

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:

Kristan, U., 2014. Umeščanje hidro-energetskega objekta v prostor. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Rak, G.): 49 str.

Datum arhiviranja: 23-09-2015

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:

Kristan, U., 2014. Umeščanje hidro-energetskega objekta v prostor. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Rak, G.): 49 pp.

Archiving Date: 23-09-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO
INŽENIRSTVO

Kandidat:

URBAN KRISTAN

**UMEŠČANJE HIDROENERGETSKEGA OBJEKTA V
PROSTOR**

Diplomska naloga št.: 39/B-VOI

SMALL HYDROPOWER PLANT SPATIAL ALLOCATION

Graduation thesis No.: 39/B-VOI

Mentor:

prof. dr. Franc Steinman

Somentor:

asist. mag. Gašper Rak

Ljubljana, 12. 12. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Urban Kristan izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Umeščanje hidroenergetskega objekta v prostor«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, december 2014

Urban Kristan

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	621.311.21:627(497.4)(043.2)
Avtor:	Urban Kristan
Mentor:	prof. dr. Franc Steinman
Somentor:	asist. mag. Gašper Rak
Naslov:	Umeščanje hidroenergetskega objekta v prostor
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	49 str., 3 pregl., 19 sl., 9 en., 8 pril.
Ključne besede:	mala hidroelektrarna, prostorsko umeščanje, hidroenergetski potencial, turbina

Izvleček

Pri umeščanju malih hidroelektrarn (v nadaljevanju mHE) v prostor se srečujemo na eni strani z zakonodajo, ki spodbuja gradnjo objektov, katerih namen je proizvodnja električne energije iz obnovljivih virov in na drugi strani z zakonodajo o ohranjanju vodnih virov, ki gradnjo zavira.

Diplomsko delo obravnava ustreznost lokacije, že obstoječe male hidroelektrarne, kjer preverja najpomembnejša parametra, ki vplivata na proizvodnjo in z njo povezan dobiček. To sta režim in izdatnost vodotoka skozi celo leto ter bruto višinska razlika zgornje vode za jezom in spodnje vode v sesalni komori. Ob tem upošteva trenutno zakonodajo, prostorske omejitve in okoljski vidik. Ker na obravnavanem vodotoku ni objekta, ki bi omogočal neprekinjene meritve nivoja vode, je krivulja trajanja pretokov izdelana na podlagi dnevni podatkov obratovanja mHE in znanih ostalih parametrov v enačbi za izračun moči. Visoke vode so bile določene preko meritev in opazovanj skozi leto s pomočjo izdelane pretočne krivulje. S programsko opremo HEC-RAS in z vnesenim modelom struge ter modelom, ki posnema sistem mHE, je ob različnih pretokih bil preverjen vpliv nihanja zgornje in spodnje vode na bruto padec. Ob danih pogojih višinske razlike in pretoka je bila izbrana vrsta in velikost požiralnosti turbine po sistemu maksimalno izkoriščenih danosti in minimalnih izgub.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	621.311.21:627(497.4)(043.2)
Author:	Urban Kristan
Supervisor:	Prof. Ph.D. Franc Steinman
Cosupervisor:	Assist. Gašper Rak, M.Sc.
Title:	Small Hydropower Plant spatial allocation
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	49 p., 3 tab., 19 fig., 9 eq., 8 ann.
Key words:	small hydropower plant, spatial allocation, hydro-energetic potential, turbine

Abstract

When locating the small hydropower plants into a certain area, we are facing the legislation that on one hand promotes the construction of facilities, whose purpose is the generation of electricity from renewable sources and on the other hand the legislation on the protection of water resources, habitats etc., which inhibits the building.

The thesis deals with the appropriateness of the location of already existing small hydro power plant, which verifies the most important parameters influencing the production and the related profit. These are the run-off regime and the rate of flow of the stream throughout the year and the gross height difference between level of upstream water behind the dam and level of downstream water in the suction chamber. All this is covered by the current legislation, the spatial limits and environmental aspects. There aren't any facilities on the stream that would allow continuous measurements of water level; therefore the flow duration curve is constructed on the basis of daily data operating small hydropower plant. High waters were determined through measurements and observations throughout the year by using the designed stage-discharge curve. By entering the channel model and a model that simulates a system of small hydropower plant in the software HEC-RAS, was tested the impact of fluctuations in upper and lower waters of the gross height difference at different flow rates. At the given conditions of altitude and discharges the type and size of the turbine system was selected for maximum utilization of resources and minimal losses on the system.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu in somentorju asist. mag. Gašperju Raku za strokovno pomoč, usmerjanje in prijaznost pri nastajanju diplomske naloge. Za pomoč pri terenskih meritvah se zahvaljujem Roku Peternejlu.

Posebna zahvala gre družini , ker mi je omogočila izobraževanje ter me podpirala tekom študija. Hvala tudi vsem prijateljem, sošolcem in Anji, ki so mi ta čas stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	2
2.1	MALA HIDROELEKTRARNA	2
2.1.1	Hydroenergija kot obnovljivi vir energije	2
2.1.2	Vrste in delovanje male hidroelektrarne	3
2.1.3	Vpliv male hidroelektrarne na okolje	4
2.1.4	Problemi pri umeščanju malih hidroelektrarn v okolje	5
2.2	POSTOPEK UMESTITVE MALE HIDROELEKTRARNE V PROSTOR	6
2.2.1	Zakonodaja	7
2.2.2	Koncesijska pogodba	9
2.2.3	Qes - opis in način določanja	10
2.3	PROGRAMSKA OPREMA HEC-RAS	12
2.4	GRADNIKI mHE	13
2.4.1	Elementi odvzemnega objekta	14
2.4.1.1	Jez	14
2.4.1.1.1	Gumeni jez	15
2.4.1.2	Peskolov	16
2.4.1.3	Rešetke in čistilna naprava	16
2.4.2	ELEMENTI MED ODVZEMNIM OBJEKTOM IN STROJNICO	17
2.4.2.1	Cevovod	17
2.4.2.2	Problem vodnega udara	18
2.4.3	ELEMENTI STROJNICE	19
2.4.3.1	Turbina	19
2.4.3.2	Sesalna cev, sesalna komora, izpust	21
2.4.3.3	Regulator, ležaji, vztrajnik	21

2.4.3.4	Generator.....	22
2.5	ENAČBA ZA IZRAČUN MOČI MALE HIDROELEKTRARNE	22
3	OPIS OBMOČJA, PRIMER MODELIRANJA IN ANALIZE.....	23
3.1	UMESTITEV MALE HIDROELEKTRARNE V PROSTOR.....	23
3.1.1	porečje volaščice	23
3.1.2	naravne danosti objekta male hidroelektrarne volaka	24
3.2	OBSTOJEČE STANJE ELEMENTOV HIDROENERGETSKEGA OBJEKTA ZA IZBRANO LOKACIJO.....	25
3.2.1	Elementi odveznega objekta.....	25
3.2.2	Elementi med odveznim objektom in strojnico	26
3.2.3	Elementi strojnice	27
4	ANALIZE IN IZRAČUNI.....	28
4.1	ANALIZA SEDANJEGA STANJA IN RAZLOGI ZA POSODOBITEV.....	28
4.2	ANALIZA MOŽNOSTI UPORABE PRETOKOV	29
4.2.1	Krivulja trajanja pretokov brez upoštevanja visokih vod	30
4.2.2	Pretočna krivulja visokih vod in končna krivulja trajanja	31
4.2.3	Qes – ekološko sprejemljiv pretok (izračun).....	32
4.3	VPLIV ZGORNJE IN SPODNJE VODE NA BRUTO PADEC	33
4.4	NOVA ZASNOVA GRADNIKOV MALE HIDROELEKTRARNE.....	36
4.5	ISKANJE USTREZNE TURBINE	39
5	ZAKLJUČEK.....	45
VIRI.....		46

KAZALO SLIK

Slika 1: Vodni krog	2
Slika 2: Shema male hidroelektrarne.....	13
Slika 3: Gumeni jez	15
Slika 4: Fine rešetke s samočistilno sposobnostjo.....	17
Slika 5: Raztezanje in krčenje cevovoda ob trenutnem zapiranju	18
Slika 6: Peltonova turbina	19
Slika 7: Francisova turbina.....	20
Slika 8: Volaščica z glavnimi izviri in lokacijo mHE Volaka	23
Slika 9: Tloris situacije obravnavane mHE Volaka.....	25
Slika 10: Odzemni objekt mHE Volaka	26
Slika 11: Tlačni cevovod med odzemnim objektom in strojnico mHE Volaka	26
Slika 12: Spiralni okrov Francisove turbine in kolenasti iztok v strojnici mHE Volaka	27
Slika 13: Gumeni jez in manipulativni jašek mHE Volaka	28
Slika 14: Vzdolžni profil struge Volaščice na odseku od odzemnega objekta do vračanja odvzete vode nazaj v strugo	34
Slika 15: 3D prikaz situacije struge Volaščice na obravnavanem odseku.....	34
Slika 16: Vzdolžni profil struge Volaščice z modelom, ki posnema objekt mHE Volaka	35
Slika 17: 3D profil struge Volaščice z modelom, ki posnema objekt mHE Volaka.....	35
Slika 18: Čistilna naprava intake travelling water screen	37
Slika 19: Jeklena plošča podprta z vzmetmi in ribja steza na principu dvigala.....	38

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Relativni izkoristek Francisove turbine v odvisnosti od deleža dejanskega toka glede na instaliranega.....	20
Grafikon 2: Krivulja trajanja pretokov brez upoštevanja visokih vod	30
Grafikon 3: Pretočna krivulja visokih vod.....	31
Grafikon 4: Krivulja trajanja pretokov	32
Grafikon 5: Vrste turbine glede na bruto višinsko razliko in pretok	39
Grafikon 6: Krivulja trajanja pretokov možnih za odvzem	40
Grafikon 7: Primer premajhne požiralnosti turbine	40
Grafikon 8: Primer prevelike požiralnosti turbine	40
Grafikon 9: Optimalna požiralnost turbine $Q_i = 0,370 \text{ m}^3/\text{s}$	42
Grafikon 10: Volumen neizkoriščenih visokih vod	43
Grafikon 11: Optimalna požiralnost dodatne turbine $Q_{i,dod} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$	44

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vpliv nihanja zgornje in spodnje vode na bruto padec	36
Preglednica 2: Volumni izkoriščene vode in volumni neizkoriščene vode za izbran instaliran pretok turbine	42
Preglednica 3: Volumni izkoriščene vode in volumni neizkoriščene vode za izbran instaliran pretok dodatne turbine	43

1 UVOD

Slovenija z vsakim novim letom beleži porast porabe električne energije. Večja potrošnja zahteva večjo proizvodnjo in s tem, za zagotovitev dodatnih kapacitet, umestitev vse več objektov. Skladno s trajnostnim razvojem, je potreba po učinkoviti, sonaravni rabi obnovljivih virov, kot indikatorjev razvoja države in pravilnosti energetske politike, vse večja. Prednosti uporabe obnovljivih virov energije se kaže v pozitivnem učinku na podnebje v smislu zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov, stabilnosti v dobavi energije, spodbuja tehnološki razvoj in inovacije ter deluje v prid dolgoročni gospodarski koristi. Med obnovljive vire energije uvrščamo biomaso, hidroenergijo, sončno energijo, vetrno in geotermalno energijo, pri čemer sta prva dva vira v Sloveniji najpomembnejša. Kljub temu, da ima vodna energija pri pretvorbi v električno, med vsemi obnovljivimi viri, najboljši izkoristek, in da Slovenija spada med najbolj vodnate države, je njen potenciala še vedno slabo izkoriščen. Poleg velikih hidro central je evidentiranih še več kot 500 lokacij za postavitev malih hidroelektrarn, s čimer bi bili še korak bližje k uresnitvi Direktive 2009/28/ES. (Kryžanowski, Horvat, Brilly, 2008). Ta Slovenijo zavezuje, da bo njen delež energije iz obnovljivih virov, do leta 2020 znašal 25% (Direktiva 2009/28/ES).

Namen diplomske naloge je prikazati postopek umestitve hidroenergetskega objekta v prostor, ob preučitvi naravnih danosti, upoštevanja pogojev narave in trenutne zakonodaje. Za praktičen primer je uporabljena že obstoječa mala hidroelektrarna (v nadaljevanju mHE) Volaka v Poljanski dolini. Pogoj za največji izkoristek naravnih danosti in največjo proizvodnjo, je skrbna zasnova vsakega elementa posebej, kot tudi celotnega sistema skupaj. Cilj naloge je preveriti ustreznost umestitve obstoječega objekta in iskanje možnih sprememb ter adaptacij, ki bi pripomogle k večji proizvodnji. Za vzpostavitev modela je bila uporabljena programska oprema HEC-RAS, za sheme, skice in načrte pa programska oprema AutoCAD in SketchUp.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Naslednja poglavja sestavlja teoretični sklop, kjer je predstavljen objekt male hidroelektrarne, vrste in delovanje ter namen in vpliv na okolje. Vsebina zajema tudi postopka umestitve, pri čemer upošteva trenutno zakonodajo.

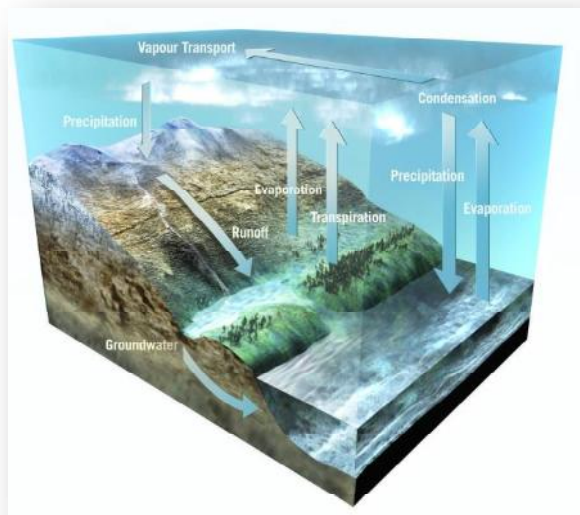
2.1 MALA HIDROELEKTRARNA

V Evropski uniji ni enotnega zakona, ki bi definiral, kaj je mala hidroelektrarna (mHE). Osnovna delitev je na podlagi instalirane moči. Zgornja meja moči mHE se sicer razlikuje od države do države (1,5 do 25 MW), vendar se v zadnjem času uveljavlja 10 MW kot splošno priznana meja, ki jo uporablja tudi Evropsko združenje za mHE (cit. po Pušnik, M., Mikoš, M., Smolar Ž. N. 2010).

2.1.1 HIDROENERGIJA KOT OBNOVLJIVI VIR ENERGIJE

Energiji iz obnovljivih virov danes posvečamo vse večjo pozornost. Ena izmed njih je tudi hidroenergija, ki predstavlja pomemben potencial na poti k zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov, zmanjšanju odvisnosti od uvoza fosilnih goriv, spodbujanju tehnološkega in gospodarskega razvoja ter odpiranju novih delovnih mest.

Zaradi sončnega sevanja, ki prispe na Zemljo, voda neprestano kroži. Pri hidroenergiji gre za izkoriščanje vodnega kroga (Slika 1), kot stalnega naravnega procesa. Iz višje na nižje ležeče predele voda odteka zaradi vpliva gravitacije, pri čemer energijo gibanja hidroenergetski objekt (v nadaljevanju HE objekt) pretvori v električno energijo. Na podlagi dolgoletnih izkušenj, raziskav in dognanj, se v svetu hidroelektrarn uporablja dovršena, izpopolnjena in konkurenčna tehnologija, ki izmed vseh znanih virov energije, vodno pretvarja z največjim (90%) izkoristkom. To zahteva visoke naložbe v začetku a hkrati dolgo življenjsko dobo z nizkimi stroški obratovanja in vzdrževanja. (Kumar, Schei, Ahenkorah, et al. 2011)



Slika 1: Vodni krog

(Vir: <http://www.esa.int/ESA>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

Slovenija je glede na Direktivo 2009/28/ES o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov zavezana, da bo njen delež energije iz obnovljivih virov, v bruto končni porabi energije, do leta 2020, znašal 25 %; splošni cilj za EU-27 kot celoto je 20 %. Bruto končna poraba energije iz obnovljivih virov se izračuna kot vsota bruto končne porabe električne energije iz obnovljivih virov, bruto končne porabe energije iz obnovljivih virov za ogrevanje in hlajenje ter končne porabe energije iz obnovljivih virov v prometu. Od leta 2005 pa do 2010 se je delež energije iz obnovljivih virov energije v bruto končni porabi v Sloveniji povečal s 16% na 20% (cit. po Rutar, T. 2012).

2.1.2 VRSTE IN DELOVANJE MALE HIDROELEKTRARNE

Hidroelektrarna izrablja moč vodnega padca. Gre za izkoriščanje potencialne in kinetične energije, ki se s pritiskom toka na lopatice turbine spremeni v mehansko, ta pa se v generatorju pretvori v električno energijo. S kakšno močjo voda pritiska na lopatice in s tem velikost proizvodnje, je odvisna od količine vode in vodnega padca. Za postavitev elektrarne je bistven pretok, ki letno variira in je odvisen od geoloških, klimatskih in topografskih značilnosti. Regulacijsko sposobnost lahko izboljšamo s postavitvijo akumulacijskega jezera s katerim zmanjšamo odvisnost od trenutnega pretoka.

Vodne elektrarne delimo na:

- Pretočne elektrarne: primerna za vodotoke z manjšimi padci in velikimi ter sorazmerno enakomernimi pretoki skozi leto. Izkoriščajo trenutni pretok. V kolikor je pretok večji od instaliranega, višek elektrarno obteče. Njihova moč je prilagojena povprečnemu ali srednjemu pretoku.
- Akumulacijske elektrarne: voda doteka v akumulacijski bazen, od koder naprej potuje do turbine. V času večjih pretokov od instaliranega, se voda v bazenu shranjuje in nato porablja v času manjših pretokov. Običajno je naloga teh pokrivanje dnevnih konic potrošnje električne energije ali tedenska izravnava pretokov v primeru verige hidroelektrarn.
- Pretočno-akumulacijske elektrarne: so kombinacija zgoraj omenjenih zgrajenih v verigi, pri čemer je le prva po vrsti akumulacijska.
- Črpalna elektrarna: gre za posebno vrsto elektrarne z akumulacijskima bazenoma na različnih geodetskih višinah, ki deluje na podlagi različne cene električne energije. V obdobju nizke cene (čas noči in manjše porabe) s pomočjo električne energije iz omrežja črpa vodo na višje ležeči akumulacijski bazen. V obdobju visoke cene električne energije (čas dneva in večje porabe) pa ob izkoriščanju

padca vode s pretokom na nižje ležeč bazen elektriko oddaja v omrežje (Društvo za sonaraven razvoj, 2005).

Hidroelektrarne delimo tudi glede na velikost: velike (>100 megawattov (v nadaljevanju MW)), srednje (10MW-100MW) in male (<10MW) (Društvo za sonaraven razvoj, 2005).

2.1.3 VPLIV MALE HIDROELEKTRARNE NA OKOLJE

Gradnja in obratovanje objektov hidroelektrarne lahko močno vpliva v obliki spremenjene pokrajine, spremenjene gladine talne vode, vpliva na celotni režim reke, kot tudi na njeno floro in favno. S skrbnim načrtovanjem in preučitvijo vsakega vpliva posebej, lahko omilimo negativne posledice.

Največji problem malih hidroelektrarn je vzdrževanje ekološko sprejemljivega pretoka. To je pretok, ki zagotavlja ohranitev ekološkega ravnotežja v in ob vodnem prostoru. Nekontroliran odvzem vode iz naravnega kanala lahko, na odseku med jezom in izpustom odvzete vode nazaj v strugo, povzroči premajhen pretok in posledično osiromaši floro ter favno. Problem nastane predvsem v sušnih obdobjih, ko se za zagotovitev ekološko sprejemljivega pretoka proizvodnja električne energije znatno zmanjša, kar pa pomeni manjši zaslužek. V velikih primerih se ekološko sprejemljiv pretok ne upošteva, zaradi česar je struga, predvsem v sušnih obdobjih, popolnoma izsušena (ESHA).

Drugi največji problem so zaježitveni objekti in pregrade, ki ribam popolnoma preprečijo prehod. Ribe čez celo leto menjajo habitate in se v odvisnosti od vrste, starosti, velikosti, selijo na različno dolge razdalje. Nujno je, da so populacije med seboj povezane. Tista, ki z gorvodnimi nima stika, se čez čas genetsko osiromaši. Nekatere zaradi ovire ne morejo priti do ustreznega habitata in zato poginejo. Rešitev je v ribjih stezah ali uporabi ribam "prijazne" turbine, ki omogoča nemoten prehod zaježitvenega objekta (ESHA).

Nekatere hidroelektrarne zadržujejo del pretoka v akumulacijskem bazenu, ki ga ob določeni situaciji zelo hitro izpraznijo. Pri tem lahko pride do dolvodnih poplav in uničenja celotne flore in favne. Z zaježitvijo potopimo tudi določen delež površine gorvodno, s čimer lahko uničimo nekatere habitate tamkajšnjih živali.

V primeru, da so v bližini zaježitve in strojnice stanovanjska poslopja, imamo problem onesnaženja s hrupom. Hrup in vibracije, ki ga povzročajo avtomatske grablje za čiščenje plavin, turbina in generator, lahko omejimo z zvočno izolacijo stavbe. Problem je tudi v

splošnem umeščanju betonskih objektov, ki imajo v naravnem okolju negativen vizualni učinek (Environmental protection agency. 2013)

Hidroelektrarne pa s seboj prinašajo tudi pozitivne vplive na okolje, s čimer se poizkuša upravičiti negativne, katerim se ne da izogniti. Pri proizvodnji ne pride do stranskih odpadnih škodljivih produktov (kot npr. pri termoelektrarni ali jedrski elektrarni) in pri tem, ko voda teče skozi turbino, te ne onesnažimo. Ravno nasprotno. Na zaježitvenem objektu jo namreč očistimo vseh plavin ter drugih večjih organskih in anorganskih snovi. Z ustrežno ureditvijo lahko ob akumulacijskem bazenu ustvarimo prijetno rekreacijsko ali turistično okolje.

2.1.4 PROBLEMI PRI UMEŠČANJU MALIH HIDROELEKTRARN V OKOLJE

V Sloveniji imamo enega največjih deležev naravovarstveno zavarovanega ozemlja. Skrb za ohranjanje narave se še povečuje. Ena največjih groženj predstavljajo klimatske spremembe kot posledica izpustov toplogrednih plinov. S proizvodnjo električne energije iz obnovljivih virov, kot je hidroenergija, močno vplivamo k izboljšanju na področju emisij, a hkrati posegamo v naravni prostor. Problem je poiskati mejo minimalnega poseganja z maksimalnim izkoristkom (Čadež, 2009).

Slovenija s svojo energetske zakonodajo spodbuja gradnjo malih hidroelektrarn, z okoljsko zakonodajo, pa jo zavira ali celo blokira. V prejšnjem poglavju so naštetni negativni vplivi umeščanja HE objektov v prostor, zaradi katerih investitorju s strani ministrstva pristojnega za okolje ne podeljuje koncesij za rabo vode. Problem obstaja zaradi slabega povezovanja med strokami in neupoštevanja pozitivnega klimatskega in gospodarskega vpliva gradnje. Veliko kritik je med drugimi sprejela Uredba o podporah, ki je ukinila finančno pomoč objektom starejšim od 15 let, četudi je bil objekt prenovljen (Čadež, 2009)

Naslednja težava je v uredbi o ekološko sprejemljivem pretoku, ki določa nesprejemljivo velik pretok biološke vode. Vodotokom z med seboj precej raznolikimi lastnostmi ne moremo določiti biološkega minimuma le z uporabo posplošene enačbe, pač pa je za vsak primer posebej potreben dialog in usklajevanje mnenj različnih strok. Hidroelektrarne so z novo zakonodajo primorane močno zmanjšati število obratovalnih ur. S tem ko je proizvodnja upadla za od 20% do 60%, ekonomska upravičenost izgradnje postane vprašljiva. Ravno ta uredba je povzročila, da v letu 2009 in 2010 vlada ni podelila niti ene koncesije za male hidroelektrarne (Kerin, 2009).

Gradnja malih hidroelektrarn je v državi zaspala zaradi izredno negativnega odnosa ministrstva pristojnega za okolje do tovrstnih projektov. Pri zaprositvi za podelitev koncesije ne oddamo vloge, pač pa pobudo, katera s stališča upravnega postopka nima določenega roka obravnave. Tako so nekateri na odgovor čakali tudi več let (Kerin, 2009). Leta 2011 je bilo vlog na MOP prek 300, pri čemer jih je le del delovnega časa reševala ena uradnica (cit. po Kerin, M. 2009).

2.2 POSTOPEK UMESTITVE MALE HIDROELEKTRARNE V PROSTOR

Pri umeščanju HE objekta v prostor, je potrebno upoštevati, da postopki pridobitve koncesije in dovoljenja za priklop na omrežje traja precej časa, predvsem zaradi prekomernega oviranja s strani okoljevarstvenikov. Tako do postavitve kot tudi do povrnitve celotnih stroškov izgradnje traja precej časa, kar kasneje upraviči dolga življenjska doba objekta.

Za začetek moramo pri umestitvi HE objekta v prostor prepoznati potencialno lokacijo, kjer bo proizvodnja maksimalna, postopek pa izvedljiv, brez pretiranih dodatnih stroškov. Tu je potrebno izvesti meritve in izdelati rešitev ter zadevo preučiti z ekonomskega vidika. Nato investitor na ministrstvo pristojno za okolje vloži vlogo za pridobitev vodne pravice oz. koncesije za proizvodnjo električne energije v mHE. Vloga mora vsebovati največ dva meseca staro lokacijsko dovoljenje občine, ki predvideva poseg, kopijo katastrskega načrta z vrisanim objektom, zemljiško knjižni izpisek parcel in lastnikov parcel v območju posega skupaj z njihovimi soglasji ter ostale strokovne in upravne dokumente, ki se navezujejo na vodni vir. Ministrstvo pristojno za okolje vlogo pošlje na Inštitut za vode RS, ki poda strokovno mnenje. V tej fazi se preveri skladnost nameravanega projekta z vsemi prostorskimi akti, in ali je raba skladna z naravovarstvenimi pogoji (Redakcija finance, 2010).

V primeru pozitivnega mnenja s strani inštituta, ministrstvo pristojno za okolje in Agencija Republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju ARSO) z upoštevanjem zakona izdelata koncesijski akt, ki se ga podeli na podlagi javnega razpisa. Pripravljen upravno odločbo pošlje ARSO na ministrstvo pristojno za okolje. Z njo vlada določi koncesionarja. Sledi izdelava idejne zasnove, na podlagi katere se izdelata projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja skupaj s soglasji soglasodajalcev, med katerimi je tudi elektrodistribucijsko podjetje. Ob izpolnitvi vseh pogojev lahko objekt priključimo na omrežje in pričnemo s proizvodnjo (Redakcija finance, 2010).

2.2.1 ZAKONODAJA

Tako kot pri vseh ostalih objektih, tudi pri umestitvi HE, v prostoru vnesemo določene spremembe. Omejevanje posega in presojo vplivov objekta obravnava, omejuje in določa Zakon o prostorskem načrtovanju. Ta usklajuje različne potrebe in interese skupaj z javnimi koristmi, varuje naravno in kulturno dediščino, naravne vire, skrbi za zaščito pred naravnimi in drugimi nesrečami ter je skladen s trajnostnim razvojem (Uradni list RS, št. 33/07, 70/08).

Ureditve se načrtuje s prostorskimi akti, ki so: državni prostorski akt (državni strateški prostorski načrt in državni prostorski načrt), medobčinski prostorski akt (regionalni prostorski načrt) in občinski prostorski akt (občinski prostorski načrt in občinski podrobni prostorski načrt). Med njimi velja hierarhično razmerje državnih nad regionalnimi in občinskimi, ter regionalnih nad občinskimi akti. Za vse prostorske akte, razen za državni strateški prostorski načrt, se izvede postopek celovite presoje vplivov na okolje. Preko občinskega prostorskega akta, ki upošteva usmeritve državnih prostorskih aktov, so glede na razvojne potrebe in varstvene zahteve, določeni cilji, izhodišča razvoja, ureditve lokalnega pomena in določeni pogoji umeščanja objektov. Občinski prostorski načrt je podlaga za pripravo projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja. Strateški in izvedbeni del določata usmeritve prostorskega razvoja, namensko rabo in prostorske izvedbene pogoje na podlagi katerih je razvidno ali je določen objekt zakonsko sploh možno umestiti v prostor (Uradni list RS, št. 33/07, 70/08).

Pri umeščanju HE objekta v prostor posežemo v vodno in obvodno območje, ki ga ureja Zakon o vodah. Vsebina zajema varstvo voda, urejanje voda in rabo, ter med drugimi vključuje tudi vodne objekte. Cilj zakona je doseganje dobrega stanja voda, kot tudi vodnih in obvodnih ekosistemov, varovanje pred škodljivim delovanjem, ohranjanje stalnega pretoka in spodbujanje trajnostne rabe (Uradni list RS, št. 67/02, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14).

Z izjemo splošne rabe je za vsakršno koli rabo vodnega dobra ali naplavin potrebno plačevati plačilo za vodno pravico (pridobimo jo na podlagi vodnega dovoljenja ali koncesije) in vodno povračilo, zaradi rabe naravnih dobrin. Višina plačila vodne pravice je odvisna od razpoložljivosti vode, namena, vrste, obsega rabe in drugih kriterijev. Z vodnim povračilom, katerega višina je sorazmerna z obsegom vodne pravice, povrnemo stroške povezane z obremenjevanjem voda (kot npr.: stroški izvajanja javnih služb, stroški države zaradi zagotavljanja dobrega stanja voda, itd.) (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306).

Za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarni z instalirano močjo manjšo od 1 MW je potrebno pridobiti tudi vodno dovoljenje. Dovoljenje vsebuje podatke o imetniku pravice, kot tudi natančen opis obsega, vrste, namena, lokacijo, izvajanja, obračun plačila vodne pravice, načine in pogoje rabe ter drugo. Ob neupoštevanju in neizpolnjevanju pogojev določenih za izvajanje dejavnosti, vodno pravico in dovoljenje izgubimo. Po dveh letih prenehanja veljavnosti pravice pa je objekt, v kolikor ni namenjen tudi zaščiti prebivalstva, ohranjanju kakovosti ali količine vodotoka, potrebno odstraniti (Uradni list RS, št. 67/02, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14).

Zaradi ohranitve ugodnega in preprečitve slabšanja stanja ptic in drugih živalskih ter rastlinskih vrst in njihovih habitatov, je v primeru umeščanja objektov na teh območjih, potrebno izvesti presojo sprejemljivosti planov, načrtov in drugih prostorskih aktov, in presojo sprejemljivosti posegov v naravo. To področje obravnava Zakon o ohranjanju narave, ki lahko prepove, omeji ali zahteva drugačno ureditev gradnje energetskega objekta (Uradni list RS, št. 96/04)

Na območjih, s statusom ohranjanja narave, je za gradnjo objektov potrebno pridobiti naravovarstvene pogoje in pravnomočno naravovarstveno soglasje, ki dovoljuje poseg. Zakon o ohranjanju narave določa ukrepe za ohranjanje biotske raznovrstnosti in varstva naravnih vrednot, kjer poleg vključuje tudi območja Nature 2000 (Uradni list RS, št. 96/04). Natura 2000 je omrežje zavarovanih območjih določenih s strani držav članic Evropske unije, katere cilj je ohraniti živalske in rastlinske vrste ter njihove habitate, ki so redki ali ogroženi (Natura 2000).

Temeljna načela in ukrepe za ohranjanje in spremljanje stanja okolja obravnava Zakon o varstvu okolja. Predvsem se dotika načela trajnostnega razvoja, torej družbenega razvoja, v smeri, ki podpira ugodne razmere za sedanje rodove, hkrati pa ne škoduje potrebam prihodnjih generacij. Poleg poudarja tudi ohranjanje biotske raznovrstnosti. V primeru gradnje objekta v okoljevarstvenem območju, je s strani ministrstva potrebno pridobiti okoljevarstveno soglasje, ki potrjuje skladnost projekta z določenimi pogoji (Uradni list RS, št. 39/06).

Za razliko od zgornjih dveh navedenih zakonov, ki v večini omejujeta, preprečujeta in negativno vplivata na proces umeščanja HE objekta v prostor, pa Energetski zakon, s spodbujanjem proizvodnje energije iz obnovljivih virov, spodbuja gradnjo takšnih objektov (Uradni list RS, št. 17/2014: 1787).

2.2.2 KONCESIJSKA POGODBA

Koncesijska pogodba je dogovor med koncedentom (RS, Vlada RS, po pooblastilu vlade pa generalni direktor agencije RS za okolje, ministrstva pristojnega za okolje), ki podeljuje, in koncesionarjem (fizična ali pravna oseba oz. osebe), ki sprejema, pravice in dolžnosti v zvezi z opravljanjem gospodarske javne službe na področju urejanja voda, v obsegu, na način in pod pogoji, določenimi z Zakonom o vodah (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306).

Koncesionar s pogodbo pridobi pravico do uporabe določenega območja vodnih zemljišč (ta so določena z aneksom h koncesijski pogodbi) in do izkoriščanja vodnega vira za pridobivanje električne energije. Ob enem koncesionarja bremenijo mnoge dolžnosti, ki jih mora tekom trajanja koncesije izpolnjevati:

- Obvarovati mora tako vsa zemljišča, objekte, naprave in druge dobrine, kot tudi prebivalce in njihovo premoženje pred škodo, ki bi nastala kot posledica delovanja hidroelektrarne. Prav tako mora vzdrževati vodna in priobalna zemljišča v smislu košnje, odstranjevanja zarasti, plavja in ostalih odpadkov.
- Omogočiti mora splošno rabo vode in nemoteno izvajanje pravice do rabe drugim obstoječim imetnikom vodne pravice.
- Ohranjati mora ekološko sprejemljiv pretok dolvodno od odvzemnega mesta in vodo odzemat le v primerih, ko je dejanski pretok večji od določenega ekološko sprejemljivega.
- Ohranjati mora količino, kakovost in naravno vlogo habitata in s tem biološko raznovrstnost ter biološko ravnotežje tam kjer je to mogoče in dolgoročno stabilno.
- Zagotoviti mora redno vzdrževanje in obratovanje vodnih objektov in naprav v skladu s poslovnikom.
- Hraniti vso dokumentacijo, s katero dokazuje pravilnost in resničnost podatkov posredovanih za izračun višine plačila za koncesijo, najmanj 5 let od izstave računa koncedenata o plačilu za koncesijo.
- V obliki dveh akontacij mora med letom (do junija in do decembra) plačati za koncesijo. Višina plačila se določi vsako leto posebej na podlagi 3% povprečne prodajne vrednosti 1kWh in na podlagi proizvedene in oddane električne energije v električno omrežje. Republikli Sloveniji od tega pripada 40% celotnega izplačila, občini pa 60%. V primeru ugotovitve da se je zaradi višje sile proizvodnja močno zmanjšala (za več kot 30%), se plača nižjo vsoto (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306).

Rok veljavnosti koncesije prične teči z dnem podpisa koncesijske pogodbe in traja 30 let. Po tem času se lahko pogodbo podaljša na način in pod pogoji določenimi v koncesijski pogodbi. Razlogi za prenehanje so lahko tudi odvzem ali odkup koncesije (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306).

Podeljuje se brez javnega razpisa in jo določi Vlada Republike Slovenije z upravno odločbo. Predpogoj je, da so posamezni odseki vodotoka in njegova raba skladni, tako v kratkoročnem in dolgoročnem planu občine, kot tudi v dolgoročnem planu Republike Slovenije (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306).

Koncesionar ima na podlagi odločbe o določitvi koncesionarja pravico pričeti s postopki za pridobitev lokacijskega dovoljenja, vodnogospodarskega soglasja, gradbenega dovoljenja in opravljati druge investitorske posle (Uradni list RS, št. 69/1995: 5306)

2.2.3 Qes - OPIS IN NAČIN DOLOČANJA

Ekološko sprejemljiv pretok je kvaliteta in količina vode, ki še ohranja naravno ravnovesje ekosistema, tako v, kot tudi ob vodotoku. Leta 2009 je prišlo do sprejetja uredbe o ekološko sprejemljivem pretoku, ki začne veljati s koncem leta 2014. Zavrla je podeljevanje koncesij in vplivala na zmanjšanje proizvodnje. Po tej uredbi so lastniki dolžni vzdrževati ekološko sprejemljiv pretok po novih merilih, izvajati stalne meritve vodostaja oz. pretoka in podatke hraniti 6 let (Šubic, 2011).

Velikost, način določitve, spremljanje in poročanje meritev je določeno v koncesijskem aktu. Določi se na podlagi hidroloških izhodišč, značilnosti odvzema vode, hidroloških, hidromorfoloških in bioloških značilnosti vodotoka, ter podatkov o varstvenih režimih (RS, št. 97/2009: 12919).

Hidrološka izhodišča so vrednosti srednjega malega in srednjega pretoka na mestu odvzema. Vrednosti se pridobijo iz podatkov državnega hidrološkega monitoringa. Če podatki za posamezen vodotok ne obstajajo, se izdelava ocena srednjega malega in srednjega pretoka na podlagi izračunov, razmerja pretoka in velikosti prispevnih površin ter primerja z vodotokom podobnih značilnosti na katerem se izvaja monitoring. V primeru, da z izračunanim ekološko sprejemljivim pretokom, ki ga določi ministrstvo nismo zadovoljni, lahko vsakdo naroči in plača študijo za izbran vodotok (RS, št. 97/2009: 12919).

Sistemi in objekti morajo omogočati, da se v času, ko je dejanski pretok manjši od ekološkega, vode ne more odvzeti. V primeru, da to ni izvedljivo, je potrebno spremljati parametre iz katerih je razvidno, da je bil ekološko sprejemljiv pretok ves čas upoštevan. Podatke o spremljanih parametrih, preko katerih je moč razbrati vzdrževan biološki pretok, mora imetnik pravice zagotoviti za obdobje šestih let in jih predložiti v primeru zahteve, ali inšpektorja pristojnega za vode, ali vodovarstvenega nadzornika (RS, št. 97/2009: 12919).

V primeru da je bil ekološko sprejemljiv pretok v vodnem dovoljenju, koncesijski pogodbi, aktu ali projektni dokumentaciji določen že pred sprejetjem uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka, izračun novega po tej uredbi ni potreben (RS, št. 97/2009: 12919).

Ekološko sprejemljiv pretok se določi na podlagi naslednjih enačb:

- (1) Srednji mali pretok na mestu odvzema je aritmetično povprečje najnižjih letnih vrednosti srednjega dnevnega pretoka na tem mestu v daljšem opazovalnem obdobju.

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

sQ_{np} – srednji mali pretok [m^3/s]

$Q_{np,i}$ – najmanjši srednji dnevni pretok v i -tem koledarskem letu [m^3/s]

N – število let v opazovalnem obdobju, običajno zadnjih 30 let []

- (2) Srednji pretok na mestu odvzema je aritmetično povprečje srednjih letnih vrednosti pretoka na tem mestu v daljšem opazovalnem obdobju.

$$sQ_s = \sum_{i=1}^{i=N} Q_{s,i} / N \quad (2)$$

sQ_s – srednji pretok [m^3/s]

$Q_{s,i}$ – srednji letni pretok v i -tem koledarskem letu [m^3/s]

N – število let v opazovalnem obdobju, običajno zadnjih 30 let []

(3) Ekološko sprejemljiv pretok na podlagi hidroloških izhodišč (določene vrednosti faktorja f (Priloga B.1 in B.2) in izračunanega srednjega malega pretoka).

$$Q_{es} = f \cdot sQ_{np} \quad (3)$$

Q_{es} – ekološko sprejemljivi pretok [m^3/s]

f – faktor odvisen od ekološkega tipa vodotoka []

sQ_{np} – srednji mali pretok [m^3/s]

Vrednosti faktorja f so določeni glede na: nepovraten ali povraten odvzem vode, dolžino povratnega odvzema vode, količino odvzema, opredeljeno glede na vrednost srednjega pretoka na mestu odvzema, skupino ekoloških tipov vodotokov in razmerje med srednjim in srednjim malim pretokom (RS, št. 97/2009: 12919)

Uredba je s strani lastnikov mHE prejela veliko nezadovoljstva. V primerjavi z Bavarsko, kot deželo s podobnimi značilnostmi, ta določa kar dvakrat večje vrednosti pretokov. Uporabljanje posplošenih enačb in metod za določevanje pretoka na popolnoma različnih vodotokih vsekakor ni primerna rešitev. Po vzoru Bavarske, bi bilo primerneje ekološko sprejemljiv pretok določiti glede na različne vzorčne vrste vodotokov, pri čemer bi upoštevali način rabe, padec vodotokov, morfologijo okolja, itd. Uredba s sabo prinaša tudi velike stroške zaradi namestitve merilnih senzorjev pretoka, katerih večina malih hidroelektrarn pred tem ni imela (Šubic, 2011).

Zaostritve na področju Q_{es} so posledica prevelikega odvzema vode predvsem v času sušnih obdobji, ko so nekatere struge, od zajezitve dolvodno, ostale popolnoma suhe. Zagotavljanje biološke vode zato Inštitut za vode RS vidi kot eno največjih možnih zaščit vodotokov v Sloveniji. Od konca leta 2014 bodo lastniki mHE tako pod nadzorstvom pristojnih inšpekcij in vodovarstvenih nadzornikov primorani upoštevati, meriti in shranjevati podatke v zvezi z ohranjanjem ekološko sprejemljivega pretoka (Šubic, 2011).

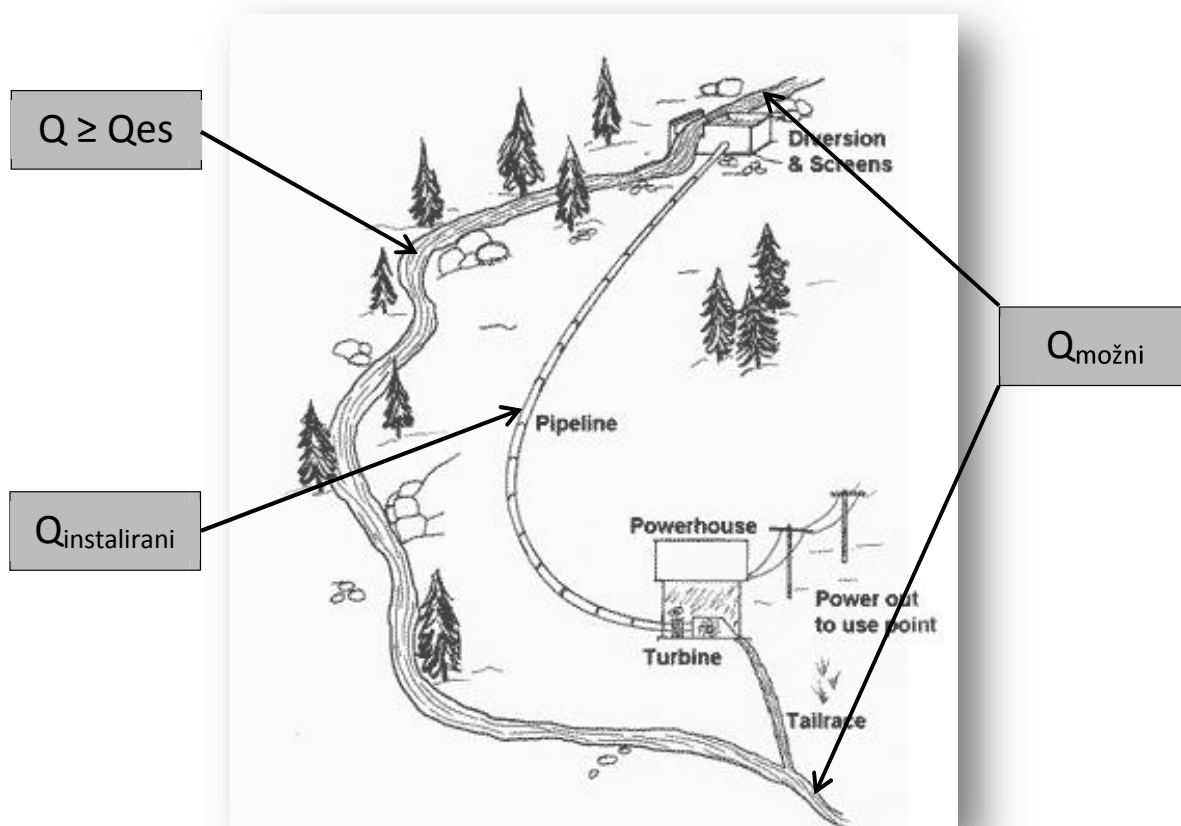
2.3 PROGRAMSKA OPREMA HEC-RAS

Računalniški program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) je zasnovala skupina raziskovalcev pod okriljem ameriške vojske. Program omogoča račun enodimenzionalnega stalnega, nestalnega neenakomernega toka, ter račun premeščanja sedimentov. Omogoča popolno analizo vodotokov pod različnimi pogoji. Pri računu uporablja

enodimenzionalno rešitev energijske enačbe. Izgube so ocenjene z Manningovo enačbo, koeficientom razširitve oz. zožitve in geometrijskimi karakteristikami vodotoka. Za hidravlični izračun potrebujemo geometrijo in hidravlične značilnosti vodotoka, robne pogoje in specifikacijo morebitnih hidrotehničnih objektov (cit. po Trampuž, M. 2006).

2.4 GRADNIKI mHE

Z zaježitvijo reke, se voda preusmeri v odzemni objekt, skozi rešetke, ki odstranijo večje plavine. Manjše plavine se postopoma usedajo v peskolovu, ki vodi naprej do vtoka v cevovod. Ta poteka do strojnice, kjer voda poganja turbino, se steka v sesalno komoro in vrača nazaj v strugo. V strojnici se preko gredi vrtljaji prenašajo na generator, ki vodno energijo pretvori v električno. V naslednjih poglavjih so opisani gradniki celotnega sistema združeni v poglavja: elementi odzemskega objekta, elementi med odzemskega objekta in strojnico ter elementi strojnice.



Slika 2: Shema male hidroelektrarne

(Vir: <http://www.whyydropower.com/HydroTour2c.html>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

2.4.1 ELEMENTI ODVZEMNEGA OBJEKTA

Osnovna naloga odvzemnega objekta je vodo iz struge preusmeriti v cevovod, ki vodi naprej do strojnice. Obsega odvzemni in zajezitveni del. Osnovni pogoji odvzemnega objekta:

- biti mora projektiran na način, pri čemer je možen odvzem zaledne vode pri vseh režimih vodotoka;
- visoke vode morajo biti odvedene mimo objekta na način, da objekt ne poškoduje. V ta namen je potrebo zbrati podatke o maksimalnih pretokih za pretekla leta;
- objekt mora biti izdelan ekonomsko poceni, v skladu z okoljskimi pogoji in na način, ki ne zahteva posebnega vzdrževanja in omogoča enostavna popravila;
- biti mora projektiran tako, da odvzeta voda ne vsebuje raznih trdnih delcev, kamenja in ostalih naplavin;
- objekt mora biti projektiran na način, da ni ogrožena varnost objekta, življenje in zdravje ljudi, promet, sosednji objekti ali okolje (Lauterjung, Schmidt, 1989).

Pri dimenzioniranju je potrebno preučiti gorvodne topografske in geotehnične razmere ter vpliv akumulirane vode na zaledni, poplavljeni del. Zajezitveni objekt ne sme zožiti strugo, saj bi to povečalo erodiranje dna v času odvajanja konic in s tem onemogočile odvzem ob nizkih vodostajih (Lauterjung, Schmidt, 1989).

Odvzemni objekt mora biti postavljen na mestu vodotoka tako, da ne dovoli vstopa sedimentov pri odvzemu vode. Pri ravnih odsekih je objekt po navadi nameščen vzporedno z brežinami. Ob zmanjšanju hitrosti za zajezitvenim delom, se večji sedimenti v tem primeru odložijo na dno struge pred odvzemom. Najbolj optimalna postavitev v zavoju vodotoka je na konkavni strani, nekoliko nižje od vrha zavoja, kjer je tok najmočnejši in odvajanje iz tega dela na notranjega(konveksnega) največje. V kolikor je predviden odvzem več kot 50% pretoka, moramo v vsakem primeru, kljub idealni postavitvi, pričakovati nanose rečnih sedimentov. Te pred vstopom v cevovod ločimo v peskolovu (Lauterjung, Schmidt, 1989).

2.4.1.1 JEZ

Zagotovi konstantno minimalno globino vode, ki je potrebna za odvzem ne glede na režim in trenutne razmere. Konstrukcija mora zdržati pritisk vodne zajezitve in biti odporna proti raznim vibracijam, naplavinam, drobirskemu toku in manjšim balvanom, predvsem v času poplav (Khatsuria, 2004)

Poznamo več vrst zaježitvenih objektov:

- Lesen jez: jez izdelan iz zloženih tramov je primeren za višine do 1,80 m. Konstrukcija je na poplave in njene plavine precej neodporna, zato je ustrezna le na mirnejših vodotokih. Pilotna stena iz lesenih tramov omogoča zaježitev tudi do višine 3m;
- kamnita pregrada: jez iz skalometa lahko zaježi strugo do višine 1,5m. V primeru, povezanih skal v gabione, sidrane v trdno podlago pa nastane močna konstrukcija;
- betonska težnostna pregrada: od zgornjih dveh je beton, kot najbolj odporen material, največkrat v uporabi. Njegova cena pa med drugimi omejuje njegove dimenzije (Lauterjung, Schmidt, 1989)

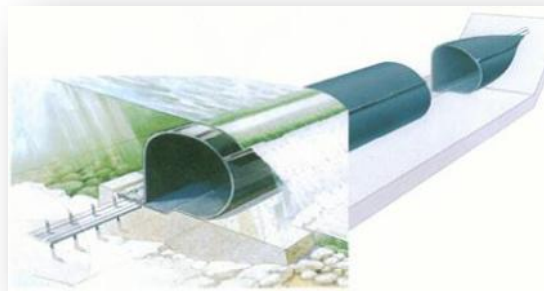
Za vse naštetih vrste velja, da morajo vsebovati poleg tudi objekt, ki omogoča prodni izpust. Zagotoviti je potrebno tudi tesnjenje pregrade. Ob ustrezni kombinaciji, npr. leseni jez s kamnitim jedrom ali zaščita in ojačitev betonske pregrade s kamnom, pa pripomorejo k daljši življenjski dobi in cenejši izvedbi.

Naštetih jezovi predstavljajo le fiksni del, pri katerih prelivanje vode ni moč kontrolirati. V ta namen se na njih (običajno le betonskih pregradah) namesti bodisi jeklene zaporne elemente ali gumeni jez. Jeklene zapornice so robustni elementi, ki precej vplivajo na višjo ceno objekta in zahtevajo stalno vzdrževanje. Na obravnavanem objektu je na fiksnem, betonskem delu pritrjen gumeni jez.

2.4.1.1.1 GUMENI JEZ

Osnovna naloga gumenega jez (Slika 3) je zaježitev, ne pa tudi toliko regulacija prelivne vode. Upravljanje je lahko ročno, kjer je potreben človeški faktor, ali samodejno, kjer se ob pritisku večje količine zaledne vode (čas poplav) meh samodejno izprazni. Sestavlja ga ojačena gumena obloga z vijaki pritrjena na fiksni del jez.

Jeklena mrežna ojačitev ščiti pred utrujanjem in omogoča več kot 1000-kratni dvig in spust meha. Posebna vrsta sintetičnega kavčuka ščiti proti ozonu, ultravijolični svetlobi, abraziji in ostrim predmetom. Pričakovana življenjska doba gumenih jezov je 25-40 let (Roberts, 1991).



Slika 3: Gumeni jez

(Vir:

<http://www.huaxiarubber.com/en/ProductView.Asp?ID=125>,
pridobljeno 20. 11. 2014.)

Pozitivne lastnosti: nizka cena, enostavno upravljanje in minimalno vzdrževanje.

Negativne lastnosti: poškodbe zaradi vandalizma, naplavin, vibracij, utrujanja, odrgnin, neodpornost pred požarom, občutljivost na vremenske razmere.

2.4.1.2 PESKOLOV

V primeru, ko imamo v vodotoku večjo količino suspendiranih snovi, predvsem težkih suspendiranih snovi, kot so naplavine, ki vsebujejo kremen, je potrebno strojno opremo ustrezno zaščititi. Abrazijo, ki jo povzročijo suspendirane snovi, v kratkem času močno poškodujejo opremo in s tem vplivajo na zmanjšanje učinkovitosti proizvodnje. Zaščito dosežemo s peskolovom, ki je del odvzemnega objekta, namenjen usedanju suspendiranih snovi manjših frakcij (Lauterjung, Schmidt, 1989)

S hidravličnega vidika mora biti objekt ustrezne oblike in dolžine, pri čemer se hitrost vode umirja do meje, ko se na dno usedajo tudi najmanjši delci. Umirjanje hitrosti je postopno, tako, da se sedimenti po velikosti usedajo po celotni dolžini. Tok pri vstopni coni mora biti turbulenten in imeti dovolj veliko hitrost, da se suspendirane snovi ne nalagajo že zunaj objekta. Velikosti delcev, ki se usedajo na dno so odvisni od lokacije objekta (Lauterjung, Schmidt, 1989).

2.4.1.3 REŠETKE IN ČISTILNA NAPRAVA

Namen rešetak je preprečevanje vstopa naplavinam kot so listje, veje in led v odvzemni objekt oz. kasneje v strojni del opreme, kar nosi za posledico zmanjšanje produktivnosti in poškodbe na strojnem delu. Sestavlja jih zaporedje jeklenih palic, nagnjenih pod kotom 5-10°. Odvzemni objekt mora biti projektiran na način, da je čiščenje rešetak vedno možno, tudi v primeru poplav. Izgube, ki nastanejo zaradi rešetak so funkcija hitrosti toka, debeline palic, razdalje med palicami in naklona rešetke. Pričakovana življenjska doba je 15-35 let (Rettedal, Nielsen, 2012).

Plavine, ki se ujamejo na rešetke je potrebno očistiti. Nekateri manjši sistemi si samodejnega čiščenja ne morejo privoščiti. V tem primeru je potrebno plavine odstranjevati ročno s pomočjo grabelj. Običajno upravljavec ni vseskozi prisoten pri objektu in čiščenje zato ni konstantno, kar vpliva na zmanjšanje proizvodnje. Poleg tega je delo lahko nevarno, saj mora čistiti tako podnevi, kot tudi ponoči, v vseh vremenskih razmerah.

V večini primerov pa je čiščenje samodejno, mehansko. Tu so grablje pripete na vitel ali nameščene na tirnice, poganja pa jih elektromotor. Po navadi se namesti tudi senzorje, ki v primeru dvigovanja gladine, kot indikatorja nepropustnosti rešetk, sprožijo čistilno napravo.

Posebna vrsta so rešetke s samočistilno sposobnostjo (Slika 4). Preko teh je ob višjih vodah možno prelivanje. Plavine zaradi vzgona plavajo na gladini. Z dvigovanjem vode in na to prelivanjem se te samodejno odstranijo čez rešetke in vrnejo nazaj v strugo, dolvodno od odvzemnega objekta.



Slika 4: Fine rešetke s samočistilno sposobnostjo

(Vir: <http://www.entsander.com>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

2.4.2 ELEMENTI MED ODVZEMNIM OBJEKTOM IN STROJNICO

Naloga vmesnega dela je, ne le pripeljati vodo od odvzemnega objekta do strojnice, pač pa tudi, s čim manj izgubami, prideliti čim večji padec. V naslednjih dveh poglavjih so predstavljene lastnosti cevovoda, pravila umestitve, težave, ki lahko nastanejo na sistemu in njihove rešitve.

2.4.2.1 CEVOVOD

Cevovod je eden najpomembnejših delov male hidroelektrarne, ki povezuje odvzemni objekt s strojnico. Hidravlično najbolj ugodna umestitev v prostor je v večini primerov zelo težko izvedljiva in v povezavi z nesorazmerno velikimi stroški. Slaba zasnova celotnega sistema pa prinese kasnejše težave in velike izgube.

Cevovod mora biti iz ustreznih materialov, ki prenesejo pritiske vode. Z izračunom tlaka na posameznih točkah in prilagajanjem dimenzij ter materialov dolvodno, lahko prihranimo precej denarja. Vsaka izmed cevi (aluminijaste, jeklene ali PVC) ima določeno hrapavost sten, ki vpliva na upor toka. Premer cevi pa vpliva na izgube (večji premer – manjše izgube), požiralnost in predvsem na ceno (Ostermeier, 2008).

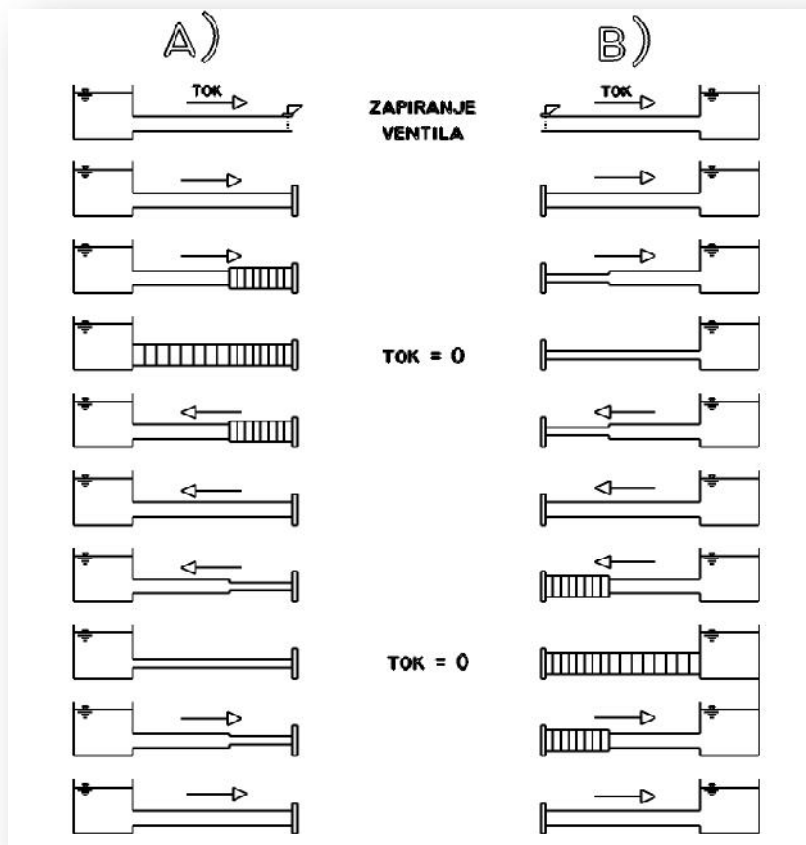
Pravila za hidravlično najbolj ugodno rešitev so: cevovod mora potovati čim bolj naravnost, brez večjih zavojev, kolikor je v danih razmerah le mogoče. V primeru zavojev morajo ti biti enakomerni, razpotegnjeni in ne kolenasti z ostrimi koti. Cevovod naj bi se spuščal proti strojnici s čim bolj enakomernim padcem. Na najnižjih mestih se lahko začne nabirati pesek,

na najvišjih pa se ustvari zračni žep, ki prav tako vpliva na dodatne izgube (Ostermeier, 2008).

2.4.2.2 PROBLEM VODNEGA UDARA

Elastični valovi nad- ali pod- tlakov lahko nastanejo pri odpiranju in zapiranju ventilov, ali kakršnikoli spremembi pretoka v cevovodih pod tlakom. Pojav se imenuje vodni udar (Rajar, 1980).

Najlažje ga opišemo na podlagi enostavnega modela, kjer imamo cev z določeno dolžino in debelino stene, na spodnji strani zasun in zgornji rezervoar (Slika 5, a primer). Če v nekem trenutku prekinemo odtekanje po cevi, stisne, zaradi vztrajnosti dotekajoča voda, kratek cilindar vode tik ob zasunu. Voda je malo stisljiva, zato cev sili k razširitvi. Voda še naprej doteka v cevovod, še naprej stiska cilindrične prostornine in jih nabija drugega na drugo. Pri tem povzroča širjenje cevi v nasprotni smeri dotekanja. Hitrost širjenja vala nadtlakov in s tem razširjanja cevi je odvisno od premera, debeline sten, načina vgradnje in materiala cevi ter lastnosti tekočine, ki se pretaka (Rajar, 1980).



Slika 5: Raztezanje in krčenje cevovoda ob trenutnem zapiranju
a) raztezanje in krčenje cevovoda gorvodno od turbine ob trenutnem zapiranju ventila
b) raztezanje in krčenje sesalnega dela cevovoda ob trenutnem zapiranju turbine (Rajar, 1980)

Tudi v primeru, ko imamo zasun na dotekajoči strani in rezervoar na odtekajoči (Slika 5, b primer) pride, ob trenutnem zapiranju ventila, do pojava povečanih tlakov. Tak pojav dobimo v primeru, da je odsek cevovoda pod turbino razmeroma dolg, pri čemer lahko ob nepravilnem dimenzioniranju, tlačni valj s spodnje strani udari tako silovito, da turbino dvigne s temeljev (Rajar, 1980).

2.4.3 ELEMENTI STROJNICE

V naslednjih poglavjih so predstavljeni posamezni tipični elementi strojnice, kot objekta v katerem se mehanska energija pretvori v električno.

2.4.3.1 TURBINA

Turbina je pogonski stroj, ki potencialno energijo pretvarja v mehansko. Razvrstimo jih v dve glavni skupini:

- enakotlačne (akcijske):
 - Peltonova turbina (Slika 6): primerna je za majhne pretoke in velike padce (od 60 do 2000m). Voda brizga tangencialno na lopatice turbine skozi eno ali več šob, ki znotraj vsebujejo iglo, preko katere reguliramo pretok. Izkoristek turbine je od 85% do 90%, moč pa do 250 MW.
 - Bankijeva turbina: primerna je za manjše padce in pretoke. Sestavlja jo venec lopatic pritrjenih na kovinska obroča, s čimer je zelo podobna mlinskemu kolesu. Vodni curek na lopatice pritiska dvakrat. Najprej, ko teče prek vodilnika na notranjo stran gonilnika in na drugi strani ob izstopu nazaj ven (Falcao, 2008).
- nadtllačne (reakcijske):
 - Kaplanova turbina: primerna je za velike pretoke in manjše padce (do 70m). Ima obliko ladijskega vijaka, z od 4 do 8 lopaticami. Zaradi nastavljivih lopatic tudi na gonilniku, lahko pri širokem razponu pretokov dosežemo izkoristke tudi prek 0,9. So hitro tekoče, zato tudi manjše in cenejše. (Falcao, 2008).



Slika 6: Peltonova turbina

(Vir:

<http://www.turbinesinfo.com/what-is-a-turbine/>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

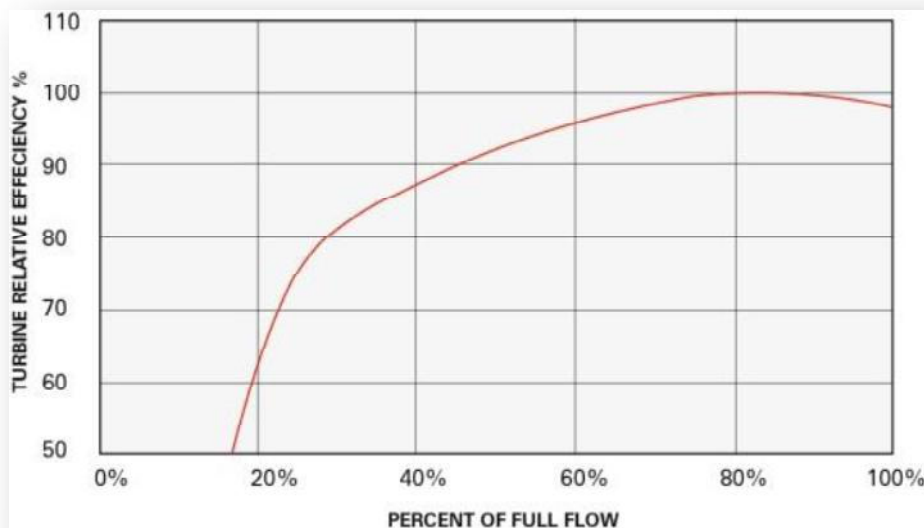
- Turbina, ki izkorišča prosti tok: izkorišča le pretok, ne pa tudi višinske razlike. Turbina je instalirana neposredno v strugo, zato za obratovanje ne potrebuje odvzemnega objekta in dovodnega kanala oz cevovoda. Razpon proizvodnje znaša od 5 do maksimalno 5000 Wattov (Wikipedia)
- Francisova (Slika 7): ima velik razpon pretokov (maksimalno 50% odstopanje od instaliranega) pri katerih še vedno deluje



Slika 7: Francisova turbina
(Vir:

http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine, pridobljeno 20. 11. 2014.)

optimalno. Sestavljajo jo fiksne lopatice, ki usmerjajo tok na turbino in vodilne, ki regulirajo pretok in kot pod katerim voda pritiska na lopatice turbine. Voda vstopa v turbino radialno v polžasto spiralo, ki omogoča ohranitev obodne hitrosti, in s spiralnim tokom izstopa aksialno v sesalno cev. Tekoč je v celoti napolnjen z vodo, kar omogoča ustvarjanje hidrodinamičnih dviznih sil, ki enakomerno pritiskajo na vse lopatice turbine. Potencialna energija se vzdolž cevovoda pretvarja v kinetično, ta pa z vrtenjem tekača naprej v mehansko energijo. Največji izkoristek turbine je 90% (ESHA, 2004).



Grafikon 1: Relativni izkoristek Francisove turbine v odvisnosti od deleža dejanskega toka glede na instaliranega

(Vir: <http://www.gilkes.com/Francis-Turbines>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

Enačbi (4) in (5) predstavljata izračun izkoristka Francisove turbine pri malih hidroelektrarnah. Uporabljena je v poglavju 4.5, kjer je izračunan izkoristek turbine za posamezen pretok v odvisnosti od izbrane požiralnosti turbine.

$$\eta = 25.293 x^5 - 88.611 x^4 + 119.89 x^3 - 79.306 x^2 + 26.659 x - 3.0478 \quad (4)$$

$$x = \frac{Q(\text{dejanski})}{Q(\text{instalirani})} \quad (5)$$

2.4.3.2 SESALNA CEV, SESALNA KOMORA, IZPUST

Sesalna cev je pomembna komponenta, ki lahko odločilno vpliva na ceno investicije in zmanjšuje izgube na sistemu, predvsem pri malih hidroelektrarnah, ki izkoriščajo manjši padec. Njena naloga je, ob minimalnih izgubah, pri pretvorbi kinetične energije v tlačno, statično, čim bolj zmanjšati hitrost vode. Sestavljena je iz kolenaste cevi stožčastega preseka, ki vodi v sesalno komoro. S postopnim večanjem premera se zmanjšuje pritisk vode. Načrtovanje dimenzij cevi in kota, pod katerim bo nastopala razširitev, je dokaj kompleksna naloga. V primeru hitre razširitve se tok vode odlepi od stene cevi, kar močno zmanjša izkoristek. Prepočasno povečevanje premera pa je povezano z večjimi dimenzijami cevi in posledično večjimi stroški in večjimi izgubami na račun trenja ob stene cevi. Najbolj optimalen kot je 7°. Včasih je vse skupaj pogojeno s prostorskimi omejitvami, pri čemer lahko uporabimo stožčasto cev pod kotom do 15° (ESHA, 2004).

2.4.3.3 REGULATOR, LEŽAJI, VZTRAJNIK

Turbinski regulator se uporablja za ročno reguliranje turbinskih lopatic, torej ročnega prilagajanja požiralnosti turbine, in kot zaščito agregata proti pobegu. V primeru odpovedi javne mreže, ko je turbina razbremenjena, ker asinhronski generator izgubi vzbujanje in preneha z generiranjem, vrtilna hitrost turbine začne naraščati. Ko preseže določeno vrednost, dobi nihalo previsoko vrtilno hitrost in regulator zapre vodilnik turbine (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

Turbinska gred, katere namen je prenos vrtljajev od turbine do generatorja, mora biti dobro vpeta. Ležaji omogočajo vodenje gredi in prenašajo zunanje obremenitve z vrtečega na mirujoči del stroja (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

Vztrajnik je namenjen blaženju sunkov krožnega gibanja in shranjevanju energije. V primeru nenadne razbremenitve, popolnoma obremenjenega agregata in odpovedi turbinskega regulatorja, bo agregat, zaradi vztrajnika, dosegel pobežno vrtilno hitrost šele po nekaj deset sekundah (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

2.4.3.4 GENERATOR

Na os turbine je nameščen rotor generatorja, ki se vrti skupaj s turbino in v statorju generatorja inducira napetost, ki predstavlja pridobljeno električno energijo. Izbrana moč generatorja je odvisna od razpoložljive moči na turbini (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

2.5 ENAČBA ZA IZRAČUN MOČI MALE HIDROELEKTRARNE

Podatek, ki nas pri umestitvi HE objekta v prostor najbolj zanima, je končna moč elektrarne oz. njena proizvodnja in s tem povezan dobiček. Enačba za izračun moči je naslednja:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{neto} \cdot \eta \quad (6)$$

P – moč hidroelektrarne [W]

ρ – gostota vode = 1000 [kg/m³]

g – gravitacijski pospešek = 9,81 [m/s²]

Q – pretok vode možen za odvzem [m³/s]

H_{neto} – neto višinska razlika z upoštevanimi hidro-dinamskimi izgubami na sistemu [m]

η – izkoristek turbine []

Pretok in višinska razlika sta parametra odvisna od naravnih danosti, na podlagi katerih temelji proizvodnja in upravičenost samega objekta.

Posamezne pretoke, potrebne za konstruiranje krivulje trajanja pretokov v poglavju 4.2.1, izračunamo s pomočjo preoblikovane enačbe za izračun moči HE.

$$Q = \frac{P}{(\rho \cdot g \cdot H_{neto} \cdot \eta)} \quad (7)$$

3 OPIS OBMOČJA, PRIMER MODELIRANJA IN ANALIZE

V naslednjih poglavjih sledi opis obstoječega stanja elementov objekta mHE Volaka, naravnih danosti, ki jih objekt izkorišča ter splošen opis porečja in njegovih značilnosti.

3.1 UMESTITEV MALE HIDROELEKTRARNE V PROSTOR

Za upravičenost umestitve male hidroelektrarne v prostor moramo preveriti različne dejavnike. Pomembna je izdatnost vodotoka, njegova konstantnost, režim in naklon struge, oziroma padec, ki ga izkoriščamo.

3.1.1 POREČJE VOLAŠČICE

Potok Volaščica izvira globoko pod Blegošem, kjer z izrazito hudourniškim značajem ter hitrim spremembam vodnega režima, po ozki dolini vasi Volake, odvaja 7km² veliko prispevno območje. Ima štiri večje pritoke in več manjših. Dolvodno dolina postaja širša, potok pa izgublja na hitrosti in moči. Na koncu se steka v reko Kopačnico, ki se naprej izliva v Poljansko Soro.



Slika 8: Volaščica z glavnimi izviri in lokacijo mHE Volaka
(Vir: <https://www.google.si/maps>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

Volaščica je bila prvič omenjena leta 973 in sicer kot meja ozemlja loškega gospostva. Sodi med potoke, ki pogosto poplavlajo in dolvodno ogrožajo večje površine, o čemer priča tudi leto 1564, ko je največja povodenj, v tem delu odnesla cerkev svete Eme in fužine. Potencial Volaščice je bil že od nekdaj dobro izkoriščen. V preteklosti v obliki mlinov, žage in kovačije, danes pa na njej stojita dve mali hidroelektrarni (Lavtar, 2010). Od 1973 do 1975 so bile na vodotoku izvedena opazovanja vodnega stanja, temperature vode in zraka ter druge fizikalno-kemične značilnosti. Načrtovana, a nikoli izvedena, je bila namreč izgradnja večjega vodnega zajetja, ki bi preskrboval Gorenjo vas in ostale vasi v okolici. Voda je ustrezala merilom, tako za industrijsko rabo, kot tudi za pitje (Dušan, 1976)

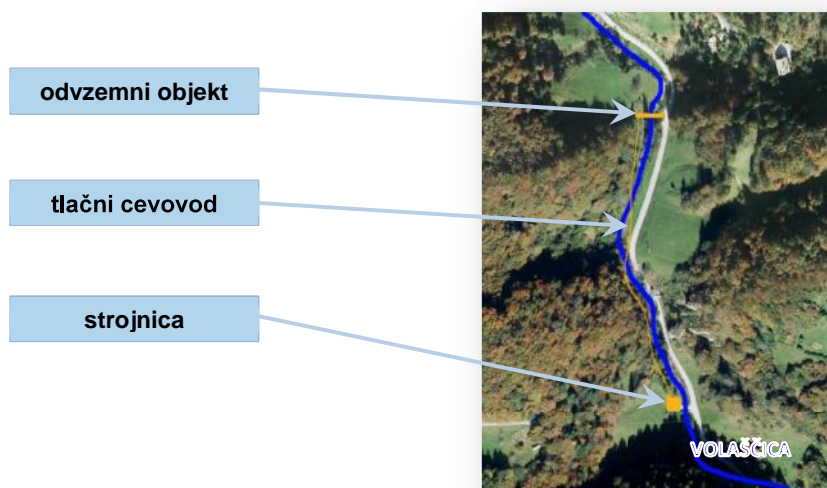
Je hudourniškega značaja s povprečnim naklonom 14%. Pretok je pod velikim vplivom padavin, ki so zaradi orografskega učinka na tem območju nadpovprečne. Povprečna letna količina znaša od 1800 do 2000 mm v vsega skupaj od 135 do 145 dneh (Atlas okolja).

Poleg padavin, k stalni vodnatosti vpliva tudi geologija. Na območju izvirov se nahaja močna prelomna cona med triasnim dolomitom in peščenjaki, skrilavci, tufi ter apnenci. Zapletena sestava omogoča tako pri-površinsko kot tudi globlje, podzemeljsko akumuliranje in pretakanje vode. Največji izvir (slika 8, Izvir I.) se napaja iz obsežne pretirte prelomne cone in apnenčevih vložkov. Izdatnost tega vira je precej spremenljiva: od 59 l/s in prek 200 l/s v času padavin, medtem ko preostali štirje (slika 8, Izviri II., III., IV., V.) prispevajo do 20 l/s. Dolina je značilna po številnih močilih, močvirju in manjših konstantnih izviri (Dušan, 1976).

3.1.2 NARAVNE DANOSTI OBJEKTA MALE HIDROELEKTRARNE VOLAKA

Objekt male hidroelektrarne je umeščen v srednjem delu potoka Volaščice, tik preden ta preide iz strmega v položen teren. Odzemni objekt se nahaja na koti 523 m.n.v., na kar odvzeta voda potuje po 262 m dolgem cevovodu do strojnice, na koto 295 m.n.v.. Z instalirano močjo 60 kW je izkoriščen bruto padec 28,5 m (Šolc, 1982)

Zajetje je umeščeno v ozek naravni prag. Skupaj s peskolovom je temeljen na raščnem temno-sivem apnencu, ki zagotavlja stabilnost in vodotesnost pregrade. Na levem bregu je prag vpet v večjo skalo, kar še dodatno povečuje stabilnost celotnega objekta. Zaradi nizke zajezitve je gorvodni vpliv majhen in znaša okoli 10m (Šolc, 1982)



**Slika 9: Tloris situacije obravnavane mHE
Volaka**

(Vir: <http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

3.2 OBSTOJEČE STANJE ELEMENTOV HIDROENERGETSKEGA OBJEKTA ZA IZBRANO LOKACIJO

V naslednjih poglavjih so predstavljeni posamezni elementi obravnavane mHE razdeljeni v skupine elementov odzemnega objekta, elementov med odzemnim objektom in strojnico ter elementov strojnice.

3.2.1 ELEMENTI ODVZEMNEGA OBJEKTA

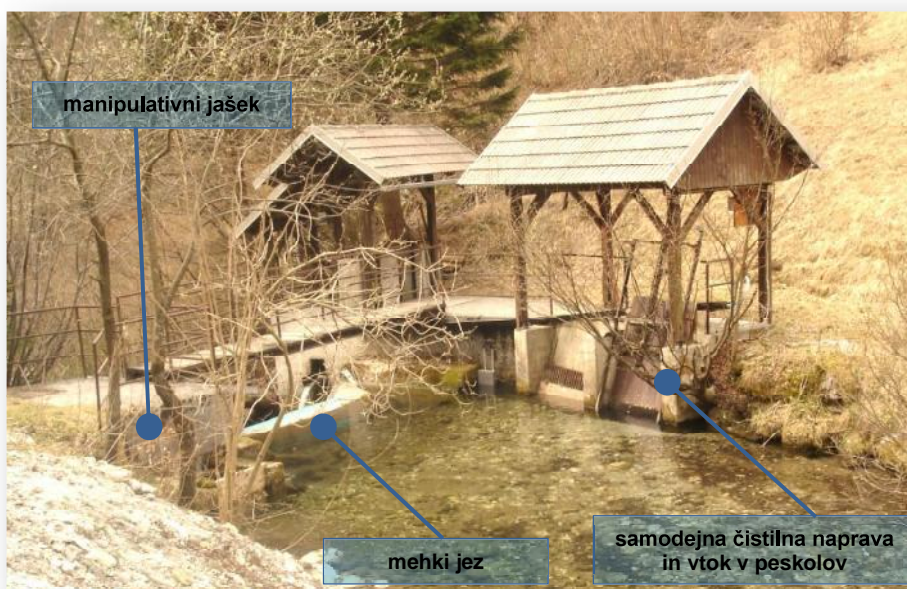
Odvzemni objekt (Slika 10) sestavlja gumeni jez z vodnim polnjenjem na ročno upravljanje. Gibljivi del zajezi vodo v višini 80 cm. Manipulativni jašek zagotavlja stalno vzdrževanje pritiska v vreči in s tem ohranja koto zaježitve. Za spustitev jezu se ročno odpre ventil in voda zaradi gravitacije in pritiska zaledne vode zapusti meh. Naslednji element je peskolov pred katerim so nameščene fine rešetke, ki preprečujejo vstop tako manjšim suspendiranim snovem, kot tudi ribam. Delci, ki se ujamejo na rešetke odstranjujejo avtomatske grablje kot samodejna čistilna naprava. Pogon se sproži, v odvisnosti od danih razmer, na določene časovne intervale ali predčasno, s pomočjo plovca, kot indikatorja upadle vode znotraj peskolova (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

V območju objekta obravnavane hidroelektrarne je tipična povprečna količina nanosov 2,0-10 kg/m³, večinoma pesek frakcije od 2 do 3mm. Odstranjevanje suspendiranih snovi je zagotovljeno z vtokom, ki se nahaja 20 cm više od fiksnega dela jezu, situiran tangencialno

na smer toka, pri čemer se večina delcev transportira mimo peskolova (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

Dovod peska se še dodatno prepreči z vtokom v cevovod, ki je nekoliko dvignjen nad dnem peskolova. Sestavni element objekta je tudi tablasta zapornica. S pomočjo vretena se ta dvigne, tok pa usedle delce odplakne iz peskolova dolvodno nazaj v strugo.

Tik pred vtokom v tlačni cevovod so nameščene grobe rešetke, ki preprečujejo nastanek vrtincev in s tem dovod zraka.



Slika 10: Odzemni objekt mHE Volaka

3.2.2 ELEMENTI MED ODVZEMNIM OBJEKTOM IN STROJNICO

Cevovod pri danem objektu poteka po najkrajši in najugodnejši trasi. Jeklena cev (Slika 11) ima prvih 160m premer 500mm, preostali del pa premer 400mm. Cevovod dvakrat prečka strugo, pri čemer premostitev upošteva varnost v primeru stoletnih vod. Za primere ekstremnih temperaturnih nihanj, v povezavi z velikimi raztezki cevi (tudi do 12mm na 10m), je na več mestih izvedena dilatacija (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).



Slika 11: Tlačni cevovod med odzemnim objektom in strojnico mHE Volaka

Ob natančni preučitvi sistema je z naslednjimi rešitvami vodni udar na objektu omiljen, cevovod pa razbremenjen predvsem ob zasunu, kjer je pojav najbolj ekstremen:

- Povečan je čas zapiranja ventila pri turbini. Zaporni ventil je konstruiran na način, da hitro zapiranje (v manj kot 5. sekundah) sploh ni izvedljivo. Ukrep je, ob razmeroma lahki in ugodni rešitvi, zelo učinkovit;
- pred zaprtjem zasuna se tik pred njim odpre manjši zasun, ki preusmeri vodo mimo turbine neposredno v sesalno komoro. Omogoča, da nikoli ne pride do nenadne popolne zaustavitve pretoka, pač pa se del še vedno pretaka mimo;
- pred zasunom je cev obdana z betonskim blokom, ki na najbolj kritični točki onemogoča razširitev oz. porušitev cevovoda.

3.2.3 ELEMENTI STROJNICE

Ob danem pretoku in višinski razliki je najbolj optimalna izbira Francisova turbina v horizontalni izvedbi s požiralnostjo 330 l/s (Slika 12). Iz turbine voda odteka skozi kolenasto, stožčasto cev v sesalno komoro s potopljenim iztokom. 12m dolvodno se voda po cevi Φ 700, vrača nazaj v strugo (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

Turbinska gred je uležajena v dveh ležajih. Turbinski ležaj je izdelan za prestrezanje aksialnih ter radialnih obremenitev in je preko konzole pritrjen na turbinski pokrov. Drugi ležaj je prav tako drsen, a le radialen. Na gredi med obema ležajema so zagazdeni vztrajnik ter jermenici za pogon regulatorja in zobniške črpalke turbinskega ležaja (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).



Slika 12: Spiralni okrov Francisove turbine in kolenasti iztok v strojnici mHE Volaka

Asinhronski generator proizvaja le delovno moč, zaradi česar potrebuje vir jalove energije, ki dovaja jalovo moč za magnetenje generatorja. Njegov izkoristek je približno 0,9. Proizvedeno električno energijo oddaja v javno omrežje (Šolc, Škantar, Novak, Gospodjinački, 1985).

4 ANALIZE IN IZRAČUNI

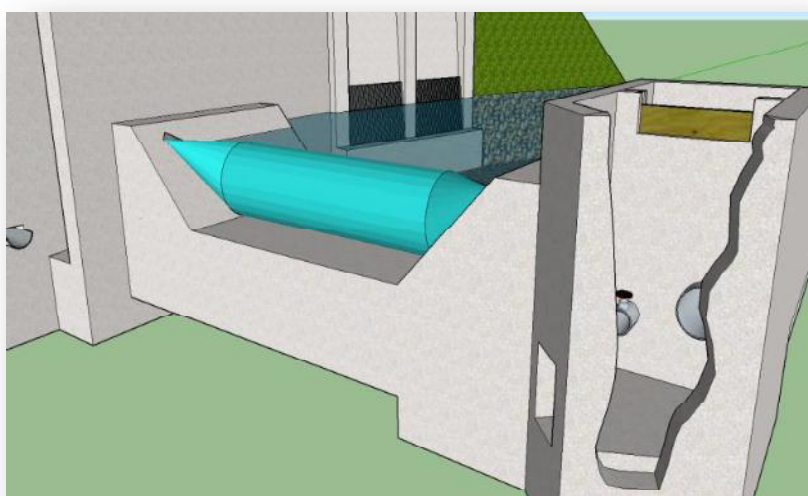
Poglavje zajema analizo sedanjega stanja, probleme, ki se pojavljajo na sistemu in možne rešitve. Za potrebe izračuna moči hidroelektrarne sta preučeni najpomembnejši neznanki: pretok in neto višinska razlika.

4.1 ANALIZA SEDANJEGA STANJA IN RAZLOGI ZA POSODOBITEV

Celoten objekt obravnavane male hidroelektrarne je načeloma precej dobro zasnovan. Ob manjših popravilih in več nadgradnjah do danes, vsega skupaj, uspešno obratuje že skoraj 30 let. Med večjimi adaptacijami je potrebno omeniti zamenjavo generatorja, tekača turbine, nadgradnjo elektro opreme in namestitev čistilne naprave. Z njimi je dosežena večja zmogljivost proizvodnje, boljši izkoristek in večja avtomatizacija procesov. Na objektu pa kljub temu obstajajo še vedno določene pomanjkljivosti. Potrebna je zamenjava, obnova ali nadgradnja nekaterih naprav, ki bi pripomogle k večji proizvodnji.

Vreči gumenega jezusa je življenjska doba že zdavnaj pretekla. Zahteva vse pogostejše krpanje poškodovanega plašča. Ena izmed možnih rešitev je nakup in zamenjava vreče, druga pa namestitev robustnih jeklenih plošč z vzmetjo.

Naslednja pomanjkljivost je v času, ki ga potrebujemo za spust in ponoven dvig gumenega jezusa. Vreča se popolnoma izprazni v približno petih minutah, medtem ko za polnitev potrebuje približno 20 minut.



Slika 13: Gumeni jezu in manipulativni jašek mHE Volaka
(SketchUp 2014)

Veliko težavo predstavlja tudi neustrezna čistilna naprava. V primeru, da se večja plavina (npr. veja) zagodzi med rešetko in grabljami, slednje samodejno prenehajo delovati. Brez posega človeka in ročne odstranitve plavine, se čistilna sposobnost objekta prekine. Rešetke zaradi materiala, ki se nanjo ujame, ne prevajajo več zadostne količine vode, zaradi česar proizvodnja pade na najmanjšo vrednost. Razmik jeklenih palic, ki sestavljajo rešetke je prevelik. Problem je opazen predvsem v jeseni, ko rešetka ne zadrži vsega listja. Ta se nabira v turbini, kar vpliva na zmanjšanje proizvodnje in enourni izpad od obratovanja ob vsakokratni demontaži in čiščenju.

Praviloma je v tlačnem cevovodu med odvzemnim objektom in strojnico le voda. V primeru, da vode, glede na nastavljeni požiralnost turbine, v cevovodu ni dovolj, preko vrtincev, pri odvzemu, vanj pride tudi zrak. V cevovodu se ustvarijo zračni žepi, ki vplivajo na zmanjšanje tlaka in s tem manjšo proizvodnjo.

Protikorozijska zaščita cevovoda je po celotni dolžini že popolnoma preperela. Za nadaljnjo zaščito, povečanje obstojnosti in podaljšanje funkcionalnosti je potreben ponoven nanos.

Naloga predturbinskega zapornega elementa je zapora dotoka vode ob daljšem mirovanju strojev in varovanje turbine. Te so sposobne samodejnega zaprtja tudi ob polnem pretoku. Ker so ti zaporni elementi precej dragi, je ob postavitvi sistema bil nameščen rabljen klinasti zasun na ročni pogon iz neke druge hidroelektrarne. Ta tip zapirala ne igra vloge predturbinskega varovala, poleg tega pa zasnova elementa povzroča vrtnčenje vode in s tem povezane velike izgube energije. Na obravnavanem objektu koeficient izgube zaradi klinastega zasuna znaša 0.0458.

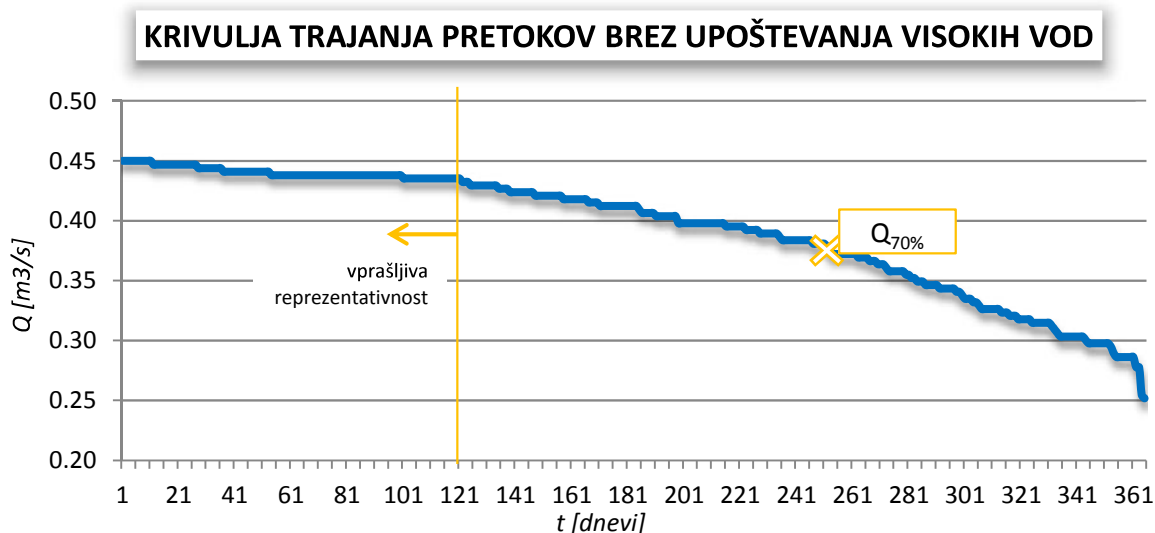
4.2 ANALIZA MOŽNOSTI UPORABE PRETOKOV

Cilj sledečega poglavja je oblikovanje krivulje pretokov kot enega izmed prvih korakov, kjer se preveri ustreznost in upravičenost umestitve HE objekta. S pomočjo dnevne evidence o proizvodnji obstoječe male hidroelektrarne in znanih ostalih parametrov, je mogoče določiti krivuljo trajanja pretokov. Visoke vode v krivulji trajanja so bile pridobljene na podlagi opazovanj, meritev in arhivov preko pretočne krivulje trajanja. Sledi še izračun velikosti ekološko sprejemljivega pretoka.

4.2.1 KRIVULJA TRAJANJA PRETOKOV BREZ UPOŠTEVANJA VISOKIH VOD

Na obravnavanem vodotoku Volaščica, ni objekta, ki bi omogočal neprekinjene meritve pretokov ali gladin vode čez celo leto. Te lahko dobimo s pomočjo enačbe (7) ob znanih parametrih dnevnega obratovanja hidroelektrarne v obdobju zadnjih 30 let, neto padca in znanega izkoristka turbine.

Dobljeni rezultati predstavljajo izključno pretok skozi turbino, ne pa tudi ekološko sprejemljiv pretok, ki ni izkoriščen in teče mimo strojnice. S predpostavko, da je bil ekološko sprejemljiv pretok ves čas obratovanja vzdrževan v velikosti kot je določeno s koncesijsko pogodbo (120 l/s), vrednost prištejemo k prejšnjemu rezultatu. Ob znanih dnevnih vrednostih lahko situacijo prikažemo s krivuljo trajanja (Graf 2).



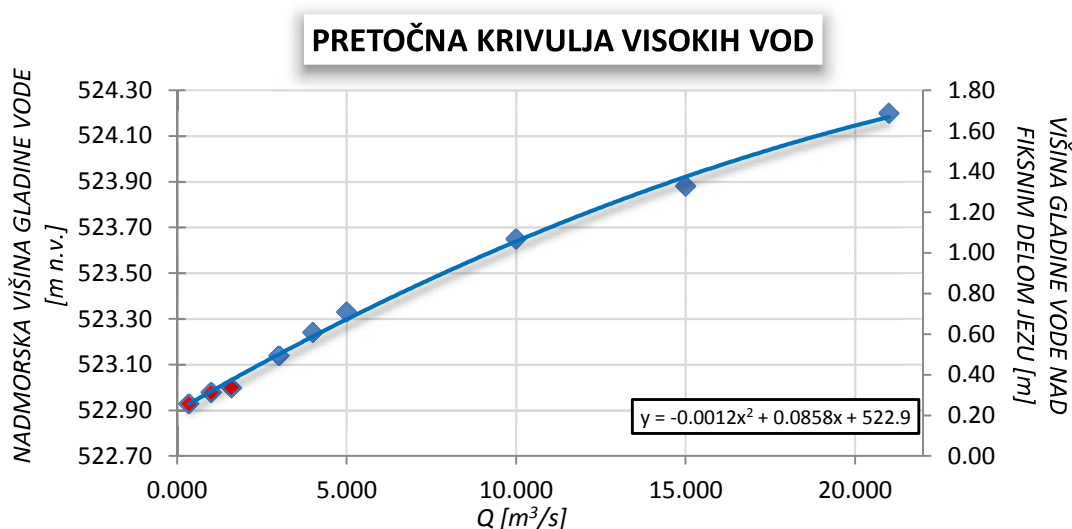
Grafikon 2: Krivulja trajanja pretokov brez upoštevanja visokih vod

Krivulja (Graf 2) nam kaže odstotek časa, v katerem je tok vode v strugi enak ali večji od izbrane velikosti. Samo za primer, točka na grafu označuje $Q_{70\%}$, kar predstavlja 70% ali 255 dni v letu, ko je pretok večji od pretoka na izbrani točki (Brilly, Šraj, 2005). Te podatke potrebujemo predvsem pri dimenzioniranju požiralnosti turbine.

Problem je, da metoda ne prikazuje trajanja pretokov, ki so večji od instaliranega na turbini. Reprezentativnost podatkov je vprašljiva od 121 dneva levo. V teh situacijah je bila količina vode, ki ni izkoriščena in odteka mimo strojnice večja od ekološko sprejemljivega pretoka. Krivuljo je prilagojena v naslednjem poglavju s pomočjo pretočne krivulje visokih vod.

4.2.2 PRETOČNA KRIVULJA VISOKIH VOD IN KONČNA KRIVULJA TRAJANJA

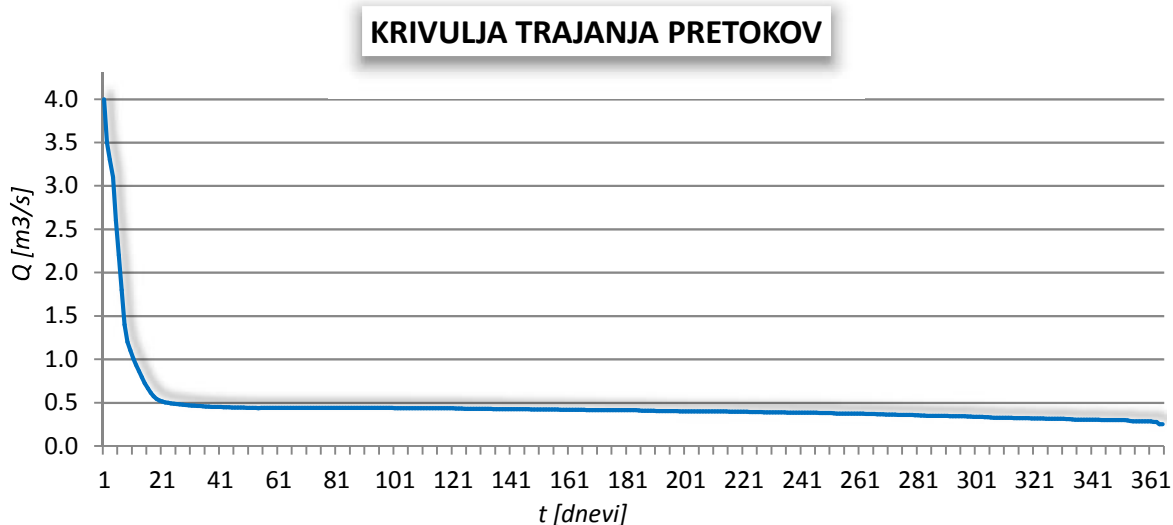
Soodvisnost med pretokom in gladino na nekem profilu vodotoka predstavlja pretočna krivulja (Brilly, Šraj, 2005). Učinkovito merjenje pretoka zahteva svoj čas ali zahtevnejše pripomočke, naprave ali objekte, ki niso vedno na razpolago. Precej lažje je izmeriti gladino vode, s pomočjo katere nato enostavno, preko grafa, razberemo velikost pretoka.



Grafikon 3: Pretočna krivulja visokih vod

Za potrebe konstruiranja pretočne krivulje (Graf 3) so bile meritve izvedene v treh primerih pojava visokih voda s pomočjo vodomerne late (Graf 3: točke označene z rdečo barvo). Izvedene so bile na območju zaježitve, na mestu, kjer je hitrost vode v strugi ob različnih gladinah enakomerna. V kratkem štiri-mesečnem obdobju opazovanj ni bilo izrednih poplavnih vod, z npr. stoletno povratno dobo, s pomočjo katerih bi dobili podatke za večje pretoke. Ti so bili pridobljeni na podlagi opazovanj in arhivov iz preteklosti (Graf 3: točke označene z modro barvo). Točke zajamemo s krivuljo, ki najmanj odstopa od meritev.

S pomočjo pretočne krivulje visokih vod, meritev gladin vode preko leta in dobrega poznavanja režima vodotoka lahko oblikujemo končno krivuljo trajanja pretokov (Graf 4).



Grafikon 4: Krivulja trajanja pretokov

Hudourniški značaj je z grafom št. 4 še enkrat potrjen, kjer je dobro razvidna zelo velika razlika med nizkimi in visokimi pretoki. Razmerje znaša približno 1:20 ali 0,2:4,0 m^3/s . Razvidna je tudi zelo pomembna lastnost, ključna za upravičenost postavitve male hidroelektrarne. To je konstantnost in izdatnost skozi vse leto.

Značilni pretoki:

- $Q_{50} = 0,412 \text{ m}^3/s$
- $Q_{70} = 0,372 \text{ m}^3/s$
- $Q_{90} = 0,315 \text{ m}^3/s$
- $Q_{95} = 0,298 \text{ m}^3/s$

4.2.3 Q_{es} – EKOLOŠKO SPREJEMLJIV PRETOK (izračun)

V poglavju 2.2.3 je opisan način določanja ekološko sprejemljivega pretoka skupaj z enačbami, v tem poglavju pa je izveden računski del. Vrednosti pretokov so preračunani iz podatkov o evidenci obratovanja male hidroelektrarne za leto 2009, 2010 in 2011.

$$sQ_{np} = (0.089 + 0.101 + 0.105)/3$$

$$\underline{sQ_{np} = 0,098 \text{ m}^3/s}$$

$$sQ_s = (0.345 + 0.381 + 0.394)/3$$

$$\underline{sQ_s = 0,373 \text{ m}^3/s}$$

Odvzem bi spadal med daljše, saj se odvzeta voda vrača nazaj v vodotok na razdalji od 100 do 500m, pri odvzemu na vodotoku, razvrščenem v ekološki tip s prispevno površino manjšo od 10 km². Zaradi tega, ker je količina odvzete vode (0,330 m³/s), manjša od povprečnega srednjega pretoka (0,373 m³/s), pa spada med kratke povratne odvzeme. Vodotok uvrščamo v drugo skupino ekoloških tipov, 4. ekoregije in bioregijo predalpskega hribovja, ki spadajo pod Donavsko povodje. Razmerje med srednjim in srednjim malim pretokom na mestu odvzema je pod 20. Na podlagi podatkov iz preglednice (Priloga B.1 in B.2) razberemo vrednost faktorja $f = 1,2$.

$$Q_{es} = 1,2 \cdot 0,098$$

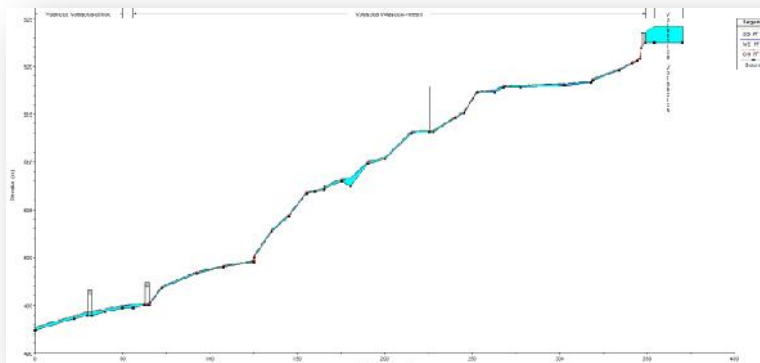
$$\underline{Q_{es} \approx 0,120 \text{ m}^3/\text{s}}$$

4.3 VPLIV ZGORNJE IN SPODNJE VODE NA BRUTO PADEC

Naslednja pomembna količina, ki nastopa v enačbi (6) za izračun proizvodnje HE je neto višinska razlika - H_{neto} . Predstavlja razliko geodetskih višin zgornje in spodnje gladine vode, zmanjšane za razliko kinetičnih energij in vsoto izgub v dovodnem delu do turbine. Da pridobimo čim večjo moč, moramo odzemni objekt in strojnico postaviti na mestu, kjer je na najkrajši medsebojni razdalji dosežen največji padeč. Glede na topografijo sta strojnica in odzemni objekt umeščena na najbolj optimalnih mestih. Kakršna koli sprememba teh objektov na mesta više ali niže ob vodotoku, bi ob zanemarljivem povečanju bruto padca predstavljalo zmanjšanje proizvodnje na račun večjih izgub in dražjo investicijo.

Spodnja in zgornja vodna gladina se čez leto spreminja. Ob majhnih pretokih se spusti in ob velikih dvigne. Zaradi različnega nihanja zgornje in spodnje vode se ves čas spreminja tudi statična višinska razlika. S pomočjo programske opreme HEC-RAS je bil izveden model, na podlagi katerega je bila ugotovljena velikost vpliva različnih pretokov na nihanje zgornje in spodnje vode ter z njima povezanega bruto padca.

Najprej je bilo potrebno izvesti izmero struge vodotoka in dimenzije vnesti v model. Podatke o nadmorskih višinah glavnih prerezov sem črpal iz projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja obravnavanega objekta, vmesne pa je bilo potrebno interpolirati. Naravno vijuganje struge je bilo posnemano s pomočjo zračnega posnetka lokacije. V model so bili dodani mostovi in zajezitveni objekt (Slika 14 in 15).



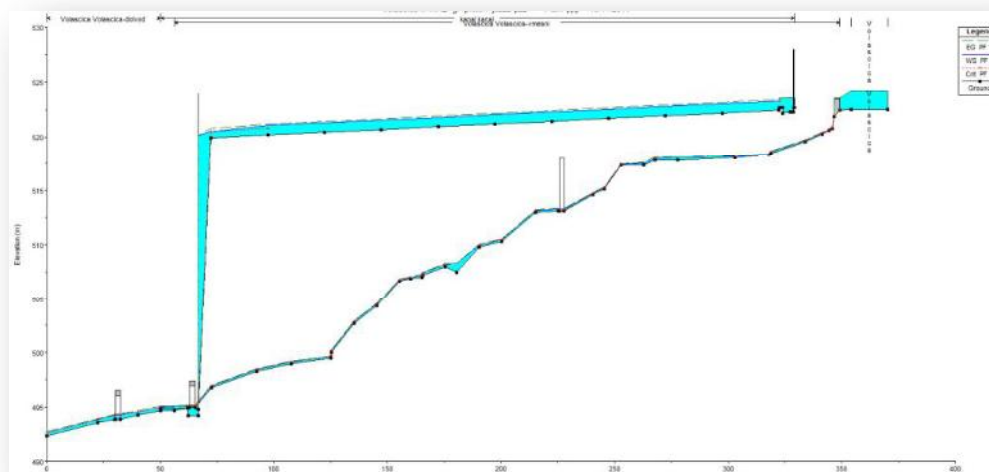
Slika 14: Vz dolžni profil struge Volaščice na odseku od odvzemnega objekta do vračanja odvzete vode nazaj v strugo (HEC-RAS)



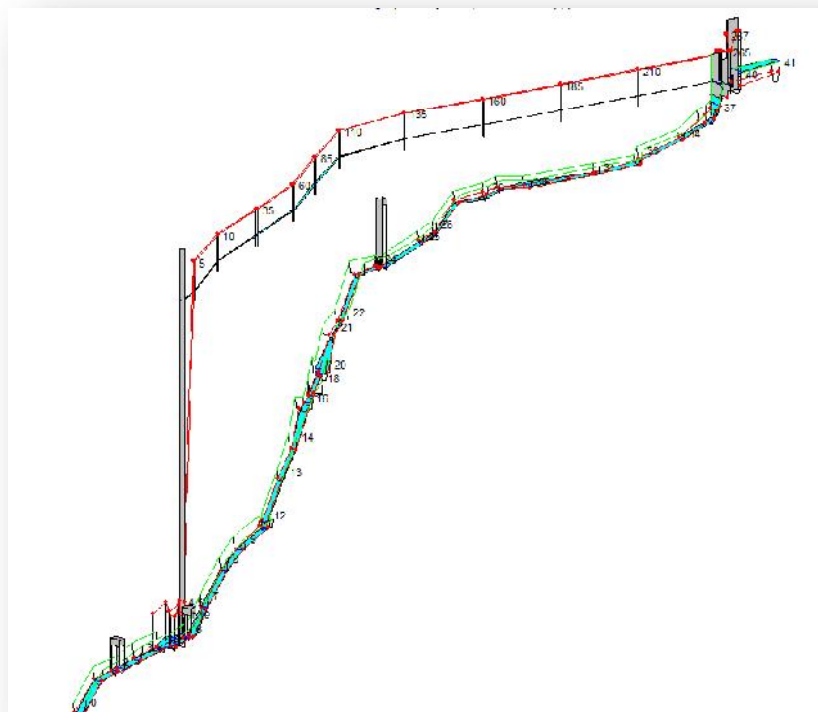
Slika 15: 3D prikaz situacije struge Volaščice na obravnavanem odseku (HEC-RAS)

V model struge je vključen še odvzemni objekt, cevovod, strojnica s sesalno komoro in kanal, ki vrača vodo nazaj v strugo. Programska oprema načeloma ni namenjena dimenzioniranju navedenih objektov, a sem kljub temu vzpostavil model, ki kar najbolj posnema celoten sistem. Kanal, ki predstavlja cevovod se rahlo spušča proti strojnici do mesta kjer višinska razlika s strojnico znaša bruto padec zmanjšan za izgube, ki nastanejo v odseku pred turbino. S prilagajanjem velikosti odprtine, na koncu strmejšega dela kanala, posnemamo spreminjanje požiralnosti turbine.

Ob nastavitvi različnih velikosti pretokov opazujemo nivo gladine vode na mestu zaježitve, ki predstavlja nivo zgornje vode in v sesalni komori, ki predstavlja nivo spodnje vode.



Slika 16: Vz dolžni profil struge Volašnice z modelom, ki posnema objekt mHE Volaka (HEC-RAS)



Slika 17: 3D profil struge Volašnice z modelom, ki posnema objekt mHE Volaka (HEC-RAS)

Preglednica 1: Vpliv nihanja zgornje in spodnje vode na bruto padec

Q [m ³ /s]	Nivo zgornje vode [m n.v.]	Nivo spodnje vode [m n.v.]	H_{bruto}
0.36	523.56	495.03	28.53
0.42	523.56	495.05	28.51
0.45	523.56	495.05	28.51
0.54	523.60	495.05	28.55
0.60	523.62	495.05	28.57
0.80	523.68	495.09	28.59
1.00	523.70	495.12	28.58
1.20	523.75	495.18	28.57
1.70	523.83	495.26	28.57
2.20	523.90	495.35	28.55

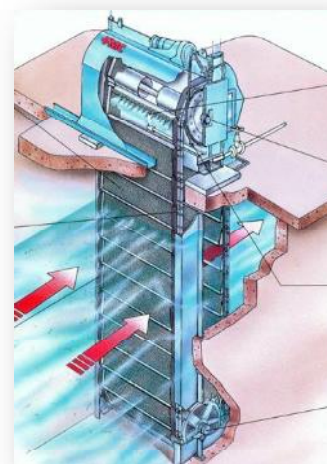
V tabeli 1 so prikazani rezultati pridobljeni na podlagi modela. Opazimo lahko, da se z večanjem pretokov nivo zgornje vode za jezom dviguje za skoraj isti faktor kot nivo spodnje vode v sesalni komori. Bruto višinska razlika tako niha v razmerju nekaj centimetrov.

4.4 NOVA ZASNOVA GRADNIKOV MALE HIDROELEKTRARNE

- Prvi izmed objektov potrebnih zamenjave ali nadgradnje je gumeni jez. Pri tem imamo na voljo dve rešitvi:
 - a) Odstranitev stare vreče in namestitvev jeklenih zapornic na dolvodni strani podprtimi z novim gumenim jezom. Glede na pritisk v mehu se kontrolira nagib zapornic in s tem prelivno vodo. Njen namen je predvsem zaščita gumenega dela pred plavinami v času poplav. Ko se meh izprazni, se zapornica istočasno spusti in prekrije meh. Prazen prostor med posameznimi jeklenimi ploščami povezuje sintetična guma. Glede na prejšnje stanje s tem povečamo zaščito pred plavinami, regulacijska sposobnost pa ostane ista.
 - b) Druga rešitev prav tako predstavlja robustne, jeklene plošče, katere v tem primeru niso podprte z vrečo, pač pa z vzmetjo (Slika 19). Nagib zapornice določa zaledna voda. Vzmet se vzporedno z višanjem vodostaja in večanjem pritiska na jez krči, plošča spušča in s tem preliva večjo količino vode. Odvzemni objekt ne vsebuje prodnega izpusta zato je ta čez preliv mogoč le v času visokih vod, ko je zapornica popolnoma spuščena.

Čas potreben za dvig in spust vreče, za prvo rešitev, lahko zmanjšamo, če vodno polnilo zamenjamo z zračnim, pri čemer tudi lažje reguliramo pritisk in s tem prelivanje čez pregrado. Negativne lastnosti so zmanjšana togost konstrukcije in dodatna strojna oprema (kompresor) ter s tem povečanje možnosti napak in okvar. Čas dviga in spusta vreče lahko ob ohranitvi starega sistema zmanjšamo s povečanjem dotoka vode v regulacijski jašek. Ta se ob tem hitreje napolni, meh pa prej dvigne.

- Na mestu odvzema vode iz struge je obstoječo čistilno napravo potrebno nadomestiti z bolj robustno, ki bi odstranjevala večje plavine kot so veje, manjše hlode, itd.. Naprava bi delovala samodejno glede na nastavljene časovne intervale. Večji razmik med jeklenimi palicami rešetk dovoljuje vstop manjših plavin v peskolov. Te pred vstopom v cevovod odstrani tako imenovan potujoči vodni zaslon (Slika 18) (intake travelling water screen). Manjše plavine se ujamejo na gosto mrežo rešetk, ki potujejo proti košari, kjer jih vodne šobe izperejo. Čistilna naprava bi delovala samodejno, glede na nastavljene časovne intervale, ali zvišan vodostaj v peskolovu.



Slika 18: Čistilna naprava intake travelling water screen

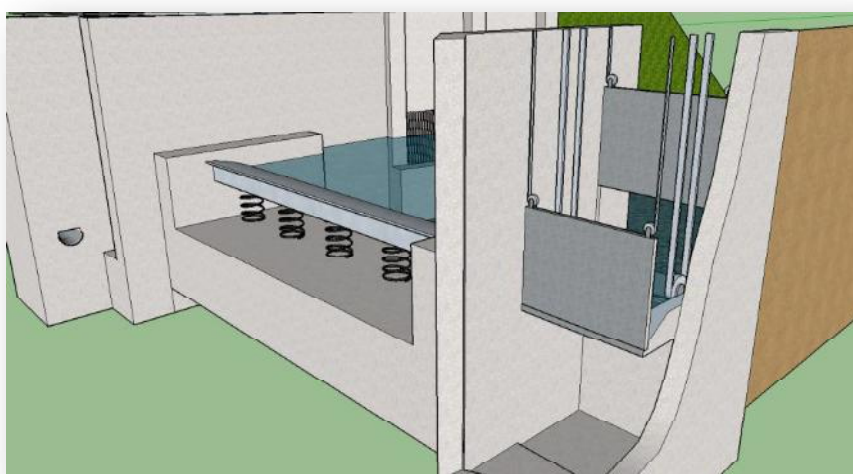
(Vir: <http://www.power-technology.com/contractors/filtration/tarnos/>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

- Nedavno sprejeta zakonodaja zahteva ob vsaki oviri, ki prekine vodotok umestitev umetno izdelanega prehoda za ribe. Razlikujejo se v hidravličnem modelu, sposobnosti samodejne regulacije, namembnosti določenim vrstam, velikostim in številu rib. Za doseg namena je potrebno upoštevati biologijo in obnašanje določenih vrst rib v vodotoku, tako kot tudi hidravlične pogoje gorvodno in dolvodno. Razumevanje posameznih vrst in obnašanja rib v potoku je ključno pri dimenzioniranju. Ribja struga mora biti projektirana na način, da zagotovi prehod tako tistim, ki plavajo bolj na površju, kot drugim, ki plavajo bolj pri tleh, tako za močnejše kot tudi šibkejše vodne živalske združbe (Fish Passage Technologies, 1995)

Pri malih hidroelektrarnah vsakodnevne ribje steze ne pridejo v poštev, saj bi z njimi izgubili večji del pretoka. Najbolj ustrezna ribja steza za obravnavano območje bi bilo dvigalo (slika 19). Je zelo uspešno pri prečkanju vodnih bitji vseh vrst in velikosti.

Zahteva določeno frekvenco obratovanja. V času pomladnih migracij rib, od aprila do junija, mora dvigalo potovati gor in dol vsaj trikrat dnevno (US Army Corps of Engineers)

Ob vходу v dvigalo s pomočjo odvečne vode iz manipulativnega jaška ustvarimo umeten tok, ki deluje kot vaba. V želji nadaljevati pot navzgor ribe plavajo proti toku, ki posnema dolvodni tok struge, v zbiralni prostor. Preden se dvigalo začne vzpenjati, se vrata zbiralnega prostora zaprejo in potisnejo ribe v košaro. Ta nato potuje do vrha pregrade in jih spusti nazaj strugo, od koder potem nadaljujejo pot navzgor.



Slika 19: Jeklena plošča podprta z vzmetmi in ribja steza na principu dvigala

(SketchUp 2014)

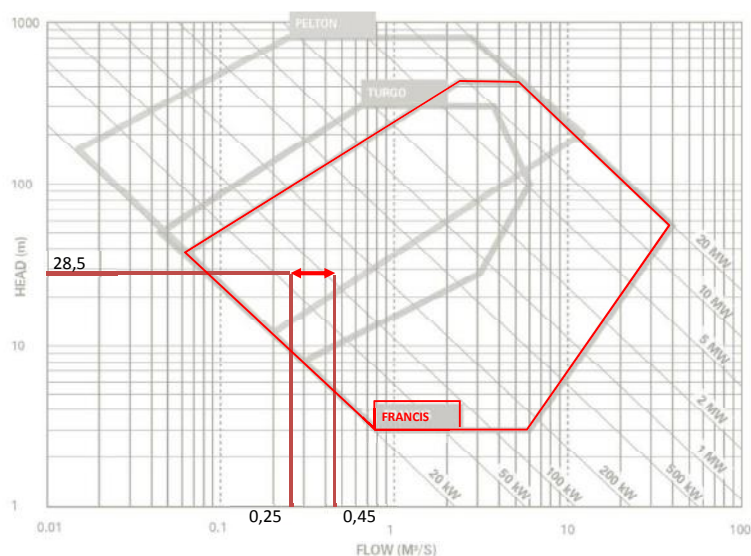
- Dotrajano zunanjo oblogo cevovoda, ki povezuje odzemni objekt in strojnico, je potrebno obnoviti. Potreben je nanos aktivne zaščite pred korozijo, ki kemijsko reagira s površino, ta pa po reakcije nikoli več ne oksidira. Rešitev za zračne žepe, ki se pojavijo v cevovodu je v enokrogelnem odzračevalnem ventilu, ki ga je potrebno namestiti na najvišjih prelomnih mestih. Deluje samodejno po principu vzgona krogle in razlike tlaka v cevovodu in atmosferi. V času praznjenja omogoča vhod, v času polnjenja pa izhod zraka iz cevovoda.

Predturbinski klinasti zasun nadomestimo s krogličnim zasunom kot hidravlično najbolj izpopolnjenim elementom te vrste. Okrov ima obliko krogle, ki je na dveh straneh opremljena s prirobnicami za priključek na cevovod. Zapiralno telo je oblikovano tako, da v odprtem položaju znotraj zavzema obliko ravne cevi, v zaprtem pa zapira in tesni vodo posebna tesnilna plošča. Poleg popolnega tesnjenja kroglasti

zasuni omogočajo tudi varovanje turbine, saj je sposoben zapiranja celo ob polnem pretoku (Wikipedia).

4.5 ISKANJE USTREZNE TURBINE

Turbina, kot srce hidroelektrarne, mora biti izbrana tako, da zajema pogoje v katerih bo delovala kar se da učinkovito, s čim boljšim izkoristkom. Ob danih pogojih višinske razlike 28,5 m in pretoka med 0,25 in 0,45 m³/s najbolj ustreza Francisova turbina (Graf 5).

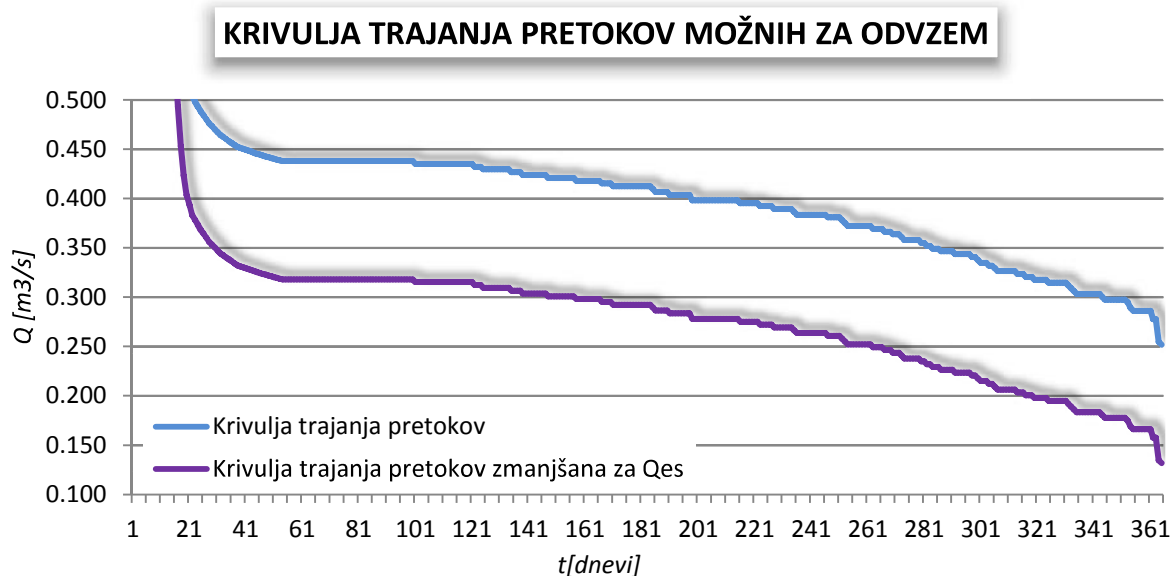


Grafikon 5: Vrste turbine glede na bruto višinsko razliko in pretok

(Vir: <http://www.gilkes.com/Francis-Turbines>, pridobljeno 20. 11. 2014.)

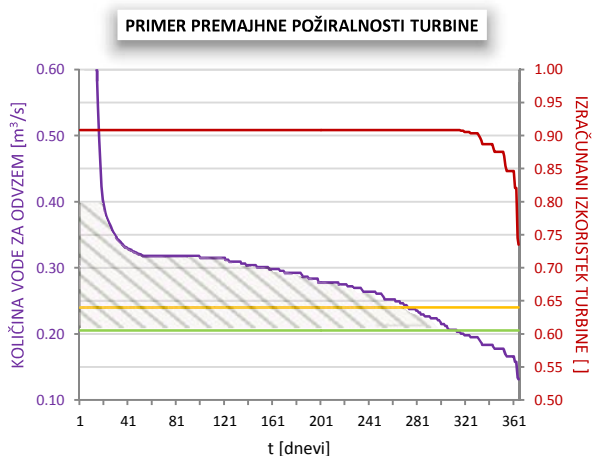
Zaradi fiksiranih gonilnih lopatic lahko z izkoristkom od 80-100% obratuje samo znotraj instaliranega pretoka z odklonom 30-40%. Vsaka lokacija posebej zahteva svojo velikost turbine, s čimer je določena njena požiralna sposobnost. Krivulja trajanja pretokov možnih za odvzem (Graf 6) je prikazana z vijolično barvo, ki je od krivulje trajanja pretoka Volaščice(modra krivulja) zmanjšana za ekološko sprejemljiv pretok. Pretoki večji od 0,5 m³/s v grafu niso zajeti saj zaradi manjše prisotnosti skozi leto ne igrajo pomembne vloge pri določitvi velikosti turbine.

Dani krivulji trajanja pretokov (Graf 6) je potrebno dodeliti turbino s požiralnostjo pri kateri bo izkoristek najboljši, izgube visokih vod pa čim manjše. Izkoristek turbine je vezan na pretok skozi tekač. Pove nam kolikšen del vodne energije turbina pretvori v koristno moč. Najboljši izkoristek Francisove turbine ni ob 100%, pač pa ob 85,5% pretoku glede na instaliranega. Izračunamo ga z enačbo 4 in 5 iz poglavja 2.4.3.1.

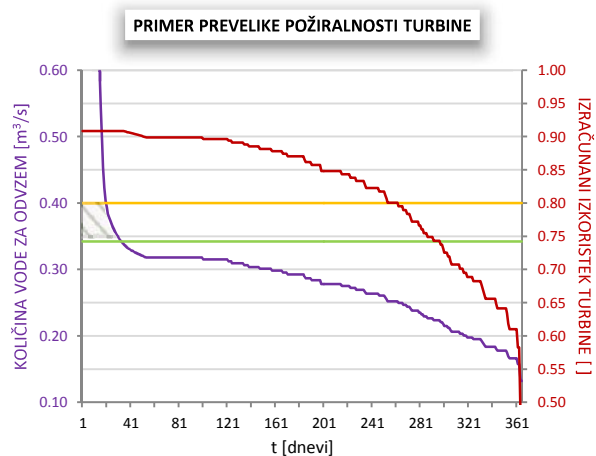


Grafikon 6: Krivulja trajanja pretokov možnih za odvzem

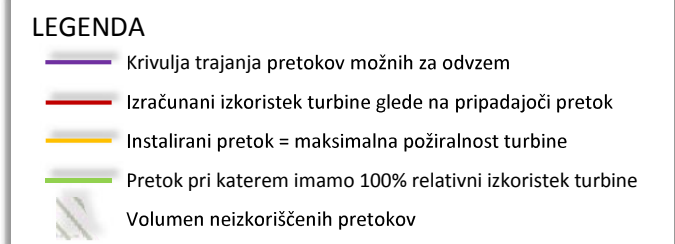
Na grafu 7 in 8 sta za primer prikazani dve situaciji. Pri prvi (Graf 7) gre za primer določene premajhne požiralnosti turbine, pri drugi (Graf 8) pa prevelike. Sledi predpostavka, da navkljub možni izrabi pretokov v velikosti instaliranega pretoka, izkoriščamo le 85,5% del, saj nam ta da boljši izkoristek.



Grafikon 7: Primer premajhne požiralnosti turbine



Grafikon 8: Primer prevelike požiralnosti turbine



V prvem primeru (Graf 7) je instalirani pretok tako majhen ($Q_i = 240\text{m}^3/\text{s}$), da je relativni izkoristek turbine skoraj čez celo leto 100%. Velika količina neizkoriščenega pretoka pa odteče mimo strojnice. Ta je na grafih označen s poševnimi črtami, pri čemer upoštevamo le vrednosti do $0,4\text{m}^3/\text{s}$. V enem letu imamo v povprečju vsega skupaj tri tedne, ko je pretok večji. Dimenzioniranje požiralnosti turbine na pretoke, ki se pojavijo le v 6% dni v letu je nesmiselno in pripelje do velikih izgub v preostalem delu leta, ko so pretoki bistveno manjši. Že dimenzioniranje na instaliran pretok $0,4\text{m}^3/\text{s}$ se izkaže kot neprimeren, kar prikazuje drugi primer. Tu sicer pokrijemo skoraj ves pretok, ki nam je na voljo, a imamo ob tem zaradi manjšega izkoristka turbine velike izgube energije.

Potrebno je poiskati najbolj optimalno rešitev, oziroma primer, kjer je izgub v sistemu najmanj, pretoki pa izkoriščeni v čim večji meri. S pomočjo enačbe 8 ovrednotimo pretok, katerega moč se ob upoštevanju pripadajočega izkoristka pretvori v energijo:

$$Q_{\text{proizvodnja}} = \sum_1^{365} (Q_k \cdot \eta_k) \quad (8)$$

$Q_{\text{proizvodnja}}$ – celoletni pretok, ki gre skozi turbino [m^3/s]

Q_k – dnevni povprečni pretok, ki gre skozi turbino [m^3/s]

η_k – pretoku pripadajoči izkoristek turbine

S pomočjo enačbe 9 pa izrazimo izgube in sicer, izgube kot neizkoriščen pretok (1. del enačbe) do velikosti $0,4\text{m}^3/\text{s}$ in izgube pretoka zaradi slabšega izkoristka turbine (2. del enačbe):

$$\Delta Q_{\text{izgube}} = \sum_1^n ((0,4 - Q_i) \cdot \eta_{\text{povprečni}}) + \sum_1^m (Q_j \cdot (0,91 - \eta_j)) \quad (9)$$

ΔQ_{izgube} – vsota neizkoriščenega pretoka [m^3/s]

n – število dni z dejanskim pretokom večjim od instaliranega in manjšim od $0,4\text{m}^3/\text{s}$

Q_i – instaliran pretok skozi turbino [m^3/s]

$\eta_{\text{povprečni}}$ – povprečni izkoristek turbine

m – število dni z dejanskim pretokom manjšim od instaliranega

Q_j – dnevni povprečni pretok ($Q_j < Q_i$) [m^3/s]

0,91 – največji možni izkoristek Francisove turbine

η_j – Q_j -ju pripadajoči izkoristek turbine

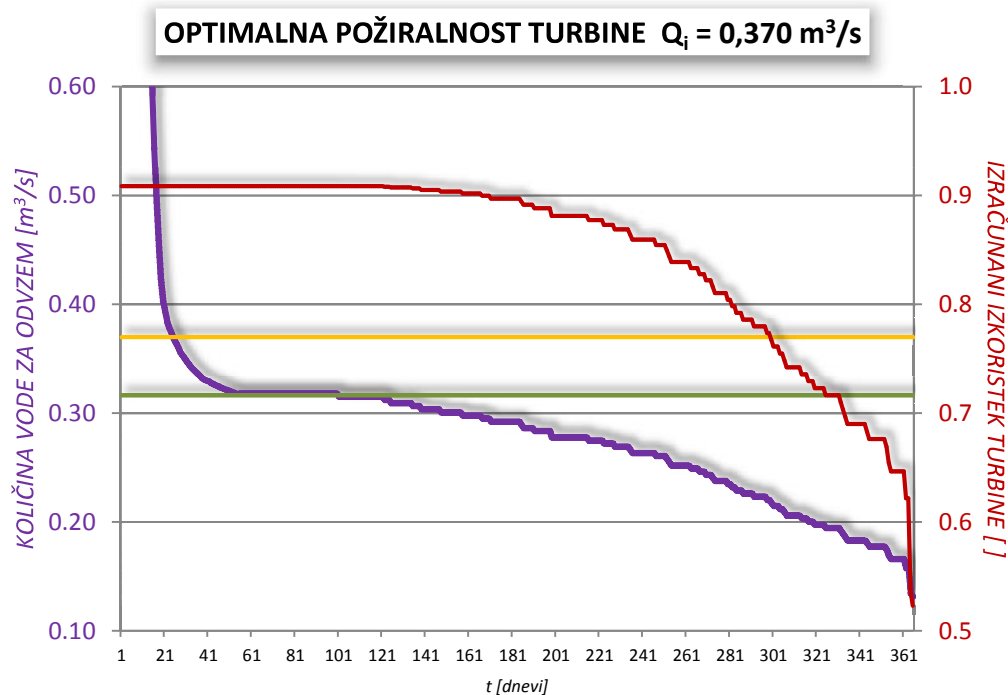
Če rezultata obeh enačb pomnožimo z 86400, dobimo podatek, koliko kubičnih metrov vode letno proizvaja električno energijo, in koliko kubičnih metrov vode izgubimo na račun izgub na turbini.

Preglednica 3 prikazuje volumne vode, ki pripomorejo k proizvodnji ($V_{\text{proizvodnja}}$) in volumne, ki povzročajo izgube (V_{izgube}) glede na izbrane instalirane pretoke turbine:

Preglednica 2: Volumni izkoriščene vode in volumni neizkoriščene vode za izbran instaliran pretok turbine

Instaliran pretok turbine [m^3/s]	$V_{\text{proizvodnja}}$ [m^3]	V_{izgube} [m^3]
0,390	7.377.523	635.649
0,380	7.412.870	599.526
0,370	7.428.380	582.777
0,360	7.395.107	612.865
0,350	7.341.927	663.067
0,340	7.267.285	735.004
0,330	7.175.526	824.641
0,320	7.067.230	931.457

Največja proizvodnja in najmanjše izgube se pojavijo pri instalirani požiralnosti 0,370 m^3/s .

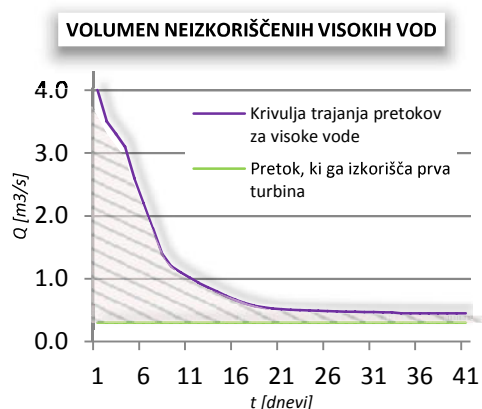


Grafikon 9: Optimalna požiralnost turbine $Q_i = 0,370 \text{ m}^3/\text{s}$

- Krivulja trajanja pretokov možnih za odvzem
- Izračunani izkoristek turbine glede na pripadajoči pretok
- Instalirani pretok = maksimalna požiralnost turbine
- Pretok pri katerem imamo 100% relativni izkoristek turbine

Velik del visokih vod pri izbrani turbini ni izkoriščena, zato je smiselno pomisliti na morebitno instaliranje dodatne turbine, ki bi pokrivala visoke vode.

Na grafu 10 je označeno območje še neizkoriščenih visokih vod. Tako kot v primeru prve turbine, je potrebno določiti tudi najbolj optimalno požiralnost z največjo produkcijo in najmanjšimi izgubami za dodatno turbino. Pri tem uporabimo iste enačbe.



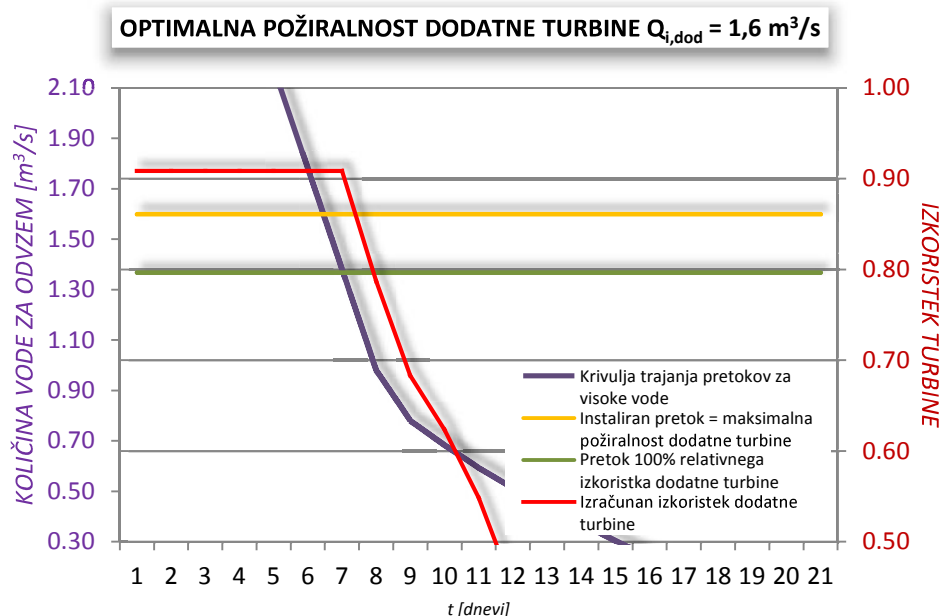
Grafikon 10: Volumen neizkoriščenih visokih vod

Zgornja določena meja maksimalnega pretoka, ki je še na voljo za izkoriščanje je $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. To je pretok, ki traja v povprečju 7 dni v letu. Dimenzioniranje požiralnosti turbine na pretoke večje od tega je nesmiselno in pripelje do velikih izgub v dneh, ko so pretoki bistveno manjši. Pri izračunu izgub zaradi neizkoriščenega pretoka so torej ti upoštevani le do velikosti $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Preglednica 3: Volumni izkoriščene vode in volumni neizkoriščene vode za izbran instaliran pretok dodatne turbine

Instaliran pretok turbine [m^3/s]	$V_{\text{proizvodnja}} [\text{m}^3]$	$V_{\text{izgube}} [\text{m}^3]$
1.70	991.911	636.072
1.60	966.258	576.503
1.50	934.294	631.426
1.40	903.543	686.173
1.30	873.926	739.891
1.20	843.798	787.109
1.10	810.876	762.408
1.00	774.933	818.017

V primeru vzpostavitve dodatne turbine je opazno največja proizvodnja pri pretoku $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$, najmanjše izgube pa se pojavijo pri pretoku $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. V tej situaciji je najboljša izbira pretok $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, kljub manjši proizvodnji, saj pri izbiri večjega instaliranega pretoka pride do večjih hidrodinamskih izgub v dovodnem sistemu do turbine.



Grafikon 11: Optimalna požiralnost dodatne turbine $Q_{i,dod} = 1,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Upravičenost umestitve dodatne turbine je, kljub s tem povečani proizvodnji za kar 13%, vseeno vprašljiva. Z njo so namreč povezani ogromni stroški nakupa in umestitve celotnega sistema. Poleg tega bi ta s še sprejemljivim izkoristkom nad 70% delovala le 9 dni v letu. Celoten objekt bi moral biti popolnoma prilagojen obratovanju hidroelektrarne tudi ob visokih vodah, prilagajanje proizvodnje in zagon dodatne turbine ob nastopu visokih voda pa popolnoma avtomatiziran.

5 ZAKLJUČEK

Preko raziskovalnega dela je ugotovljeno, da je lokacija obravnavane mHE ustrezna. Kakršen koli premik odvzemnega objekta višje ali stojnice nižje, bi pripomoglo k minimalnem povečanju bruto višinske razlike, a nesorazmerno večjim izgubam na sistemu in dražji investiciji. S pomočjo programske opreme HEC-RAS in vnesenega modela, ki posnema obravnavano stanje, opazimo, da se z večanjem pretokov nivo zgornje vode za jezom dviguje za skoraj isti faktor kot nivo spodnje vode v sesalni komori. Bruto višinska razlika se tako spreminja v razmerju nekaj centimetrov, kar pri 28,5 m višinske razlike predstavlja slab procent odstopanja.

Na obravnavanem vodotoku Volaščica, ni objekta, ki bi omogočal neprekinjene meritve pretokov ali gladin vode čez celo leto. Krivulja trajanja pretokov je bila tako izdelana s pomočjo dnevnih podatkov obratovanja mHE in znanih ostalih parametrov v enačbi za izračun moči. Pretoki večji od požiralnosti turbine so bili določeni na podlagi izdelane pretočne krivulje visokih vod, arhivov in dobrega poznavanja vodotoka. Končna krivulja trajanja pretokov je potrdila hudourniški značaj in pokazala pomembno lastnost, ključno za umestitev energetskega objekta. To je konstantnost in izdatnost vodotoka skozi vse leto. Na podlagi pretokov je bil določen tudi ekološko sprejemljiv pretok.

Ob danih pogojih bruto višinske razlike 28,5m in pretoka med 0,25 in 0,45 m³/s, je bila izbrana Francisova turbina. Z izračunom izkoristka turbine za posamezne pretoke in vpeljavo enačb, s pomočjo katerih so bile ovrednotene izgube in proizvodnja, se je za določitev najbolj optimalne požiralnosti izkazal pretok $Q_i = 0,350 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri tem je izkoristek turbine največji, izgube visokih vod pa najmanjše.

Velik del visokih vod pri tem ni izkoriščena, zato je bilo preverjeno, ali bi bilo instaliranje dodatne turbine smiselno. Z njo bi se proizvodnja povečala za kar 13%, vendar pa se rešitev kljub temu izkaže kot neekonomično. Poleg visokih stroškov nakupa in umestitve celotnega sistema, bi dodatna turbina s še sprejemljivim izkoristkom nad 70%, delovala le 9 dni v letu.

Nekateri gradniki obstoječe hidroelektrarne so potrebni zamenjave, nadgradnje ali obnove. Kot izziv in največji poseg v objekt zagotovo predstavlja umestitev ribje steze. V prihodnosti je potrebna tudi zamenjava dotrajanega mehkega jezua in obnovitvena dela na cevovodu. Proizvodnjo bi izboljšali z dodatno čistilno napravo in zamenjavo obstoječe z bolj robustno.

VIRI

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 309 str.

Čadež, J. 2009. MHE in OVE v Sloveniji – DA ali NE? Elgo 7, 4: str. 25, 26.

<http://www.elektrogorenjska.si/resources/files/pdf/elgo/ELGO%20december%2009%20web.pdf> (Pridobljeno 10. 6. 2014.)

Društvo za sonaraven razvoj, 2005. OVE priročnik. Obnovljivi viri energije. Zreče, Fokus društvo za sonaraven razvoj: str. 7, 8.

<http://www.focus.si/files/OVEprirocnikl.pdf> (Pridobljeno 7. 6. 2014.)

Dušan, N. 1976. Hidrogeološka opazovanja v Volaki. Loški razgledi 23: 182-185.

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-ZSA5P3YM/?query=%27keywords%3dHidrogeolo%C5%A1ka+opazovanja+v+Volaki%27&pageSize=25> (Pridobljeno 18. 9. 2014.)

Environmental protection agency. 2013. Clean energy. Hydroelectricity.

<http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/hydro.html> (Pridobljeno 8. 6. 2014.)

ESHA. 2004. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Str. 296.

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/GUIDES/GUIDE_SHP/GUIDE_SHP_EN.pdf (Pridobljeno 20. 6. 2014.)

ESHA. Hydropower and environment. Technical and operational procedures to better integrate small hydropower plants in the environment. Str. 15, 17, 18.

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/SHERPA/Annex_XII_Environmental_Report.pdf (Pridobljeno 8. 6. 2014.)

Falcao, A. 2008. Hydroelectric energy: Renewable Energy Resources 2008.

<http://slideplayer.us/slide/330622/> (Pridobljeno 17. 7. 2014.)

Fish Passage Technologies: Protection at Hydropower Facilities, OTA-ENV-641
(Washington, DC: U.S. Government Printing Office, September 1995).
<https://www.princeton.edu/~ota/disk1/1995/9519/9519.PDF> (Pridobljeno 12. 7. 2014.)

Jezovi in pregrade. http://sl.wikipedia.org/wiki/Uporabnik:M_cunk/Peskovnik (Pridobljeno 10. 10. 2014.)

Kerin, M. 2009. Obratovanje malih HE pod vse večjim pritiskom države. Energetika.net.
<http://www.energetika.net/novice/ mailing--urednistvo-izpostavlja/obratovanje-malih-he-pod-vse-vecjih-pritiskom-drzave> (Pridobljeno 10. 6. 2014.)

Khatsuria, R.M. 2004. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. New York, Marcel Dekker: 680 str.

Kryžanowski, A., Horvat, A., Brilly, M. 2008. Možnosti izkoriščanja energetskega potenciala v Sloveniji. Zbornik Mišičevega vodarskega dne 2008: 248 str.
<http://mvd20.com/LETO2008/R32.pdf> (Pridobljeno 19. 11. 2014.)

Kumar, A., T. Schei, A. Ahenkorah, R. Caceres Rodriguez, J.-M. Devernay, M. Freitas, D. Hall, Å. Killingtveit, Z. Liu, 2011: Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 60 str.
http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Ch05.pdf, (Pridobljeno 20. 11. 2014.)

Lauterjung, H., Schmidt, G. 1989. Planning of Water intake structures for irrigation or hydropower. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit: 102 str.
<http://www.irwash.org/sites/default/files/Lauterjung-1989-Planning.pdf> (Pridobljeno 27. 6. 2014.)

Lavtar, M. 2010. Volaka: 1 str.
<http://www.poljanska-dolina.si/kraji/volaka/> (Pridobljeno 18. 9. 2014.)

Natura 2000. <http://www.natura2000.gov.si/index.php?id=18&L> (Pridobljeno 7. 6. 2014.)

Ostermeier, J. 2008. Pipeline: Hydro-Electric Penstock Design. Home power 125.
<http://www.homepower.com/articles/microhydro-power/design-installation/pipeline-hydro-electric-penstock-design> (Pridobljeno 18. 9. 2014.)

Pušnik, M., Mikoš, M., Smolar Ž. N. 2010. Ocena vplivov malih hidroelektrarn na okolje z uporabo večkriterijske analize. Zbornik Mišičevega vodarskega dne 2010: str. 61, 62.
<http://mvd20.com/LETO2010/R10.pdf> (Pridobljeno 2. 9. 2014.)

Rajar, R. 1980. Hidravlika nestalnega toka. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 279 str.

Redakcija finance, 2010. Kako do male hidroelektrarne? Finance 127.
<http://www.finance.si/283930/Kako-do-male-hidroelektrarne> (Pridobljeno 13. 6. 2014.)

Rettedal, B., Nielsen, L.E. 2012. Different Aspects of Flushing of Hydropower Intakes. Master thesis. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, Department of Hydraulic and Environmental Engineering (samozaložba B. Rettedal, L.E. Nielsen): 111 str.
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:566199/FULLTEXT01.pdf> (Pridobljeno 20. 6. 2014.)

Roberts, K.F. 1991. Advanced Technology in Water Management. London, The Institution of Civil Engineers: 256 str.

Rutar, T. 2012. Evropski teden trajnostne energije 2012.
http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4754 (Pridobljeno 7. 6. 2014.)

Skupnost MHE Volaka. 2013. Dnevnik proizvodnje MHE Volaka za leto 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013.

Šolc, L. 1982. Idejni projekt MHE v Volaki. Ljubljana, Novum, center za tehnološke inovacije: 26 str.

Šolc, L., Škantar, M., Novak, J., Gospodjinački, B. 1985. Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja MHE Volaka (Strojna oprema in elektro del). Ljubljana, Novum, center za tehnološke inovacije: 38 str.

Šubic, P. 2011. Zaradi ekološko sprejemljivega pretoka vas še ne bodo gnjavili. Finance 107/2011.

<http://www.finance.si/316671/Zaradi-ekolo%C5%A1ko-sprejemljivega-pretoka-vas-%C5%A1e-ne-bodo-gnjavili?metered=yes&sid=365675111> (Pridobljeno 10. 9. 2014.)

Trampuž, M. 2006. Ureditev Savinje v območju Luč. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Trampuž): 69 str.

US Army Corps of Engineers. Fish Passage - Types and Methods - Upstream Passage.

<http://cw-environment.usace.army.mil/restore/fishpassage/types.cfm?Option=UpstreamStructuralTech&CoP=Restore&Id=fishpassage>, (Pridobljeno 20.11.2014)

Vodna turbina. http://sl.wikipedia.org/wiki/Vodna_turbina (Pridobljeno 3. 10. 2014.)

Direktiva 2001/77/EC Evropskega parlamenta in sveta o promociji elektrike iz obnovljivih virov energije v notranjem trgu z elektriko

Energetski zakon (EZ-1). Uradni list RS, št. 17/2014: 178.

Uredba o koncesijah za gospodarsko izkoriščanje vode na posameznih odsekih vodotokov Milova, Mlečni potok z Zapajliško grapo, Plaščak, Mislinja, Plešiščica, Črni potok, Vuhredščica, Požarnica, Bistrica (Muta), Oplotnica, Dravinja, Pretovka ob Mostnici in Poljanska Sora za proizvodnjo električne energije. Uradni list RS, št. 69/1995: 5306.

Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka. Uradni list RS, št. 97/2009: 12919.

Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS, št. 67/02, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14.

Zakon o ohranjanju narave (ZON). Uradni list RS, št. 96/04.

Zakon o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt). Uradni list RS, št. 33/07, 70/08.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). Uradni list RS, št. 39/06.

PRILOGE

PRILOGA A.1: SHEMATSKI PRIKAZ OBJEKTA

PRILOGA A.2: VZDOLŽNI PREREZ SITUACIJE

PRILOGA A.3: CEVOVOVD – VZDOLŽNI PREREZ

PRILOGA A.4: TURBINA, SESALNA KOMORA IN IZPUST

PRILOGA A.5: TLORIS STROJNICE

PRILOGA A.6: NIHANJE VODOSTAJEV OB RAZLIČNIH PRETOKIH

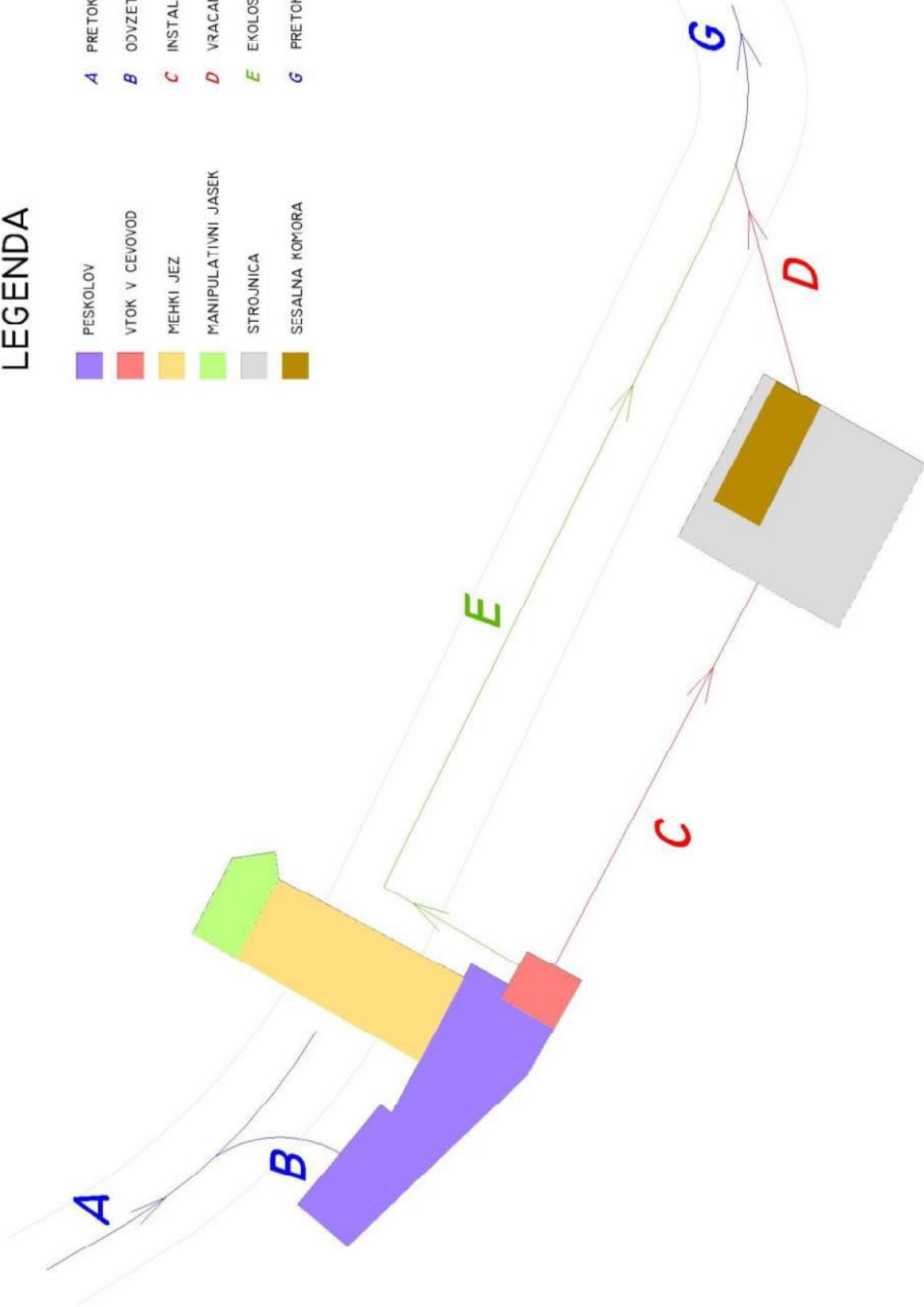
PRILOGA B.1: SKUPINE EKOLOŠKIH TIPOV VODOTOKOV ZA IZRAČUN EKOLOŠKO SPREJEMLJIVEGA PRETOKA

PRILOGA B.2: VREDNOSTI FAKTORJA f ZA IZRAČUN EKOLOŠKO SPREJEMLJIVEGA PRETOKA

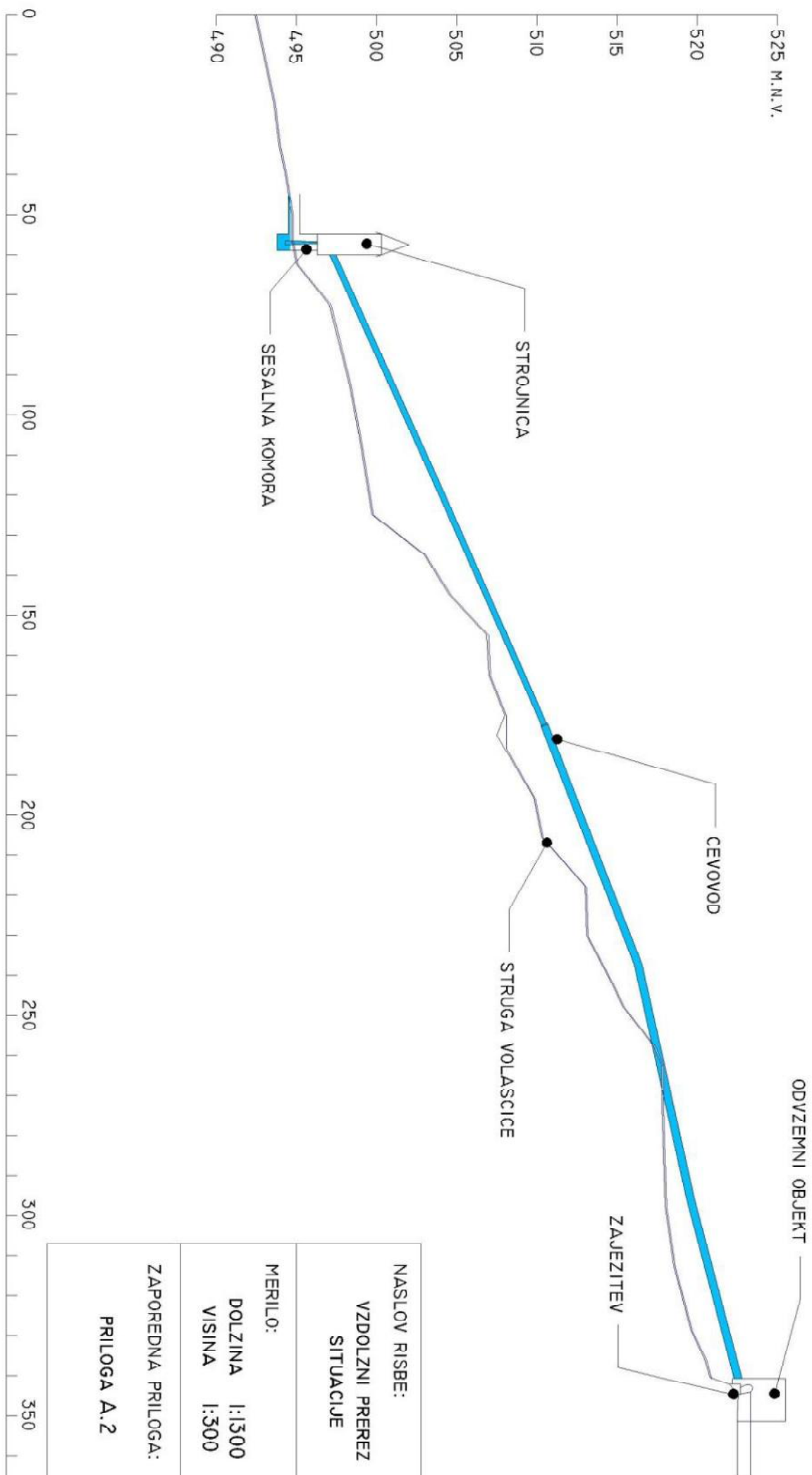
LEGENDA

- PESKOLOV
- VTOK V CEVOVOD
- MEHKI JEZ
- MANIPULATIVNI JASEK
- STROJNICA
- SESALNA KOMORA

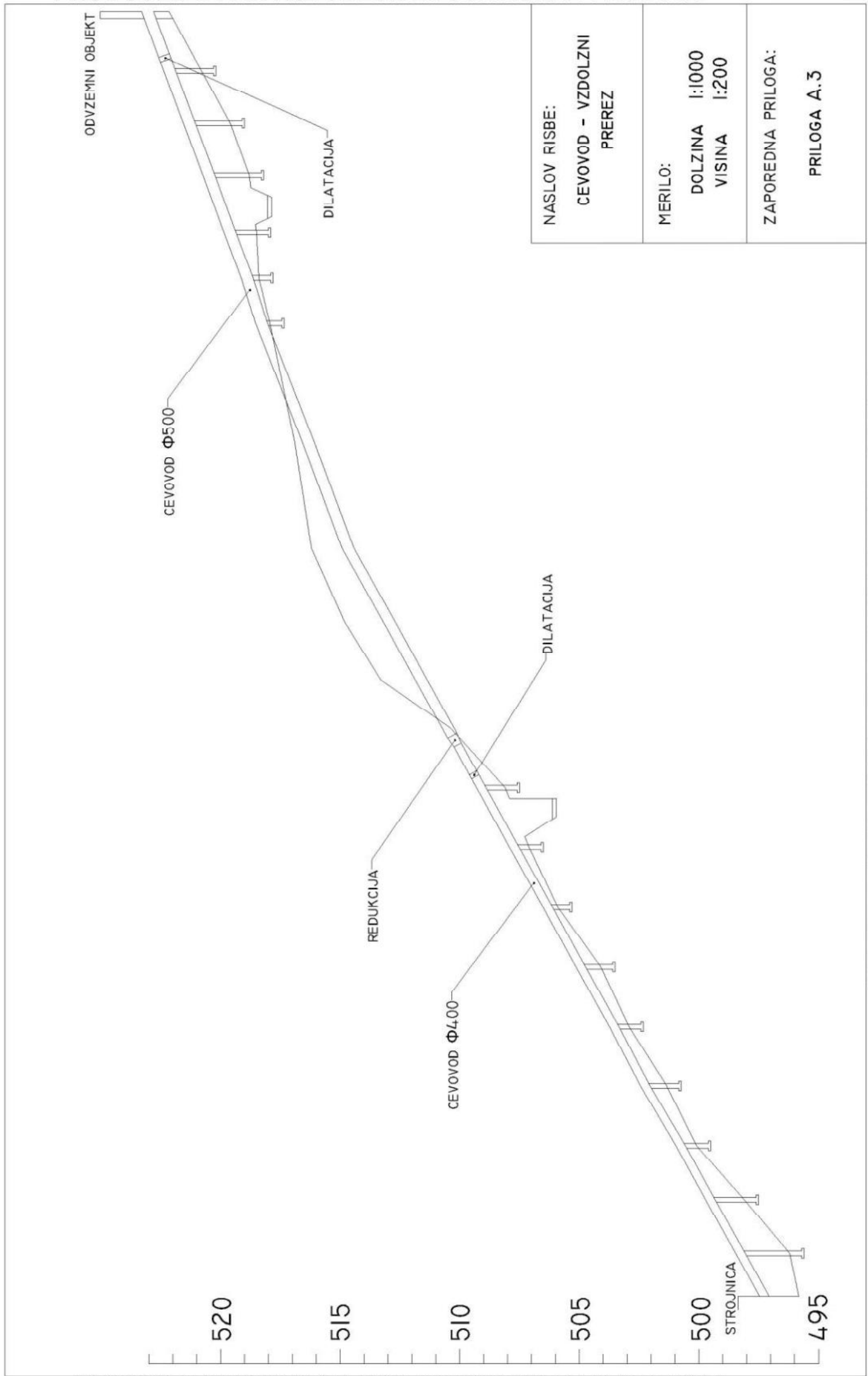
- A PRETOK V STRUGI GORVODNO OD OBJEKTA
- B ODVZETI PRETOK
- C INSTALIRANI PRETOK
- D VRACANJE INSTALIRANEGA PRETOK V STRUGO
- E EKOLOSKO SPREJEMLJIV PRETOK
- G PRETOK V STRUGI DOLVODNO OD OBJEKTA = A



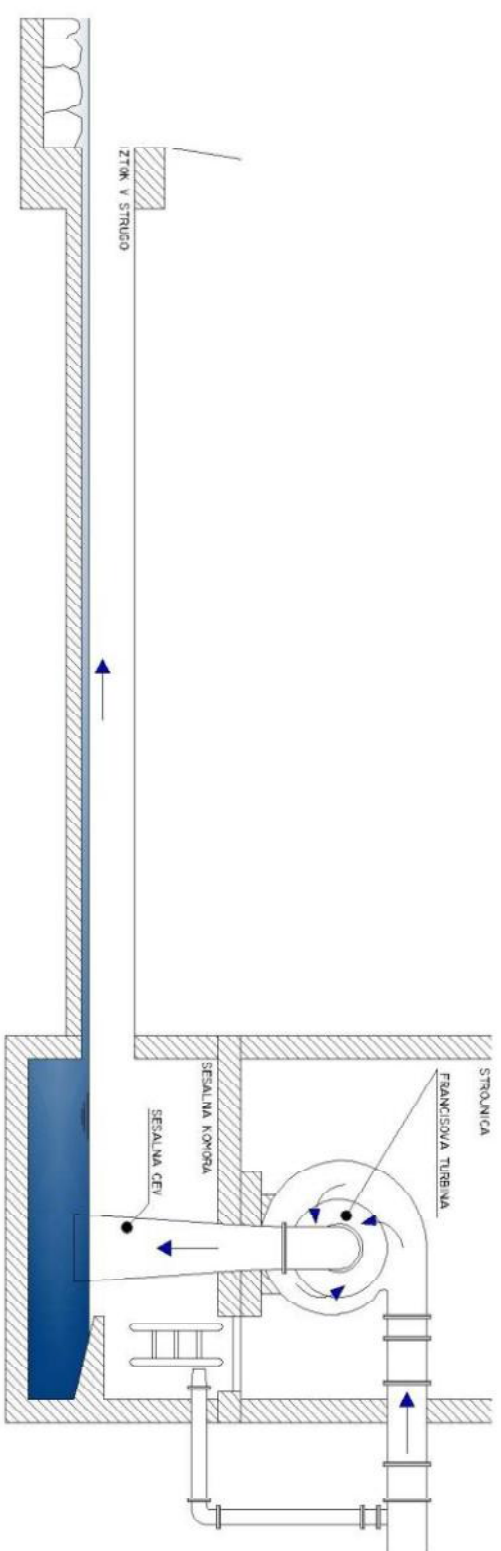
NASLOV RISBE: SHEMATSKI PRIKAZ OBJEKTA
ZAPOREDNA PRILOGA: PRILOGA A.I



NASLOV RISBE:	VZDOLJNI PREREZ SITUACIJE
MERILO:	DOLZINA 1:1500 VISINA 1:300
ZAPOREDNA PRILOGA:	PRILOGA A.2



NASLOV RISBE: CEVOVOD - VZDOLJNI PREREZ
MERILO: DOLZINA 1:1000 VISINA 1:200
ZAPOREDNA PRILOGA: PRILOGA A.3



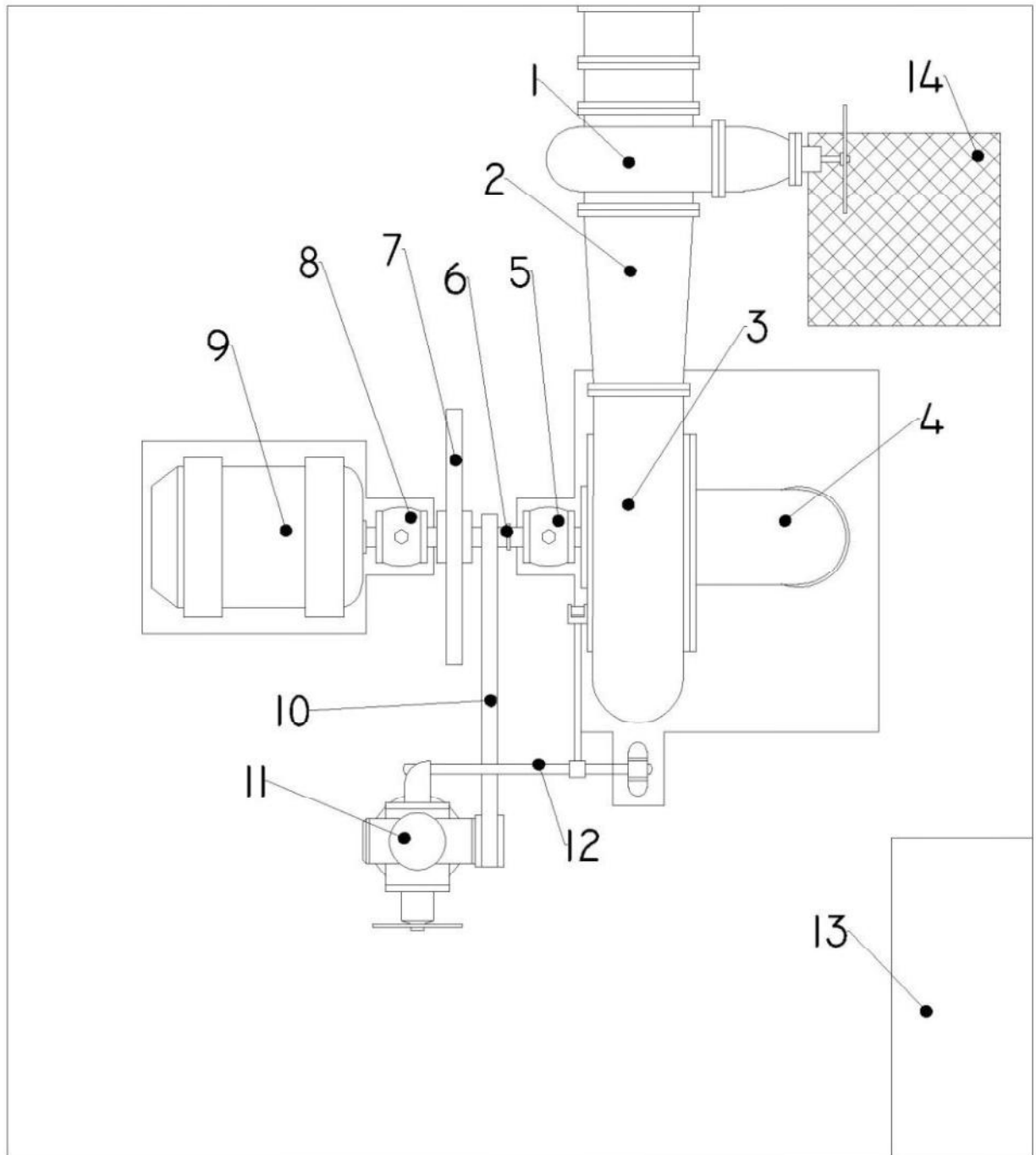
NASLOV RISBE:
TURBINA, SESALNA
KOMORA IN IZPUST

MERILO:

1 : 100

ZAPOREDNA PRILOGA:

PRILOGA A.4



- 1 - predturbinski zasun
- 2 - stožčasta cev $\Phi 400/\Phi 320$
- 3 - spiralna francisova turbina z vodoravno gredjo
- 4 - odtočno koleno
- 5 - turbinski radialno aksialni ležaj
- 6 - turbinska gred
- 7 - vztrajnik
- 8 - radialni ležaj
- 9 - generator
- 10 - jermenica za pogon regulatorja
- 11 - regulator vrtilne hitrosti
- 12 - regulacijska gred
- 13 - upravljalna omara
- 14 - vstopna odprtina sesalne komore

NASLOV RISBE:

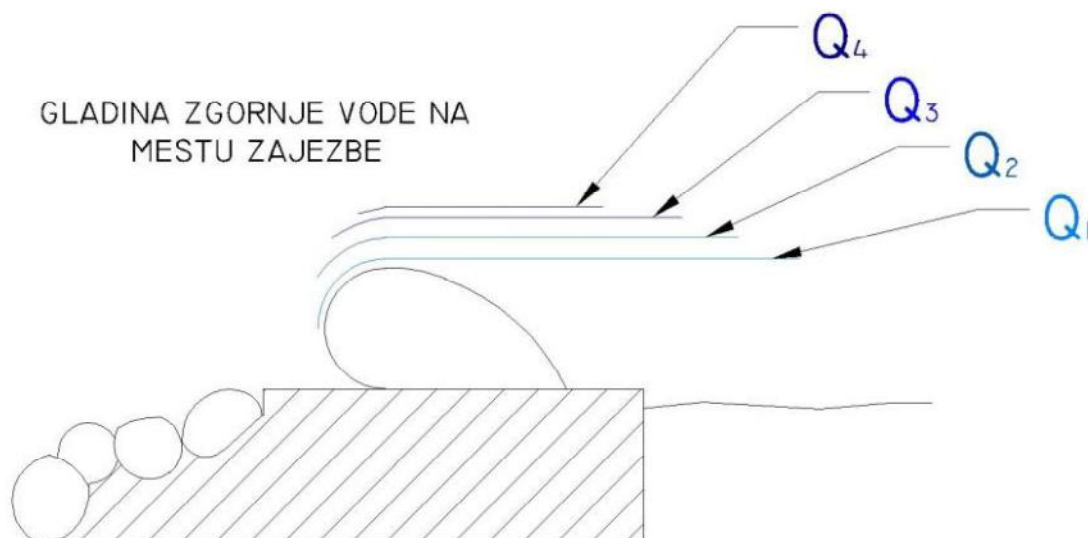
TLORIS STROJNICE

MERILO:

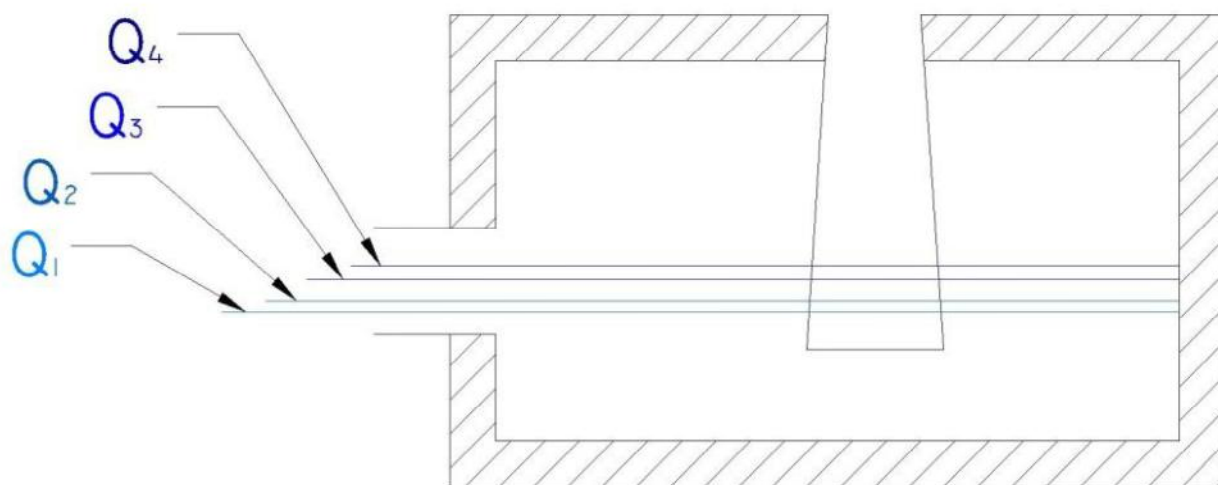
1 : 25

ZAPOREDNA PRILOGA:

PRILOGA A.5



GLADINA SPODNJE VODE NA MESTU SESALNE KOMORE



VREDNOSTI PRETOKOV:

- Q_1 - 0,45 M³/S
- Q_2 - 1,00 M³/S
- Q_3 - 1,70 M³/S
- Q_4 - 2,20 M³/S

NASLOV RISBE:

NIHANJE VODODSTAJEV
OB RAZLIČNIH PRETOKIH

MERILO:

1 : 100

ZAPOREDNA PRILOGA:

PRILOGA A.6

PRILOGA B.1: Skupine ekoloških tipov vodotokov za izračun ekološko sprejemljivega pretoka

Iz Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka:

PRILOGA 2: Skupine ekoloških tipov vodotokov za izračun ekološko sprejemljivega pretoka

Skupina ekoloških tipov ⁽¹⁾	Ekoregija	Bioregija	Ekološki vodotoka ⁽²⁾ tip
1	3	Spodnja vipavska dolina in Brda	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Krško-brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji
3	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji
	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji
4		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji

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

⁽²⁾ ekološki tip vodotokov v skladu s predpisi, ki urejajo stanje površinskih voda

PRILOGA B.2: Vrednosti faktorja f za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pri kratkem, povratnem odvzemu.

Iz Uredbe o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka je izvzeta:

Preglednica 2: Vrednosti faktorja f za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pri povratnem odvzemu

Skupina ekoloških tipov	Velikost prispevne površine				
	< 10 km ²	10–100 km ²	100–1.000 km ²	1.000–2.500 km ² in sQs < 50 m ³ /s	> 2.500 km ² ali sQs > 50 m ³ /s
Točkoven odvzem					
1 ⁽¹⁾	0,7	0,7	0,5	0,4	
2 ⁽¹⁾	0,7	0,5	0,4	0,4	
3	0,5	0,4	0,3		
4					0,3
Kratek odvzem celo leto ali dolg odvzem v sušnem obdobju					
1 ⁽¹⁾	1,2	1,2	1,0	0,8	
2 ⁽¹⁾	1,2	1,0	0,8	0,8	
3	1,0	0,8	0,7		
4					0,7
Dolg odvzem v vodnatem obdobju					
1 ⁽¹⁾	1,9	1,9	1,6	1,3	
2 ⁽¹⁾	1,9	1,6	1,3	1,3	
3	1,6	1,3	1,1		
4					1,1

⁽¹⁾ faktor f se pomnoži z 1,6, če je razmerje med srednjim pretokom in srednjim malim pretokom na mestu odvzema večje od 20