


Slika 11: Diagram nihanja malih pretokov Q_{np} po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

Preglednica 1 in diagram na sliki 11 prikazujeta maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti srednjih malih pretokov Q_{np} v mesecu za obdobje izvajanja meritev pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245. Za vsak mesec v obdobju 21 let, kolikor so trajale meritve pretokov, so podane vrednosti najmanjšega in največjega odstopanja od srednje vrednosti malih pretokov. Iz diagrama razberemo zelo majhne vrednosti nihanj malih pretokov.

Preglednica 2: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti srednjih pretokov Q_s po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Min	-4,34	-3,68	-3,90	-3,32	-2,22	-1,18	-0,13	-0,27	-0,23	-1,45	-4,47	-2,91
Max	8,56	8,14	9,40	6,54	3,71	1,90	0,13	0,61	0,06	7,22	16,89	15,10



Slika 12: Diagram nihanja srednjih pretokov Q_s po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

V preglednici 2 in diagramu na sliki 12 so prikazane maksimalne in minimalne vrednosti odstopanj srednjih pretokov Q_s po mesecih za obdobje meritev pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245. Podane so vrednosti najmanjšega in največjega mesečnega odstopanja srednjega pretoka Q . Opazimo absolutno zelo velika nihanja vrednosti srednjih pretokov. Absolutno velika odstopanja minimalnih vrednosti lahko vplivajo na slabšo proizvodnjo hidroelektrarne, na kar želimo s tem diagramom opozoriti. Dejanske vrednosti pretokov so lahko bistveno nižje od predvidenih.

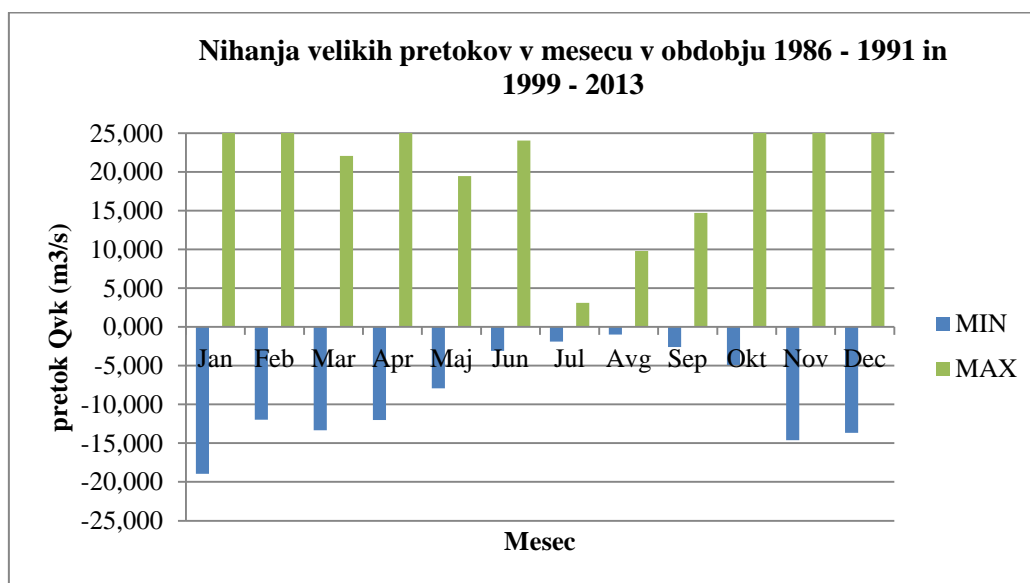
Podatki o najmanjšem srednjem pretoku nQ_s potrjujejo podatek o ekološko sprejemljivem pretoku Q_{es} , ki je bil pridobljen s strani pristojnega hrvaškega zavoda za vode (Hrvatske vode).

Pridobljen podatek navedenega zavoda govori o vrednosti ekološko sprejemljivega pretoka Q_{es} v višini $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$, kar pa je skoraj identično najmanjšemu srednjemu pretoku nQ_s v mesecu v obdobju

izvajanja meritev pretoka na vodomerni postaji Nadvode, 7245. V našem primeru znaša vrednost najmanjšega srednjega pretoka nQ_s 1,573 m³/s.

Preglednica 3: Maksimalna in minimalna odstopanja vrednosti velikih pretokov Q_{vk} (m³/s) po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Avg	Sep	Okt	Nov	Dec
Min	-18,950	-11,974	-13,346	-11,988	-7,918	-3,078	-1,878	0,952	-2,583	-4,911	-14,625	-13,647
Max	73,319	85,225	22,103	62,671	19,468	24,080	3,116	9,832	14,733	27,184	55,690	101,092



Slika 13: Diagram nihanj velikih pretokov Q_{vk} po mesecih v obdobju 1986–1991 in 1999–2013

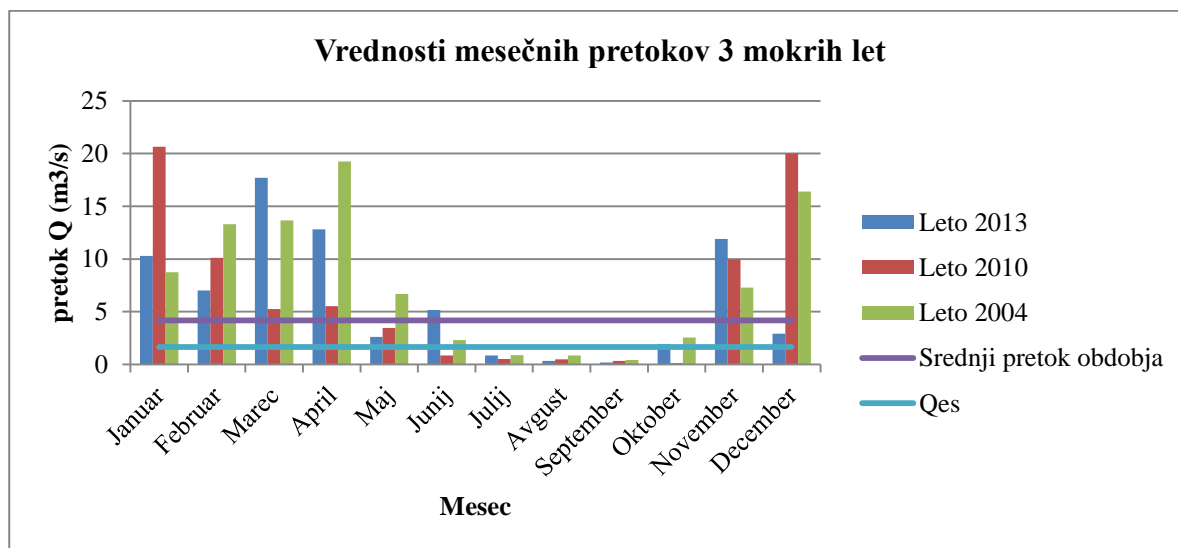
Preglednica 3 in diagram na sliki 13 prikazujeta nihanja vrednosti velikih pretokov Q_{vk} po mesecih v obdobju meritev pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245. Prikazane so vrednosti najmanjšega in največjega odstopanja velikih pretokov Q_{vk} , za posamezne mesece v obdobju meritev 1986–1991 in 1999–2013. Na diagramu nihanj velikih pretokov v mesecu smo na diagramu, zaradi lažje predstave, vrednosti odstopanj pretokov risali le do vrednosti 25,00 m³/s.

5.2 Mokro, sušno, povprečno leto

Nadalje smo na osnovi meritev vodomerne postaje Nadvode, 7245 za obdobje 1986–1991 in 1999–2013 določili mokra, sušna in povprečna leta. Takšno razporeditev bi označili kot realno, saj so pretoki dejanski (izmerjeni na vodomerni postaji) in kot takšni precej bolj zanesljivi ter posledično bolj primerni za nadaljnje računanje hidroenergetskega potenciala.

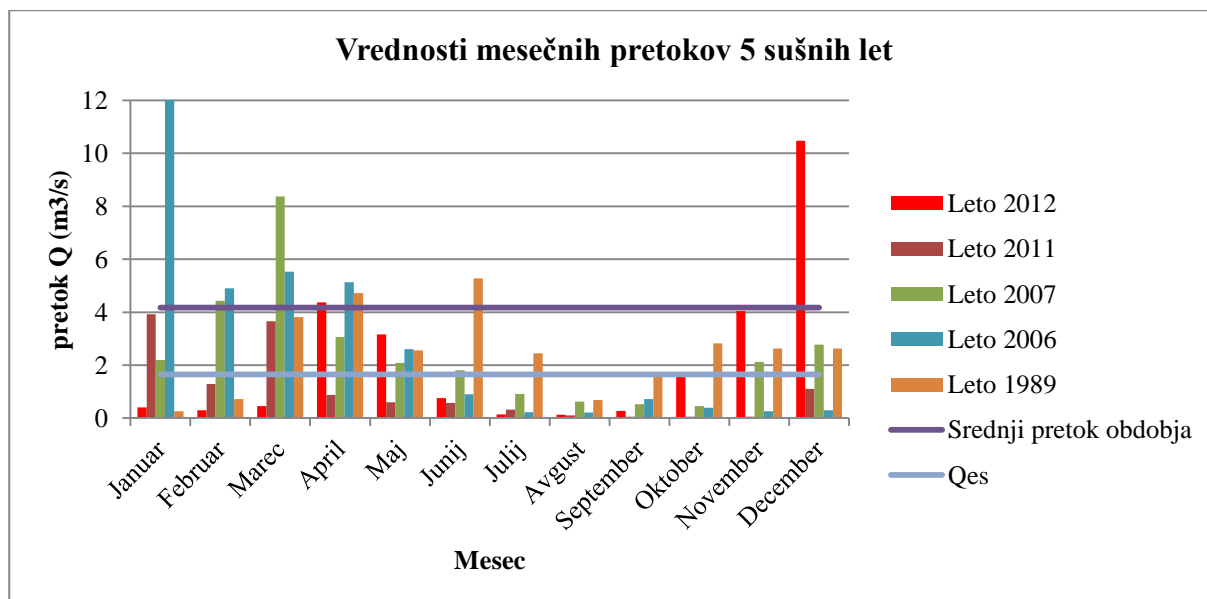
Za mokra leta smo določili leta, ko je bil letni pretok na vodomerni postaji Nadvode, 7245 bistveno nad povprečjem letnega pretoka za obravnavano obdobje 1986–1991 in 1999–2013. Povprečni letni

pretok na vodomerni postaji Nadvode, 7245 je v navedenem obdobju meritev znašal 131.602.629 m³. V obdobju meritev (21 let) so bila tako zabeležena 3 mokra leta, in sicer: 2004, 2010 in 2013.



Slika 14: Diagram letnih pretokov za 3 mokra leta: 2004, 2010 in 2013

Diagram pretokov za mokra leta (slika 14) ponovno kaže izredno nizke pretoke v poletnih mesecih (julij, avgust, september) in prav tako ne preveč izdatne pretoke v juniju in oktobru. Na osnovi teh podatkov sklepamo, da hidroelektrarna ne bi delovala najmanj 3 mesece v letu, nadaljnja 2 meseca pa bi delovala z zmanjšano močjo, saj so pretoki le malo večji od pretokao Q_{es} . Za sušna leta smo določili leta, ko je znašal letni pretok bistveno manj, kot je bil v obdobju meritev povprečni letni pretok. Takšnih let je bilo v obdobju meritev kar 5: 1989, 2006, 2007, 2011 in 2012.



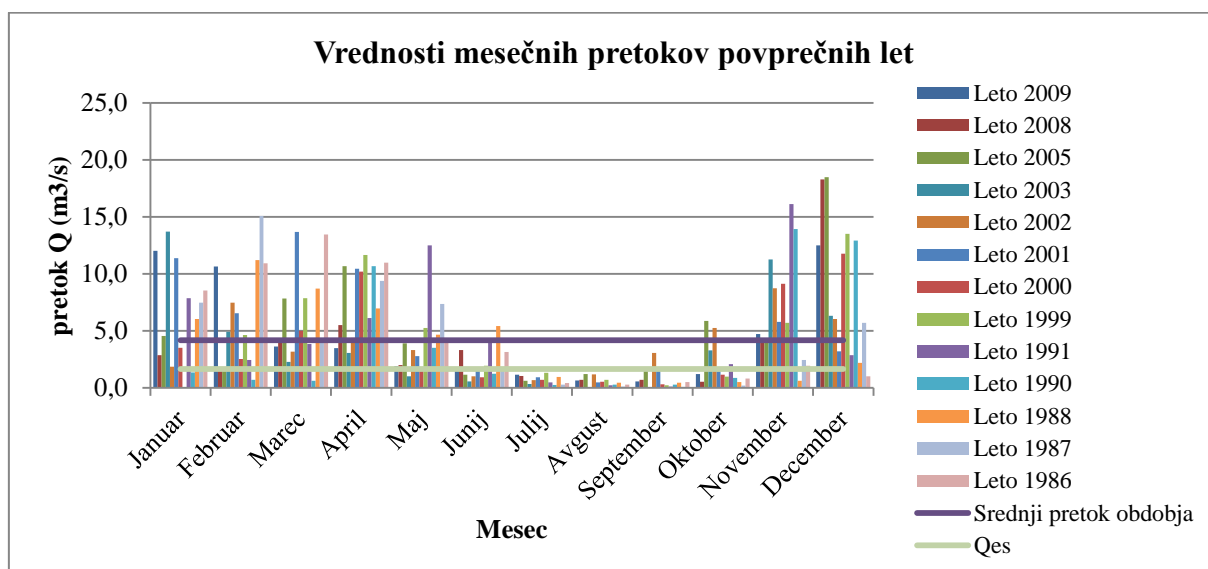
Slika 15: Diagram mesečnih pretokov za sušna leta: 1989, 2006, 2007, 2011 in 2012

Mnenja smo, da je 5 sušnih let v obdobju meritev 21 let precej visoko število. Tako je po našem mnenju verjetnost, da se zgodi sušno leto precej visoka. Hkrati opazimo, da se je v obdobju meritev kar 2-krat pojavilo zaporedje 2 sušnih let – 2006 in 2007 ter 2011 in 2012. Zaporedje dveh sušnih let pomeni po našem mnenju večje tveganje izredno slabe letne proizvodnje hidroelektrarne, kar bi lahko v skrajnem primeru pomenilo tudi velik primanjkljaj prihodkov potencialnemu investitorju hidroelektrarne, kar bomo preverili v nadaljevanju naloge.

Iz diagrama na sliki 15 vidimo, da hidroelektrarna v primeru sušnega leta ne bi delovala najmanj 5 mesecev. Hkrati pa približno 3 mesece z izredno zmanjšano močjo. Vrednosti pretokov v teh treh mesecih komaj presežejo vrednost ekološko sprejemljivega pretoka $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$. To bi v takšnem primeru pomenilo obratovanje hidroelektrarne največ 4 mesece letno. Proizvodnja električne energije pa bi bila zelo nizka tudi v teh 4 mesecih.

Vsa ostala leta smo označili kot povprečna leta. Takrat se je letni pretok gibal v mejah povprečnega letnega pretoka po meritvah v obdobju 1986–1991 in 1999–2013. Takšnih let je bilo v obdobju 21 let, kolikor so trajale meritve pretokov, 13.

Diagram mesečnih pretokov za povprečna leta (slika 16) prav tako kaže najmanj 3 mesece nizkih pretokov in posledično nedelovanje hidroelektrarne ter dodatno še slabe 3 mesece delovanja elektrarne z znižano močjo (pretoki so v teh treh mesecih malo večji od ekološko sprejemljivega pretoka $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$). Tako bi hidroelektrarna v primeru povprečnega leta obratovala dobrih 6 mesecev in pol.



Slika 16: Diagram mesečnih pretokov za povprečna leta obdobja

Iz diagramov na slikah 14, 15 in 16 je razviden dežni rečni režim [16] reke Zrmanje.

Za dežni režim so značilne visoke vode v mrzli polovici leta in izrazito nizke vode v poznem poletju. Take značilnosti imajo vodotoki v južnem delu jadranskega povodja, kamor spada tudi reka Zrmanja.

Na diagramih opazimo visoke pretoke v mesecu novembru, ki trajajo celo zimo vse do meseca aprila. Pretoki pričnejo upadati v mesecu maju, kar se nadaljuje vse do meseca septembra oz. oktobra. Izraziti nižek na diagramih opazimo poleti, julija in avgusta, ko so pretoki zelo nizki.

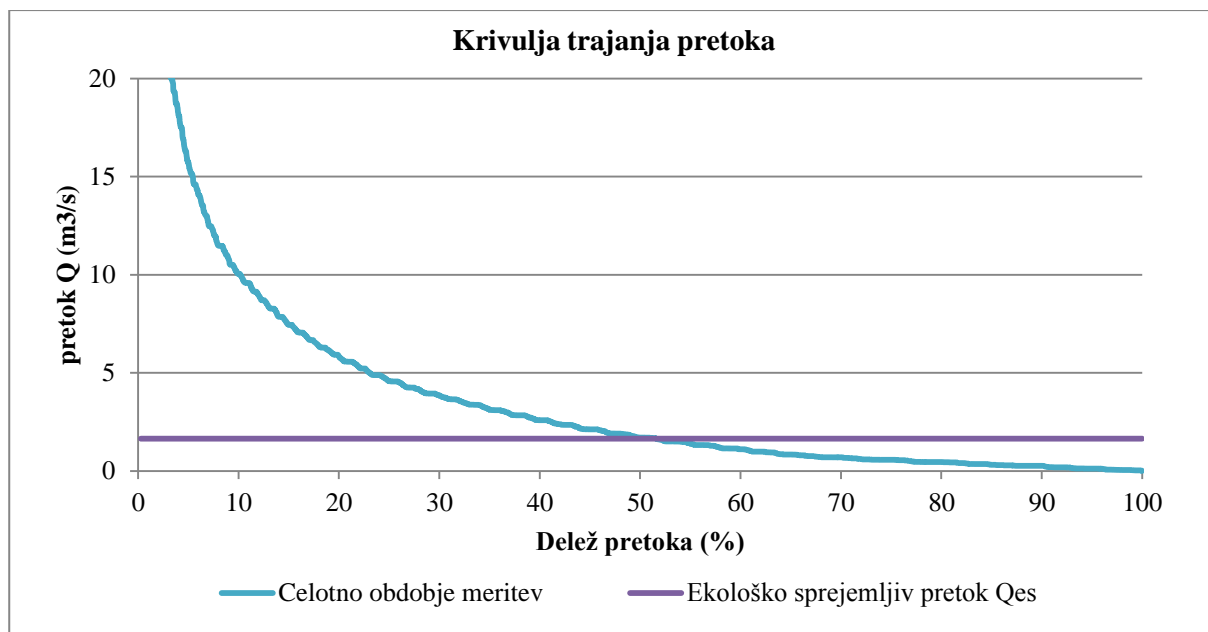
Izredno nizki pretoki (mokra, sušna, in povprečna leta) v poletnih mesecih nakazujejo izredno veliko verjetnost, da hidroelektrarna v mesecih julij, avgust in september ne bo delovala, oz. da je treba pri računih hidroenergetskega potenciala v poletnih mesecih predvideti ničelno proizvodnjo.

5.3 Krivulje trajanja

Na osnovi pridobljenih podatkov z vodomerne postaje Nadvode, 7245 smo izdelali krivuljo trajanja za celotno obdobje meritev, t.j. za obdobje 1986–1991 in 1999–2013. Krivuljo trajanja smo izdelali na osnovi srednjih dnevni pretokov za celotno obdobje meritev.

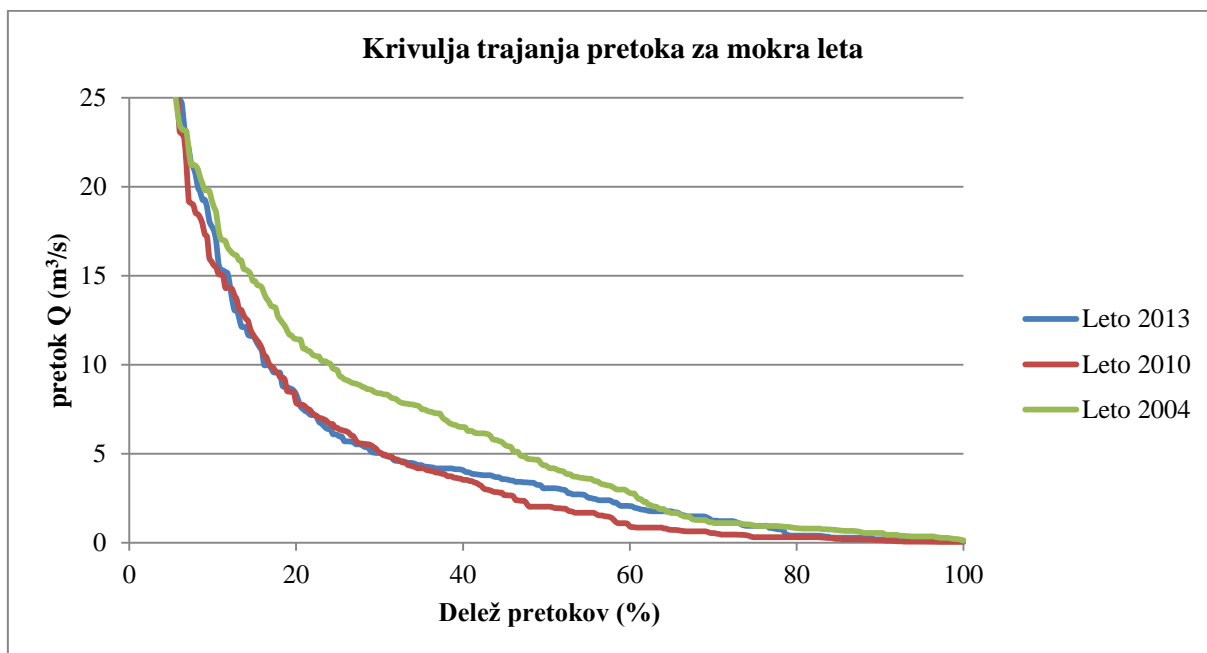
Iz krivulje trajanja na sliki 17 je razvidno, da je pričakovati pretoke, večje od ekološko sprejemljivega pretoka $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$, manj kot 50% časa. To pomeni letno največ 6 mesecev kar ocenjujemo kot zelo kratek čas. V primeru derivacijske hidroelektrarne to pomeni 6 mesecev nedelovanja, saj je potrebno v strugi zagotavljati ekološko sprejemljiv pretok.

Pretoki, večji od srednjega letnega pretoka v obdobju meritev, $4,20 \text{ m}^3/\text{s}$, zasedajo le 28% delež.

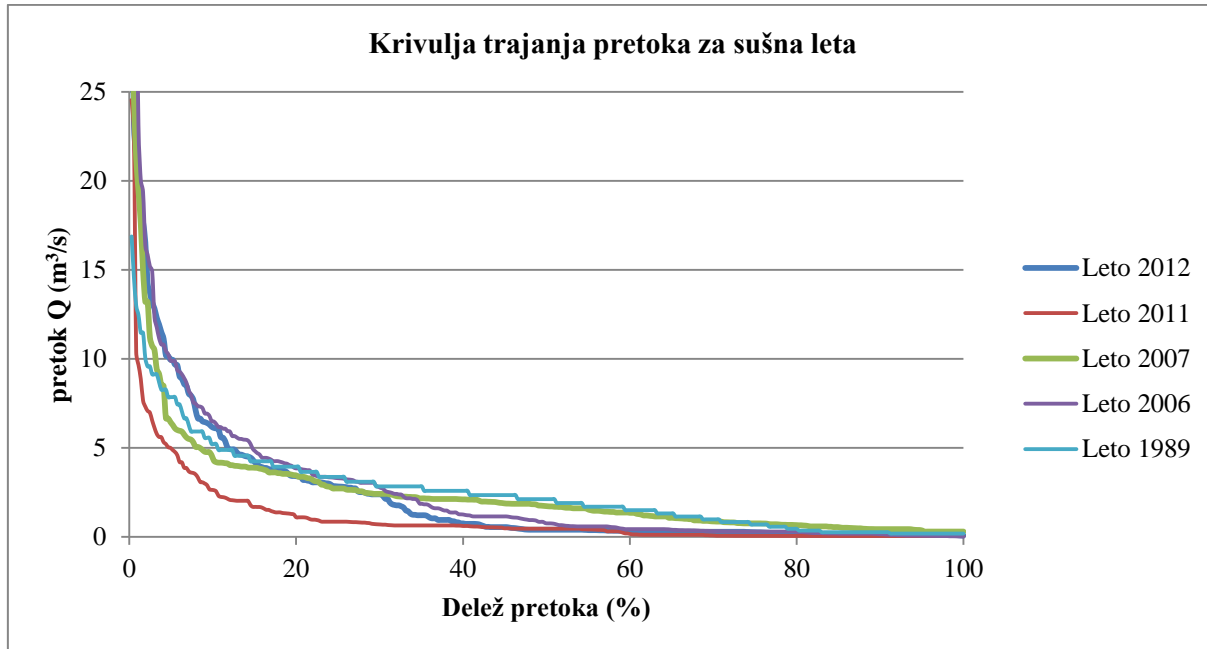


Slika 17: Krivulja trajanja pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245 za obdobja 1986–1991 in 1999–2013.

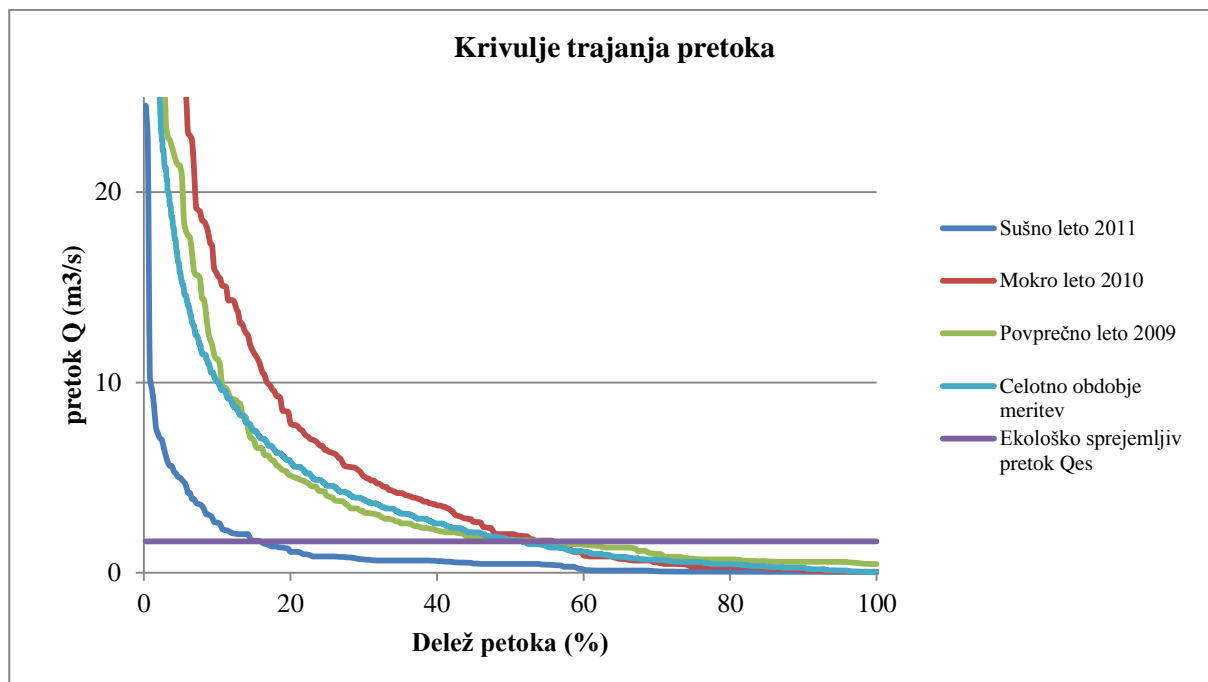
Nadalje smo na osnovi srednjih dnevnih pretokov naredili še krivulje trajanja pretoka za mokra (slika 18) in sušna leta (slika 19).



Slika 18: Krivulje tranja pretoka za mokra leta



Slika 19: Krivulje trajanja pretoka za sušna leta



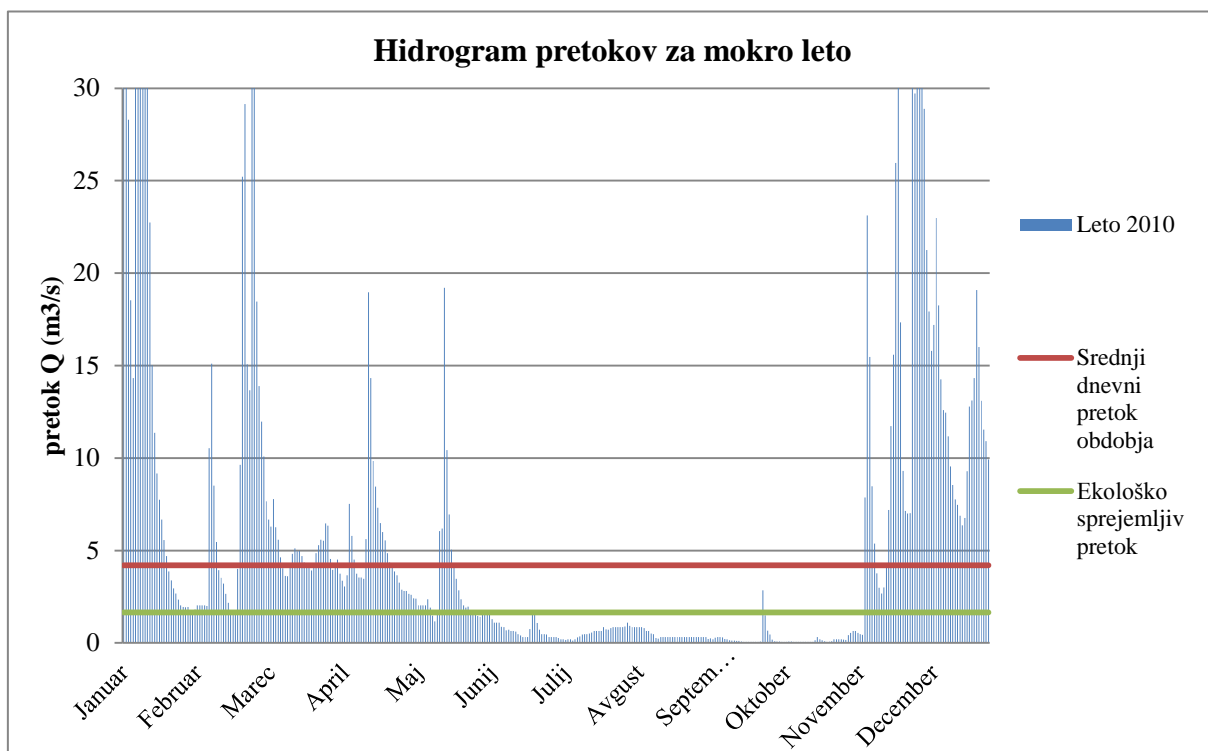
Slika 20: Primerjava krivulj trajanja pretoka – mokro, sušno, povprečno leto in celotno obdobje meritev

Na diagramu (slika 20) smo prikazali krivulje trajanja pretoka za mokro, sušno in povprečno leto ter za primerjavo dodali krivuljo trajanja pretoka za celotno obdobje meritev 1986–1991 in 1999–2013. Opazimo, da se krivulji za povprečno leto in za celotno obdobje skoraj pokrivata. Iz tega lahko sklepamo, da lahko podatke vodomerne postaje za povprečno leto vzamemo kot osnovo za računanje povprečne letne proizvodnje hidroelektrarne.

Krivulje trajanja pretokov na diagramu na sliki 20 govorijo o kratkem trajanju pretokov, večjih od ekološko sprejemljivega pretoka $Q_{es} = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta ugotovitev posledično pomeni zelo okrnjeno proizvodnjo hidroelektrarne, še posebej derivacijske hidroelektrarne, kjer izraba ekološko sprejemljivega pretoka v energetske namene ni možna.

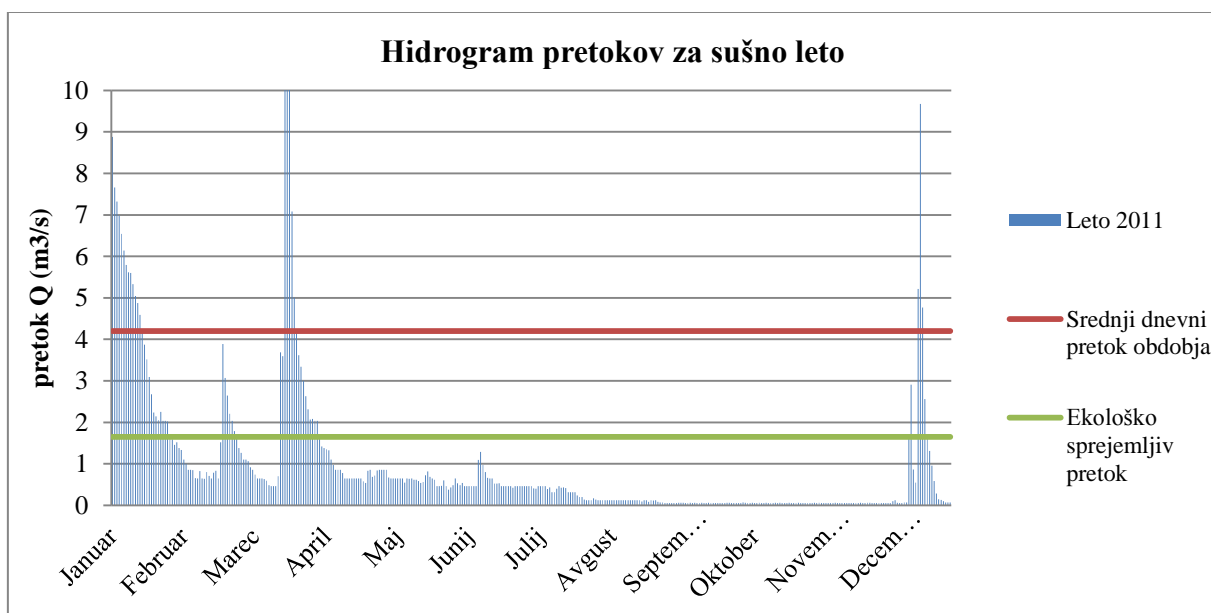
5.4 Hidrogram dnevnih pretokov

Hidrograme pretokov smo izdelali, da smo ugotovili porazdelitev pretokov po mesecih leta. Tako lahko določimo, kdaj v letu lahko predvidimo proizvodnjo hidroelektrarne.



Slika 21: Hidrogram pretokov za mokro leto – 2010

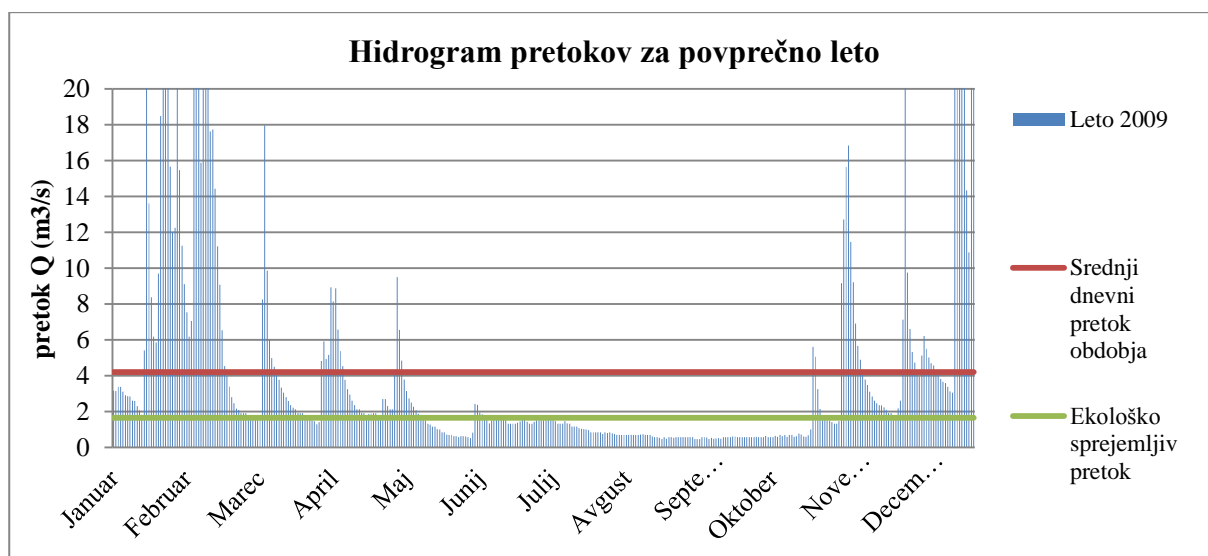
Hidrogram mokrega leta na sliki 21 kaže izredno majhne pretoke v poletnih in jesenskih mesecih. Na osnovi tega hidrograma lahko sklepamo, da v mesecih julij, avgust, september, oktober in november ni pričakovati proizvodnje hidroelektrarne. Pretoki, večji od ekološko sprejemljivega pretoka 1,65 m³/s, so tudi v teh mesecih zelo redki. Derivacijska elektrarna tako obratuje le v mesecih januar, februar, marec, april in december, pri akumulacijski pa je majhno proizvodnjo pričakovati tudi junija in novembra, zelo minimalno proizvodnjo pa julija, avgusta in septembra.



Slika 22: Hidrogram pretokov za sušno leto – 2011

Iz diagrama za sušno leto (slika 22) razberemo zelo nizke pretoke (v vrednostih manj kot $0,50 \cdot Q_{es}$) v mesecih februar, marec, maj, junij, julij. Prav tako opazimo skoraj ničelne pretoke avgusta, septembra, oktobra in novembra. Tudi v decembru ni pričakovati velikega deleža pretokov, večjih od ekološko sprejemljivih pretokov. Derivacijska hidroelektrarna bi tako obratovala le januarja in aprila.

Pri akumulacijski hidroelektrarni je pričakovati obratovanje na nivoju ekološko sprejemljivega pretoka $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$ januarja, delno februarja in marca, aprila in delno decembra. V mesecih maj, junij in julij pa največ s pretokom $0,50 \cdot Q_{es}$.



Slika 23: Hidrogram za povprečno leto – 2009

Hidrogram t.i. povprečnega leta je nekoliko bolj enakomeren. Hidrogram za povprečno leto je v primerjavi s hidrogramoma za sušno oz. mokro leto bolj zanimiv, ker je obdobje brez pretokov (brez vode) še najmanj izrazito, oz. ni zaznati tako izrazite suše kot v drugih dveh primerih.

Pretoki v obdobju junij–oktober se gibljejo med $0,50 \cdot Q_{es}$ in Q_{es} . To pomeni nedelovanje derivacijske elektrarne v teh mesecih ter slabo proizvodnjo akumulacijske hidroelektrarne v istih mesecih.

Proizvodnjo hidroelektrarne je na osnovi diagrama povprečnega leta (slika 23) pričakovati v mesecih januar–april ter novembra in decembra .

Na vseh treh hidrogramih (za mokro, sušno in povprečno leto) sicer zaznamo dokaj visoke viške pretokov, ki pa ne trajajo daljši čas. Takšen raspored pretokov kaže na izrazit hudourniški značaj reke Zrmanje na obravnavanem odseku.

Vzrok takšnega stanja je najverjetneje kraški teren [17] in njegova izredno slaba naravna akumulacijska sposobnost padavinskih voda. Posledica tega pa so izredno veliki in hipni pretoki vodotoka, ki jih ni možno izkoristiti pri proizvodnji električne energije pri derivacijski hidroelektrarni.

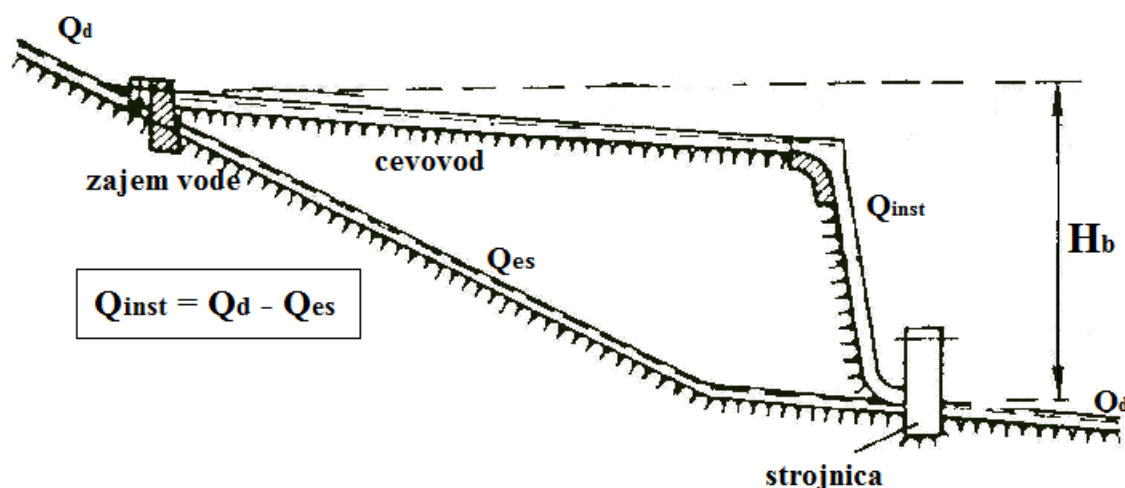
Vodotoki na kraških terenih tudi zelo hitro upadejo, tudi negativno vpliva na proizvodnjo hidroelektrarne na takšnem območju.

6 DOLOČANJE VIŠINSKEGA BRUTO POTENCIALA

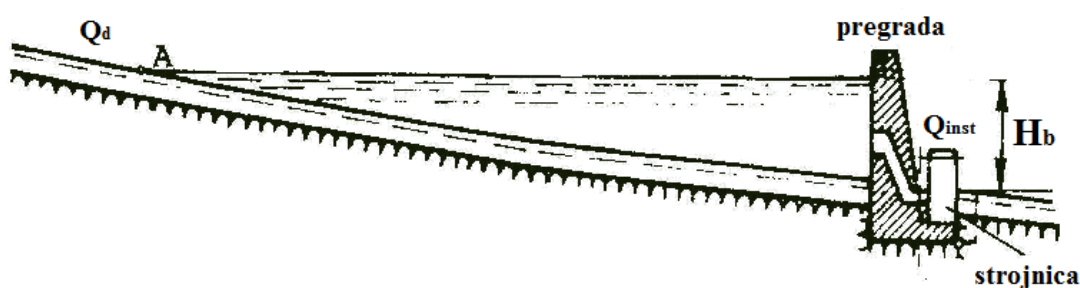
Pri določanju hidroenergetskega potenciala smo hidroenergetski potencial izračunali za dve možni varianti, in sicer smo preverjali hidroenergetski potencial derivacijske hidroelektrarne z gorvodnim zajetjem vode in cevovodom do strojnice oz. turbine potencialne hidroelektrarne (poglavje 7) ter akumulacijske hidroelektrarne, kjer je bila akumulacija izvedena s pregrado na mestu strojnice (poglavje 8).

V obeh primerih smo za vhodne podatke vzeli iste višinske kote.

Strojnico smo postavili na koto (nadmorska višina) 80 m, zajem vode pri pretočni hidroelektrarni oz. vrh pregrade pri akumulacijski hidroelektrarni pa na koto 115 m. Za bruto višinski potencial smo v našem primeru vzeli geodetsko razliko med dnem struge na mestu zajetja vode in dnem struge v profilu pregrade. Tako je naš bruto višinski potencial (H_b) znašal 35 m (glej tudi poglavje 4.3).

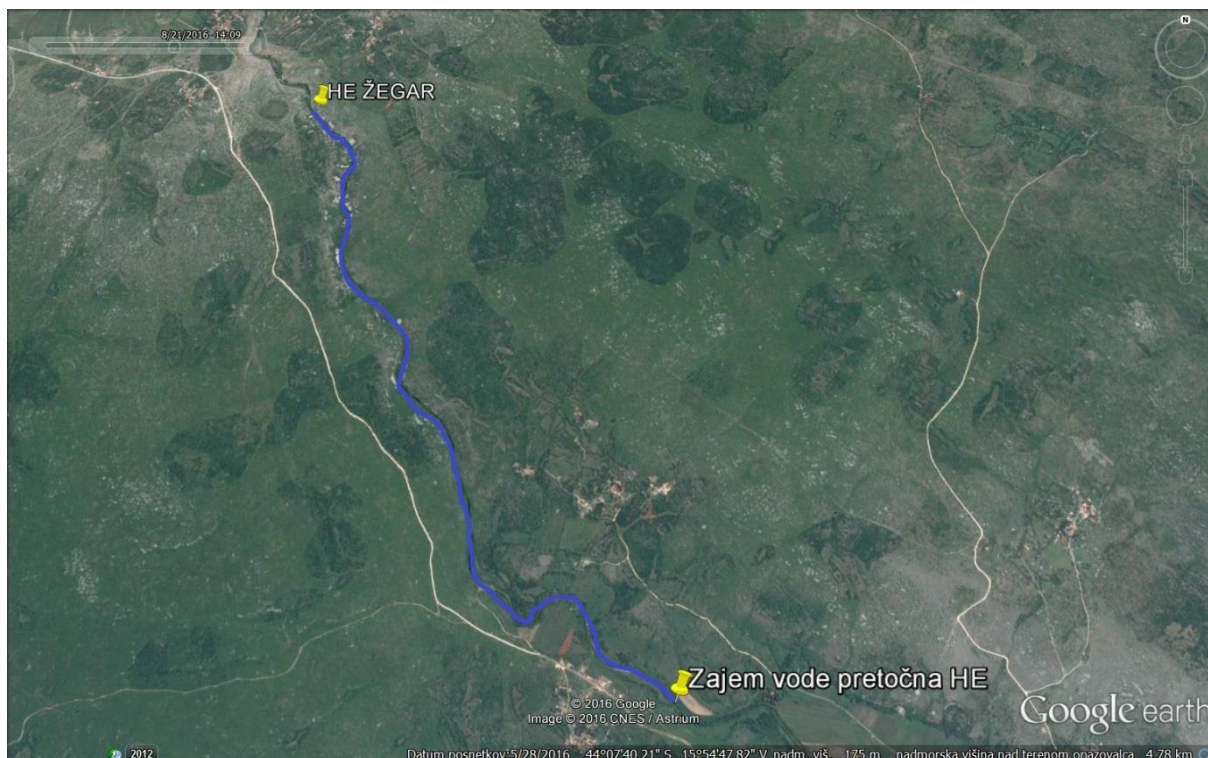


Slika 24: Skica derivacijske hidroelektrarne – prirejeno po [18]



Slika 25: Skica akumulacijske hidroelektrarne – prirejeno po [18]

7 DERIVACIJSKA HIDROELEKTRARNA



Slika 26: Lokacija hidroelektrarne Žegar z vrisano lokacijo zajema vode za derivacijsko hidroelektrarno na ortofoto posnetku [19]

Dnevno energetska proizvodnja derivacijske hidroelektrarne smo ob predpostavki izkoristka hidroelektrarne v višini 82% in ekološko sprejemljivega pretoka $Q_{es} = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$, ki ga moramo spustiti po strugi in ga ni mogoče uporabiti v energetske namene, določili v dveh korakih.

Najprej smo za vsak dan obdobja 1986–1991 in 1999–2013, ko so se izvajale meritve pretoka, določili moč, s katero je tistega dne delovala elektrarna. V primeru dnevnih pretokov, ki so bili pod vsoto ekološko sprejemljivega pretoka in inštaliranega pretoka, je derivacijska hidroelektrarna delovala z zmanjšano močjo.

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

Legenda:

Q = pretok obratovanja hidroelektrarne (m^3/s)

H_b = bruto višinski potencial (m)

γ = specifična teža vode (kN/m^3)

η = izkoristek elektrarne (izgube pri zajemu, izgube cevovoda, izgube turbine in generatorja)

Nato smo za vsak dan na osnovi dnevne moči in časa obratovanja dnevno izračunali še proizvodnjo hidroelektrarne po enačbi:

$$E = P * t$$

Legenda:

E = dnevno proizvedena električna energija (kWh)

t = dnevno število ur obratovanja (h)

Dnevno proizvodnjo energije smo računali za vsak dan obdobja, v katerem so se izvajale meritve pretoka na vodomerni postaji Nadvode, 7245, natančneje za obdobji 1986–1991 in 1999–2013.

Predpostavili smo, da elektrarna deluje 24 ur dnevno z enakim pretokom. Pri določanju pretokov obratovanja (Q) derivacijske hidroelektrarne smo ločili 3 primere:

- $Q_d > Q_{inst} + Q_{es} \Rightarrow Q = Q_{inst}$
- $Q_d < Q_{inst} + Q_{es}$ hkrati pa $Q_d > Q_{es} + 0,25 * Q_{inst} \Rightarrow Q = Q_d - Q_{es}$
- $Q_d < Q_{es} + 0,25 * Q_{inst} \Rightarrow Q = 0$

7.1 Razpoložljiv energetski potencial derivacijske hidroelektrarne

Moč pretočnih hidroelektrarn smo računali na način povečevanja inštaliranega pretoka derivacijske hidroelektrarne med vrednostmi 3,00 m³/s do 12,00 m³/s s korakom 1,00 m³/s.

Na osnovi dobljene moči pa smo za celotno obdobje izračunali energetsko proizvodnjo takšnih derivacijskih hidroelektrarn. Celotna hidroenergetska proizvodnja v obdobju je predstavljala vsota vse dnevne proizvodnje energije v obdobju. Letni hidroenergetski potencial smo izrazili kot letno povprečje proizvedene električne energije v celotnem obdobju, ko so se izvajale meritve pretoka vodotoka na vodomerni postaji Nadvode, 7245. Prav tako smo izračunali povprečno letno število ur obratovanja derivacijske hidroelektrarne.

Pri tem je potrebno navesti, da se lokacija vodomerne postaje Nadvode, 7245 nahaja v bližini lokacije strojnice derivacijske hidroelektrarne. Ta lokacija pa je od zajema vode za derivacijsko hidroelektrarno oddaljena približno 3.700 m gorvodno. Vodomerna postaja Nadvode, 7245 je dejansko najbližja mestu zajetja in med vsemi vodomernimi postajami najbolj merodajna. Zaradi kraškega terena na območju hidroelektrarne Žegar pa obstaja možnost, da vrednosti dejanskih pretokov na mestu zajetja vode za derivacijsko hidroelektrarno Žegar odstopajo od vrednosti na vodomerni postaji Nadvode, 7245. Na reki Zrmanji je namreč pogost pojav vmesnih izvirov (slika 27), ki bi se morebiti lahko pojavili na odseku med zajetjem vode za derivacijsko hidroelektrarno in vodomerno postajo Nadvode, 7245. To bi pomenilo, da je lahko na mestu zajetja vode za derivacijsko hidroelektrarno na razpolago precej

manjša količina vode, kar pa posledično pomeni tudi bistveno manjšo proizvodnjo derivacijske hidroelektrarne.

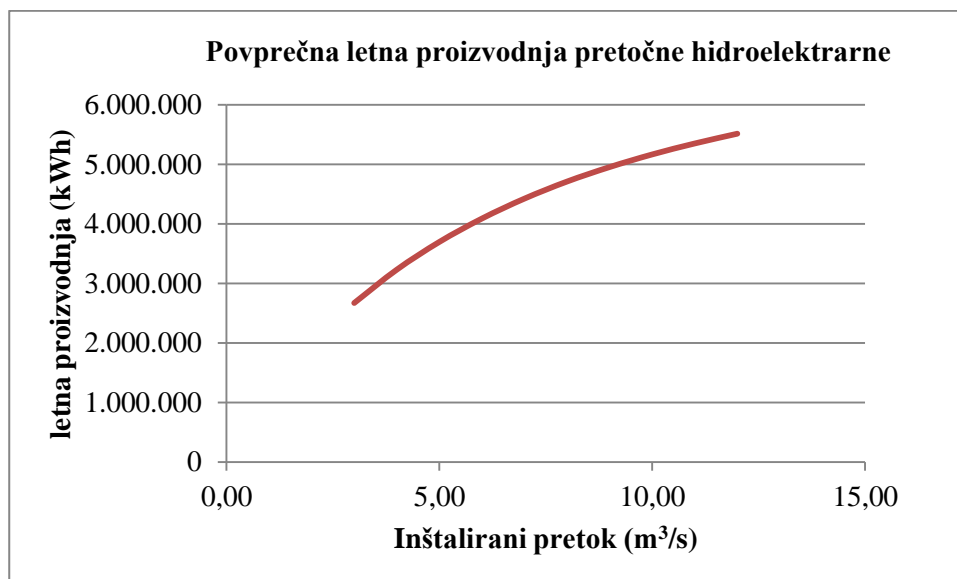


Slika 27: Eden izmed mnogih vmesnih izvirov na reki Zrmanji [lasten vir]

Preglednica 4: Izračun hidroenergetskega potenciala derivacijske hidroelektrarne

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja	Delež izk. (%)
3,00	845	2.670.099	3.161	36
4,00	1.126	3.229.849	2.868	33
5,00	1.408	3.695.718	2.625	30
6,00	1.689	4.088.397	2.420	28
7,00	1.971	4.423.700	2.245	26
8,00	2.252	4.710.586	2.091	24
9,00	2.534	4.953.584	1.955	22
10,00	2.815	5.165.777	1.835	21
11,00	3.097	5.350.125	1.728	20
12,00	3.379	5.514.227	1.632	19

Vsakemu inštaliranemu pretoku smo ob upoštevanju neto višinskega potenciala določili nazivno moč akumulacijske hidroelektrarne.



Slika 28: Diagram odvisnosti povprečne letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarne od inštaliranega pretoka hidroelektrarne

Diagram na sliki 28 kaže, da s povečevanjem inštaliranega pretoka in posledično inštalirane moči povprečna letna proizvodnja derivacijske hidroelektrarne ne narašča sorazmerno, temveč so prirastki proizvedene energije vse manjši. Prav tako opazimo, da je z naraščanjem inštaliranega pretoka število obratovalnih ur hidroelektrarne vse manjše.

Iz prikazanega grafa sklepamo, da je inštalirani pretok do $Q_{inst} = 7,00 \text{ m}^3/\text{s}$ skrajna vrednost, ki bi potencialno še lahko bila zanimiva za nadaljnjo obravnavo. Delež izkoriščenosti derivacijske hidroelektrarne v tem primeru znaša le 26%.

Tako znaša po naših izračunih največja pričakovana letna proizvodnja derivacijske hidroelektrarne Žegar (za skrajno vrednost inštaliranega pretoka $Q_{inst} = 7,00 \text{ m}^3/\text{s}$) 4.423.700 kWh, in to pri inštalirani moči 1.971 kW.

Derivacijska hidroelektrarna bi pri inštaliranem pretoku $Q_{inst} = 7,00 \text{ m}^3/\text{s}$ letno obratovala 2.245 ur, kar je po naši oceni precej kratka doba. V tem primeru bi bila turbina izkoriščena le 26% celotnega časa.

Območje naraščanja krivulje povprečne letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarne je največje med inštaliranima pretokoma 3,00 in 5,00 m^3/s , kjer se nahaja tudi srednji dnevni pretok $Q_s = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$ za obdobje meritev pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245 (1986 – 1991 in 1999 – 2013).

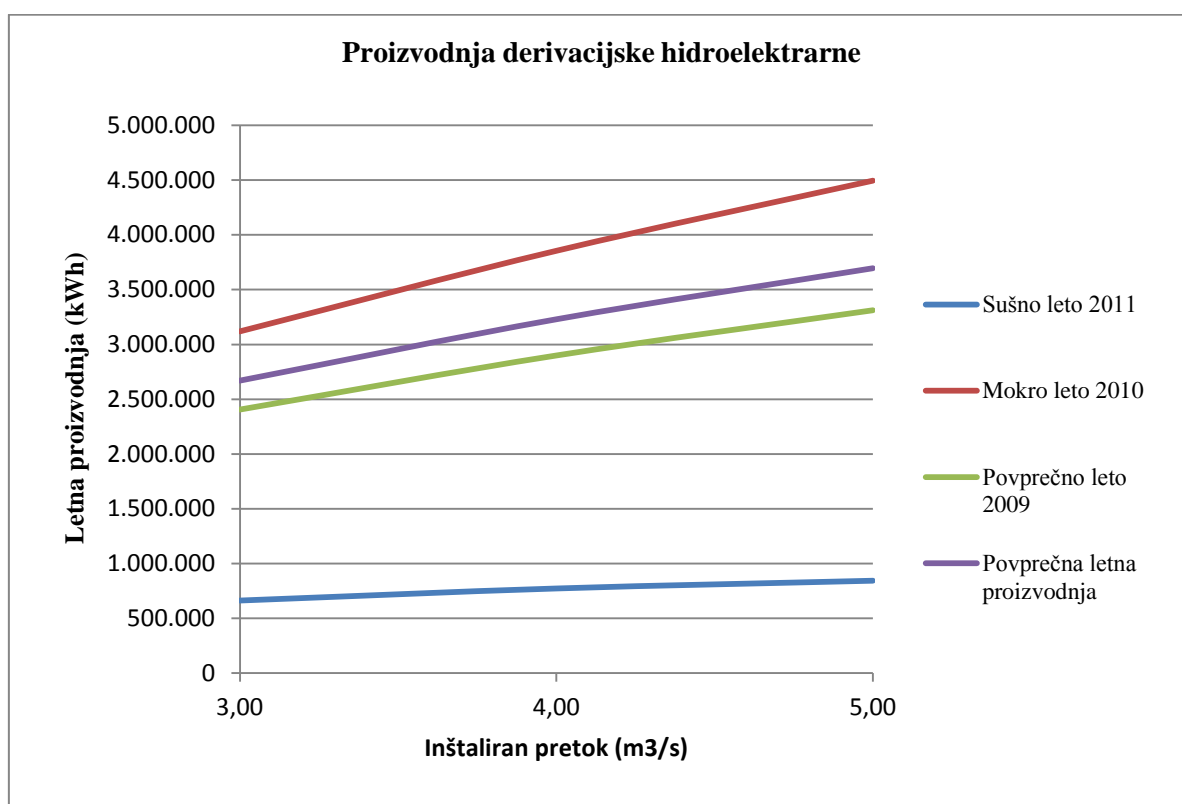
Nadalje na osnovi navedenega sklepamo, da inštalirani pretoki večji od $Q_{inst} = 5,00 \text{ m}^3/\text{s}$ za derivacijsko elektrarno niso smiselni. V tem primeru znaša povprečna letna proizvodnja derivacijske hidroelektrarne največ 3.695.718 kWh.

Izračunali smo tudi letno proizvodnjo derivacijske hidroelektrarne, in sicer za tipično mokro leto (2010), sušno leto (2011) in povprečno leto (2009).

Podatki so zbrani v preglednici 5.

Preglednica 5: Letne proizvodnje (kWh) derivacijske hidroelektrarne za sušno, mokro in povprečno leto ter povprečna letna proizvodnja v obdobjih meritev 1986–1991 in 1999–2013 za različne inštalirane pretoke

Inštalirani pretok (m^3/s)	3,00	4,00	5,00
Sušno leto 2011	662.874	772.765	843.837
Mokro leto 2010	3.119.597	3.854.948	4.494.835
Povprečno leto 2009	2.405.815	2.899.416	3.312.013
Povprečna letna proizvodnja	2.670.099	3.229.849	3.695.718



Slika 29: Diagram letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarn za mokro, sušno in povprečno leto

Iz preglednice 5 in diagrama na sliki 29 je razvidno, da je proizvodnja derivacijske hidroelektrarne v sušnem letu za več kot 4-krat nižja od povprečne letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarne v obdobju meritev (21 let). Proizvodnja v t.i. mokrem letu je od povprečne letne proizvodnje v obdobju meritev večja le za približno 30%.

Proizvodnja derivacijske hidroelektrarne tudi v povprečnem letu (2009) ne dosega povprečne letne proizvodnje iz obdobja meritev 1986–1991 in 1999–2013. Od nje je manjša za približno 10%.

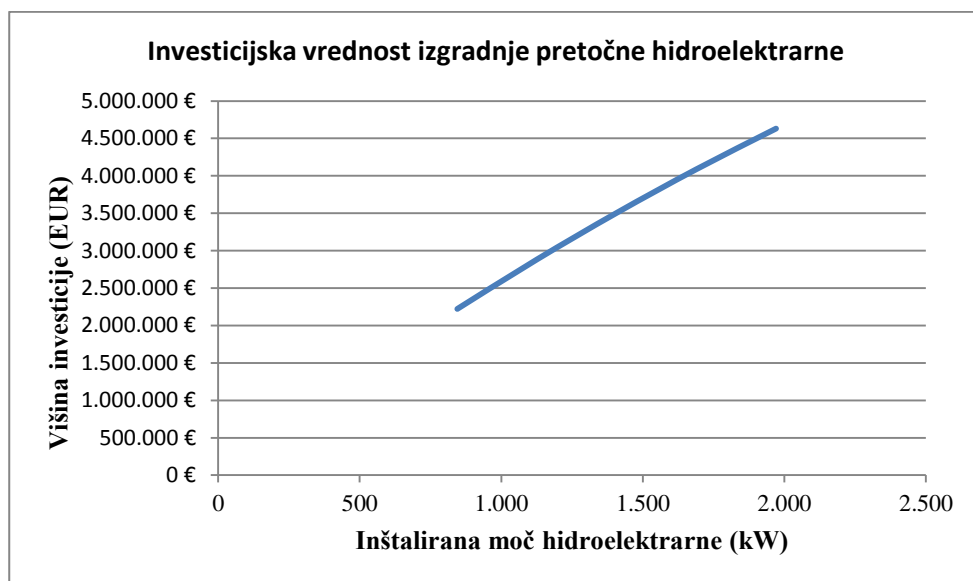
V obdobju meritev smo zabeležili 3 sušna leta, 5 mokrih let, ostala leta, teh je 13, definiramo kot povprečna leta.

7.2 Ocena stroška izgradnje derivacijske hidroelektrarne

Za oceno stroškov izgradnje derivacijske hidroelektrarne smo upoštevali vrednosti med 2.000,00 EUR in 2.700,00 EUR za vsak inštaliran kW moči derivacijske hidroelektrarne. Stroški izgradnje za vsak kW moči derivacijske hidroelektrarne se znižujejo z večanjem inštalirane moči.

Preglednica 6: Stroški izgradnje derivacijske hidroelektrarne v odvisnosti od nazivne moči

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Investicijska vrednost elektrarne (EUR)	Investicijski strošek / kW (EUR/kW)
3,00	845	2.670.099	2.221.406	2.630
4,00	1.126	3.229.849	2.883.041	2.560
5,00	1.408	3.695.718	3.505.260	2.490
6,00	1.689	4.088.397	4.088.062	2.420
7,00	1.971	4.423.700	4.631.448	2.350



Slika 30: Diagram odvisnosti stroškov izgradnje derivacijske hidroelektrarne od nazivne moči

7.3 Prihodki derivacijske hidroelektrarne

Prihodke derivacijske hidroelektrarne smo računali za dva različna primera odkupne cene električne energije in za inštalirane pretoke med 3,00 m³/s in 12,00 m³/s.

V prvem primeru smo predpostavili, da se proizvedena električna energija derivacijske hidroelektrarne proda po tržni ceni, ki trenutno znaša približno 40,00 EUR/MWh. V tem primeru so povratne dobe investicije izgradnje derivacijske hidroelektrarne med 20,8 in 30,6 leti.

V drugem primeru smo derivacijsko hidroelektrarno uvrstili med obnovljive vire energije (v nadaljevanju glej poglavje 8) in za vso proizvedeno električno energijo upoštevali t.i. podporo za električno energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov, ki znaša 111,40 EUR/MWh. Povratne dobe investicije so se v tem primeru gibale med 7,5 in 11,0 leti.

Preglednica 7: Prihodki derivacijske hidroelektrarne s prikazano povratno dobo investicije za primera prodaje proizvedene električne energije po tržni ceni 40,00 EUR/kWh ter po t.i. subvencionirani ceni za obnovljive vire električne energije 111,40 EUR/kWh.

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja	Investicijski strošek EUR / kW	Investicijski strošek (EUR)	Letni prihodek - tržna cena energije (EUR)	Povratna doba - tržna cena energije (leta)	Letni prihodek - podpora za obnovljiv vir (EUR)	Povratna doba - podpora za obnovljiv vir (leta)
3	845	2.670.099	3.161	2.630	2.221.406	106.804	20,8	297.440	7,5
4	1.126	3.229.849	2.868	2.560	2.883.041	129.194	22,3	359.794	8,0
5	1.408	3.695.718	2.625	2.490	3.505.260	147.829	23,7	411.690	8,5
6	1.689	4.088.397	2.420	2.420	4.088.062	163.536	25,0	455.433	9,0
7	1.971	4.423.700	2.245	2.350	4.631.448	176.948	26,2	492.785	9,4
8	2.252	4.710.586	2.091	2.280	5.135.417	188.423	27,3	524.743	9,8
9	2.534	4.953.584	1.955	2.210	5.599.970	198.143	28,3	551.812	10,1
10	2.815	5.165.777	1.835	2.140	6.025.106	206.631	29,2	575.450	10,5
11	3.097	5.350.125	1.728	2.070	6.410.825	214.005	30,0	595.986	10,8
12	3.379	5.514.227	1.632	2.000	6.757.128	220.569	30,6	614.266	11,0

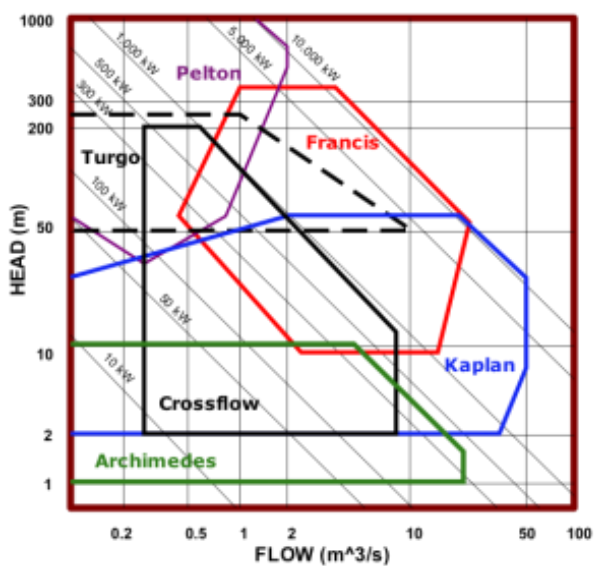
Izračunane vrednosti povratnih dob investicije v gradnjo derivacijske hidroelektrarne so za primer prodaje proizvedene električne energije po tržni ceni zelo visoke in kot takšne po naši oceni za investitorja predolge, kar pa posledično pomeni majhno verjetnost, da bi se potencialni investitor odločil za investicijo v derivacijske elektrarne.

Slika je nekoliko boljša v primeru prodaje električne energije kot energije iz obnovljivega vira. V tem primeru so dobe vračanja investicije krajše.

Na osnovi povratnih dob vračanja investicije ocenjujemo inštalirani pretok derivacijske hidroelektrarne $Q_{inst} = 5,00 \text{ m}^3/\text{s}$ kot najbolj primeren. Tako ugotovimo največji potencial derivacijske hidroelektrarne Žegar, ki znaša 3.695.718 kWh letno.

7.4 Izbira tipa turbine

Glede na razpoložljiv višinski potencial in ob upoštevanju inštaliranega pretoka smo določili tip turbine in izbrali Francisovo turbino [20].



Slika 31: Diagram za določitev tipa turbine [20]

Francisova turbina se uporablja v elektrarnah, kjer so pretoki in padci srednji. Pri njej se regulirajo samo vodilniške lopatice, lopatice rotorja pa so fiksne. To pomeni, da je Francisova turbina enojno regulirana. Uvrščamo jo med reakcijske turbine.

Kinetična energija vode, ki priteče na lopatice, se na rotorju turbine pretvori v vrtilno energijo, ki žene generator. V generatorju pa se vrtilna energija preko magnetne indukcije pretvori v električno energijo.

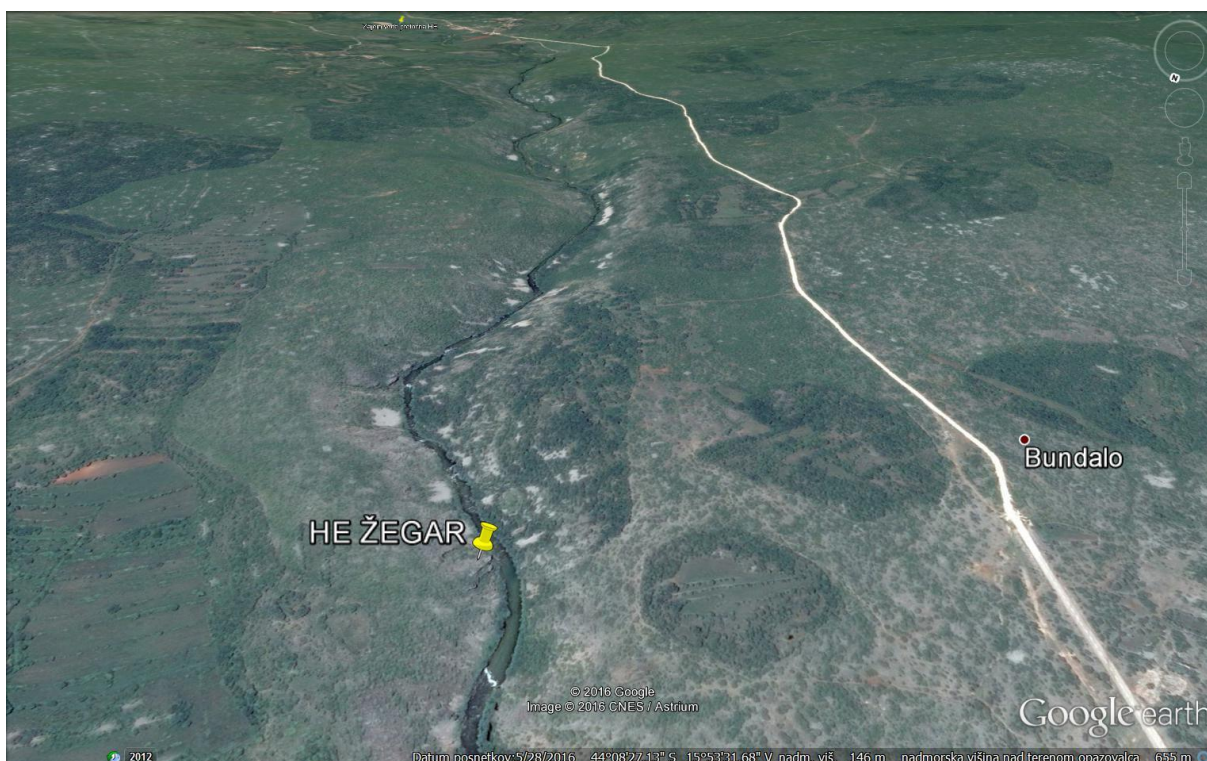
Padci, ki so primerni za Francisovo turbino so v vrednostih med 20 in 500 m. Os vrtenja je ponavadi pri Francisovi turbini vertikalna. Izkoristki teh turbin pa so v primerjavi z ostalimi tipi turbin visoki in znašajo tudi preko 93%. Francisove turbine so po številu turbin najštevilčnejše.



Slika 32: Francisova turbina [21]

8 AKUMULACIJSKA HIDROELEKTRARNA

Glede na naravno konfiguracijo terena na območju lokacije potencialne hidroelektrarne – reka Zrmanja je v tem delu ustvarila precej dolgo dolino, ki je na daljšem odseku na obeh straneh rečne struge omejena z visokimi obalami – se nam je porodila ideja, da bi bilo možno na navedeni lokaciji izvesti tudi akumulacijski bazen za morebitno akumulacijsko hidroelektrarno.



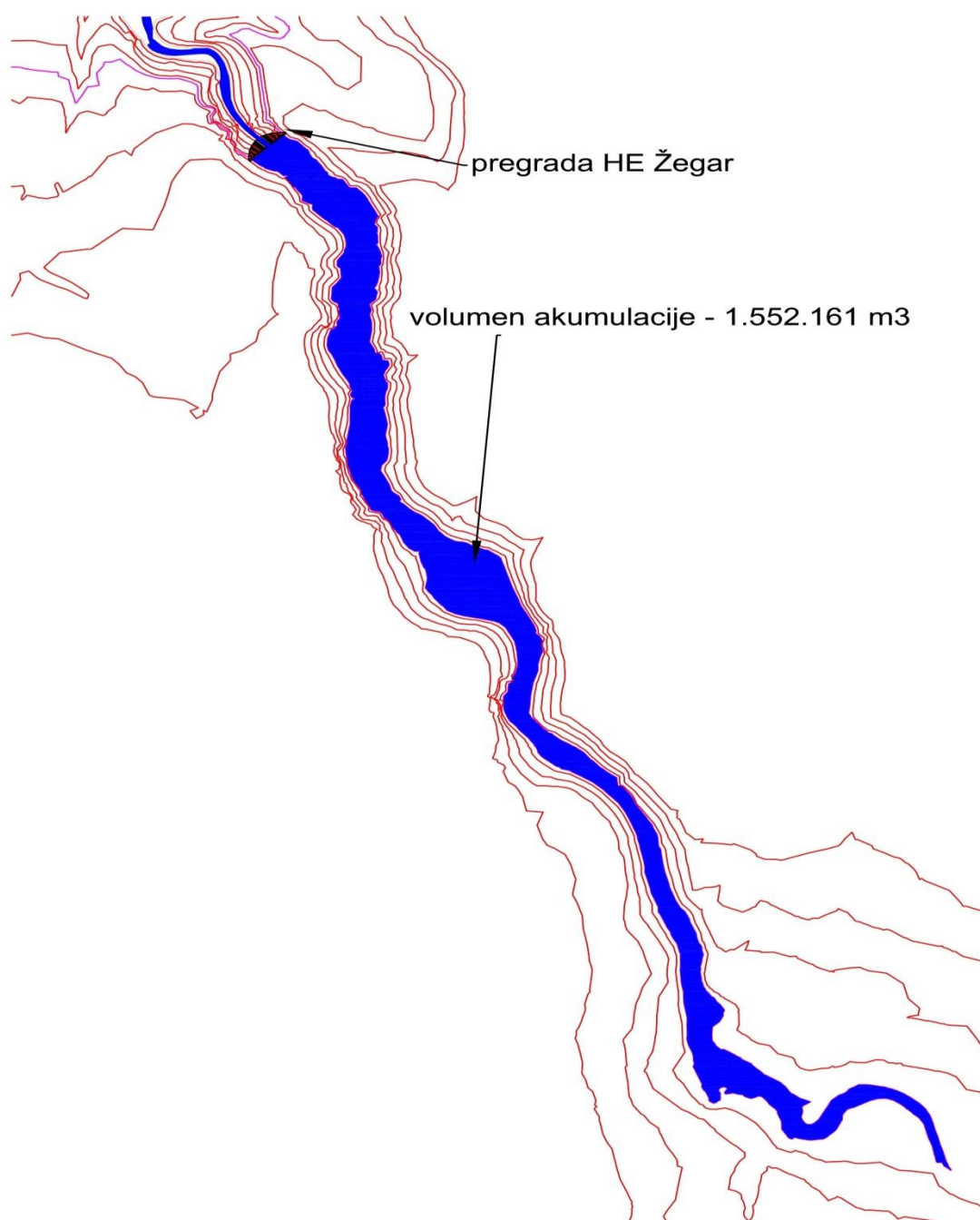
Slika 33: Posnetek kanjona reke Zrmanje gorvodno od lokacije hidroelektrarne Žegar [22]

V prid ideji o akumulacijski hidroelektrarni govorijo tudi podatki nihanj pretokov reke Zrmanje na naši lokaciji. Nihanja pretokov so namreč precej visoka. Menili smo, da bi bilo smotno zadržati viške vode in jih v energetske namene izkoristiti v času nižjih pretokov. Akumulacija hkrati omogoča višinski bruto potencial, saj gladina vode v akumulaciji določa tako zgornjo koto kakor tudi zalogo volumna vode, s katero lahko reguliramo v katerem delu dneva akumulacijska hidroelektrarna deluje. Na ta način lahko za proizvedeno električno energijo iztržimo največ. Elektrarno zaženemo, ko so cene električne energije najvišje..

Z izvedbo akumulacijske hidroelektrarne, če turbino oz. strojnico namestimo na mesto pregrade (ob upoštevanju, da se izvede t.i. ribja steza, za katero po naših podatkih zadostuje pretok $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$), lahko v primerjavi s derivacijsko hidroelektrarno z gorvodnim zajetjem in cevovodom do turbine izkoristimo večji del pretoka, saj ekološko sprejemljiv pretok dejansko spustimo skozi turbino na istem mestu, kot smo ga zajeli in ga kot takšnega koristno izrabimo za energetske namen, hkrati pa ves čas dolvodno zagotavljamo ekološko sprejemljiv pretok Q_{es} .

Na osnovi topografskih podatkov doline reke Zrmanje na območju načrtovane hidroelektrarne Žegar, bolj natančno geodetskega načrta, smo določili najvišjo koto pregrade akumulacijske hidroelektrarne. Iskali smo najvišjo možno koto, do koder naravna konfiguracija doline omogoča akumulacijski bazen brez znatnih dodatnih gradbenih posegov. To pomeni, iskali smo najvišjo točko, do koder akumulacija ne poplavlja okolice (glej tudi poglavje 4.3).

Tako smo določili točko na nadmorski višini 115,00 m, ki se nahaja 3.612 m gorvodno od lokacije pregrade.

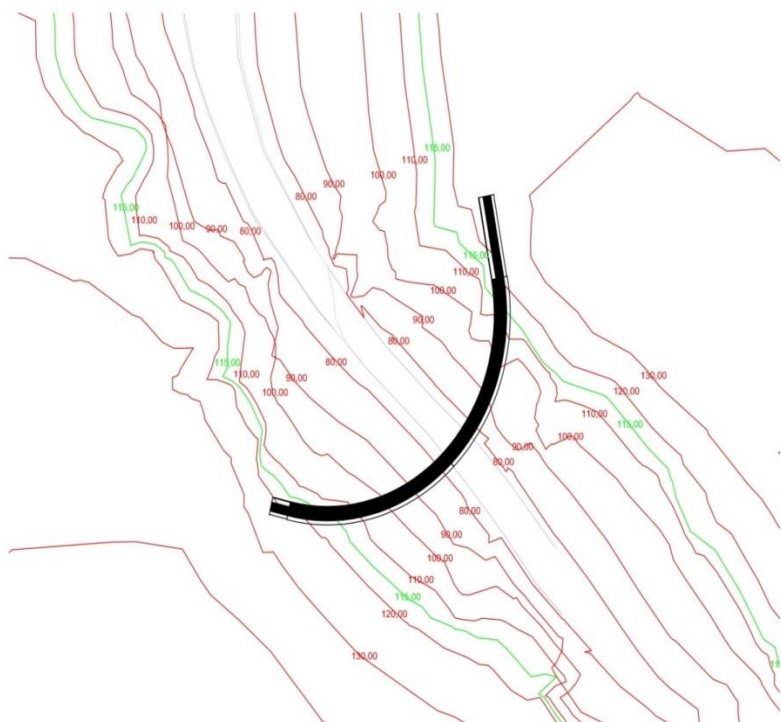


Slika 34: Tloris akumulacije hidroelektrarne Žegar z vrisano lokacijo težnostne pregrade

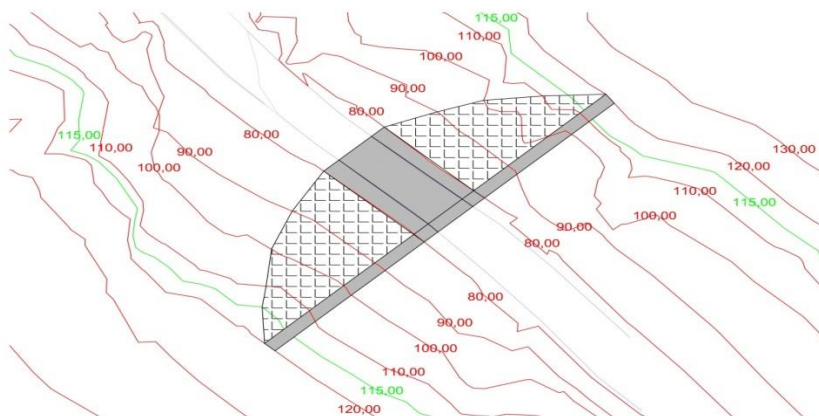
8.1 Profili

Na celotni trasi akumulacije hidroelektrarne smo na osnovi topografske podlage, natančneje geodetskega posnetka, naredili 15 prečnih profilov terena (PRILOGA A), iz katerih se jasno vidi oblika struge reke oz. rečne doline. Podatke prečnih profilov smo vnesli v program HEC RAS, v katerem smo modelirali rečno strugo reke Zrmanje na območju predvidene hidroelektrarne Žegar (glej poglavji 4.2 in 4.3).

8.2 Pregrada



Slika 35: Ločna pregrada akumulacijske hidroelektrarne Žegar



Slika 36: Težnostna pregrada za akumulacijo hidroelektrarne Žegar

8.3 Določanje volumna akumulacije

Razpoložljivi volumen akumulacije hidroelektrarne smo določali aproksimativno na osnovi prečnih in vzdolžnega profila rečne doline nad pregrado hidroelektrarne Žegar.

Preglednica 8: Površine prečnih profilov na različnih kotah gladine vode v akumulaciji – iz programa HEC RAS

Profil	Površina (m ²) prečnega preseka profila do kote:					
	115	110	105	100	95	90
15	106	29	29	29	29	29
14	538	128	31	31	31	31
13	346	165	40	27	27	27
12	2992	2091	1298	636	49	176
11	1286	887	556	298	120	27
10	1218	818	508	289	143	56
9	2180	1649	1193	811	501	263
8	2037	1611	1223	881	579	334
7	1898	1503	1140	811	532	316
6	2167	1681	1256	901	608	369
5	2297	1807	1366	975	642	394
4	52	52	52	52	52	52
3	44	28	28	28	28	28
2	62	30	30	30	30	30
1	33	33	33	33	33	33

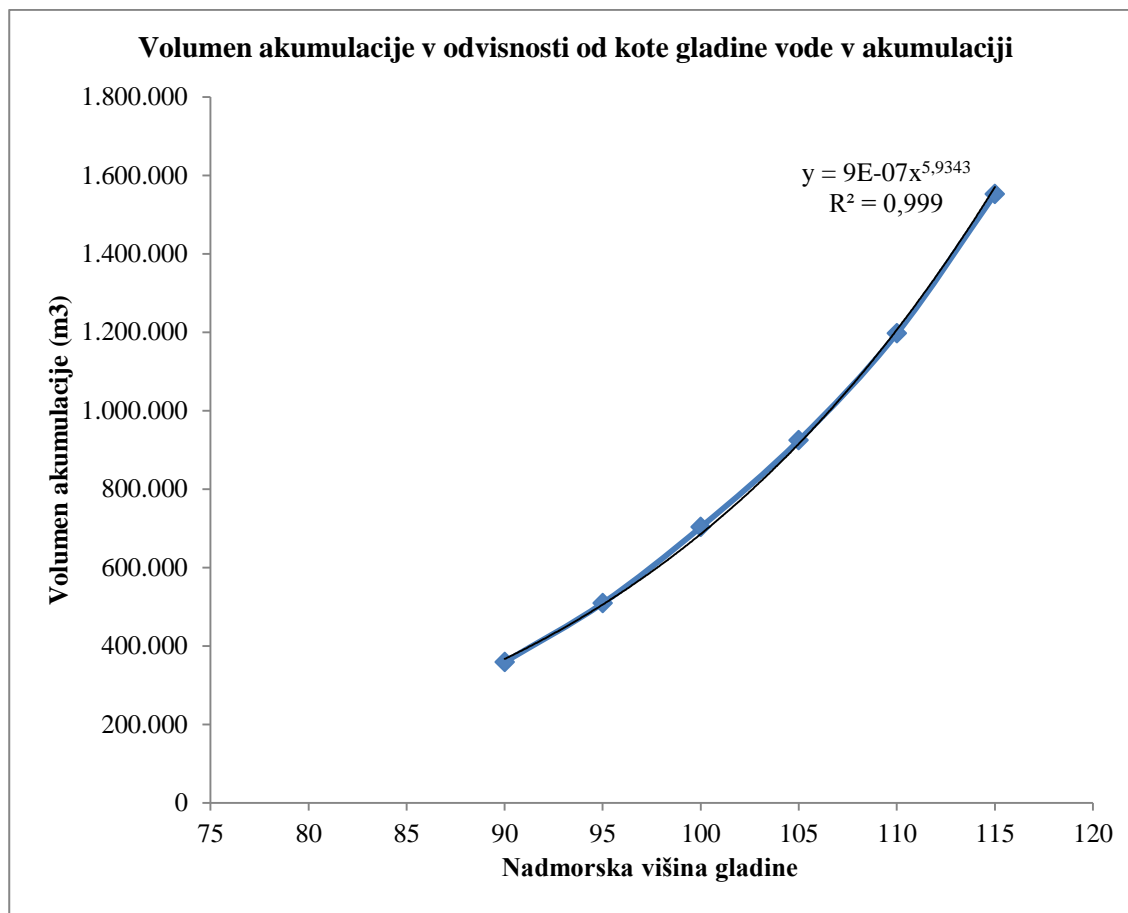
Izračunali smo, da znaša celotni volumen akumulacije za pregrado akumulacijske hidroelektrarne Žegar - 1.552.161 m³.

8.4 Določanje trenutnega volumna akumulacije v odvisnosti od kote gladine

Zanimala nas je povezava med volumnom akumulirane vode v akumulaciji hidroelektrarne Žegar in koto (nadmorsko višino) gladine akumulirane vode v akumulaciji. Koto gladine vode smo namreč potrebovali pri računanju hidroenergetskega potenciala, saj je koto gladine vode določala bruto višinski potencial (H_b), ki nastopa v enačbi izračuna trenutne moči obratovanja hidroelektrarne.

V ta namen smo v program HEC RAS vnašali različne kote gladine vode in nato na osnovi izhodnih podatkov programa HEC RAS določili trenutni volumen akumulirane vode.

Nato smo podatke vnesli v preglednico ter v programu EXCEL narisali graf odvisnosti volumna akumulirane vode od kote (nadmorske višine) gladine. Podatkom v grafu smo nato dodali trendno črto in dobili funkcijo, ki zelo natančno opisuje odvisnost med volumnom akumulirane vode za pregrado in koto (nadmorsko višino) trenutne gladine vode.



Slika 37: Diagram odvisnosti volumna akumulacije od kote gladine vode (kota gladine izražena v nadmorski višini)

Na osnovi formule trendne črte smo dobili enačbo, ki povezuje trenutni volumen akumulirane vode v akumulaciji hidroelektrarne Žegar (A_t) in nadmorsko višino gladine vode v tej akumulaciji (h_t):

$$A_t = 9 * 10^{-7} * h_t^{5,9343}$$

8.5 Določanje najvišje dnevne razlike gladine (največje dnevno nihanje gladine)

Na energetski potencial akumulacijske hidroelektrarne zelo vpliva največje dovoljeno nihanje gladine v akumulaciji za pregrado. S tem je namreč definirana dnevna količina spremembe volumna v akumulaciji. Pri določanju energetskega potenciala akumulacijske hidroelektrarne smo upoštevali dnevno izravnano količin vode v akumulaciji. To pomeni, da je dnevni pritok v akumulacijo enak ali večji pretoku, ki ga izkoristimo v energetske namene.

Tako smo za vsak inštalirani pretok akumulacijske hidroelektrarne dnevno določili čas, ko hidroelektrarna deluje, oz. proizvaja električno energijo.

Glede na zasnovo akumulacijske hidroelektrarne, tukaj mislimo predvsem na mesto zajema in izpusta vode, ki sta v primeru akumulacijske hidroelektrarne na skoraj istem mestu, smo se odločili akumulacijsko hidroelektrarno zasnovati kot elektrarno z dvema turbinama.

Prva turbina (v nadaljevanju jo imenujemo glavna turbina) je dimenzionirana na pretok ekološko sprejemljivega pretoka Q_{es} . S tem dosežemo, da ves čas zagotavljamo ekološko sprejemljiv pretok Q_{es} .

Glavna turbina v tem primeru obratuje ves čas. Tako smo inštalirani pretok glavne turbine $Q_{inst,g}$ določili na vrednost ekološko sprejemljivega pretoka $Q_{inst,g} = Q_{es} = 1,65 \text{ m}^3/\text{s}$.

V izračunih energetskega potenciala smo predvideli obratovanje glavne turbine za pretoke med $0,25 \cdot Q_{es}$ in Q_{es} (torej med $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ in $1,65 \text{ m}^3/\text{s}$). Pri manjših pretokih smo računali, da turbina ne obratuje. Se pravi, da smo pretoke pod $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ usmerili mimo hidroelektrarne in v strugi vzpostavljali enake razmere, kot bi bile pred morebitno gradnjo akumulacijske hidroelektrarne..

Drugo turbino (v nadaljevanju jo imenujemo dodatna turbina) smo dimenzionirali za pretok $Q_{inst,d}$, kjer je veljalo, da je vsota inštaliranih pretokov obeh turbin enaka inštaliranemu pretoku akumulacijske hidroelektrarne.

Tako velja zveza: $Q_{inst} = Q_{inst,g} + Q_{inst,d}$, kjer je Q_{inst} inštalirani pretok akumulacijske hidroelektrarne.

Inštalirani pretok akumulacijske hidroelektrarne smo povečevali s korakom $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$, in sicer od vrednosti $3,00 \text{ m}^3/\text{s}$ pa do $12,00 \text{ m}^3/\text{s}$. Za vsak inštalirani pretok smo določili skupno moč akumulacijske hidroelektrarne ter moči obeh turbin.

Hkrati smo za vsak dan iz obdobja meritev, t.j. 1986–1991 in 1999–2013, določili tudi višinski bruto potencial dela vode v akumulaciji, ki smo ga energetsko izkoristili. Za določanje višinskega bruto potenciala smo uporabili zvezo, ki je povezovala koto (nadmorsko višino) gladine s trenutnim volumnom vode v akumulaciji akumulacijske hidroelektrarne.

Dnevno proizvodnjo celotne akumulacijske hidroelektrarne (E) smo računali kot vsoto dnevno proizvedene energije vsake turbine. Veljalo je:

$E = E_g + E_d$, kjer sta oznaki E_g in E_d pomenili dnevne proizvodnje posamezne turbine.

Dnevno proizvedeno energijo za vsako turbino smo računali po formuli

$$E_g = \gamma * Q_{inst,g} * H_{b,d} * \eta * t_g \quad \text{in} \quad E_d = \gamma * Q_{inst,d} * H_{b,d} * \eta * t_d$$

Legenda:

E_g = dnevno proizvedena električna energija glavne turbine (kWh)

E_d = dnevno proizvedena električna energija dodatne turbine

$Q_{inst,g}$ = instalirani pretok glavne turbine (m^3/s)

$Q_{inst,d}$ = instalirani pretok dodatne turbine (m^3/s)

$H_{b,d}$ = bruto višinski potencial dneva (m)

γ = specifična teža vode (kN/m^3)

η = izkoristek elektrarne (izgube pri zajemu, izgube cevovoda, izgube turbine in generatorja)

t_g = dnevno število ur obratovanja glavne turbine (h)

t_d = dnevno število ur obratovanja dodatne turbine (h)

$H_{b,d}$ smo določali v odvisnosti od dnevnega pretoka. Veljajo naslednje zveze, kjer je dnevni pretok označen z Q , najnižja kota gladine vode v akumulaciji pa s h_t :

$H_{b,d} = H_b = 35,0$ m, če $Q \geq Q_{inst}$

$H_{b,d} = 17,5 + h_t/2$, če $Q < Q_{inst}$

Seštevek vseh dnevnih proizvedenj energije akumulacijske hidroelektrarne predstavlja hidroenergetski potencial le-te akumulacijske hidroelektrarne, in sicer za celotno obdobje meritev pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245, natančneje za obdobji med letoma 1986 in 1991 ter med letoma 1999 in 2013. Podobno kot pri pretočni hidroelektrarni smo hidroenergetski potencial celotnega obdobja meritev izrazili v obliki povprečnega letnega hidroenergetskega potenciala akumulacijske hidroelektrarne. Hkrati smo preračunali povprečno število ur obratovanja akumulacijske hidroelektrarne v enem letu.

8.6 Razpoložljiv energetske potencial akumulacijske hidroelektrarne

8.6.1 Potencial na osnovi dnevnih pretokov celotnega obdobja

Energetsko proizvodnjo akumulacijske hidroelektrarne smo računali na podlagi meritev dnevnih pretokov na vodomerni postaji Nadvode, 7245.

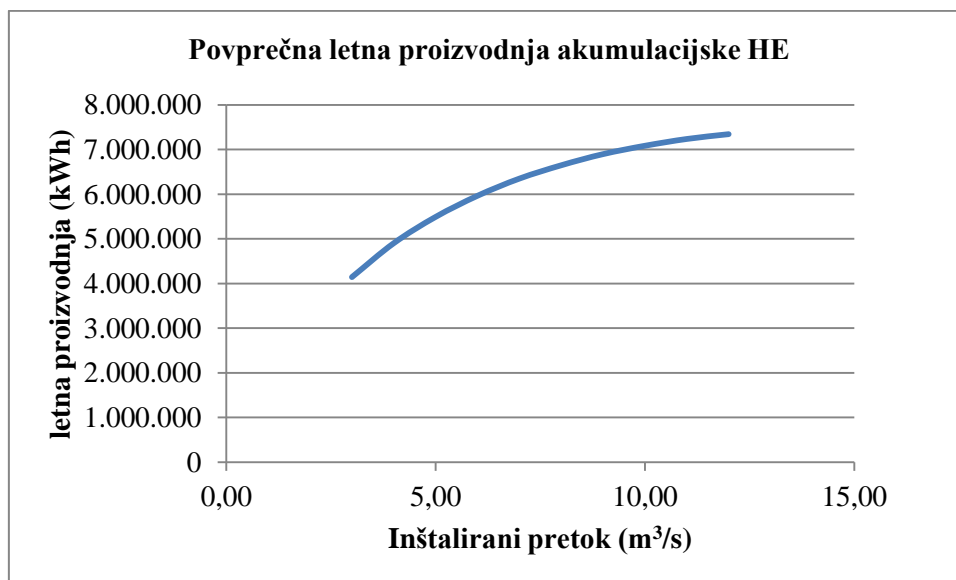
Po naši oceni je obdobje meritev dokaj dolgo, kar posledično pomeni precej zanesljive napovedi za predvideno proizvodnjo električne energije akumulacijske hidroelektrarne na tej lokaciji. Mnenja smo, da je takšen način ocenjevanja energetske proizvodnje najbolj realen.

Ocenjevanja hidroenergetskega potenciala na določeni lokaciji na osnovi krivulje trajanja pretokov bi se verjetno lotili, če bi izvedli bistveno manj meritev, oziroma bi bile meritve pretokov izvedene v bistveno krajšem obdobju.

Preglednica 9: Izračun hidroenergetskega potenciala akumulacijske hidroelektrarne

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja	Delež izk. (%)
3,00	845	4.143.343	4.905	56
4,00	1.126	4.903.173	4.354	50
5,00	1.408	5.491.878	3.901	45
6,00	1.689	5.964.923	3.531	40
7,00	1.971	6.349.375	3.222	37
8,00	2.252	6.648.533	2.952	34
9,00	2.534	6.898.283	2.722	31
10,00	2.815	7.085.477	2.517	29
11,00	3.097	7.237.633	2.337	27
12,00	3.379	7.344.793	2.174	25

Vsakemu inštaliranemu pretoku smo ob upoštevanju neto višinskega potenciala določili nazivno moč akumulacijske hidroelektrarne.



Slika 38: Diagram povprečne letne proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne v odvisnosti od skupnega inštaliranega pretoka akumulacijske hidroelektrarne

Ugotovimo, da s povečevanjem inštaliranega pretoka in posledično inštalirane moči povprečna letna proizvodnja hidroelektrarne ne narašča ves čas sorazmerno. Opaziti je trend naraščanja povprečne

letne proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne pribl. do pretokov 9,00 m³/s. S tem da je trend naraščanja vse manjši. Najbolj je izrazit do inštaliranega pretoka 6,00 m³/s.

Iz prikazanega diagrama na sliki 38 sklepamo, da je inštalirani pretok $Q_{inst} = 9,00 \text{ m}^3/\text{s}$ skrajna vrednost, ki bi potencialno še lahko bila zanimiva za nadaljnjo obravnavo. Izkoriščenost hidroelektrarne bi v tem primeru znašala 31%.

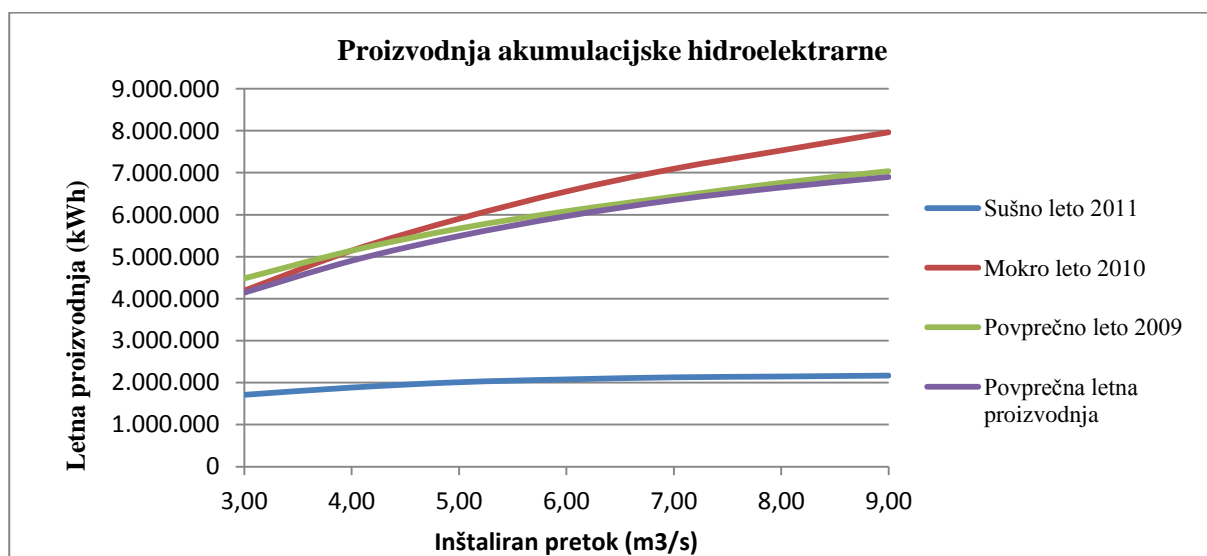
Tako znaša po naši oceni največja pričakovana letna proizvodnja akumulacijske hidroelektrarne Žegar po naših izračunih 6.898.283 kWh, in to pri skupni inštalirani moči 2.534 kW. Pri tem navajamo, da naša ocena še ne upošteva ekonomske presoje, ki sledi v nadaljevanju.

8.6.2 Potencial za mokro, sušno in povprečno leto

Na osnovi hidrogramov za mokro, sušno in povprečno leto (glej poglavje 5.4) smo izračunali tudi proizvodnjo akumulacijske hidroelektrarne za mokro, sušno in povprečno leto ter pridobljene vrednosti primerjali s povprečno proizvodnjo v obdobju meritev 1986–1991 in 1999–2013.

Preglednica 10: Letne proizvodnje (kWh) akumulacijske hidroelektrarne za sušno, mokro in povprečno leto ter povprečna letna proizvodnja v obdobju meritev 1986–1991 in 1999–2013 za različne inštalirane pretoke

Inštalirani pretok (m ³ /s)	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00
Sušno leto 2011	1.709.806	1.883.750	2.010.862	2.077.917	2.126.703	2.146.347	2.168.362
Mokro leto 2010	4.191.206	5.144.351	5.902.377	6.553.037	7.093.745	7.529.221	7.962.471
Povprečno leto 2009	4.482.956	5.143.369	5.670.685	6.082.024	6.429.412	6.758.268	7.036.548
Povprečna letna proizvodnja	4.143.343	4.903.173	5.491.878	5.964.923	6.349.375	6.648.533	6.898.283



Slika 39: Diagram proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne za mokro, sušno in povprečno leto

Proizvodnja v sušnem letu (2011) je za približno 2,5-krat manjša od proizvodnje v povprečnem letu oz. od povprečne letne proizvodnje v obravnavanem obdobju 1986–1991 in 1999–2013.

Iz preglednice 11 in diagrama na sliki 39 razberemo, da so v primeru akumulacijske elektrarne razlike v proizvodnji za mokro in povprečno leto minimalne. V primeru inštaliranega pretoka, pribl. $Q_{inst} = 4,00 \text{ m}^3/\text{s}$, razlike skoraj ni.

Prav tako opazimo minimalne razlike med proizvodnjo v povprečnem letu (2009) in povprečno letno proizvodnjo v celotnem obdobju 1986–1991 in 1999–2013. Takšno stanje je posledica akumulacije, s katero izravnavamo nihanja pretokov, hkrati pa dolvodno izboljšujemo razmere v vodotoku.

Iz preglednice 11 prav tako sklepamo, da je izkoriščenost akumulacijske hidroelektrarne največja v primeru inštaliranih pretokov $Q_{inst} =$ do $9,00 \text{ m}^3/\text{s}$. V teh primerih so razlike letne proizvodnje med mokrim in povprečnim letom do 10%, kar kaže na pozitiven učinek akumulacije. Z akumulacijo dosežemo stabilnejšo in bolj predvidljivo proizvodnjo.

8.7 Ocena stroška izgradnje akumulacijske hidroelektrarne

Pri oceni stroškov izgradnje akumulacijske hidroelektrarne smo upoštevali višino stroškov nabave primerljive opreme (turbina, generator, transformator, elektro oprema)— na osnovi ponudb proizvajalcev posameznih delov.

Stroške izgradnje akumulacijske hidroelektrarne smo razdelili na gradbena dela izgradnje pregrade za akumulacijo akumulacijske hidroelektrarne ter strojna in elektro montažna dela opreme akumulacijske hidroelektrarne (turbina, generator, transformator, elektro oprema).

Gradbena dela izgradnje pregrade: 4.000.000,00 EUR.

Strojna in elektro montažna dela: stroški strojno in elektro montažnih del za vsak inštaliran kW moči se znižajo z naraščanjem inštalirane moči. Na osnovi pridobljenih ponudb za opremo elektrarne podobnih moči se cene gibljejo med 800,00 in 1.000,00 EUR za vsak inštaliran kW moči.

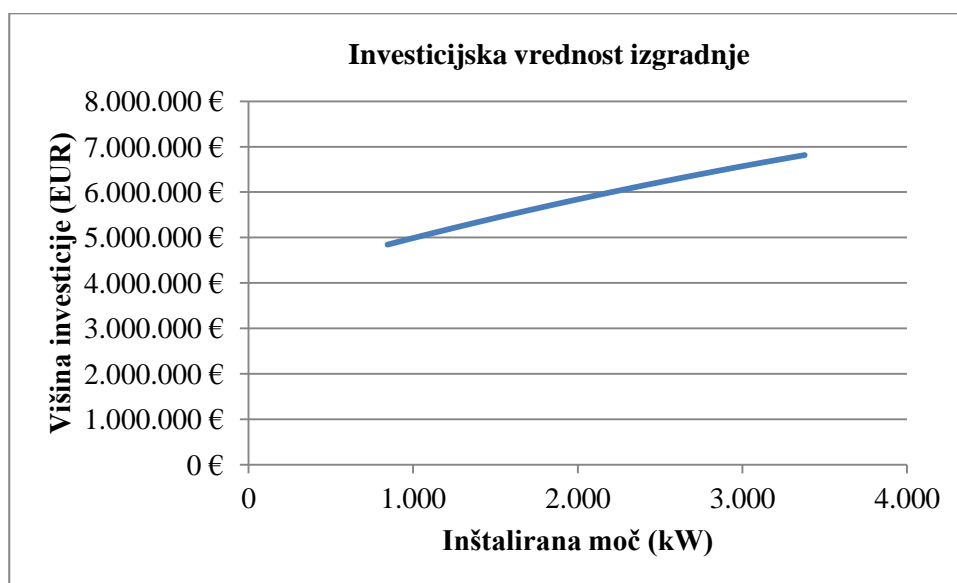
Preglednica 11: Višina stroškov izgradnje akumulacijske hidroelektrarne

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Vrednost izgradnje pregrade (EUR)	Investicijska vrednost elektrarne (EUR)	Investicijski strošek / kW (EUR/kW)
3,00	845	4.143.343	4.000.000 €	4.844.641,00 €	5.736
4,00	1.126	4.903.173	4.000.000 €	5.103.664,24 €	4.532
5,00	1.408	5.491.878	4.000.000 €	5.351.988,69 €	3.802
6,00	1.689	5.964.923	4.000.000 €	5.589.938,70 €	3.309

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 12

7,00	1.971	6.349.375	4.000.000 €	5.817.829,92 €	2.952
8,00	2.252	6.648.533	4.000.000 €	6.035.969,51 €	2.680
9,00	2.534	6.898.283	4.000.000 €	6.244.656,38 €	2.464
10,00	2.815	7.085.477	4.000.000 €	6.444.181,40 €	2.289
11,00	3.097	7.237.633	4.000.000 €	6.634.827,54 €	2.142
12,00	3.379	7.344.793	4.000.000 €	6.816.870,17 €	2.018



Slika 40: Diagram odvisnosti stroškov izgradnje akumulacijske hidroelektrarne od nazivne moči

Iz preglednice 12 in diagrama na sliki 40 prepoznamo, da z naraščanjem inštalirane moči stroški izgradnje akumulacijske hidroelektrarne v našem primeru ne rastejo linearno, temveč je hitrost prirasta stroškov v odvisnosti od povečanja moči vse manjša. Razlog je fiksni strošek izgradnje pregrade – strošek izgradnje pregrade je enak ne glede na inštalirano moč turbine.

8.8 Prihodki akumulacijske hidroelektrarne

Računali smo letne prihodke akumulacijske hidroelektrarne Žegar, in sicer za povprečno letno proizvodnjo za skupne inštalirane pretoke Q_{inst} v vrednostih od 3,00 m³/s do 12,00 m³/s.

Predvideli smo dve možni prodajni ceni za proizvedeno električno energijo akumulacijske hidroelektrarne Žegar.

V prvem primeru smo računali prihodke, če se vsa proizvedena električna energija proda po trenutni tržni ceni električne energije, t.j. 40,00 EUR/MWh. V tem primeru so povratne dobe investicij med 24,2 in 29,4 let.

Preglednica 12: Prihodki akumulacijske hidroelektrarne Žegar za različne inštalirane pretoke oziroma moči

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Nazivna moč (kW)	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja	Vrednost izgradnje pregrade (EUR)	Vrednost opreme (EUR/kW)	Investicijska vrednost (EUR)	Investicijski strošek / kW (EUR/kW)	Letni prihodek - tržna cena energije (EUR)	Povratna doba - tržna cena energije (leta)	Letni prihodek - podpora za obnovljiv vir (EUR)	Povratna doba - podpora za obnovljiv vir (leta)
3	845	4.143.343	4.905	4.000.000	999	4.844.641	5.736	165.734	29,2	461.554	10,5
4	1.126	4.903.173	4.354	4.000.000	980	5.103.664	4.532	196.127	26,0	546.197	9,3
5	1.408	5.491.878	3.901	4.000.000	960	5.351.989	3.802	219.675	24,4	611.776	8,7
6	1.689	5.964.923	3.531	4.000.000	941	5.589.939	3.309	238.597	23,4	664.472	8,4
7	1.971	6.349.375	3.222	4.000.000	922	5.817.830	2.952	253.975	22,9	707.299	8,2
8	2.252	6.648.533	2.952	4.000.000	904	6.035.970	2.680	265.941	22,7	740.624	8,1
9	2.534	6.898.283	2.722	4.000.000	886	6.244.656	2.464	275.931	22,6	768.445	8,1
10	2.815	7.085.477	2.517	4.000.000	868	6.444.181	2.289	283.419	22,7	789.298	8,2
11	3.097	7.237.633	2.337	4.000.000	851	6.634.828	2.142	289.505	22,9	806.248	8,2
12	3.379	7.344.793	2.174	4.000.000	834	6.816.870	2.018	293.792	23,2	818.185	8,3

V drugem primeru smo upoštevali, da se akumulacijska hidroelektrarna Žegar uvršča med t.i. obnovljive vire energije (glej poglavje 2). Tako bi bila vsa proizvedena električna energija upravičena do t.i. podpore za električno energijo, proizvedeno iz obnovljivih virov, ki bi v tem primeru znašala 111,40 EUR/MWh. Tako bi bile povratne dobe krajše in bi se gibale med 8,7 in 10,6 let.

Iz preglednice 13 opazimo, da so najnižje povratne dobe investicije okrog 8,1 let (v primeru prodaje električne energije, proizvedene iz obnovljivega vira), in to pri skupnem inštaliranem pretoku akumulacijske hidroelektrarne 9,00 m³/s. Če pretok večamo, se povečajo tudi povratne dobe investicije.

Tako lahko potrdimo naš izračun hidroenergetskega potenciala akumulacijske hidroelektrarne tudi z vidika ekonomske presoje. Tudi po tem kriteriju je najbolj optimalen inštalirani pretok $Q_{inst} = 9,00$

m³/s, pri tem znaša hidroenergetski potencial akumulacijske hidroelektrarne 6.898.283 kWh, in to pri skupni inštalirani moči akumulacijske hidroelektrarne 2.534 kW.

8.9 Primerjava hidroenergetskih potencialov akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne

Želeli smo primerjati hidroenergetske potenciale akumulacijske in derivacijske elektrarne, pri čemer smo upoštevali enak bruto padec pri obeh tipih hidroelektrarn. Prav tako smo pri obeh primerih izračune izvedli na osnovi enakih vrednosti srednjih dnevnih pretokov.

Preglednica 13: Primerjava povprečnih letnih proizvođenj akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne

Inštalirani pretok (m ³ /s)	Akumulacijska hidroelektrarna		Derivacijska hidroelektrarna	
	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja	Povprečna letna proizvodnja (kWh)	Povprečno letno število ur obratovanja
3,00	4.143.343	4.905	2.670.099	3.161
4,00	4.903.173	4.354	3.229.849	2.868
5,00	5.491.878	3.901	3.695.718	2.625
6,00	5.964.923	3.531	4.088.397	2.420
7,00	6.349.375	3.222	4.423.700	2.245
8,00	6.648.533	2.952	4.710.586	2.091
9,00	6.898.283	2.722	4.953.584	1.955
10,00	7.085.477	2.517	5.165.777	1.835
11,00	7.237.633	2.337	5.350.125	1.728
12,00	7.344.793	2.174	5.514.227	1.632

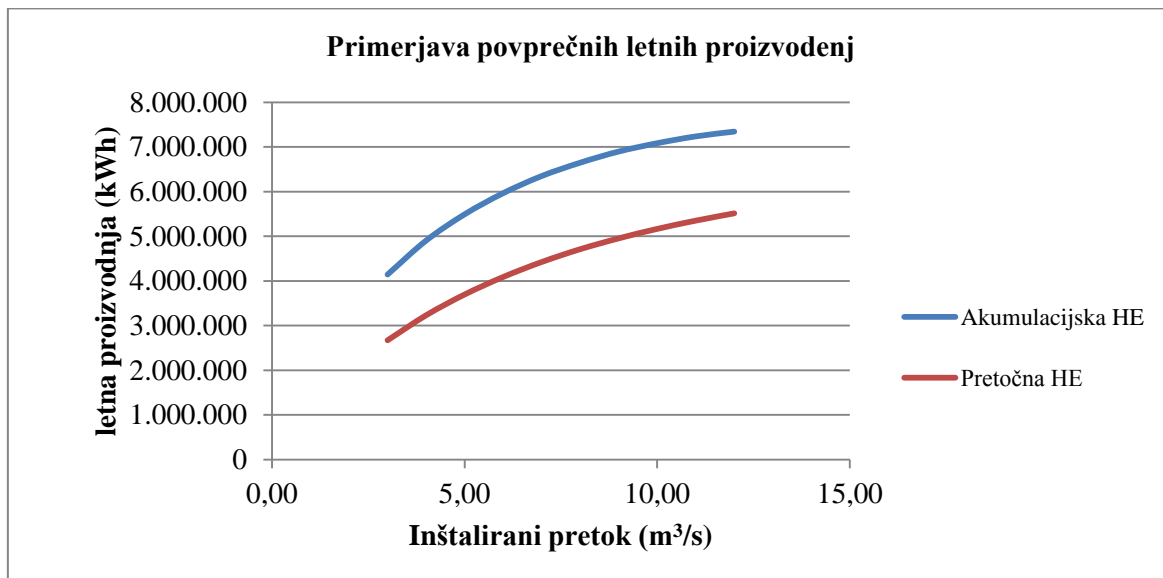
Iz preglednice 14 in diagrama na sliki 41 je razvidna očitna razlika hidroenergetskega potenciala akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne enakih inštaliranih pretokov, bruto višin in moči ter pod enakimi hidrološkimi pogoji.

Razlike pri povprečni letni proizvodnji so med 33% in 55% v korist povprečne letne proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne za enake inštalirane pretoke.

Poleg navedenega se iz obnašanja diagrama povprečnih letnih proizvođenj razbere tudi precej počasnejše naraščanje letne proizvodnje v odvisnosti od povečevanja inštaliranih pretokov pri akumulacijski hidroelektrarni v primerjavi s derivacijsko hidroelektrarno.

Izračuni izkoriščenosti tudi govorijo v prid akumulacijski hidroelektrarni. Vrednosti deleža izkoriščenosti med 31 in 56 % (tabela 10) pri akumulacijski ter med 22 in 36% pri derivacijski hidroelektrarni dodatno utemeljujejo izbor akumulacijske hidroelektrarne na lokaciji Žegar.

Navedeno dodatno utemelji naše izračune hidroenergetskih potencialov obeh tipov hidroelektrarn, kjer smo za končna povprečna letna hidroenergetska potenciala izračunali 6.898.283 kWh za akumulacijsko hidroelektrarno in le 3.695.718 kWh za derivacijsko hidroelektrarno.



Slika 41: Diagram primerjave povprečnih letnih proizvodenj akumulacijske in derivacijske hidroelektrarne

9 EKONOMSKA UPRAVIČENOST IZGRADNJE HIDROELEKTRARNE

V tem poglavju želimo naše izračune o hidroenergetskem potencialu hidroelektrarne Žegar (obeh tipov – derivacijskega in akumulacijskega) preveriti še s stališča ekonomske upravičenosti.

V preračunu ekonomske upravičenosti investicije smo predpostavili, da želi potencialni investitor v hidroelektrarno Žegar za financiranje investicije pridobiti posojilo banke za dobo 10 let. Doba 10 let je bila izbrana kot realna doba za financiranje energetskega projekta obnovljivih virov. Po dostopnih podatkih banke v današnjem času na splošno pozitivno pristopajo k financiranju projektov obnovljivih virov energije.

Financiranje projektov obnovljivih virov energije, kamor lahko uvrstimo tudi projekt izgradnje hidroelektrarne Žegar, so projekti z nižjo stopnjo tveganja. Nižja stopnja tveganja je utemeljena z relativno predvidljivim potekom prihodkov hidroelektrarne, saj se pogodba o t.i. podpori za proizvedeno energijo sklepa za dolgo časovno obdobje in je cena za proizvedeno energijo fiksna za celotno obdobje, v našem primeru 14 let.

Dejavnik, ki dodatno zmanjšuje tveganje, je tudi dejstvo, da se pogodba o t.i. podpori za proizvedeno energijo sklepa z državo, v našem primeru z Republiko Hrvaško. Pogodbe z državo v splošnem veljajo za varne.

Navesti je treba tudi, da so odhodki hidroelektrarne prav tako precej dobro predvidljivi za dolgo časovno obdobje. Glede na to, da hidroelektrarna skoraj ni odvisna od vhodnih surovin, ki bi jih bilo potrebno kupiti (plačati) na trgu, so odhodki hidroelektrarne le letna koncesnina, ki se plačuje državi, strošek zavarovanja hidroelektrarne za primer nesreče, poškodbe, okvare in posledične izgube prihodka ter obratovalni stroški upravljanja elektrarne. Skratka, vsi prihodki so predvidljivi in se med financiranjem bistveno ne spreminjajo.

Objekti hidroelektrarne so objekti z daljšimi življenjskimi dobami, in zato v prvih letih obratovanja ni pričakovati okvar kot posledic iztrošenosti oz. dotrajanosti posameznih členov hidroelektrarne.

Ekonomske preračune stroškovne učinkovitosti smo izdelali za oba tipa hidroelektrarn (derivacijskega in akumulacijskega), in sicer za primer, ki smo ga predhodno določili kot hidroenergetski potencial obeh tipov elektrarn.

9.1 Stroškovna učinkovitost derivacijske hidroelektrarne

Vhodni podatki, ki smo jih uporabili pri preračunu ekonomske učinkovitosti:

Preglednica 14: Vhodni podatki, ki smo jih uporabili pri preračunu ekonomske učinkovitosti derivacijske hidroelektrarne

Stroškovna vrednost v EUR	3.505.260,15 €
Lastna sredstva investitorja v EUR	1.226.841
Letna proizvodnja v kWh	3.695.718
Odstotek financiranja investicije	65
Višina posojila v EUR	2.278.419,10 €
Letna obrestna mera v %	5,00
Trajanje kredita v letih	10
Obratovalni stroški v % na stroškovno vrednost investicije	1,00
Zavarovanje v EUR na leto	28.042,08 €
Obratovalna podpora za OIE v EUR/MWh	111,40
Tržna cena električne energije v EUR/MWh po 14 letu	40,00
Letni strošek koncesnine (%)	3,00

Preglednica 15: Prihodki in odhodki derivacijske hidroelektrarne za prvih 14 let obratovanja

Leto	Prilivi EUR	Obratovalni stroški EUR	Zavarovanje EUR	Koncesnina EUR	Obveznost kredita EUR	Preostanek dolga EUR	Prilivi - odlivi EUR	NSV (EUR)
1	411.703	35.053	28.042	12.351	336.541	2.050.577	-284	-266
2	411.703	35.053	28.042	12.351	325.149	1.822.735	11.108	9.702
3	411.703	35.053	28.042	12.351	313.757	1.594.893	22.500	18.367
4	411.703	35.053	28.042	12.351	302.365	1.367.051	33.892	25.856
5	411.703	35.053	28.042	12.351	290.973	1.139.210	45.284	32.287
6	411.703	35.053	28.042	12.351	279.581	911.368	56.676	37.766
7	411.703	35.053	28.042	12.351	268.189	683.526	68.068	42.390
8	411.703	35.053	28.042	12.351	256.797	455.684	79.460	46.247
9	411.703	35.053	28.042	12.351	245.405	227.842	90.853	49.418
10	411.703	35.053	28.042	12.351	234.013	0	102.245	51.976
11	411.703	35.053	28.042	12.351	0	0	336.257	159.753
12	411.703	35.053	28.042	12.351	0	0	336.257	149.302
13	411.703	35.053	28.042	12.351	0	0	336.257	139.535
14	411.703	35.053	28.042	12.351	0	0	336.257	130.406
							Skupaj	892.739

Preračun ekonomske učinkovitosti derivacijske hidroelektrarne (rezultati so zbrani v preglednici 16) kažejo na ekonomsko neupravičenost gradnje derivacijske hidroelektrarne Žegar. Sedanja neto vrednost letnih razlik prilivov in odlivov derivacijske hidroelektrarne za prvih 14 let obratovanja znaša 892.739 EUR.

Lastna sredstva, ki jih potrebujemo za izgradnjo derivacijske hidroelektrarne, znašajo 1.226.841 EUR. To pomeni, da na današnji dan znaša primanjkljaj 334.102 EUR.

Letna proizvodnja derivacijske hidroelektrarne Žegar v višini 3.695.718 kWh je tako bistveno prenizka, da bi bila za morebitnega investitorja zanimiva. To pa pomeni, da predhodno izračunana energetska proizvodnja derivacijske hidroelektrarne ekonomsko ni upravičena.

9.2 Stroškovna učinkovitost akumulacijske hidroelektrarne

Vhodni podatki, ki smo jih uporabili pri preračunu ekonomske učinkovitosti:

Preglednica 16: Vhodni podatki za preračun ekonomske učinkovitosti akumulacijske hidroelektrarne

Stroškovna vrednost v EUR	6.244.656,38 €
Lastna sredstva investitorja v EUR	2.185.630 €
Letna proizvodnja v kWh	6.898.283
Odstotek financiranja investicije	65
Višina posojila v EUR	4.059.026,65 €
Letna obrestna mera v %	5,00
Trajanje kredita v letih	10
Obratovalni stroški v % na stroškovno vrednost investicije	1,00
Zavarovanje v EUR na leto	49.957,25 €
Obratovalna podpora za OIE v EUR/MWh	111,40
Tržna cena električne energije v EUR/MWh po 14 letu	40,00
Letni strošek koncesnine (%)	3,00

Preglednica 17: Prihodki in odhodki akumulacijske hidroelektrarne za prvih 14 let obratovanja

Leto	Prilivi EUR	Obratovalni stroški EUR	Zavarovanje EUR	Koncesnina EUR	Obveznost kredita EUR	Preostanek dolga EUR	Prilivi odlivi EUR	- NSV (EUR)
1	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	599.552,06	3.653.123,98	33.458,80	31.269,91
2	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	579.256,93	3.247.221,32	53.753,94	46.950,77
3	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	558.961,79	2.841.318,65	74.049,07	60.446,10
4	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	538.666,66	2.435.415,99	94.344,20	71.974,74
5	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	518.371,53	2.029.513,32	114.639,34	81.736,26
6	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	498.076,40	1.623.610,66	134.934,47	89.912,54
7	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	477.781,26	1.217.707,99	155.229,60	96.669,20
8	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	457.486,13	811.805,33	175.524,74	102.157,00
9	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	437.191,00	405.902,66	195.819,87	106.513,04
10	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	416.895,86	0,00	216.115,00	109.861,91
11	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	0,00	0,00	633.010,87	300.738,90
12	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	0,00	0,00	633.010,87	281.064,39
13	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	0,00	0,00	633.010,87	262.677,00
14	768.468,74	62.446,56	49.957,25	23.054,06	0,00	0,00	633.010,87	245.492,53
							Skupaj	1.887.464,29

Rezultati preračuna ekonomske upravičenosti, zbrani v preglednici 18, nam govorijo o ekonomski neupravičenosti projekta akumulacijske hidroelektrarne Žegar.

Neto sedanja vrednost razlik letnih prilivov in odhodkov znaša v prvih 14 letih obratovanja akumulacijske hidroelektrarne 1.887.464,29 EUR.

Lastna udeležba potencialnega investitorja je v primeru izračuna kredita znašala 2.185.630 EUR. Se pravi, da neto sedanja vrednost primanjkljaja znaša 298.165,71 EUR.

Omeniti velja, da je bil izračun narejen za dobo 14 let, kolikor časa traja podpora za električno energijo iz obnovljivega vira. Po tem obdobju se proizvedena električna energija lahko prodaja na prostem trgu. Današnje tržne cene električne energije so približno 3-krat nižje od podpore za elektriko iz obnovljivih virov.

To pomeni, da je izračunani hidroenergetski potencial akumulacijske hidroelektrarne v višini 6.898.283 kWh po kriteriju ekonomske upravičenosti prenizek. Na podlagi tega ocenjujemo, da morebitna naložba v gradnjo akumulacijske hidroelektrarne Žegar ne bi bila smiselna.

10 ZAKLJUČEK

Izgradnja hidroelektrarne Žegar na reki Zrmanji na Hrvaškem je bila pri izdelavi diplomske naloge z vsakim korakom manj smiselna.

Lokacijo morebitne elektrarne Žegar na reki Zrmanji smo prvič obiskali v sredini meseca decembra. Pri ogledu lokacije smo zaznali znaten pretok, kar ni tako redek pojav za to obdobje leta in kar lahko utemeljujemo tudi z meritvami pretokov za obdobje 1986–1991 in 1999–2013, ki smo jih pridobili kmalu po ogledu lokacije.

Obdelava podatkov meritev pretokov z vodomerne postaje Nadvode je bila naša naslednja naloga pri izdelavi diplomske naloge. Hidrološke podatke smo obdelali, in tako izdelali krivulje trajanja pretokov. Krivulje trajanja pretokov smo izdelali za celotno obdobje meritev, za najbolj mokra leta, za najbolj suha leta in prav tako za povprečna leta. Na osnovi podatkov meritev pretokov smo določili majhne, srednje in velike pretoke, in sicer za vsak mesec leta v obravnavanem obdobju in odstopanja prikazali v diagramih.

Na osnovi podatkov meritev pretokov za obdobje 1986–1991 in 1999–2013 smo izdelali tudi hidrogram dnevni pretokov. Iz tega hidrograma smo razbrali to, kar za hidroenergetski potencial morebitne hidroelektrarne prav tako ni pozitivno. Zaznali smo namreč precejšnja nihanja pretokov, kar smo povezali s kraškim terenom širšega območja reke Zrmanje. Takšno območje ima namreč izredno slabo akumulacijsko sposobnost zadrževanje padavin. Posledica tega je, da padavinska voda zelo hitro doseže izvire oz. strugo reke Zrmanje in da ta voda hkrati zelo hitro tudi odteče. Posledica tega so hipni visoki pretoki, ki jih ni mogoče v veliki meri izkoristiti v energetske namene, hkrati pa trajajo kratek čas. Lahko bi rekli, da ima reka Zrmanja delno tudi hudourniški značaj. Na osnovi teh hidrogramov smo definirali rečni režim reke Zrmanje na odseku, kjer so bile izvedene meritve pretokov. Prišli smo do zaključka, da ima reka Zrmanja na obravnavanem odseku tipičen dežni rečni režim z izrazitim nižkom poleti in viškom v prvem delu pomladi ter relativno visokim pretokom pozimi in pozno jeseni. Ravno poletni nižek je krivec za nedelovanje elektrarne v poletnem času, vsaj 4 mesece.

Določanje energetske proizvodnje smo pripravili za dva primera. Določali smo energetske proizvodnje derivacijske hidroelektrarne in energetske proizvodnje akumulacijske hidroelektrarne. Za obe elektrarni smo energetske proizvodnje določali na osnovi enakih osnovnih karakteristik. Upoštevali smo enake meritve pretokov in hkrati za višinski bruto potencial vzeli enake vrednosti. Tako smo na koncu rezultate izračunov lahko tudi medsebojno primerjali.

Geometrijske karakteristike terena smo določili na osnovi pridobljenih geodetskih meritev, in sicer je bil za območje obravnavane lokacije izveden detajlni geodetski posnetek terena z vsemi višinskimi kotami. Posneto je bilo tudi korito reke Zrmanje in širši celotni obalni pas ob strugi.

Na osnovi teh podatkov smo izdelali prečne profile trase, dolge približno 4.000 m. Prav tako smo naredili vzdolžni profil dna struge reke Zrmanje na obravnavanem odseku. Prečni in vzdolžni profili so nam služili za modeliranje akumulacije in določanje parametrov le-te (določali smo volumen akumulacije, iskali smo zvezo med trenutno koto gladine in trenutnim volumnom akumulirane vode v akumulaciji, določali smo najvišjo koto vode v akumulaciji ...).

Za vsak tip hidroelektrarne smo določali energetske proizvodnje, in sicer tako, da smo po korakih povečevali inštalirane pretoke pri vsakemu tipu elektrarne in računali povprečno letno proizvodnjo vsake hidroelektrarne.

Pri derivacijskemu tipu hidroelektrarne smo že zelo kmalu (pri pretokih pod $7,00 \text{ m}^3/\text{s}$) zaznali zelo nizke vrednosti izračunane povprečne letne proizvodnje. Pri akumulacijskem tipu so bile vrednosti nekoliko višje (mejni inštalirani pretok je v tej fazi meril $9,00 \text{ m}^3/\text{s}$). Hkrati smo računali še število ur v letu, ko sta elektrarni obratovali. Te vrednosti so bile, še posebej pri derivacijski hidroelektrarni, zelo nizke. Tako smo morali narediti korekcijo povprečne letne proizvodnje derivacijske hidroelektrarne, in sicer smo kot inštalirani pretok določili vrednost $5,00 \text{ m}^3/\text{s}$, energetske proizvodnje derivacijske hidroelektrarne pa ocenili z vrednostjo $3.695.718 \text{ kWh}$.

Izračun v primeru akumulacijske hidroelektrarne pa nam je pokazal, da znaša energetska proizvodnja akumulacijskega tipa hidroelektrarne Žegar $6.898.283 \text{ kWh}$, in to pri inštaliranemu pretoku $9,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za obe vrsti hidroelektrarn smo v nadaljevanju izračunali še stroške izgradnje vsake hidroelektrarne in na osnovi izračunanih povprečnih letnih proizvodenj tudi prihodke. Prihodke smo izračunali za dva primera. V prvem smo predvideli prodajo proizvedene električne energije na prostem trgu električne energije, v drugem pa elektrarni uvrstili med t.i. obnovljive vire energije in prihodke računali na osnovi veljavne podpore, do katere je upravičena električna energija, proizvedena iz obnovljivih virov.

Medsebojna primerjava energetskih proizvodenj obeh tipov elektrarn je pokazala, da je iz vidika letne proizvedene količine električne energije akumulacijski tip hidroelektrarne mnogo boljši, proizvodnja je bila višja med 33 in 55%.

Ker se je z vsakim korakom, kot smo že navedli, zmanjšala vrednost energetske proizvodnje lokacije Žegar, smo pred končno odločitvijo o smotnosti izgradnje hidroelektrarne na lokaciji Žegar izvedli še oceno ekonomske upravičenosti takšne investicije.

Predvideli smo, da bi morebitni investitor za gradnjo hidroelektrarne kot obnovljivega vira energije pridobil bančni kredit za izgradnjo hidroelektrarne v višini 65%-investicije. Banke namreč ponujajo veliko kreditov za financiranje izgradnje obnovljivih virov energije, saj takšno investicijo ocenjujejo kot manj tvegano.

Pri oceni ekonomske upravičenosti smo na prihodkovni strani upoštevali podporo za vso proizvedeno električno energijo za vsako leto (količina energije je bil hidroenergetski potencial, ki smo ga izračunali predhodno), med odhodke pa šteli obveznosti do banke iz naslova vračanja kredita, stroške zavarovanj objekta za vse mogoče vrste tveganja in stroške tekočega obratovanja hidroelektrarne. Na koncu smo razliko letnih prihodkov in odhodkov preračunali v sedanjo neto vrednost.

Iz izračunov smo razbrali, da noben tip hidroelektrarne na osnovi izračunane energetske proizvodnje ni ekonomsko upravičen. Oba tipa elektrarn nista proizvedla dovolj električne energije, da bi se vložena lastna sredstva povrnila v obdobju 14 let.

Na osnovi izračuna energetske proizvodnje, ki smo jo že označili kot nizko, in ekonomske neupravičenosti investicije v gradnjo hidroelektrarne Žegar (po kriteriju neto sedanje vrednosti prihodkov in odhodkov v primerjavi z vloženimi lastnimi sredstvi) smo zaključili, da projekt izgradnje hidroelektrarne Žegar ni upravičen in kot takšen, vsaj za investitorja zasebnega prava, ni zanimiv oz. se ga ne svetuje.

VIRI

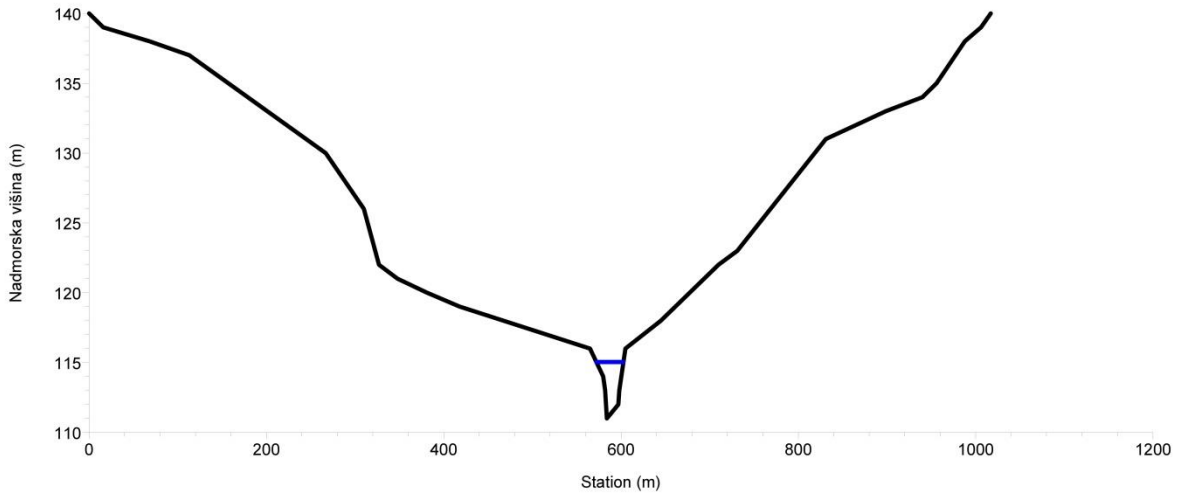
- [1] Bašić, H., Mahmutović, Z., Pavlin, Ž. 1999. Mogućnost korištenja vodnog potencijala u Strategiji energetskeg razvitka Republike Hrvatske. Zagreb.
- [2] Wikipedija
https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidroelektrana_Velebit (Pridobljeno 25. 7. 2016)
- [3] Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske. Narodne novine RH, broj 130/09
- [4] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji. Narodne novine RH, broj 100/15
- [5] Uredba o naknadi za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Narodne novine RH, broj 128/13
- [6] Tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije. Narodne novine RH, broj 133/13
- [7] Google Earth. Ortofoto posnetek terena z vrisano lokacije HE Žegar
<https://earth.google.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2016)
- [8] Wikipedija
https://hr.wikipedia.org/wiki/Hrvatske_%C5%BEupanije (Pridobljeno 26. 7. 2016)
- [9] Wikipedija
<https://hr.wikipedia.org/wiki/Obrovac> (Pridobljeno 26. 7. 2016)
- [10] Rijeka Zrmanja - Photo thread
<http://www.panoramio.com/photos/original/77962593.jpg> (Pridobljeno: 10. 8. 2016)
- [11] Rijeke Hrvatske
http://www.crorivers.com/popis-rijeka_zrmanja-opcenito.php (Pridobljeno: 27. 7. 2016)
- [12] Rijeke Hrvatske
http://www.crorivers.com/popis-rijeka_zrmanja-geografija.php (Pridobljeno: 27. 7. 2016)
- [13] Antena Zadar
<http://www.antenazadar.hr/clanak/2014/11/30-obljetnica-pustanja-u-pogon-reverzibilne-hidroelektrane-velebit/> (Pridobljeno: 24. 8. 2016)
- [14] Tudor Komazec
<http://www.komazec.com/zrmanja.htm> (Pridobljeno: 24. 8. 2016)
- [15] Metapedija
http://hr.metapedia.org/wiki/Zrmanja_i_Karin (Pridobljeno: 24. 8. 2016)
- [16] Wikipedija
https://sl.wikipedia.org/wiki/Re%C4%8Dni_re%C5%BEim (Pridobljeno: 24. 8. 2016)

-
- [17] Wikipedija
<https://sl.wikipedia.org/wiki/Kras#Morfologija> (Pridobljeno 24. 8. 2016)
- [18] Cerkovnik, U. 2011. Dravske elektrarne. Sinergija. 2011; 2: 5.
- [19] Google Earth. Ortofoto posnetek terena z vrisano lokacije HE Žegar in zajemom vode derivacijske hidroelektrarne
<https://earth.google.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2016)
- [20] Hočevar, M. 2015. Hidroenergetski sistemi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 83 str.
- [21] TPS Turbine
<http://www.tps.si/francis/> (Pridobljeno 27.7.2016)
- [22] Google Earth. Ortofoto posnetek terena kanjona gorvodno od HE Žegar
<https://earth.google.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2016)

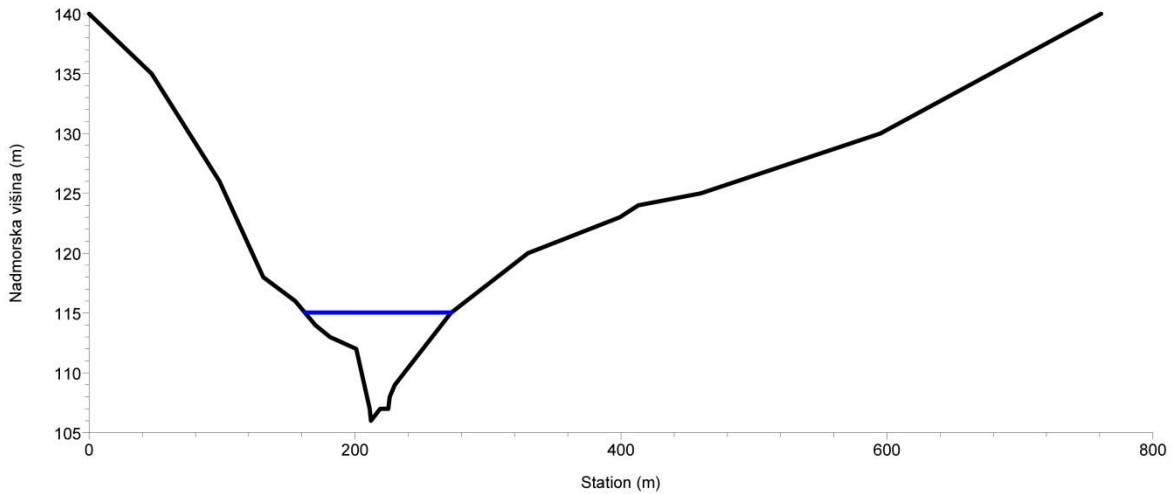
PRILOGE

PRILOGA A: PREČNI PROFILI TRASE HE ŽEGAR – izpis programa HEC RAS

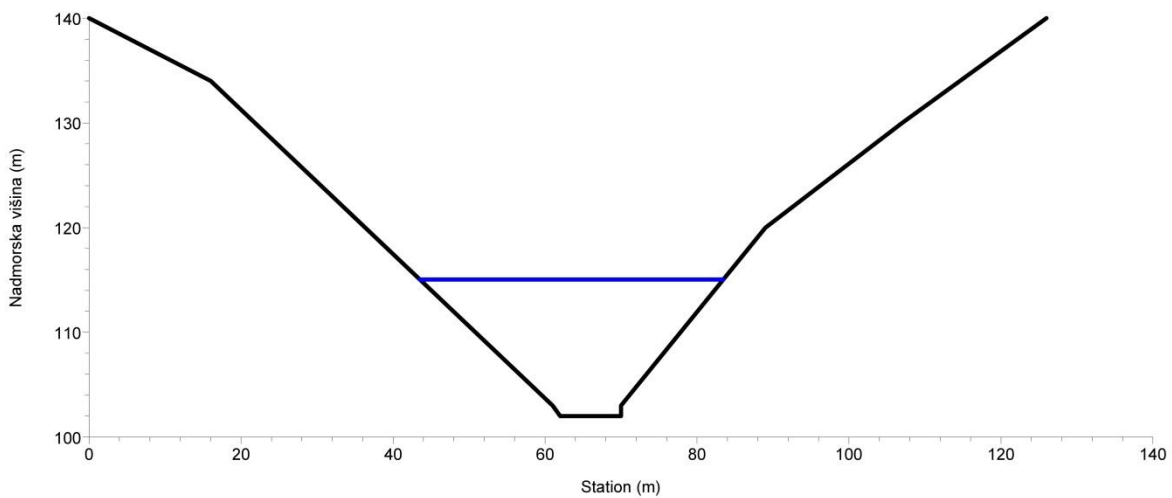
River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 15 Profil 12
Akumulacija HE Žegar

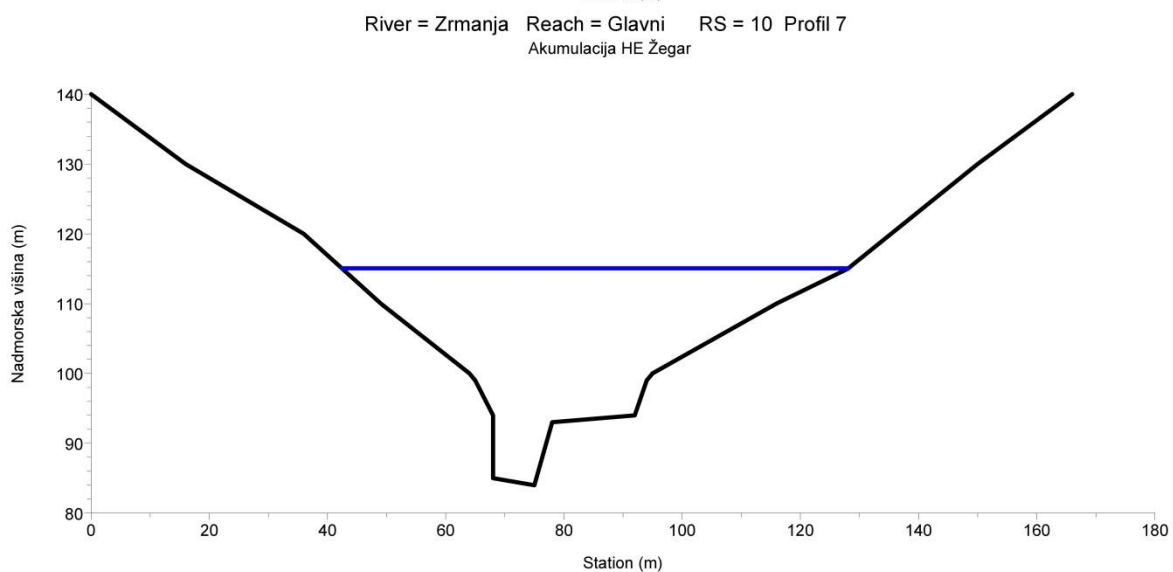
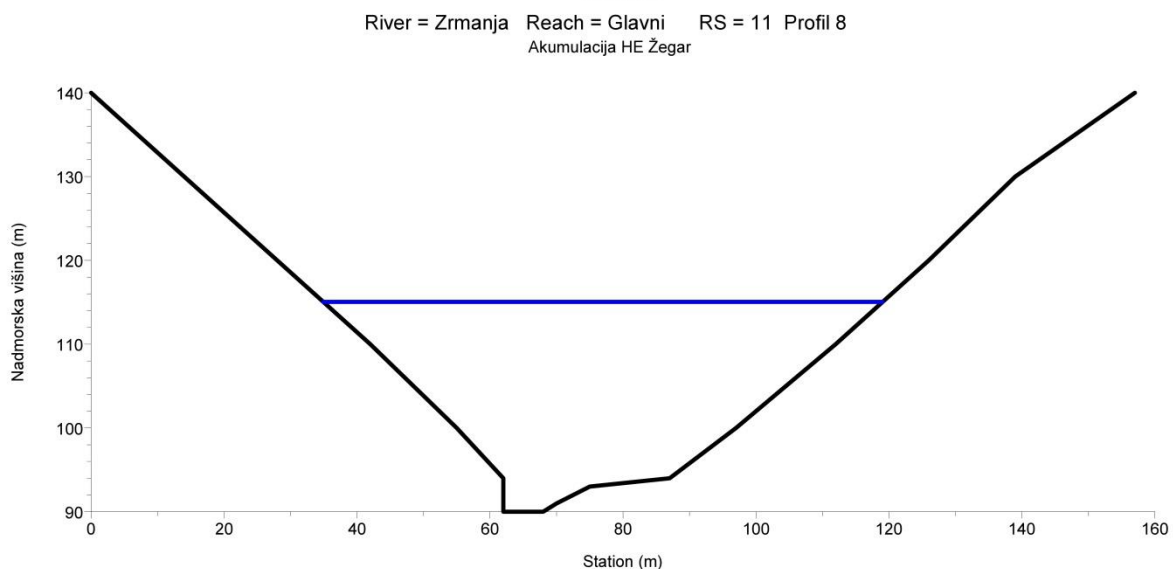
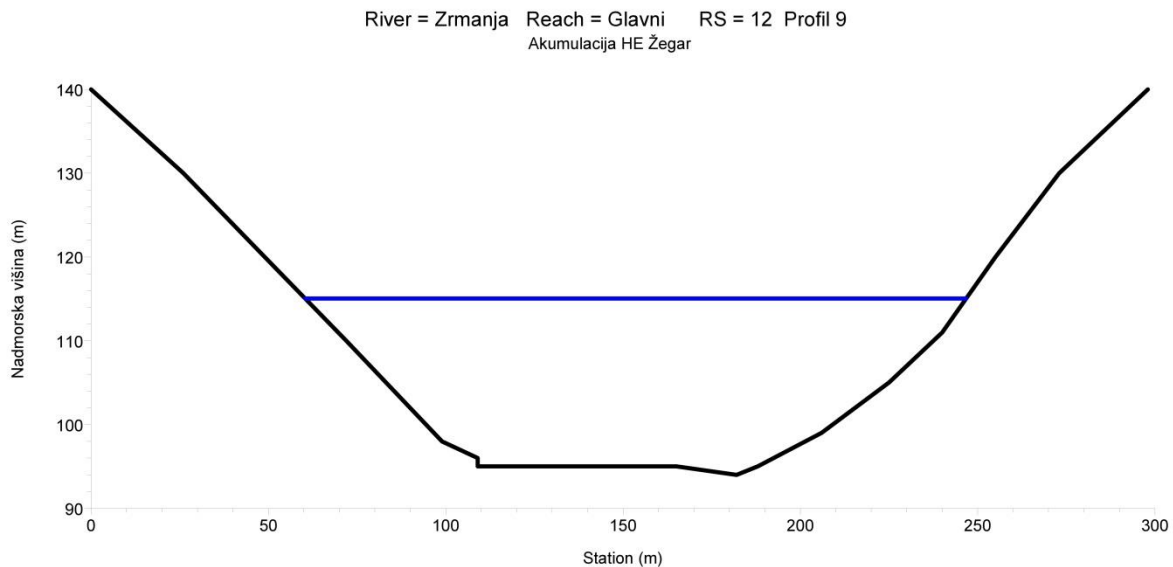


River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 14 Profil 11
Akumulacija HE Žegar

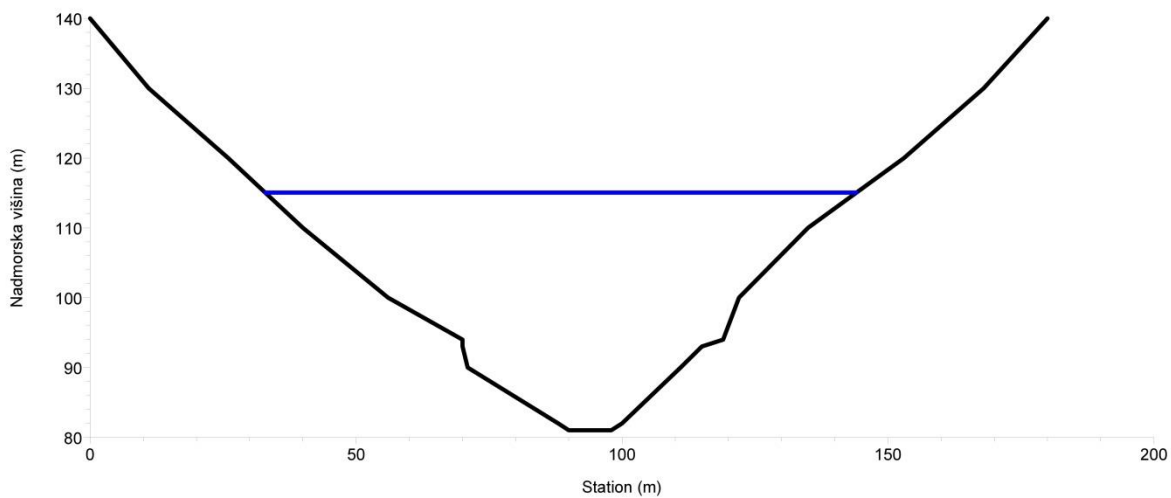


River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 13 Profil 10
Akumulacija HE Žegar

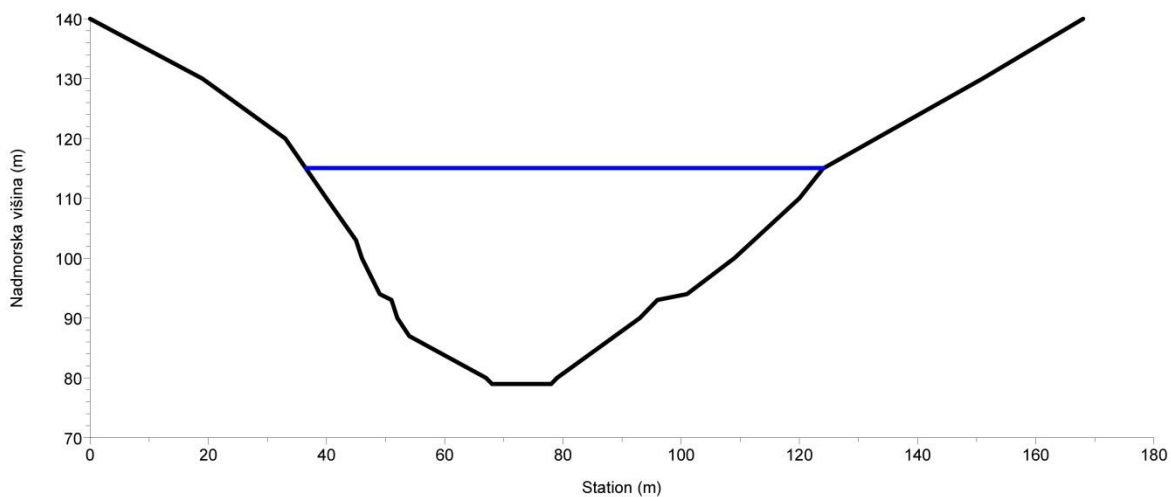




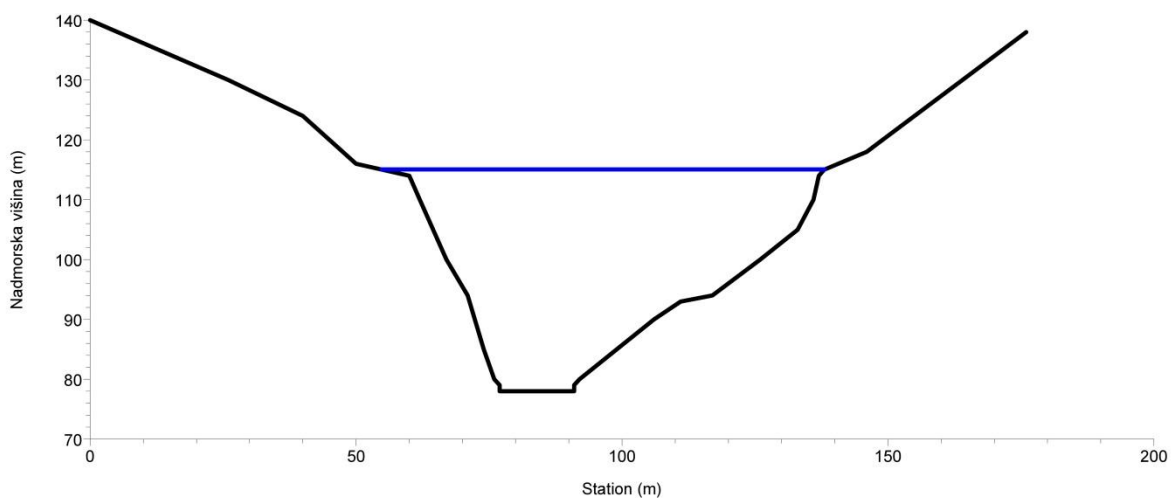
River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 9 Profil 6
Akumulacija HE Žegar

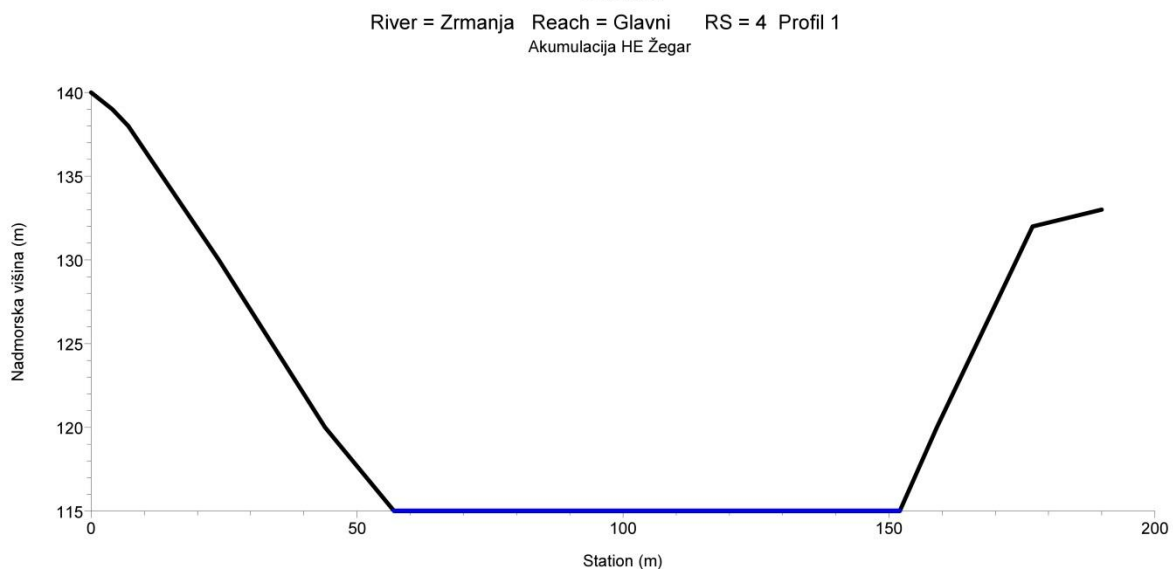
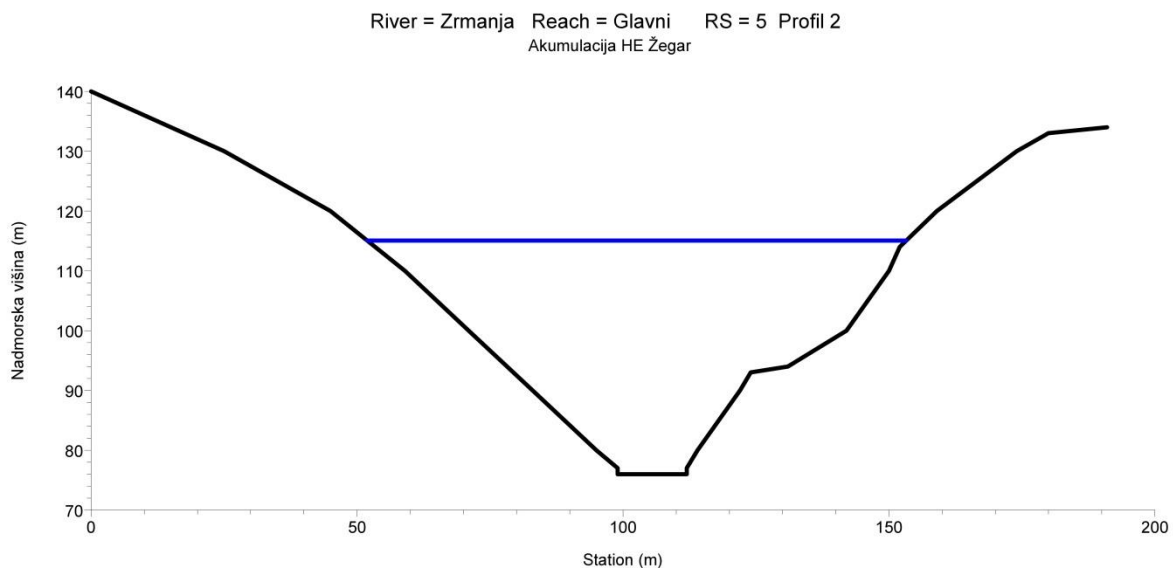
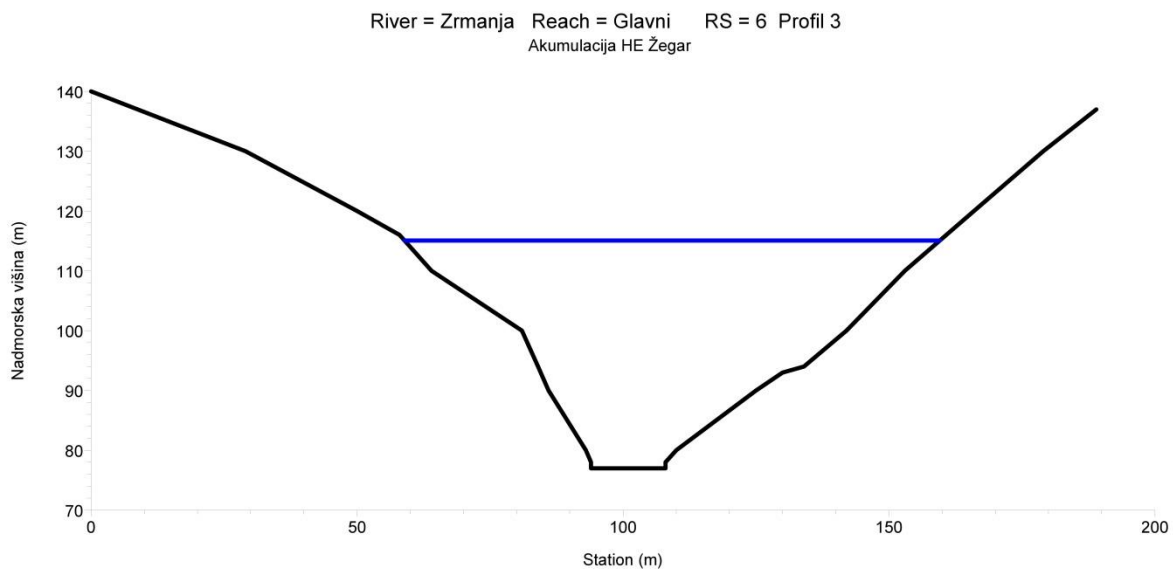


River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 8 Profil 5
Akumulacija HE Žegar

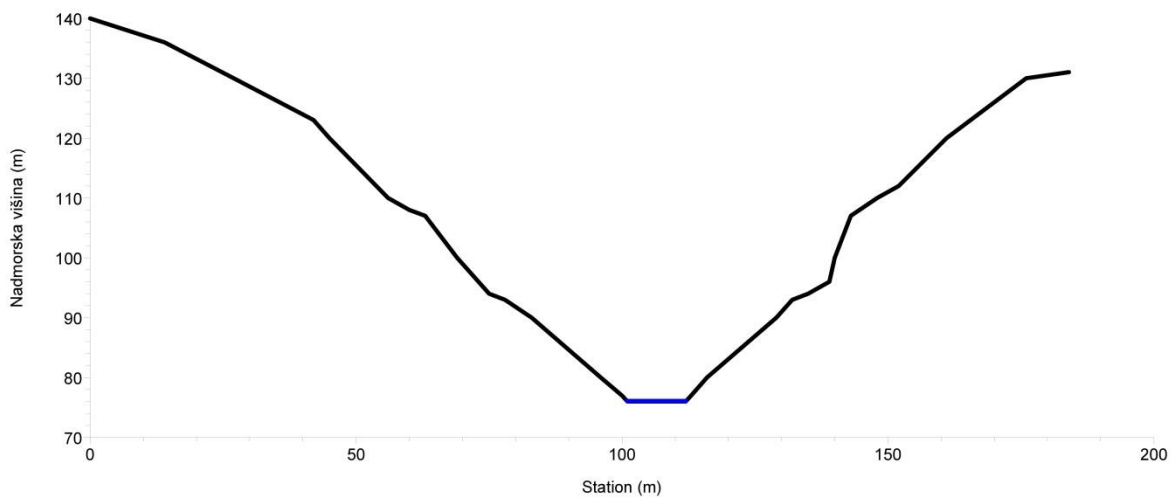


River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 7 Profil 4
Akumulacija HE Žegar

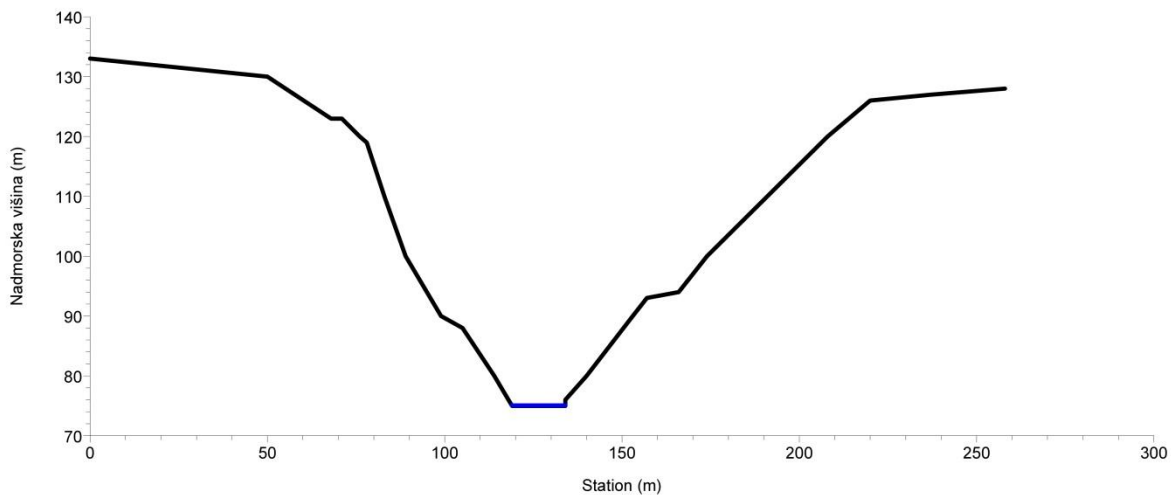




River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 3 Profil A
 Akumulacija HE Žegar



River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 2 Profil B
 Akumulacija HE Žegar



River = Zrmanja Reach = Glavni RS = 1 Profil C
 Akumulacija HE Žegar

