

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidat:

Gregor Planinšek

MALA HIDROELEKTRARNA SMUK

Diplomska naloga št.: 3155

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Ljubljana, 3. 5. 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Skladno s 27. členom Pravilnika o diplomskem delu UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo,

Podpisani/-a Gregor Planinšek izjavljam, da sem avtor/-ica diplomske naloge z naslovom:

Mala hidroelektrarna Smuk

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Noben del tega zaključnega dela ni bil uporabljen za pridobitev strokovnega naziva ali druge strokovne kvalifikacije na tej ali na drugi univerzi ali izobraževalni inštituciji.

Ljubljana, 15.4.2011

(podpis kandidata/-ke)

ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji hidrotehnične smeri:

ZAHVALA

Zahvalil bi se prof. dr. Franciju Steinmanu za mentorstvo.

Zahvalil bi se tudi g. Alojzu Rovanu za idejo, pomoč in razumevanje.

Barbari, da je bila zraven.

Posebej pa bi se rad zahvalil mami in atu za vso podporo, skrb in razumevanje tudi, ko je med študijem zaškripalo.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.8(043.2)
Avtor:	Gregor Planinšek
Mentor:	prof. dr. Franc Steinman
Naslov:	Mala hidroelektrarna Smuk
Obseg in oprema:	85 str., 10 pregl., 36 sl., 48 en., 10 pril.
Ključne besede:	mala hidroelektrarna, dimenzioniranje, hidravlika, hidrologija, turbina

Izvleček

Diplomsko delo obravnava postopek projektiranja male hidroelektrarne s hidrološko in hidravlično analizo, analizo vpliva na okolje in preliminarnim dimenzioniranjem potrebnih komponent sistema male hidroelektrarne. Obravnavane teoretične podlage so bile uporabljene na praktičnem primeru nadgradnje male hidroelektrarne Smuk na Tržiški Bistrici. Zaradi že določene lokacije male hidroelektrarne je bilo njeno umeščanje v prostor izpuščeno. Prvi del obdelava obsega hidrološko analizo, zato je bilo treba pridobiti podatke o pretokih za obravnavani vodotok, ki jih ima na svoji spletni strani na voljo Agencija Republike Slovenije za okolje. Pridobljeni podatki so bili obdelani s statistično analizo, s Pearson III porazdelitvijo. Uporabljen je bil program HEC-SSP, ki je statistično orodje namenjeno predvsem analizi hidroloških podatkov. Hidravlična analiza obsega vzpostavitev in izračune s hidravličnim modelom male hidroelektrarne. Rezultat je bil razpoložljiv vodni padec na turbini. Za račun izgub v sistemu je bila uporabljena *Darcy*-jeva enačba, za račun kot spodnje vode, pa tudi za izračun poplavne ogroženosti strojnice, pa program HEC-RAS, ki je enodimenzionalni model za račun toka s prosto gladino v strugi. Z izračunanimi podatki so bile določene preliminarne dimenzije in vrste tlačnega dovoda, turbine in generatorja. Izvedena je bila tudi okvirna topografska umeščenost sprememb v prostor, ki je prikazana na ortofoto posnetku. Vpliv na okolje je bil obravnavan v smislu direktnega vpliva med gradnjo in obratovanjem ter v smislu prihranjenega izpusta CO₂ izraženega v tonah nafte, ki se ne porabijo zaradi prispevka proizvodnje elektrike iz obnovljivega vira energije.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	627.8(043.2)
Author:	Gregor Planinšek
Supervisor:	Prof.Ph.D. Franc Steinman
Title:	Smuk small Hydropower Plant
Notes:	85 p., 10 tab., 36 fig., 48 eq., 10 ann.
Key words:	small hydropower, dimension design, hydraulics, hydrology, turbine

Abstract

The present thesis focuses on development of a small hydropower scheme with hydrologic and hydraulic analyses, environmental impact analysis and preliminary dimension design of the components of the scheme. The discussed theoretical bases were used on the practical example of the planned small hydropower plant Smuk on the Tržiška Bistrica River. Due to the location having been defined beforehand its determination was omitted. The first part of the thesis is hydrologic analysis, the objective of which was to obtain flow data for the river. The flow data are available on the web page of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia and were analysed using Pearson III distribution with HEC-SSP computer program, a statistical analysis tool primarily used for statistical analysis of hydrologic data. Hydraulic analysis encompasses formation and calculation of the hydraulic model of the scheme, which resulted in determining the available hydraulic head for use on the turbine. Head loss calculation was done using the *Darcy* equation. Downstream water level i.e. flood risk of the machine building was determined with the HEC-RAS computer program, which is a one-dimensional model for free surface flow calculation. Preliminary dimensions and types of penstock, turbine and generator were determined by using the analyses data. Environmental impact was discussed in terms of direct impact during the construction and operation of the hydro plant, and in terms of lower CO₂ emissions on account of electricity production from the renewable energy source.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Splošno o pridobivanju energije iz vodne moči	2
1.1.1	Zgodovina	2
1.1.2	Princip pridobivanja energije	2
1.2	Splošno o malih hidroelektrarnah	4
1.2.1	Definicija male hidroelektrarne	4
1.2.2	Opis delovanja mHE	4
2	TEORETIČNE PODLAGE	6
2.1	Vloga male hidroelektrarne v energetskega sistema	6
2.2	Hidrološka analiza	10
2.2.1	Serijski podatki iz merilnih postaj na vodotoku	10
2.2.2	Meteorološki podatki	11
2.2.3	Obdelava podatkov	13
2.3	Hidravlična analiza	16
2.3.1	Opis hidravličnega modela	16
2.3.2	Minimalna potrebna potopitev vtoka v tlačni cevovod	22
2.3.3	Dimenzioniranje tlačnega cevovoda	23
2.3.4	Izbira turbine in generatorja	25
2.4	Analiza okoljskih vplivov	36
2.4.1	Začasni in obratovalni vplivi	37
2.4.2	Ekološko sprejemljivi pretok	37
2.5	Umestitev v prostor	39
2.5.1	Izbira lokacije	39

2.5.2	Določitev lokacije	39
2.5.3	Območja s pravnimi režimi	40
2.6	Zakonska podlaga in ekonomski izračun	43
2.6.1	Dokumenti, ki urejajo področje rabe obnovljivih virov energije	43
2.6.2	Zakonski pogoji za pridobitev dovoljenja za mHE	44
2.6.3	Zahteve za projektno dokumentacijo	46
2.6.4	Podlage za oceno ekonomičnosti in prispevek k izvajanju RES	47
3	PRAKTIČNI PRIMER	49
3.1	Tok Tržiške Bistrice	49
3.2	Opis male hidroelektrarne Smuk in obstoječe stanje	50
3.3	Lokacija	51
3.4	Višinski podatki in trasa mlinščice	52
3.5	Vhodni podatki	53
3.5.1	Hidrološki podatki	53
3.5.2	Projektna naloga	54
3.5.3	Koncesijska pogodba	54
3.5.4	Podatki, ki jih pridobi projektant	54
4	OBDELAVE	55
4.1	Umestitev v prostor	55
4.1.1	Določitev lokacije mHE	55
4.1.2	Območja s pravnimi režimi	56
4.2	Obdelava podatkov o pretokih	57
4.2.1	Maksimalni in minimalni pretoki	57
4.2.2	Krivulja trajanja	62
4.3	Hidravlična analiza	64

4.3.1	Analiza gladine vode pri strojnici	64
4.3.2	Izračun minimalne potopitve vtoka v tlačni cevovod	67
4.3.3	Račun hidravličnega sistema	67
4.3.4	Dimenzioniranje tlačnega cevovoda	70
4.3.5	Izbira turbine in generatorja	71
4.4	Analiza okoljskih vplivov	73
4.4.1	Analiza začasnih in obratovalnih vplivov	73
4.4.2	Določitev ekološko sprejemljivega pretoka	74
4.5	Ekonomska analiza in prispevek mHE k izvajanju RES	75
4.5.1	Račun predvidene proizvedene energije v življenjskem obdobju mHE	75
4.5.2	Račun prihodkov od prodaje	77
4.5.3	Prispevek mHE k izvajanju RES	77
5	ZAKLJUČEK	78
	VIRI	80
	PRILOGE	

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Proizvodnja električne energije na generatorju 2002-2008 (vir: Statistični urad Republike Slovenije)	7
Preglednica 2: Proizvodnja elektrike iz OVE 2002-2008	9
Preglednica 3: Tabelirane frekvence za sinhronizirani generator pri 50Hz.	31
Preglednica 4: Maksimalni pretoki v m ³ /s	59
Preglednica 5: Verjetnost ekstremnega dogodka glede na življenjsko dobo in povratno dobo	60
Preglednica 6: Minimalni pretoki v m ³ /s	61
Preglednica 7: Vrednosti pretokov dobljene s krivuljami trajanja (pretoki v m ³ /s)	63
Preglednica 8: Rezultati hidravlične analize.	66
Preglednica 9: Število dni s polnim izkoristkom turbine glede na povratne dobe nizkih pretokov	75
Preglednica 10: Število dni z delnim izkoristkom turbine glede na povratne dobe nizkih pretokov	76

KAZALO SLIK

Slika 1.1: Vodni krog	3
Slika 1.2: Skica pregradnega sistema	5
Slika 1.3: Skica kanalskega sistema	5
Slika 2.1: Delež energentov v proizvodnji el. Energije [GWh] 2002-2008	7
Slika 2.2: Delež energentov v proizvodnji el. energije leta 2008	7
Slika 2.3: Deleži proizvodnje električne energije iz HE po moči in ostalih OVE za leto 2008	8
Slika 2.4: Letna proizvodnja električne energije iz OVE v Sloveniji	9
Slika 2.5: Vzorec letnih maksimumov	14
Slika 2.6: Vzorec ekstremov nad pragom	14
Slika 2.7: Shematski prikaz hidravličnega modela	17
Slika 2.8: Geometrijske karakteristike zavoja	19
Slika 2.9: Zožitev cevovoda	19
Slika 2.10: Zasun	20
Slika 2.11: Kroglični zasun	20
Slika 2.12: Zaklopka	20
Slika 2.13: Loputa	20
Slika 2.14: Minimalna globina potopitve vtoka	22
Slika 2.15: Skica za preverjanje vzgona.	24
Slika 2.16: Skica širine priobalnega zemljišča	41
Slika 3.1: Tok Tržiške Bistrice	49
Slika 3.2: Razcep mlinščice	50
Slika 3.3: Sotočje kanalov	50
Slika 3.4: Mikrolokacija predvidene mHE	51
Slika 3.5: Trasa mlinščice	52
Slika 3.6: Lokacija merilnega mesta Preska	53
Slika 4.1: Ožje območje mHE	55
Slika 4.2: Območje Natura 2000	56
Slika 4.3: GERK	56
Slika 4.4: Izbira vrste analize v HEC-SSP	57
Slika 4.5: Dnevni pretoki za leta 1958-2007	58

Slika 4.6: Grafični prikaz rezultatov statistične analize za maksimalne pretoke	60
Slika 4.7: Grafični prikaz rezultatov statistične analize za minimalne pretoke	62
Slika 4.8: Krivulje trajanja	63
Slika 4.9: Skica profilov za račun	64
Slika 4.10: Gladine vode pri 1000, 100, 10 in 1.25 letnem pretoku	65
Slika 4.11: Perspektivni pogled na obravnavani odsek.	65

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AN OVE	Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
ESHA	European Small Hydropower Association
EU	Evropska unija
GERK	Grafične enote rabe kmetijskih zemljišč
HE	hidroelektrarna
IDP	idejni projekt
IDZ	idejna zasnova
IzVRS	Inštitut za vode Republike Slovenije
LS	lokalna skupnost
mHE	mala hidroelektrarna
OVE	obnovljivi energijski viri
PGD	projekt za gradbeno dovoljenje
PZI	projekt za izvedbo
ReNEP	Resolucija o Nacionalnem energetskega programu
RES	renewable energy sources
RS	Republika Slovenija
USBR	United States Department of interior Bureau of Reclamation

1 UVOD

V sedanjem času se vedno bolj kažejo negativni vplivi, ki jih ima človekovo delovanje na okolje, bodisi zaradi količine odpadkov na deponijah in drugje, pa tudi zaradi vedno večje potrebe po energiji. Trenutno je človeštvo v zelo veliki meri, pri pridobivanju energije, odvisno od fosilnih (nafta, premog, zemeljski plin) in od jedrskih goriv.

Fosilna goriva močno obremenjujejo okolje. Najprej zaradi njihovega pridobivanja, ki lahko privede do ekoloških katastrof; njihova uporaba pa je povezana z izpustom toplogrednih (CO_2) in strupenih (CO , SO_x , NO_x , ...) plinov ter nezgorelih delcev v atmosfero. Jedrska goriva manj obremenjujejo okolje, vendar niso neoporečna, zaradi problematike shranjevanja porabljenega jedrskega goriva (jedrski odpadki), toplotnega onesnaženja, ki ga povzročajo jedrske elektrarne s hladilno vodo ter potencialne nevarnosti izpusta radioaktivnih snovi v okolje (nesreča v jedrski elektrarni v Černobilu). Poleg tega so tudi zaloge teh goriv omejene in se lahko pričakuje, da bodo na kratki in srednji rok ta goriva dražja, na dolgi rok pa jih bo zmanjkalo.

Zaradi tega se vedno bolj poudarjajo obnovljivi viri energije, ki manj obremenjujejo okolje in so trajnostno vzdržljivi. Med obnovljive vire energije spadajo sončna, vodna, vetrna, energija morskega valovanja in plimovanja, med njih pa lahko štejemo tudi geotermalno energijo. Daleč največji delež v proizvodnji ima vodna energija, vendar pa je v zahodnem svetu večina potenciala rek za proizvodnjo v velikem merilu že izkoriščenih. Zaradi tega je aktualen razvoj malih hidroelektrarn, ki izkoriščajo energijski potencial manjših vodotokov.

V diplomski nalogi bom preučil postopek načrtovanja malih hidroelektrarn, njihov vpliv na zmanjševanje okoljsko škodljivih emisij zaradi proizvodnje energije in zakonske zahteve za postavitev. Preučene teoretične podlage bom uporabil na praktičnem primeru male hidroelektrarne Smuk, ki se nahaja ob Tržiški Bistrici.

1.1 Splošno o pridobivanju energije iz vodne moči

1.1.1 Zgodovina

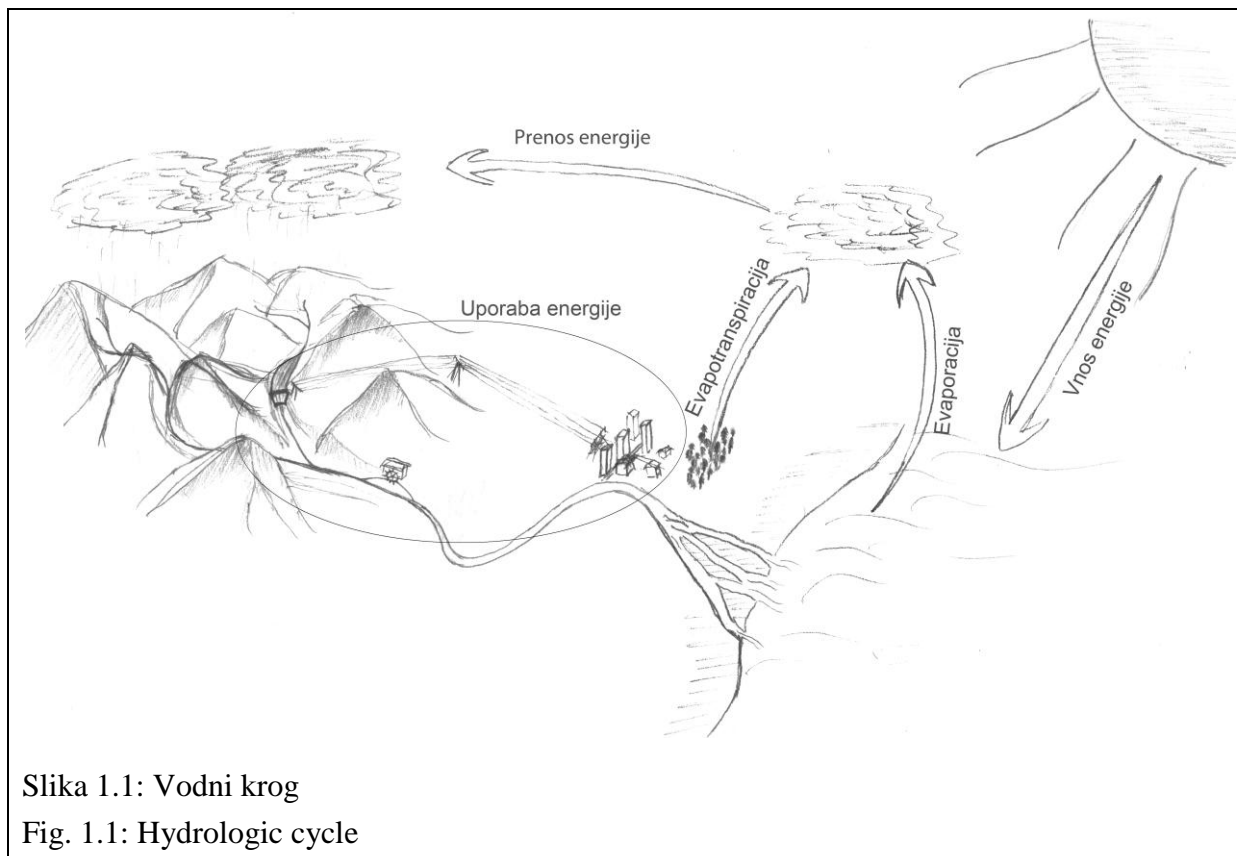
Pridobivanje energije iz vodne moči se je začelo že zgodaj v človeški zgodovini. Prve naprave na vodni pogon so bili predvsem mlinci za mletje žita in žage. Uporabljali so jih v Indiji, starem Rimu in na Kitajskem. V 18. in 19. stoletju je pogonsko silo za delovanje večjih mehanskih vodnih naprav, v tovarnah in velikih mlinih, nadomestil parni pogon. Vodni pogon se je uporabljal še za manjše obrate in za pogon plavžev.

Začetki pridobivanja električne energije iz vodne segajo v pozno 18. stoletje, ko je okrog leta 1770 francoski inženir Bernard Forest de Bélidor izdal *Architecture Hydraulique*, kjer je opisal delovanje hidravličnih strojev. Po izumu električnega generatorja konec 19. stoletja so se začele postavljati prve hidroelektrarne. Prva elektrarna na vodni pogon je bila postavljena leta 1878 v Angliji.

1.1.2 Princip pridobivanja energije

Princip pridobivanja energije iz vodne moči temelji na pretvorbi potencialne ali kinetične energije vode v mehansko energijo, primerno za uporabo. Pridobljena mehanska energija se lahko uporabi direktno na mestu pridobivanja preko mehanskih prenosov, kar je bilo uporabljano predvsem v preteklosti, ko so se na vodotokih gradile vodosilne mehanske naprave za mletje žita (mlinci), žage, in podobno. V sodobnem času pa se energija vode običajno pretvori v električno energijo v malem ali velikem obsegu. V malem obsegu (male hidroelektrarne) se lahko uporabi lokalno, bodisi zaradi slabe systemske oskrbe in zagotavljanja lokalnega vira energije ali pa za zagotovitev neodvisnosti od električnega sistema in s tem za zmanjševanje stroškov. Lahko pa se odda v omrežje, tako da distribucijsko podjetje odkupi proizvedeno energijo. Hidroelektrarne velikega obsega pa so vedno priključene na državno omrežje, saj so to običajno objekti velikega obsega in pomena za državo. Zaradi tega se postavijo in obratujejo v okviru državnega energetskega omrežja.

Potencialna energija vode, ki jo človek izkorišča v osnovi izhaja iz sončne energije. Sonce vnaša energijo v vodni krog in poganja evaporacijo in evapotranspiracijo (Slika 1.1).



Slika 1.1: Vodni krog
Fig. 1.1: Hydrologic cycle

Z evapotranspiracijo in evaporacijo voda v tekočem stanju prehaja iz tal in vodnih površin, v atmosfero, torej v plinasto stanje. S padavinami se začne proces odtekanja vode. Za izkoriščanje vodne energije je pomemben predvsem površinski odtok, saj se na površinskih vodotokih postavljajo naprave na vodni pogon. V razvitem svetu so te naprave skoraj izključno hidroelektrarne različnih kapacitet.

Gleda na razpoložljive hidrološke parametre in lokacijo se odločimo za tip izkoriščanja. V zgornjem toku rek z večjim padcem in manjšo vodnatostjo se odločimo za tlačne hidroelektrarne, pri večji vodnatosti in majhnem padcu, v spodnjem toku rek, pa se odločimo za pretočne hidroelektrarne.

1.2 Splošno o malih hidroelektrarnah

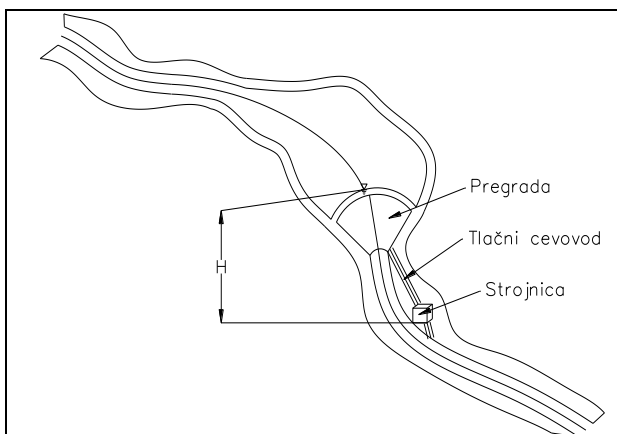
1.2.1 Definicija male hidroelektrarne

Mala hidroelektrarna (v nadaljevanju mHE) je elektrarna, ki za proizvodnjo električne energije izkorišča mehansko moč vode in ima majhno nazivno moč. V Evropski uniji (v nadaljevanju EU) ni splošnega konsenza za maksimalno instalirano moč, pri kateri elektrarna še velja za mHE. Švedska ima mejo pri 1.5 MW, Italija pri 3 MW. V Franciji je meja 12 MW, ki pomeni mejno moč, pri kateri je omrežje dolžno kupovati elektriko, kot elektriko iz obnovljivega vira energije. Portugalska, Španija, Irska, Belgija, Grčija, članice Evropskega združenja za male hidroelektrarne (European Small Hydropower Association – ESHA) in Evropska komisija pa so sprejele mejo za mHE pri 10 MW instalirane moči. (ESHA, 2004)

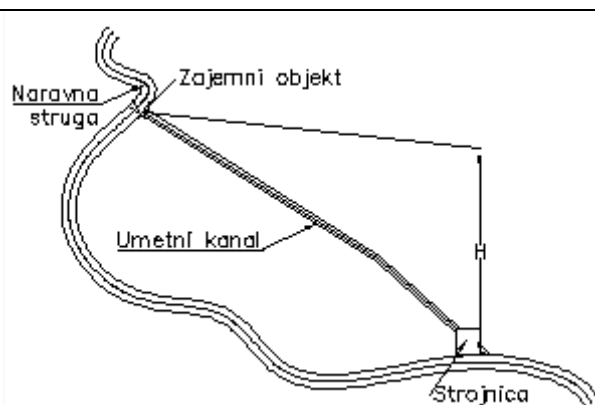
1.2.2 Opis delovanja mHE

Vsi načini pridobivanja električne energije iz vodne moči so zelo odvisni od lokacije hidrotehničnega objekta. Male hidroelektrarne se postavljajo na manjših rekah, ki imajo dovolj vode za njihovo obratovanje, večkrat pa se postavljajo tudi na obstoječih starih mlinščicah, ki so se uporabljale za pogon mlinov, žag, plavžev in podobnega, in so uporabljene za zagotovitev zadostnega hidravličnega padca na turbini za zagotavljanje delovanja mHE.

Hidravlični padec se zagotavlja tako, da se zgradi pregrada (Slika 1.2), ki dvigne gladino zgornje vode in doda potencialno energijo, ali pa se, kot v primeru mlinščice, zgradi objekt za vtok v umetni kanal, ki dovaja vodo do elektrarne in ima manjše hidravlične izgube kot naravna struga (Slika 1.3)



Slika 1.2: Skica pregradnega sistema
Fig. 1.2: Sketch of dam system



Slika 1.3: Skica kanalskega sistema
Fig. 1.3: Sketch of canal system

Ne glede na to na kakšen način zajamemo in transportiramo vodo, jo moramo na koncu dovoda speljati v tlačni cevovod, ki zajeto vodo pripelje do turbine. Glede na energetska višinsko razliko, velikost in stalnost pretoka, ki jih imamo na voljo, se odločimo katero vrsto turbine bomo uporabili.

2 TEORETIČNE PODLAGE

2.1 Vloga male hidroelektrarne v energetskega sistema

Male hidroelektrarne se obravnava v okviru obnovljivih virov energije (v nadaljevanju OVE). Njihovo vlogo v energetskega sistema v Sloveniji določa na Evropskem nivoju Direktiva o obnovljivih virih energije 2001/77/EC (v nadaljevanju RES) Evropskega parlamenta in Evropskega sveta in njena dopolnjena verzija Direktiva 2009/28/ES, na nacionalnem nivoju pa Resolucija o Nacionalnem energetskega programu (ReNEP). Cilj Direktive RES je prestrukturiranje evropske proizvodnje energije, da se doseže poraba energije vsaj 20% iz OVE za celotno Evropsko unijo. Vsaka članica ima določeno svojo kvoto deleža porabe energije iz OVE, vendar je za vse članice kvota vsaj 10% porabe do leta 2020. V delež porabljene energije iz OVE se šteje tudi uvožena (iz EU ali tujine) energija, ki pa mora biti dokazljivo pridobljena iz OVE (certifikat izvora).

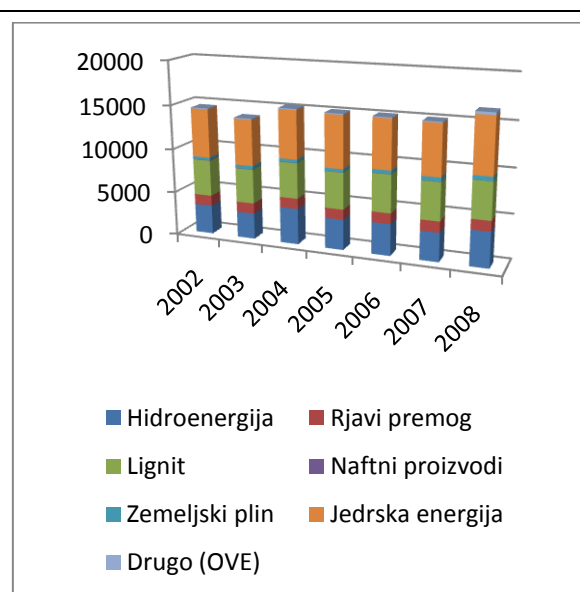
Cilj deleža porabe energije iz OVE za Slovenijo je zastavljen v Direktivi RES in v ReNEP ter v Akcijskem načrtu za obnovljive vire energije 2010-2020 na 25% bruto porabe energije do leta 2020.

Statistični urad Republike Slovenije objavlja letna poročila o proizvodnji energije v Republiki Sloveniji, kar je vključeno v Poročilo Republike Slovenije Evropski komisiji o implementaciji Direktive 2001/77/ES Evropskega parlamenta in sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije, ki ga mora RS vsaki dve leti dostaviti Evropski komisiji. Iz teh podatkov je razvidno, da količina proizvedene električne energije iz OVE v Sloveniji raste, vendar se delež porabljene električne energije iz OVE manjša zaradi povečanja absolutne porabe električne energije (0, str. 5). Iz preglednice (Preglednica 1) in grafov (Slika 2.1, Slika 2.2) je razvidno, da je večina električne energije iz OVE pridobljena iz hidroenergije. Proizvodnja na hidroelektrarnah pa kljub večanju proizvodnih kapacitet niha zaradi odvisnosti od hidroloških razmer.

Preglednica 1: Proizvodnja električne energije na generatorju 2002-2008 (vir: Statistični urad Republike Slovenije)

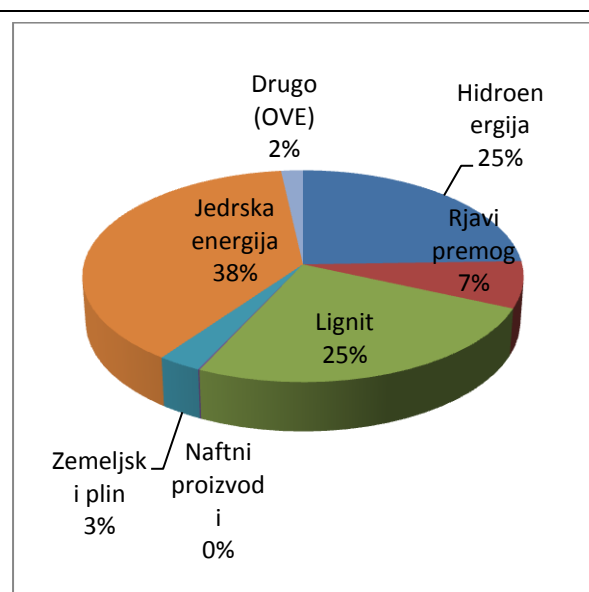
Table 1: Electricity generator output 2002-2008 (source: Statistical office of the Republic of Slovenia)

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Proizvodnja na generatorju (GWh)							
Energetski vir- SKUPAJ	14600	13821	15272	15117	15115	15043	16398
Hidroenergija	3313	2957	4095	3461	3591	3266	4018
Rjavi premog	1189	1197	1174	1146	1191	1234	1166
Lignit	4114	3911	4018	4129	4269	4251	4157
Naftni proizvodi	66	50	43	37	45	29	17
Zemeljski plin	289	370	358	340	373	452	475
Jedrsko energija	5528	5207	5459	5884	5548	5695	6273
Drugo (OVE)	101	129	126	120	97	116	292



Slika 2.1: Delež energentov v proizvodnji el. Energije [GWh] 2002-2008

Fig. 2.1: Energy sources share in electricity production [GWh] 2002-2008



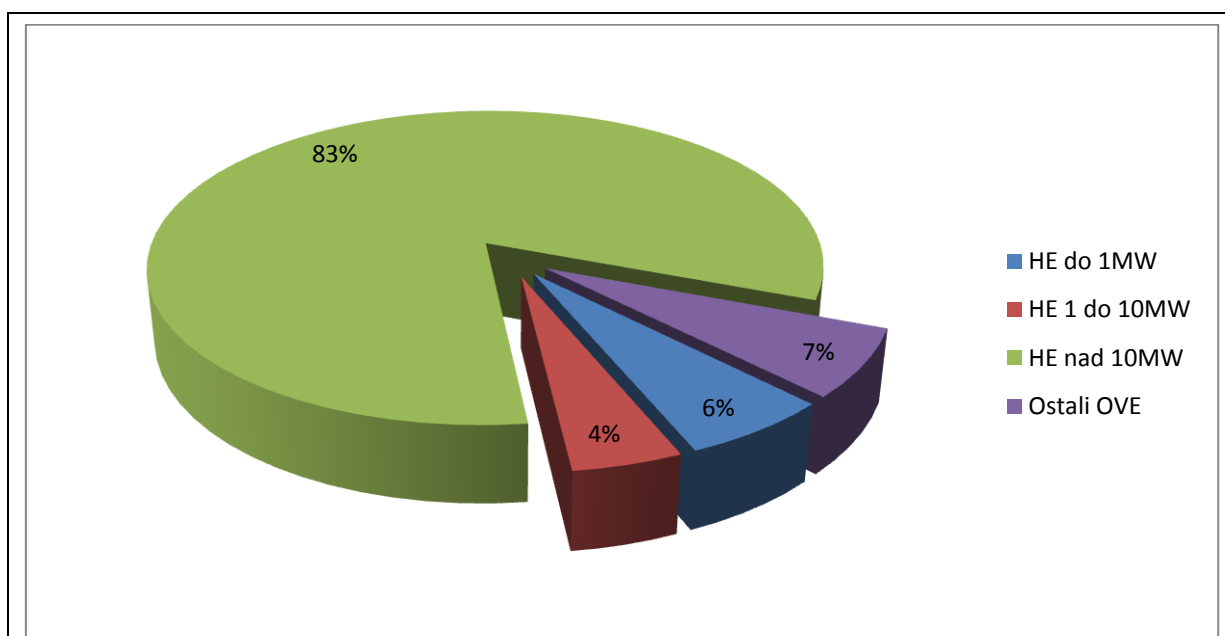
Slika 2.2: Delež energentov v proizvodnji el. energije leta 2008

Fig. 2.2: Energy sources share in electricity production in year 2008

Male hidroelektrarne lahko pomembno prispevajo k proizvodnji električne energije iz OVE, ker je potencial velikih vodotokov, ki lahko ekonomsko upravičeno poganjajo HE nad 10MW

(velike hidroelektrarne), predvsem v razvitem svetu že večinoma izkoriščen. Po drugi strani pa je hidropotencial malih vodotokov izkoriščen v manjši meri ali pa ne v optimalnem načinu, kar daje možnost za rast proizvodnje električne energije iz mHE. Druga pomembna lastnost mHE, za razliko od velikih HE pri katerih je potrebno potopiti velike površine, da dobimo potreben padec in volumen rezervoarja, je možnost vključitve mHE v lokalno naravno okolje z minimalnim vplivom na ekosistem vodotoka (ESHA, 2004). V Sloveniji je ocenjen bruto energetski potencial vodotokov 19400GWh/leto. Od tega je tehnično razpoložljivega 9100GWh/leto, ekonomsko upravičenega pa 7000-8500GWh/leto. Trenutno izkoriščeni energetski hidropotencial je 4012GWh za leto 2008 (ReNEP).

V Sloveniji se bo delež električne energije proizvedene iz OVE zviševal; sprva se bo višal na račun velikih HE na srednji in spodnji Savi. Višanje proizvodnje iz mHE pa bo po vsej verjetnosti odvisno od iniciative zasebnega sektorja in spodbud s strani RS in EU. Delež mHE pri proizvodnji iz OVE je 13% za leto 2008, kot je razvidno iz grafa (Slika 2.3), in je znašal 457GWh (Preglednica 2).



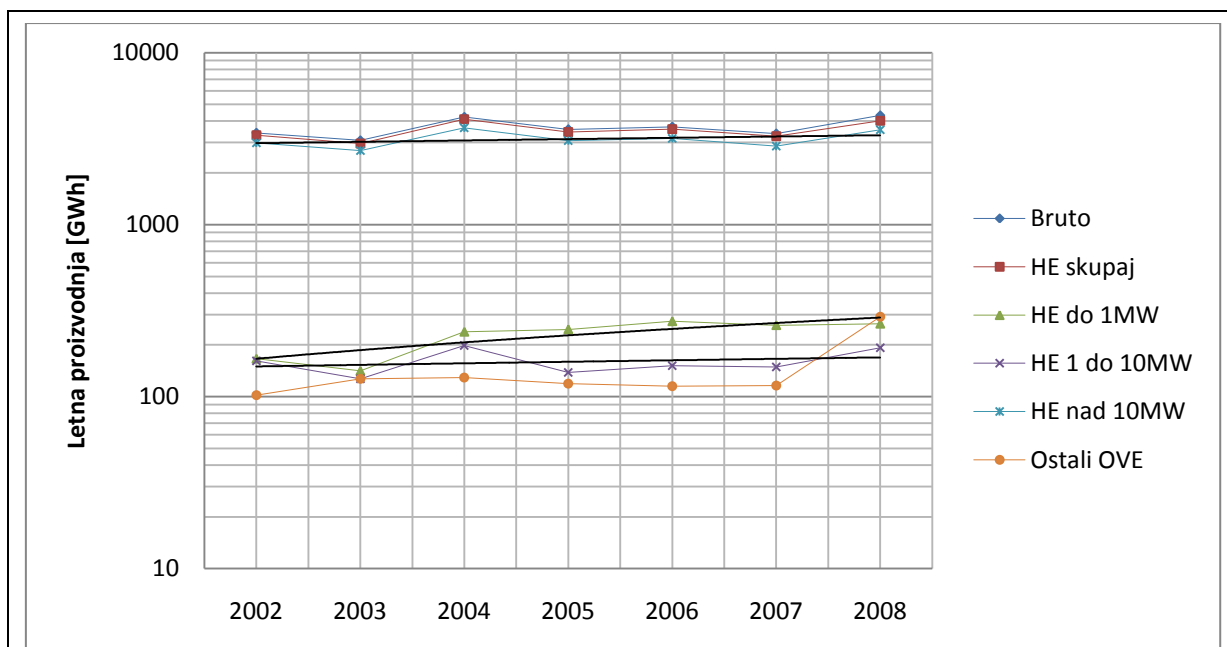
Slika 2.3: Deleži proizvodnje električne energije iz HE po moči in ostalih OVE za leto 2008
Fig. 2.3: Share of electricity production of hydropower plants by power and the rest of RES for 2008

Preglednica 2: Proizvodnja elektrike iz OVE 2002-2008

Table 2: Electricity from RES 2002-2008

Leto	Bruto	HE skupaj	HE do 1MW	HE 1 do 10MW	HE nad 10MW	Ostali OVE
2002	3415	3313	166	161	2986	102
2003	3085	2958	141	127	2690	127
2004	4223	4094	238	198	3658	129
2005	3580	3461	246	138	3077	119
2006	3706	3591	274	151	3166	115
2007	3382	3266	260	149	2857	116
2008	4310	4018	265	192	3561	292

Na grafu (Slika 2.4) je prikazan trend proizvodnje električne energije iz OVE. Kot je razvidno iz trendnih črt, proizvodnja iz mHE raste, kar pomeni, da je realno pričakovati, glede na to, da je v Sloveniji še okrog 50% neizkoriščenega hidropotenciala, da se bo količina proizvedene električne energije iz mHE še povečevala in bo lahko prispevala k uresničitvi ciljev, zadanih v evropski Direktivi 2001/77/EC in v AN OVE.



Slika 2.4: Letna proizvodnja električne energije iz OVE v Sloveniji

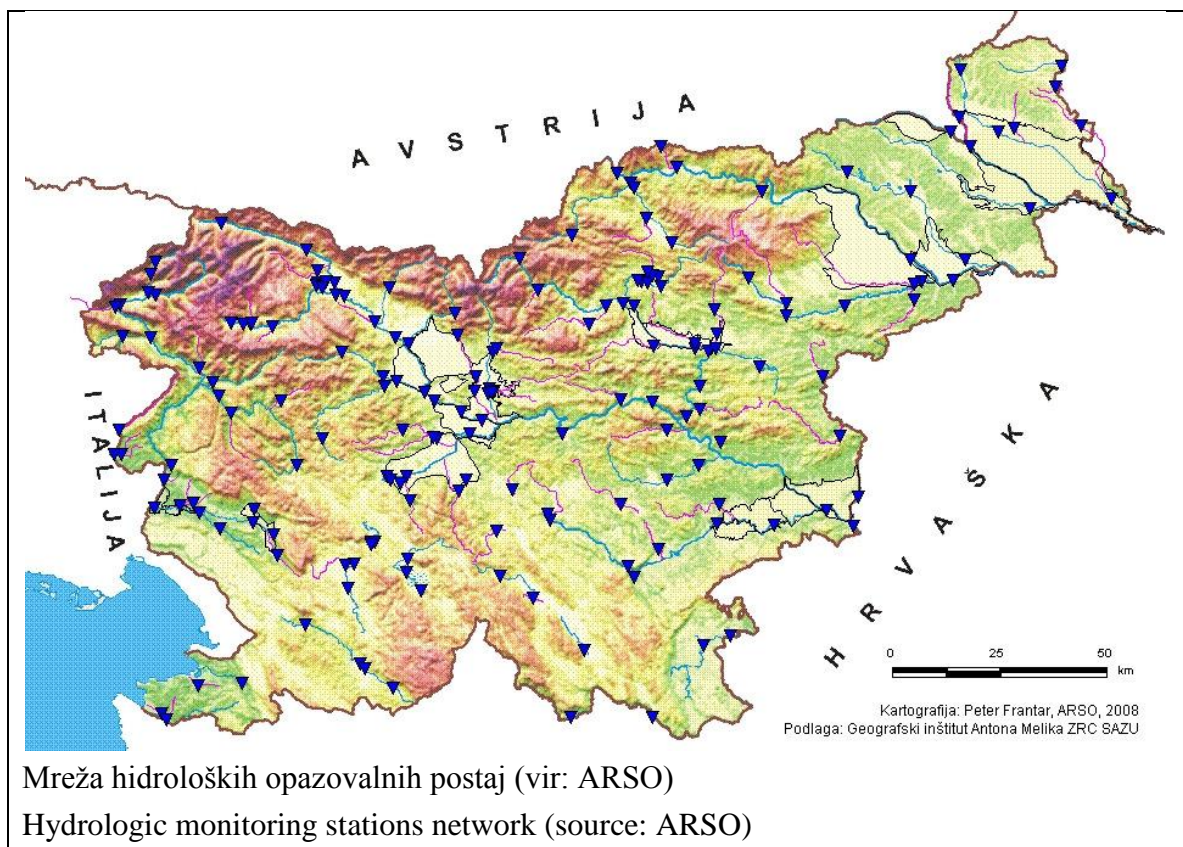
Fig. 2.4: Yearly production of electricity from RES in Slovenia

2.2 Hidrološka analiza

Hidrološka analiza obsega zbiranje in obdelavo hidroloških podatkov za obravnavani vodotok. Cilj analize je pravilno dimenzioniranje hidrotehničnih objektov. Zato je potrebno poznati obnašanje vodotoka, predvsem njegove ekstremne pojave in pa povprečne pretoke, ter minimalni potreben pretok, ki zagotavlja življenje vodnih bitij v vodotoku (Qes). Podatki za hidrološko analizo se lahko dobijo: kot serije podatkov z merilnih postaj na vodotoku in meteoroloških podatkov iz meteoroloških postaj na prispevnem območju vodotoka.

2.2.1 Serija podatkov iz merilnih postaj na vodotoku

V nekaterih primerih je na vodotoku, na katerem želimo zgraditi mHE, vodomerna postaja, ki beleži podatke o vodostaju in pretoku, lahko pa tudi o temperaturi vode. V Sloveniji vodomerne postaje postavlja in upravlja Agencija Republike Slovenije za okolje (v nadaljevanju ARSO), ki deluje v okviru Ministrstva za okolje in prostor. Leta 2009 je ARSO izvajal hidrološki monitoring na 185 merilnih mestih. Na 79 merilnih mestih je bila merjena tudi temperatura vode, na vseh pa vodostaj in pretok.



Za načrtovanje mHE sta pomembna parametra vodostaj in pretok pri čemer predpostavimo, da bo objekt za zajem vode konstruiran tako, da ne bo težav s sedimenti in plavjem. Z obdelavo podatkov o vodostaju dobimo gladino zgornje in spodnje vode, s katerima določimo hidravlično višino, ki jo lahko pričakujemo. Z obdelavo podatkov o pretokih pa dobimo pretoke, na katere dimenzioniramo turbine mHE, in pa kritične pretoke v primeru visokih voda in suše.

Vodostaj se meri z merilno letvijo, ki potrebuje vsakodnevni odčitek, limnigrafom, ki grafično zapisuje višino vodostaja, ali s podatkovnim zapisovalnikom, ki digitalno beleži vodostaj.

Pretok se meri s terenskimi meritvami hitrosti vode in geometrije struge npr. z metodo hitrost-površina. V plitvejših in ožjih strugah se uporablja ultrazvočno krilo za točkovne meritve hitrosti, ki se izvede ročno s prehodom struge, za globlje in širše struge pa se uporablja akustična Dopplerjeva metoda s sprotno integracijo hitrostnega polja in prečnega prereza. Izvaja se z metodo vlečenja in popuščanja vrvi. (ARSO: 2008)

2.2.2 Meteorološki podatki

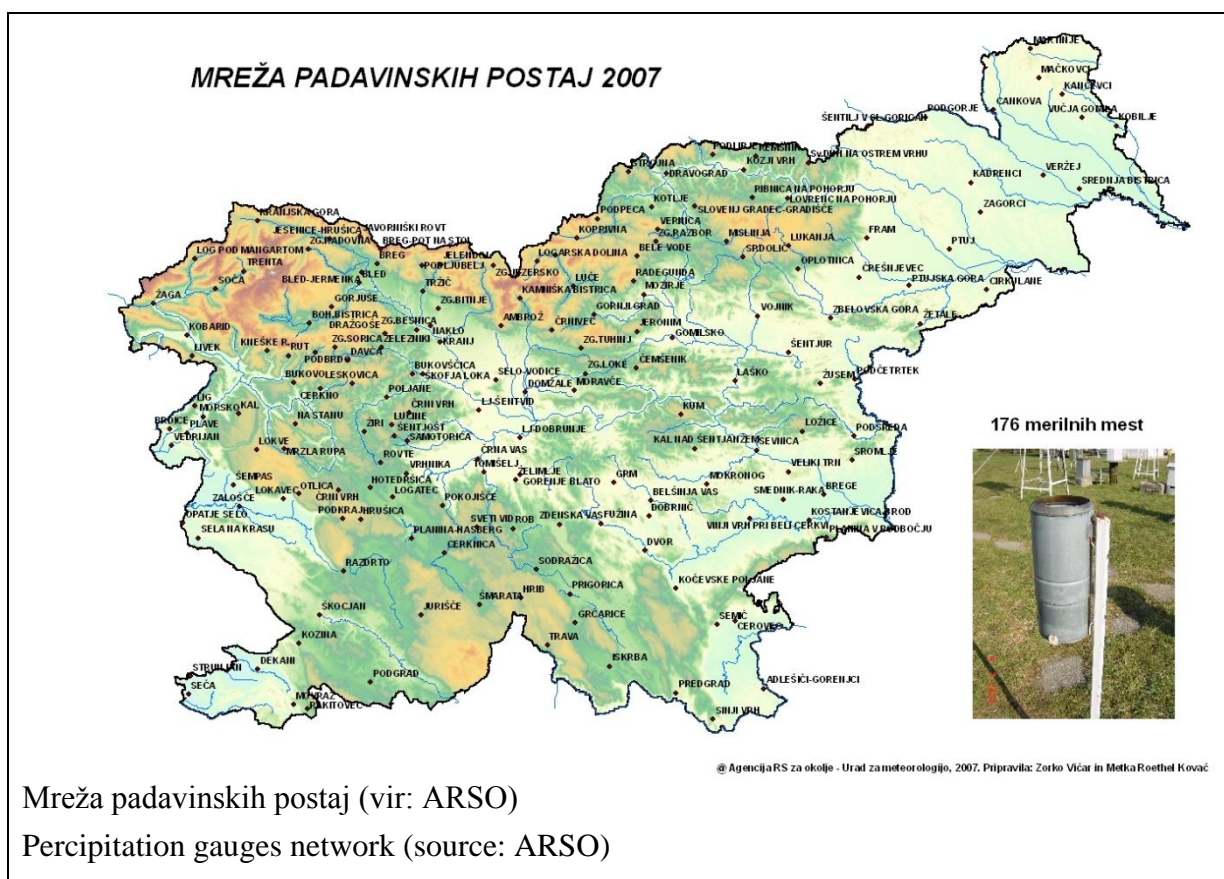
Kadar na vodotoku ni hidrološke merilne postaje, pridobimo podatke o pretokih posredno, s padavinami za prispevno območje vodotoka, na katerem želimo postaviti hidrotehnični objekt. V Sloveniji ARSO zbira in objavlja podatke za količino padavin na 176 merilnih mestih.

Ker so za pričujočo nalogo že na voljo podatki o pretoku in vodostaju za obravnavani vodotok, je tukaj podan samo pregled postopka za obdelavo meteoroloških podatkov.

Vsi podatki o padavinah imajo sistemsko napako, ki jo je potrebno odpraviti. Ta napaka vsebuje napako zaradi turbulence (2-10% za dež, 10-50% za sneg), izgube zaradi vlaženja

notranjosti dežemera (2-10%), izgube zaradi izhlapevanja iz dežemera (0-4%), napako zaradi škropljenja v in iz dežemera (1-2%) in napako zaradi izpihovanja snega (okoli 1%). Za popraviljanje merjenih padavin so se razvile različne metode, ki uporabljajo različne načine ocene napake meritev. Najpogosteje se uporabljajo metode Sevruka, Dahlströma, Mendela in Peneve (Brilly, Šraj, 2005).

Cilj hidrološke analize je določitev pretoka v obliki hidrograma enote za iztočni profil obravnavanega območja. Hidrogram enote določimo na podlagi analize padavin in topografskih lastnosti obravnavanega povodja (velikost, poraščenost, pozidanost, naklon terena).



2.2.3 Obdelava podatkov

Ne glede na to, katero vrsto podatkov imamo na voljo, je podatke potrebno obdelati, da dobimo reprezentativne vrednosti pretokov za obravnavani vodotok.

2.2.3.1 Statistična obdelava podatkov o pretoku

Pridobljeno serijo podatkov o pretokih moramo obdelati s statističnimi orodji. Cilj statistične analize je pridobitev podatkov o vodotoku, na podlagi katerih dimenzioniramo objekt. Za ta namen moramo iz serije podatkov iz vrednotiti krivuljo trajanja in pretoke karakterističnih povratnih dob: 10, 20, 50, 100 let.

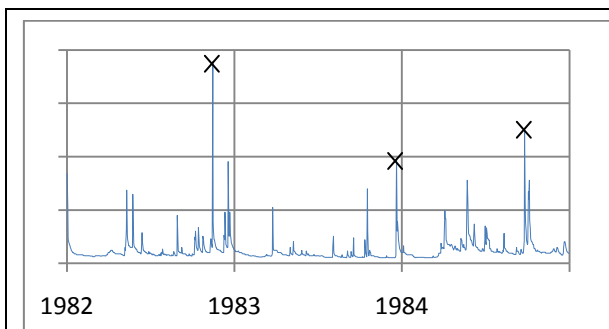
Povratna doba pojava (v tem primeru pretoka) je definirana kot velikost pojava, ki je dosežena v povprečju enkrat v T letih (Han, 2009) in je recipročna vrednost verjetnosti P, da bo dosežena velikost pojava v enem letu.

$$T = \frac{1}{P} \qquad \text{Enačba 1}$$

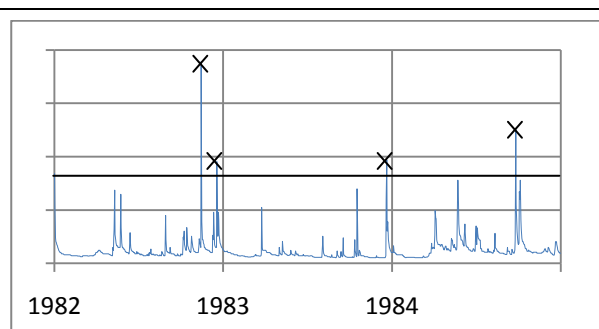
Za hidrološke analize se uporabljajo statistična orodja, ker se podatki o pretokih obravnavajo kot slučajne spremenljivke. Slučajne spremenljivke se uporabljajo pri pojavih, pri katerih sta količina in kompleksnost vzročno-posledičnih zvez takšna, da nad njimi nimamo pregleda. Pri hidroloških količinah imamo relativno malo podatkov, iz katerih lahko izračunamo želene karakteristike vodotoka. Zaradi tega je zelo pomembno, kakšen vzorec uporabimo za statistično obdelavo in katero statistično porazdelitev uporabimo. Za ugotavljanje maksimalnih pretokov se uporabljata Pearsonova III in logaritemska Pearsonova III porazdelitev, ki zaradi nesimetričnosti bolje ujameta značilnosti visokih vod. (Brilly, Šraj, 2005)

Da lahko izvedemo statistično analizo ekstremov serije meritev pretokov, potrebujemo vzorec iz populacije meritev. Vzorec za analizo letnih ekstremov lahko določimo na dva načina. Lahko oblikujemo vzorec na podlagi letnih maksimumov (Slika 2.5), kar da večjo disperzijo in večje vrednosti pretokov pri manjši verjetnosti pojava. Pri drugem načinu pa določimo prag

in za analizo uporabimo pretoke, ki so nad pragom (Slika 2.6). Takšen vzorec je odvisen od velikosti praga in da manjšo disperzijo ter manjše vrednosti pri pretokih z večjo povratno dobo in večje vrednosti za pogostejše pojave.



Slika 2.5: Vzorec letnih maksimumov
 Fig. 2.5: Yearly maximum sample



Slika 2.6: Vzorec ekstremov nad pragom
 Fig. 2.6: Extremes over threshold sample

Za izbrani vzorec je potrebno določiti osnovne statistične ocene karakterističnih števil.

Aritmetična sredina:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{Enačba 2}$$

Mediana:

$$M_e = X_{m+1} \quad N = 2 \cdot m + 1 \quad \text{Enačba 3}$$

$$M_e = \frac{1}{2}(X_m + X_{m+1}) \quad N = 2 \cdot m \quad \text{Enačba 4}$$

Povprečna deviacija:

$$S.D. = \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N} \quad \text{Enačba 5}$$

Standardna deviacija:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Enačba 6}$$

Na podlagi teh ocen določimo parametre porazdelitvene funkcije za izbrano porazdelitev, iz katere izračunamo iskane pretoke za želene povratne dobe.

Za oceno pretokov z veliko povratno dobo se uporabljajo asimetrične porazdelitve, zato bom uporabil logaritemsko Pearsonovo III porazdelitev. To je tri parametrična asimetrična porazdelitev. Logaritemska Pearsonova III porazdelitev izhaja iz Pearsonove III. Funkcija gostote za Pearsonovo III porazdelitev:

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} (x - x_0)^{\alpha-1} \cdot e^{-(x-x_0)/\beta} \quad \text{Enačba 7}$$

kjer so α , β in x_0 parametri porazdelitve. Ker je porazdelitev asimetrična, je potrebno izračunati njen koeficient asimetrije C_s :

$$C_s = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \cdot \frac{\sum (X_i - \bar{X})^3}{\sigma_X^3} \quad \text{Enačba 8}$$

Log-Pearsonova III porazdelitev ima funkcijo gostote, ki ima obliko Pearsonove III porazdelitve, za logaritem spremenljivke. (Brilly, Šraj, 2005)

Statistično analizo maksimalnih pretokov bom izvedel s programom HEC-SSP (Statistical Software Package), ki ga izdeluje center za hidrološki inženiring roda inženircev vojske ZDA (Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers). Program omogoča statistično analizo pretokov z empiričnimi (Weibull, Hazen) in analitičnimi (normalna, log-normalna, Pearson III, log-Pearson III) porazdelitvami (HEC, 2009). Z analizo dobimo pretoke z različnimi povratnimi dobami, za maksimalne in minimalne pretoke, za pretoke, ki se pojavijo določeno število dni v letu.

Poleg ekstremnih vrednost pretoka potrebujemo tudi krivuljo trajanja, ki prikaže število dni v letu, v katerih je vsaj nek iskani pretok, oziroma verjetnost, da bo obravnavani pretok presežen vsaj en dan v letu. Krivuljo trajanja izdelamo tako, da iz dnevni podatkov o pretoku sestavimo hidrogram za vsak dan v letu, nato podatke uredimo od največjega do najmanjšega. To zaporedje nam da krivuljo trajanja, ki jo predstavimo v grafični obliki na istem grafu kot hidrogram. Krivuljo trajanja potrebujemo za tri karakteristična leta: mokro, suho in srednje. Iz dnevni podatkov o pretoku izberemo karakteristična leta tako, da izračunamo povprečni pretok za vsako leto, nato pa izberemo leto z največjim povprečnim pretokom (mokro leto), leto z najmanjšim povprečnim pretokom (suho leto) in leto s srednjim povprečnim pretokom. Vse tri hidrograme in vse tri krivulje trajanja izrišemo na en graf.

2.3 Hidravlična analiza

Hidravlična analiza se izvaja, da se ugotovijo razmere v vodnem telesu, na katerem se bo izvajalo izkoriščanje vodne moči. S podatki o razmerah lahko nato dimenzioniramo želeni objekt (Steinman, 1999).

2.3.1 Opis hidravličnega modela

Kot je že bilo opisano v poglavju 1.2.3, obstajata dva sistema zajema in transporta vode iz vodotoka za uporabo v proizvodnji električne energije.

Rečni sistem HE uporablja zajezev (pregrado), da se pridobi primeren hidravlični padec in zagotovi zalogo vode, s katero lahko uravnavamo pretok vode skozi turbine (Slika 1.2). Rečni sistem se pri mHE uporablja redkeje, saj je cena investicije bistveno večja kot pri pretočnem sistemu in je tako mHE zaradi manjših instaliranih moči nerentabilna glede na pričakovano življenjsko dobo. Problematična pa je tudi večja obremenitev okolja zaradi spremembe habitata divjih živali, kar je posledica potopitve območja gorvodno od pregrade, in vodnega življa zaradi spremembe pretočnega režima (pretok, globina, hitrosti) vodotoka.

Derivacijski (rečni) sistem ne uporablja rezervoarja vode na vodotoku, ampak uporablja manjšo zajezev (ali še te ne), da zajema vodo direktno iz vodotoka glede na razpoložljiv pretok. Voda, ki se zajame z vtočnim objektom, najprej teče po dovodnem kanalu, nato pa je speljana v tlačni rov, ki jo dovaja na turbine (Slika 1.3).

Ker je pri obravnavani mHE dovodni kanal (mlinščica) in zajem za njo iz Tržiške Bistrice obstoječ, bom samo uporabil podatke, ki so na voljo, za izračun gladine spodnje vode pri višjih vodostajih Tržiške Bistrice. Račun bom izvedel s programom HEC-RAS, s katerim bom modeliral razmere na sotočju mlinščice in Tržiške Bistrice. Prav tako kot HEC-SSP, ki sem ga uporabil za statistično analizo hidroloških podatkov, je tudi HEC-RAS orodje, ki ga razvija center za hidrološki inženiring roda inženircev ameriške vojske (HEC, U.S. Army Corps of Engineers). Program omogoča izračun enodimenzionalnih hidravličnih modelov za stalni in

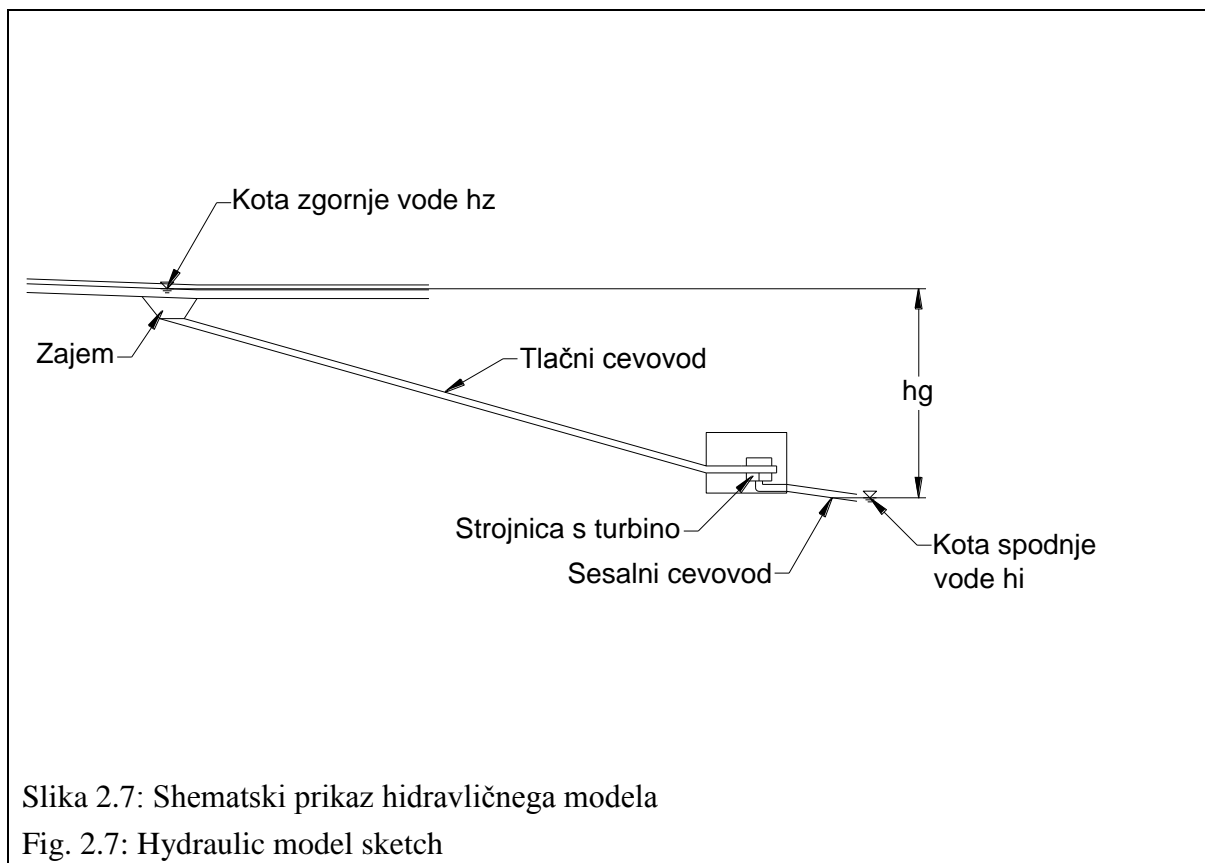
nestalni tok in lahko uporabljaja za vse analize enako geometrijo struge, ki jo vnesemo iz terenskih izmer ali pa uvozimo GIS podatke (HEC, 2010).

Hidravlični model se izbere tako, da čim bolj natančno opiše dejanske razmere na terenu. Zaradi natančnih pogojev odvzema zapisanih v koncesijski pogodbi, je za dimenzioniranje tlačnega cevovoda in račun razpoložljivega neto hidravličnega padca zadovoljiv enostaven hidravlični model, ki vključuje vtok v tlačni cevovod, sam tlačni cevovod, strojnico s porabo energije in iztok. Po koncesijski pogodbi so poznani podatki o nivoju zgornje vode (odvzem iz mlinščice – h_z), spodnje vode (iztok - h_i), in dovoljen pretok odvzema iz mlinščice. Za nivo zgornje vode privzamemo, da je vtočni objekt načrtovan tako, da zagotavlja konstanten nivo gladine. Iz navedenih podatkov dobimo geodetsko višinsko razliko, ki nam je na voljo za izkoriščanje.

$$\Delta h_g = h_z - h_i$$

Enačba 9

Geodetska višinska razlika je bruto višinska razlika, od katere moramo odšteti energijske izgube na vtoku v tlačni cevovod, linijske izgube v tlačnem cevovodu, lokalne izgube zaradi spremembe smeri cevovoda, lokalne izgube zaradi zoženja cevovoda na vtoku v turbino.



Slika 2.7: Shematski prikaz hidravličnega modela

Fig. 2.7: Hydraulic model sketch

Torej je neto razpoložljiva višinska razlika h_n s katero bo obratovala turbina in je iskana količina hidravličnega računa:

$$\Delta h_n = \Delta h_g - [h(\Delta E_{lin}) + h(\Sigma \Delta E_{lok})] \quad \text{Enačba 10}$$

V smislu inženirske natančnosti je pri računu hidravličnega sistema smiselno najprej preveriti, ali ga je možno izračunati s predpostavko hidravlično dolgega cevovoda, pri katerem je potrebno upoštevati samo linijske izgube, saj je cevovod tako dolg, da so lokalne zanemarljive. V tem primeru bi imela enačba (Enačba 10) obliko

$$\Delta h_n = \Delta h_g - [h(\Delta E_{lin})] \quad \text{Enačba 11}$$

Zanemarimo lahko tudi vpliv kinetičnega člana $v^2/2g$, in tako energijska in tlačna črta sovpadata. Hidravlični sistem lahko obravnavamo kot dolg, če je izpolnjena enačba

$$l/D \geq 500 \quad \text{Enačba 12}$$

Če zgornja enačba ni izpolnjena moramo izračunati z lokalnimi izgubami. (Steinman, 1999)

2.3.1.1 Račun lokalnih izgub

Lokalne izgube so izgube energije toka na vsaki spremembi smeri tokovnic oz. spremembi tokovne slike zaradi motenj v toku. Lokalne izgube so proporcionalne kvadratu srednje hitrosti toka pri izrazito turbulentnem režimu. Na količino izgube vpliva koeficient lokalne izgube ξ , ki je odvisen od geometrijskih karakteristik lokalne porazdelitve tokovnic. Splošna enačba za lokalne energijske izgube se tako glasi:

$$\Delta E_{lok} = \xi_{lok} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Enačba 13}$$

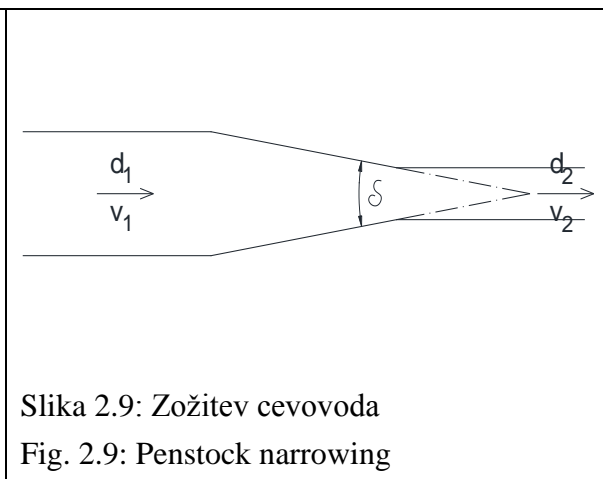
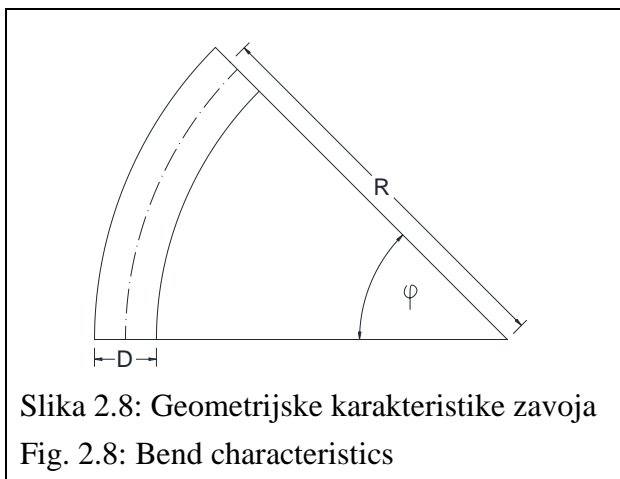
Koeficient lokalne izgube se praviloma določa eksperimentalno, in so tako navadno za praktično uporabo podani v tabelah ali z empiričnimi formulami.

Izgube na vtoku v cevovod so odvisne od oblike vtoka (Steinman, 1999):

- ostrorobi : $\xi_{vt} = 0.5$
- konusni: $\xi_{vt} = 0.15 - 0.20$
- hidravlično ugodnejši vtok: $\xi_{vt} = 0.06$

Zaradi topografskih zahtev terena je navadno potrebno spreminjati smer cevovoda. Empirično enačbo za izračun ξ na zavoju je podal Weisbach (Rössert, 1999), (Slika 2.8):

$$\xi_z = \left[0.131 + 0.163 \left(\frac{D}{R} \right)^{3.5} \right] \frac{\varphi [^\circ]}{90} \quad \text{Enačba 14}$$

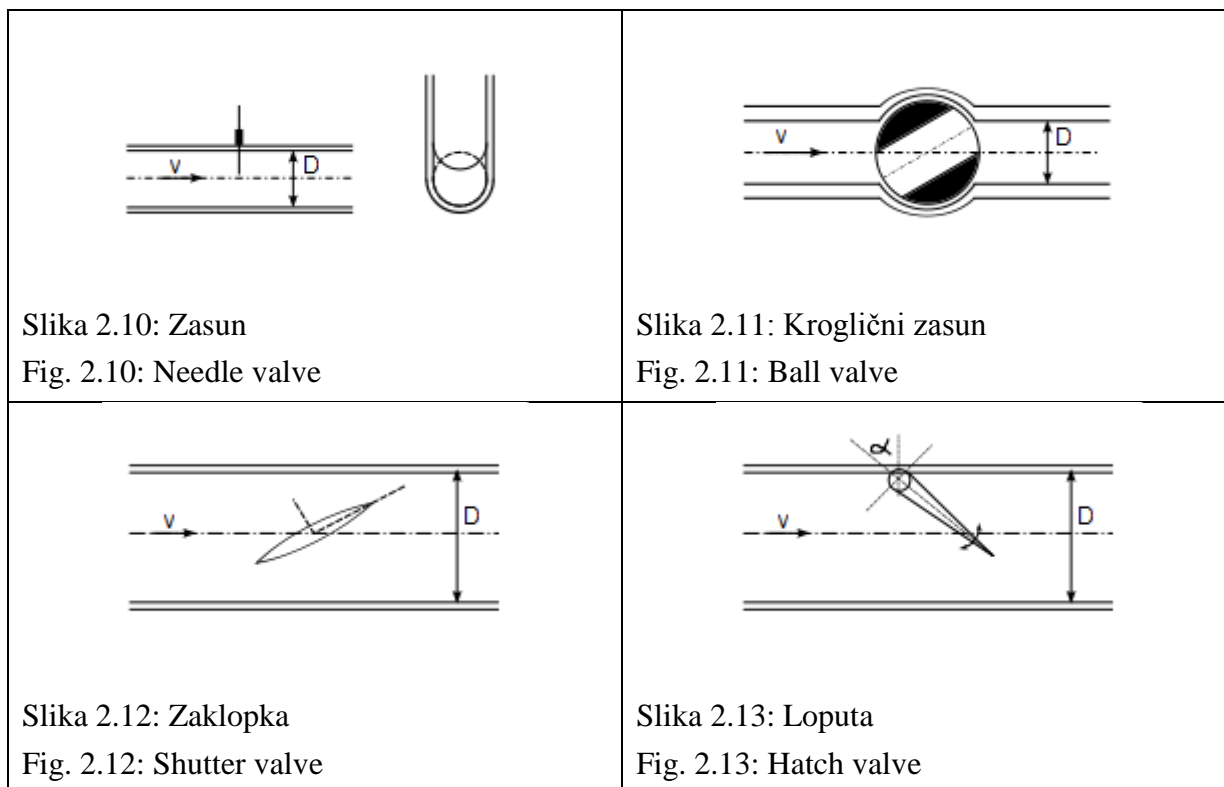


Na dotoku na turbino se tlačni cevovod zoži, da se voda dovede na turbino. Za zožitve v ceveh, kjer je zožitveni kot $\delta \leq 20^\circ$ (Slika 2.9) se privzame (Rössert, 1999), da je

$$\xi_o = 0.04$$

Zaporni elementi se uporabljajo za regulacijo pretoka, vendar zaradi konstrukcijskih lastnosti tudi pri popolnoma odprtem stanju povzročajo določene energijske izgube, ki so odvisne od vrste zapornega elementa, kot je prikazano v spodnji preglednici.

Vrednosti ξ za nekatere popolnoma odprte z.e. (Steinman, 1999)		
ξ values for some flow regulation devices (Steinman, 1999)		
Zasun	Slika 2.10	$\xi_{ze} = 0$
Ventil (kroglični zasun)	Slika 2.11	$\xi_{ze} = 0.05$
Zaklopka	Slika 2.12	$\xi_{ze} = 0.1$
Loputa	Slika 2.13	$\xi_{ze} = 1.7$ ($\xi_{max} = 70^\circ$ popolnoma odprto)



Ker je tudi sesalna cev turbine del hidravličnega sistema, potrebujemo tudi podatek o energijskih izgubah na iztoku v vodotok. Izgube na iztoku so tako odvisne od razlike hitrosti iztoka v_{iz} in hitrosti toka vodotoku v_2 ter od kota med smerema tokov α (Rössert, 1999):

$$\Delta E_{iz} = \xi_{iz} \frac{(v_{iz} - v_2 \cos \alpha)^2}{2g} \quad \text{Enačba 15}$$

Koeficient hidravličnih izgub ξ_{iz} pa je odvisen od razmerja prerezov iztoka S_{iz} in cevi S_c . Tabela koeficientov je povzeta po Rössertu.

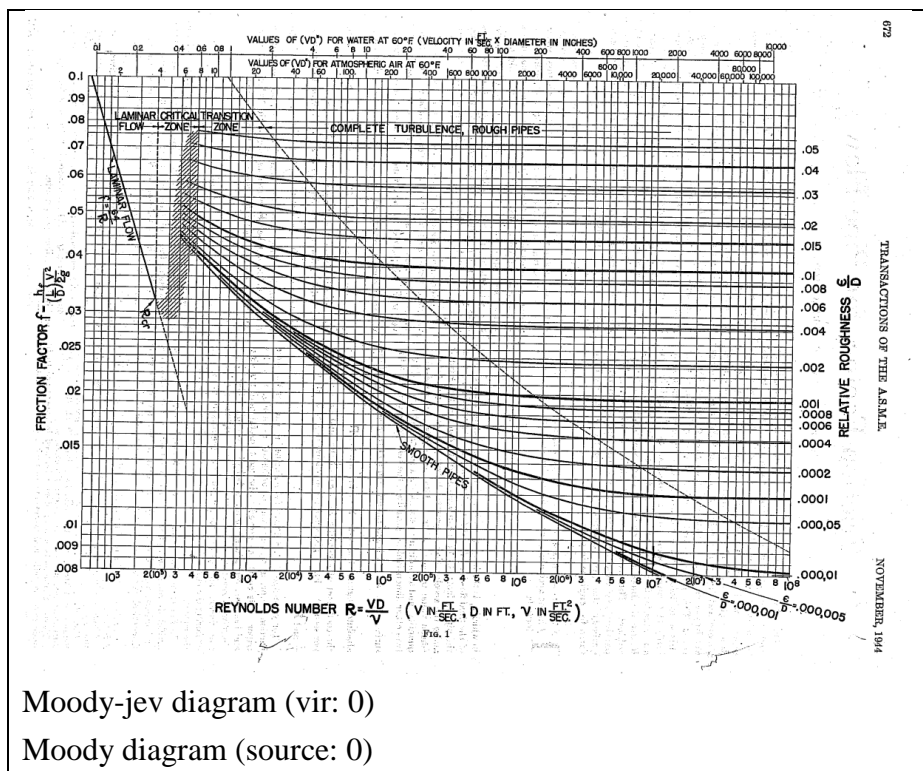
S_{iz}/S_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ξ_{iz}	0.83	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.965	1.0

2.3.1.2 Račun linijskih izgub

Linijske izgube se v cevovodu pojavljajo zaradi trenja vode ob stene cevovoda in notranjega trenja v tekočini. Odvisne so od dolžine L , premera D cevovoda in hitrosti vode V ter od koeficienta trenja λ . Izračuna se jih po znani Darcyjevi enačbi za izgubo energije:

$$\Delta E_{lin} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \dots [m] \quad \text{Enačba 16}$$

Brezdimenzijski koeficient λ je odvisen od dveh, drugih brezdimenzijskih količin, relativne hrapavosti cevovoda ε/D (ε je absolutna hrapavost v mm in D notranji premer cevovoda v mm) in Reynoldsovega števila $Re = VD/\nu$ (ν je kinematična viskoznost tekočine v m^2/s). Moody je v svojem članku (Moody, 1944) objavil diagram (Moody-jev diagram), ki prikazuje koeficient λ v odvisnosti od ε/D in Re . Diagram je razdeljen v štiri območja glede na Reynoldsovo število: laminarno območje, območje popolne turbulence in prehodno območje, ki ga sestavljata kritično območje, kjer je λ nedoločljiv, in tranzicijsko območje med laminarnim in turbulentnim tokom. Diagram se uporablja tako, da pri določeni relativni hrapavosti sledimo krivulji do navpičnice ustreznega Reynoldsovega števila, nato pa odčitamo koeficient trenja na levi navpični osi vodoravno od presečišča.



Moody-jev diagram (vir: 0)

Moody diagram (source: 0)

Podatke za kinematično viskoznost vode ν pri želeni temperaturi in absolutno hrapavost ε se pridobi iz literature (hidravlični priročniki ipd.).

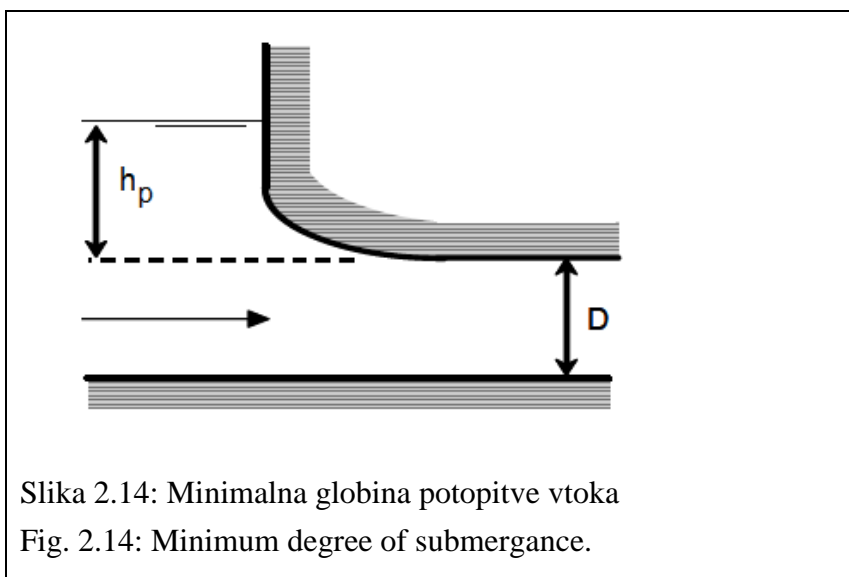
2.3.2 Minimalna potrebna potopitev vtoka v tlačni cevovod

Zajem za mlinščico iz Tržiške Bistrice je obstoječ in ni del te obdelave. Je levobrežni zajem, ki ima vgrajen bočni preliv za višek vode, ki ga mlinščica ni sposobna prevajati.

Zajem iz mlinščice je zamišljen kot čelni vtok v tlačni cevovod. Voda teče po mlinščici okoli 1500m, zato grobe grablje niso potrebne, saj so veliki kosi plavja redki in jih lahko zadržijo fine grablje. Zajem mora vsebovati tudi preliv, ki odvaja presežno količino vode, ki je ne prevaja tlačni cevovod. Poleg tega pa mora biti vgrajen tudi peskolov, saj se kljub temu da je mlinščica umeten kanal, po njej premika dovolj peska, da bi lahko poškodoval turbino.

Vtok v tlačni cevovod mora preprečiti vrtinčenje, ki lahko povzroča nestalne pojave v toku, vnaša zrak v cevovod, viša izgube in manjša izkoristek ter vleče smeti v cevovod. Največja faktorja za pojav vrtinčenje sta nesimetrični vtok in premajhna potopitev vtoka. Če je potopitev ustrezna, potem nastanek vrtinca ni verjeten.

Za minimalno potopitev h_p (Slika 2.14) vtoka tlačnega cevovoda obstajajo empirične enačbe, vendar ne obstaja nobena teorija, ki bi zajela vse relevantne parametre.



$$\text{Knauss} \quad h_p \geq D \left(1 + 2.3 \frac{v}{\sqrt{gD}} \right) \quad \text{Enačba 17}$$

$$\text{Nagarkar} \quad h_p \geq 4.4(vD^{0.5})^{0.54} \quad \text{Enačba 18}$$

$$\text{Rohan} \quad h_p \geq 1.474v^{0.48}D^{0.76} \quad \text{Enačba 19}$$

$$\text{Gordon} \quad h_p \geq cv\sqrt{D} \quad \text{Enačba 20}$$

$$c = 0.7245 \text{ za nesimetrični}$$

vtok

$$c = 0.5434 \text{ za simetrični vtok}$$

$$h_p = \max\{\text{izračunani zgornji } h_p\} \quad \text{Enačba 21}$$

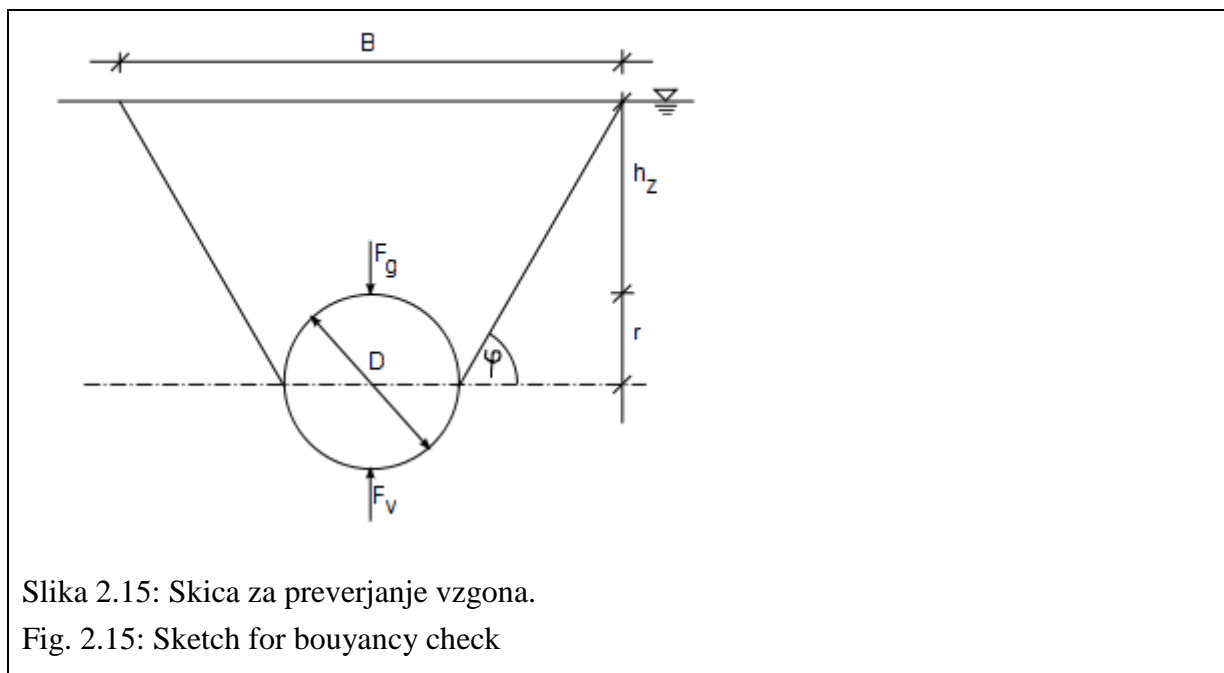
V zgornjih enačbah je v hitrost toka v cevovodu v m/s , in D premer cevovoda v m . Poleg minimalne potopitve se vrtničnost preprečuje tudi z npr. ustrezno oblikovanim vtokom.

Povzeto po (ESHA, 2004).

2.3.3 Dimenzioniranje tlačnega cevovoda

Tlačni cevovod dovaja vodo od zajema do turbine. Notranji premer tlačnega cevovoda se določi pri hidravlični analizi. Potrebno pa je tudi dimenzioniranje sten cevovoda, da prenesejo obremenitve zaradi hidravličnega tlaka in zaradi pritiska krovne zemljine pri zasutem cevovodu. Zasuti cevovod je potrebno preveriti tudi glede možnosti dviga praznega cevovoda zaradi vzgona, če se podtalnica dvigne na nivo temena cevovoda.

Debelino stene cevovoda določi proizvajalec glede na podatke v naročilu. Možnost dviga praznega cevovoda bom preveril z računom razlike teže zasičene zemljine, ki bi jo cevovod premaknil, če bi se dvignil, in sile vzgona popolnoma potopljenega cevovoda. Račun bom izvedel za najbolj neugoden primer; cevovod je zasut z nekoherentno zemljino in podtalnica je tik pod nivojem terena (Slika 2.15).



Račun na dolžinski meter. Enačbe za izračun izhajajo iz slike (Slika 2.15).

Izračun volumna zasipa:

$$B = 2\{(h_z + r)tg\varphi\} + D \quad \text{Enačba 22}$$

$$S = \left(\frac{(B - D)(h_z + r)}{2}\right) + \left(D(h_z + r) - \frac{\pi D^2}{8}\right) \quad \text{Enačba 23}$$

$$V_{zem} = S \times l \quad (l = 1m) \quad \text{Enačba 24}$$

φ je nasipni kot zemljine.

Izračun volumna cevovoda:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Enačba 25}$$

$$V_{cev} = S \times l \quad (l = 1m) \quad \text{Enačba 26}$$

Izračun sil vzgona in teže zemljine ter njuna primerjava:

$$F_v = \rho_{vod} g V_{cev} \quad \text{Enačba 27}$$

$$F_g = (\rho_{zem} - \rho_{vod}) g V_{zem} \quad \text{Enačba 28}$$

ρ_{zem} in ρ_{vod} sta gostoti zemljine in vode. Da se račun izide, morata F_v in F_g ustrezati pogoju $F_v < F_g$. Če je temu pogoju zadoščeno, cevovoda ni potrebno dodatno sidrati zaradi vzgona.

2.3.4 Izbira turbine in generatorja

Elektromehanska oprema, ki jo predstavljajo turbine in generatorji, je središče hidroelektrarne, saj se v elektromehanski opremi proizvaja elektrika. Turbine odvezajo energijo vodi in ženejo generatorje, ki proizvajajo elektriko. Lahko so povezane direktno ali pa preko multiplikatorja, ki poveča obrate, s katerimi deluje turbina, na obrate standardnih alternatorjev. Multiplikatorje se uporablja predvsem pri HE z nižjim padcem (ESHA, 2004).

Turbine pretvarjajo potencialno energijo vode v mehansko energijo, ki poganja električni generator. To se lahko počne na dva različna načina, na podlagi katerih delimo turbine na impulzne, ki potencialno energijo vode (vodni tlak) pretvorijo v kinetično energijo s pomočjo šob, ki ustvarijo curke z veliko hitrostjo, ti pa ženejo lopatice turbine, ter reakcijske turbine, ki direktno uporabljajo potencialno energijo vode.

Ne glede na tip turbine je enačba za njeno instalirano moč enaka:

$$N_{HE} = \eta_{HE} \rho g Q h_n \quad \text{Enačba 29}$$

kjer so: η_{HE} koeficient izkoristka hidroelektrarne

$\rho g Q$ sekundna masa

h_n neto energijski potencial (Enačba 10)

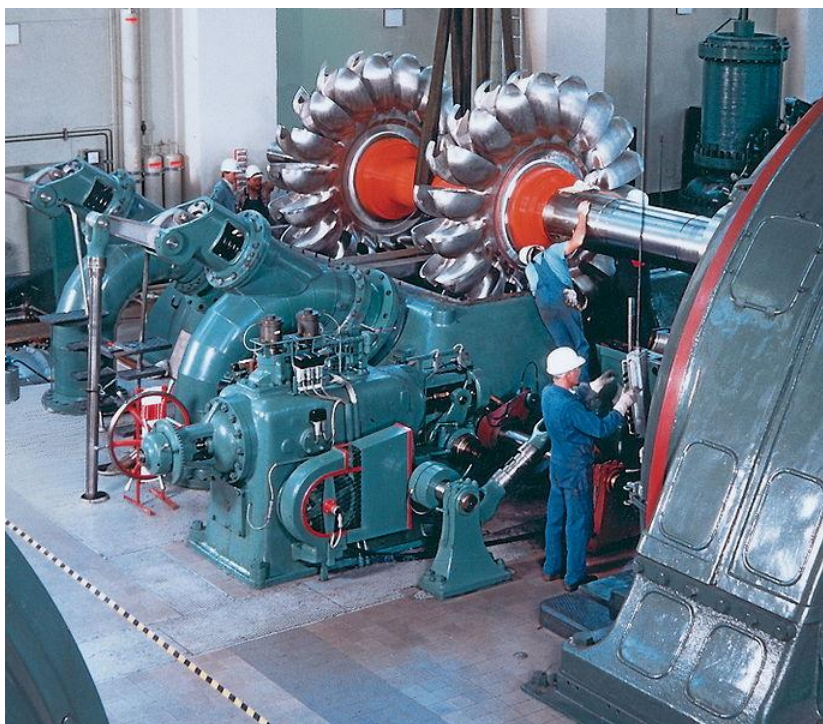
Koeficient η_{HE} predstavlja obseg vseh nepovratnih energijskih pretvorb znotraj naprave in jih upoštevamo skupaj. Na ta način ni potrebno posebej upoštevati učinkovitosti energijskih pretvorb zaradi vseh vplivov v napravi, ampak upoštevamo s strani proizvajalca deklarirani

skupni izkoristek naprave. Če je proizvajalec elektromehanske opreme več, pa kot skupni koeficient izkoristka upoštevamo zmnožek posameznih izkoristkov (Steinman, 1999):

$$\eta_{HE} = \prod_i \eta_i$$

Enačba 30

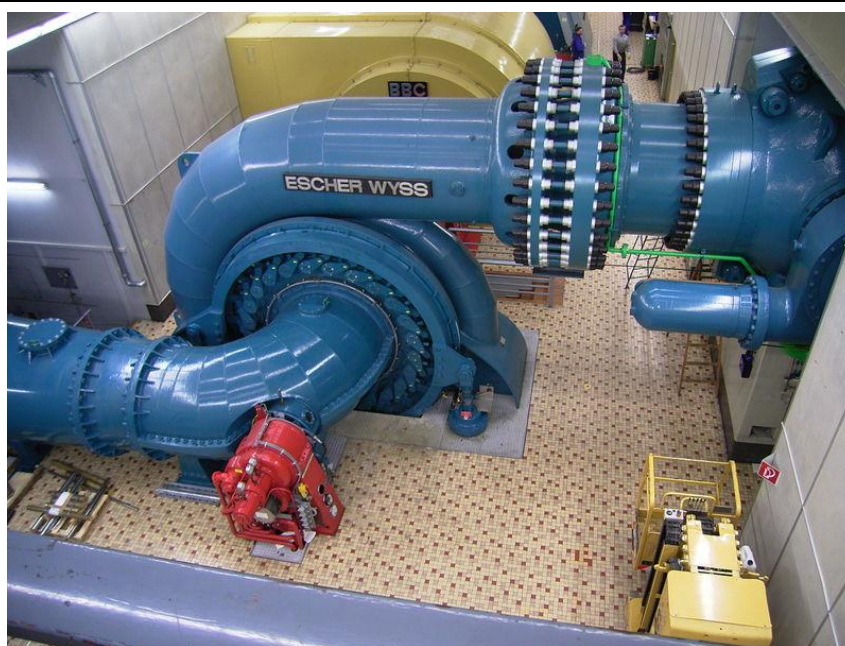
Impulzne turbine se uporabljajo pri hidroelektrarnah z visokim padcem, ker za delovanje potrebujejo veliko hitrost vodnega curka. Najbolj učinkovita vrsta impulzne turbine je Peltonova turbina, ki jo je v sedemdesetih letih 19. stoletja izumil ameriški izumitelj Lester Allan Pelton (Wikipedia, 2010). Deluje v območju hidravličnega padca 60-2000 m. Na lopatice turbine vodo dovajajo šobe, ki pospešijo curek. Šob je lahko do šest. Pri napravah z eno ali dvema šobama je lahko os turbine vodoravna ali navpična, pri napravah z večjim številom šob pa je os turbine navpična. Ker turbina za pogon uporablja kinetično energijo vode, so lopatice oblikovane tako, da je izstopna hitrost vode čim manjša. Velikosti Peltonovih turbin segajo od zelo majhnih, velikih le nekaj centimetrov, do velikih naprav instaliranih moči do okoli 200 MW (ESHA, 2004).



Vgradnja Peltonove turbine v HE Walchensee. (Wikipedia, Voith-Siemens, Deutschland)
Assembly of a Pelton turbine in Walchensee Power Plant. (Wikipedia, Voith-Siemens, Deutschland)

Glavna predstavnika reakcijskih turbin sta Francisova in Kaplanova turbina. Delujeta na principu izrabe potencialne energije vode, t.j. vodni tok ustvarja tlak na lopatice turbine, ki se zmanjšuje, ko voda potuje skozi turbino in tako odda energijo, ki žene turbinsko gred. Francisove turbine je leta 1848 razvil James B. Francis, ki je z znanstvenimi metodami izboljšal učinkovitost obstoječih reakcijskih turbin (Wikipedia, 2010).

Dotok vode na Francisove turbine je vedno obodni, odtok pa osni. Francisove turbine lahko imajo navpično ali vodoravno os, kar je običajno pri mHE. Lopatice Francisovih turbin so fiksne, pretok na njih se regulira z nastavljivimi loputami na obodu turbine. Lopute poleg količine vode, ki priteka na lopatice, regulirajo tudi vpadni kot vodnega curka, da se ohranja čim večji izkoristek, ko so pretoki manjši od instaliranega. Lahko se popolnoma zaprejo, vendar ne nadomestijo uporabe ventila na dovodni cevi. Dovod vode na turbino je izveden v obliki spirale, da se ohranja tangenta hitrost vode v dovodni cevi, ko se količina vode zmanjšuje.

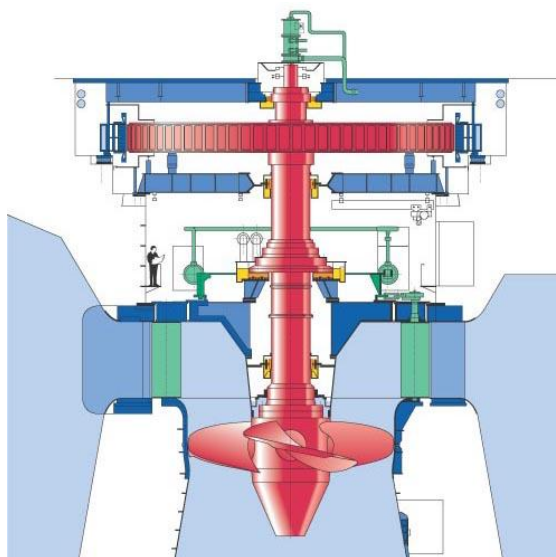


Francisova turbina z vodoravno osjo v HE Schluchseewerk Säcking (Wikipedia, 2010)
Horizontal axis Francis turbine in Schluchseewerk Säcking power plant (Wikipedia, 2010)

Sesalna cev odvaja vodo iz turbine in je pomembna, ker prestreza kinetično energijo, ki jo ima voda, ko odteče iz turbine, tako da zmanjšuje njeno hitrost. Učinkovita sesalna cev je

stožčaste oblike, vendar kot razširitve ne sme biti prevelik, da ne nastopi odlepljanje tokovnic. Optimalni kot razširitve je 7° , vendar se zaradi zmanjševanja dolžine sesalne cevi, in tako tudi njene cene, včasih uporablja kot 15° . Francisove turbine se uporabljajo za HE s srednjimi padci 20 do 350 m (ESHA, 2004).

Kaplanovo turbino je razvil avstrijski profesor Viktor Kaplan leta 1913; prva demonstracijska turbina je bila postavljena leta 1919 v Poděbradyju, v takratni Čehoslovaški (Wikipedia, 2010). Os Kaplanove turbine je vzporedna s tokom vode. Kaplanove turbine so bile razvite za delovanje na sistemih, ki imajo majhen padec, a večji pretok. Tako se uporabljajo pri padcih 2 do 40 m. Kaplanove turbine lahko delujejo optimalno pri zelo velikem razponu pretokov glede na instalirani pretok Q_{inst} . Sistem, ki omogoča največji razpon, je t.i. dvojno regulirani, pri katerem so nastavljive lopatice turbine in lopute za dovod in omogoča razpon pretokov 15-100% Q_{inst} . Manj fleksibilen je sistem, kjer so nastavljive samo lopatice turbine, t.i. enojno reguliran. Omogoča razpon pretokov 30-100% Q_{inst} . Če so lopute in lopatice fiksne, se turbina imenuje propellerska in potrebuje skoraj konstanten pretok. Zaradi tega se zelo redko uporabljajo v malih hidroelektrarnah. Kaplanove turbine imajo veliko konfiguracij, ki so opisane v literaturi (ESHA, 2004).



Prerez Kaplanove turbine z vertikalno osjo v HE Yacyretá, Argentina (Wikipedia, 2010, Voith-Siemens, Deutschland)

Cross section of vertical axis Kaplan turbine in Yacyretá power plant, Argentina (Wikipedia, 2010, Voith-Siemens, Deutschland)

Izbira vrste turbine je odvisna od razpoložljivega neto hidravličnega padca ter količine in razpona pretoka. Vsaka vrsta turbine ima območje pretokov in padcev, pri katerih deluje z zadovoljivim izkoristkom. Zanesljiv kriterij za določanje tipa turbine je specifična hitrost. Določena je na podlagi modelnih raziskav in povezav geometrijske hidravlične podobnosti modela in naprave polne velikosti. Pravila hidravlične podobnosti so definirana v IEC (mednarodna elektrotehniška komisija) standardih 60193 in 60041. Specifična hitrost je definirana kot:

$$n_{QE} = \frac{n\sqrt{Q}}{E^{3/4}}$$

Enačba 31

kjer je: n ... vrtilna hitrost turbine [obr/s]

Q ... instaliran pretok skozi turbino [m^3/s]

E ... specifična energija turbine ($E = gh_n$) [J/kg]

Specifična hitrost je zanesljiv indikator izbire vrste turbine in začetnih približkov njene dimenzije in osnovni parameter, na podlagi katerega se izbira večina ostalih lastnosti turbine (USBR, 1976). Spodnja preglednica prikazuje območja specifičnih hitrosti v katerih delujejo posamezne vrste turbin.

Območja specifičnih hitrosti turbin (ESHA, 2004)	
Specific speed ranges of turbines (HSHA, 2004)	
Pelton 1 šoba	$0.005 \leq n_{QE} \leq 0.025$
Pelton n šob	$0.005n^{0.5} \leq n_{QE} \leq 0.025n^{0.5}$
Francis	$0.05 \leq n_{QE} \leq 0.33$
Kaplan (vse konfiguracije)	$0.19 \leq n_{QE} \leq 1.55$

Ostali kriteriji za izbiro turbine so: neto energijska višina za turbino, razpon pretoka skozi turbino, obratovalna hitrost, problemi s kavitacijo in cena.

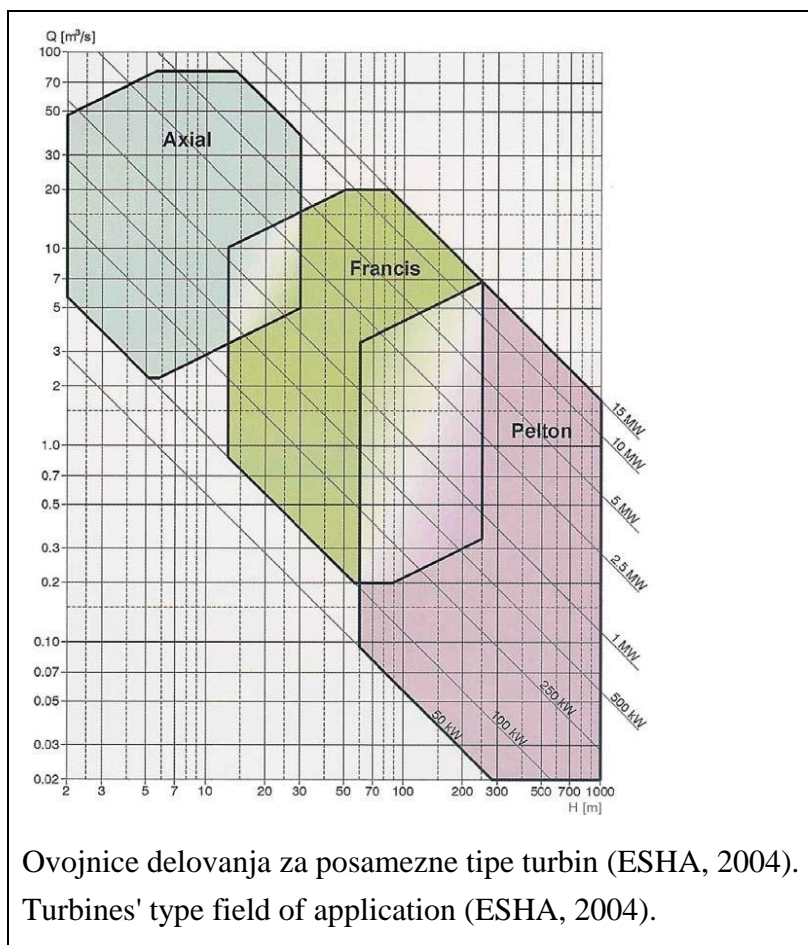
Neto energijska višina določa predvsem, ali bo turbina impulzna ali reakcijska. Visok padec pomeni impulzno turbino, nizek pa reakcijsko, kot je prikazano v spodnji preglednici.

Območje delovanja turbin v odvisnosti od h_n (ESHA, 2004)

Range of heads h_n (ESHA, 2004)

Tip turbine	Neto energijska višina
Kaplan	$2 < h_n < 40$
Francis	$25 < h_n < 350$
Pelton	$50 < h_n < 2000$

Razpon pretoka skozi turbino se določi na podlagi krivulje trajanja, ki jo določimo s hidrološko analizo. Ko določimo krivuljo trajanja, vidimo, kako velik je razpon in koliko dni na leto elektrarna sploh ne more obratovati. Razpon pretokov in razpoložljiv hidravlični padec skupaj definirata ovojnice delovanja posameznih tipov turbin (slika spodaj).



Če uporabljajo sinhroni generator, je število obratov turbine odvisno od števila polov in je podano z enačbo:

$$n = \frac{120 \times \text{frekvenca}}{\text{št. polov}} \quad \text{Enačba 32}$$

Ker se v Sloveniji uporablja omrežna frekvenca 50Hz, lahko zgornjo enačbo zapišemo kot:

$$n = \frac{120 \times 50}{\text{št. polov}} \quad \text{Enačba 33}$$

in rezultate tabeliramo za število polov, ki je deljivo s štiri, kar je priporočena konfiguracija, in pa nekaj frekvenc, deljivih z dve, ki so tudi še sprejemljiva konfiguracija (USBR, 1976). Vrednosti v spodnji preglednici so izračunane po zgornji enačbi.

Preglednica 3: Tabelirane frekvence za sinhronizirani generator pri 50Hz.

Table 3: Generator synchronization speed at 50Hz

št. polov	Frekvenca [min^{-1}]
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
12	500
16	375
0	300

Pobežna hitrost turbine je frekvenca n_{max} , s katero se turbina zavrti, ko pri polnem pretoku izpade obremenitev, t.j. generator se zavrti v prazno, ker ni porabe. Odvisna je od tipa turbine in je pomembna, ker je večja od obratovalne frekvence, in morata biti generator in pogonski sklop dimenzionirana tako, da so jo sposobna prenesti. V spodnji preglednici so prikazane pobežne hitrosti za različne tipe turbin (ESHA, 2004).

Tip turbine	Pobežna hitrost n_{max}/n
Pelton	1.8-1.9
Francis	1.6-2.2
Kaplan enojno reguliran	2.0-2.6
Kaplan dvojno reguliran	2.8-3.2

Problem kavitacije se pojavi, če v sistemu pade tlak na pod parni tlak vode. V takšnih pogojih pride do hitrega izparevanja in utekočinjanja vode, kar resno poškoduje mehansko opremo (lopatice, os turbine). Kavitacijo karakterizira kavitacijski koeficient σ (Thomov koeficient) in je definiran kot:

$$\sigma = \frac{\frac{P_{atm} - P_v}{\rho} + \frac{V^2}{2} - gH_s}{gh_n} \quad \text{Enačba 34}$$

Števec ulomka predstavlja neto energijo sesalnega kanala in :

P_{atm} ... atmosferski tlak [Pa]

P_v ... parni tlak vode [Pa]

ρ ... gostota vode [kg/m^3]

V ... povprečna iztočna hitrost [m/s]

H_s ... energijski padec v sesalnem cevovodu [m]

h_n ... neto padec na turbini [m]

Iz zgornje enačbe lahko izrazimo H_s , ki je merilo za višinsko postavitev lopatic turbine glede na višinsko koto iztoka:

$$H_s = \frac{P_{atm} - P_v}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} - \sigma h_n \quad \text{Enačba 35}$$

Če je $H_s > 0$ je lahko turbina locirana višje od iztoka, če pa je $H_s < 0$ pa mora biti turbina nižje od iztoka v vodotok in je zaradi tega potrebna globlja gradbena jama.

Thomov koeficient σ je navadno določen z modelnimi poizkusi, vendar pa obstajajo statistične analize obstoječih turbin, iz katerih so bile dobljene empirične formule, ki omogočajo račun začetnega približka v odvisnosti od specifične hitrosti (ESHA, 2004):

$$\text{Francis} \quad \sigma = 1.2715n_{QE}^{1.41} + \frac{V^2}{2gh_n} \quad \text{Enačba 36}$$

$$\text{Kaplan} \quad \sigma = 1.5241n_{QE}^{1.46} + \frac{V^2}{2gh_n} \quad \text{Enačba 37}$$

Zasnova turbine in izbira generatorja je kompleksen in iterativen proces, ki ga opravi projektant strojnih instalacij v sodelovanju s projektantom elektrotehnike. Zaradi tega se bom osredotočil na začetne približke za tip in dimenzije turbine.

Ko določimo tip turbine lahko, s pomočjo specifične hitrosti določimo začetni približek dimenzije turbine. To lahko naredimo na podlagi statističnih raziskav velikega števila obstoječih turbin, ki so jih izvedli de Siervo et de Leva ter Lugaresi et Massa. To so samo začetni približki, ker so to statistično pridobljene povprečne vrednosti (ESHA, 2004). Predstavljene so enačbe za tri tipe turbin: Peltonovo, Francisovo in Kaplanovo turbino.

Za Peltonovo turbino so na voljo enačbe za premer kroga, ki ga opišejo zunanji robovi lopatic D_1 , širino lopatice B_2 in premer posamezne šobe D_e .

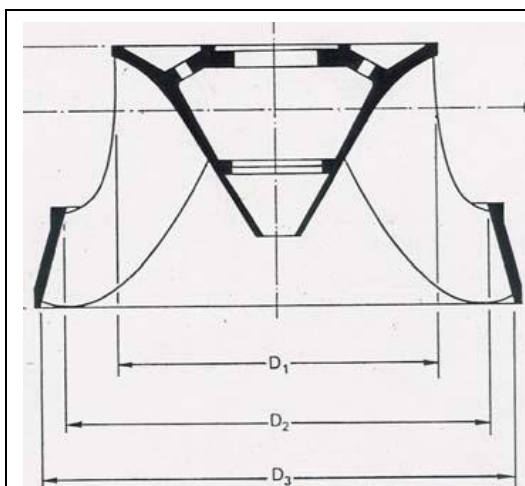
$$D_1 = 0.68 \frac{\sqrt{h_n}}{n} \quad \text{Enačba 38}$$

$$B_2 = 1.68 \sqrt{\frac{Q}{n_{\text{šob}} \sqrt{h_n}}} \quad \text{Enačba 39}$$

$$D_e = 1.178 \sqrt{\frac{Q}{n_{\text{šob}} \sqrt{gh_n}}} \quad \text{Enačba 40}$$

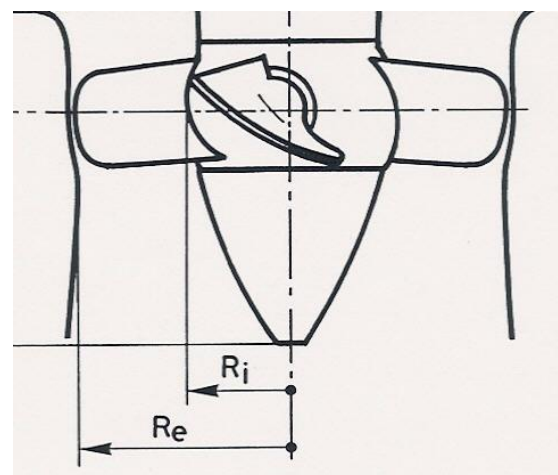
V enačbah so n frekvenca turbine v obr/s in $n_{\text{šob}}$ število šob, ki dovajajo vodo na turbino.

Za Francisovo turbino je potrebno določiti dimenzije vtoka in iztoka iz turbine, kot je shematsko prikazano na spodnji sliki.



Shematski prikaz prereza Francisove turbine (ESHA, 2004)

Sketch of a Francis turbine runner cross section (ESHA, 2004)



Shematsko prikaz prereza Kaplanove turbine (ESHA, 2004)

Sketch of a Kaplan turbine cross section (ESHA, 2004)

Premer iztoka D_3

$$D_3 = 84.5(0.31 + 2.488n_{QE}) \frac{\sqrt{h_n}}{60n} \quad \text{Enačba 41}$$

Premera vtoka sta D_1 in D_2 . Če je specifična hitrost $n_{QE} < 0.164$ lahko privzamemo, da je $D_1 = D_2$.

$$D_1 = \left(0.4 + \frac{0.095}{n_{QE}}\right) D_3 \quad \text{Enačba 42}$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0.96 + 0.3781n_{QE}} \quad \text{Enačba 43}$$

Za Kaplanovo turbino pa so podane enačbe za začetno oceno zunanjšega oboda lopatic D_e in premera osi turbine D_i , kot je razvidno iz slike zgoraj.

$$D_e = 84.5(0.79 + 1.602n_{QE}) \frac{\sqrt{h_n}}{60n} \quad \text{Enačba 44}$$

$$D_i = \left(0.25 + \frac{0.0951}{n_{QE}}\right) D_e \quad \text{Enačba 45}$$

Zaradi specifičnosti lokacije in lastnosti vsake hidroelektrarne je, kljub enaki zahtevani rotacijski hitrosti, zaradi zelo različnih lastnosti pretoka in padca redko možno uporabiti enake naprave na dveh različnih lokacijah (USBR, 1976).

Učinkovitost turbine (izkoristek) pomeni lastnost turbine, da s čim manjšimi izgubami pretvori potencialno energijo vode v mehansko energijo. Meri se v procentih neto energijskega potenciala vode na turbini h_n (razmerje mehanske moči turbine in moči vode pri padcu h_n):

$$\eta = \frac{P_{meh}}{P_v}$$

Enačba 46

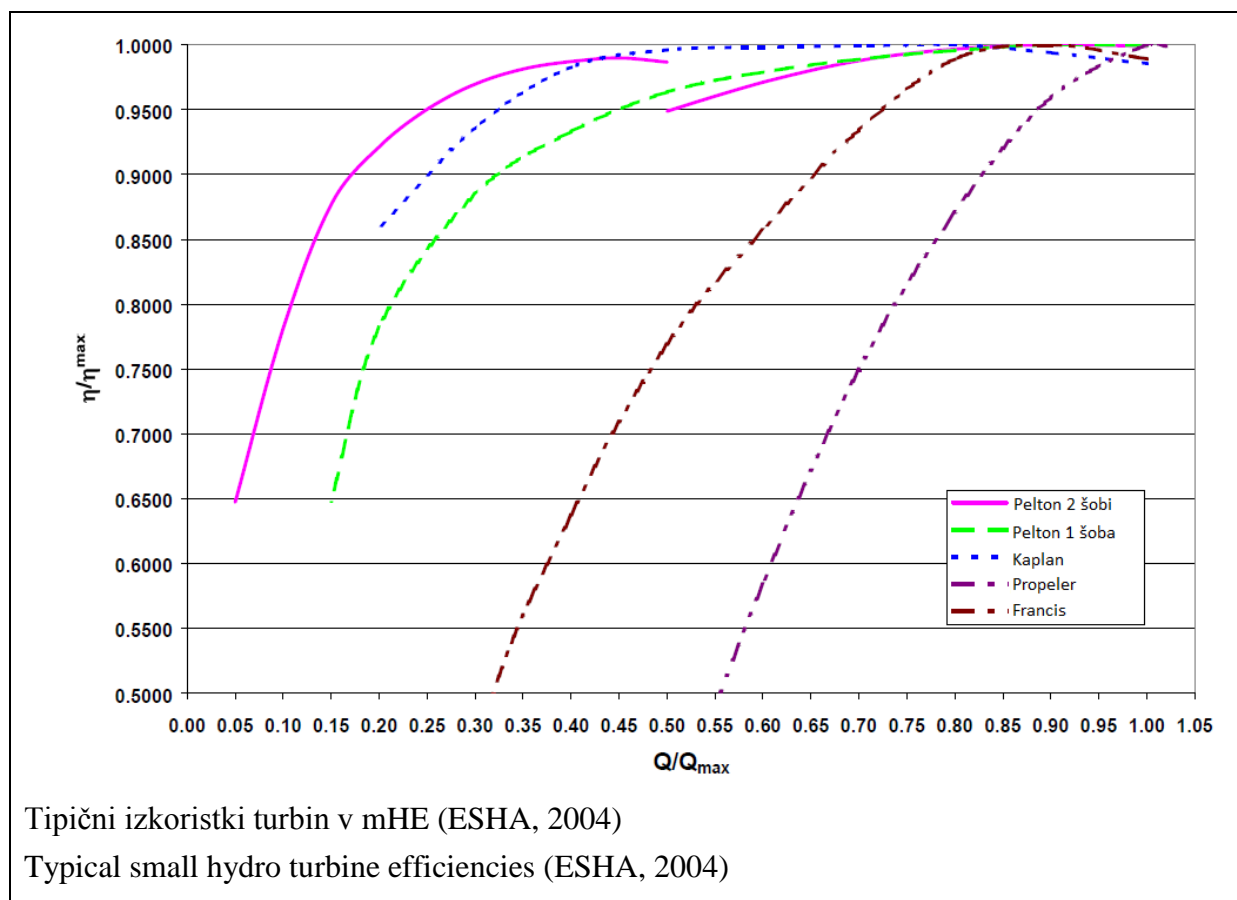
Maksimalni izkoristek je odvisen od tipa turbine:

Tip turbine	Maksimalni izkoristek η_{max}
Kaplan enojno reguliran	0.91
Kaplan dvojno reguliran	0.93
Francis	0.94
Pelton n šob	0.9
Pelton 1 šoba	0.89

Maksimalni izkoristki tipov turbin (ESHA, 2004)

Best efficiency of turbine types (ESHA, 2004)

Poleg maksimalnega izkoristka pa je pomemben tudi izkoristek v odvisnosti od razmerja med instaliranim in dejanskim pretokom (slika spodaj).



Dvojnó regulirane Kaplanove in Peltonove turbine lahko delujejo na relativno velikem razponu pretokov; od petine instaliranega pretoka, Francisove pa imajo sprejemljiv izkoristek približno od polovice instaliranega pretoka. Pod 40% Q_{inst} pa se pojavljajo nestabilnosti, ki povzročajo vibracije in so lahko vzrok mehanskih okvar (ESHA, 2004).

2.4 Analiza okoljskih vplivov

Gradnja mHE je v osnovi namenjena zmanjšanju negativnega delovanja človeka na okolje, saj le-te pridobivajo energijo iz obnovljivega vira energije. Kljub temu pa je gradnja mHE, kot vsaka gradnja, povezana z obremenitvami okolja. Male hidroelektrarne v globalnem smislu veliko prispevajo k uresničevanju programov za zmanjšanje emisij CO_2 v ozračje, lokalno pa lahko imajo velik, tudi negativen, vpliv na izkoriščen vodotok in njegovo okolico.

2.4.1 Začasni in obratovalni vplivi

Okoljski vplivi se v grobem delijo na vplive (dogodke) med gradnjo in vplive med obratovanjem mHE. Vplivi med gradnjo so začasni, vendar lahko bistveno vplivajo na ekosistem v okolici mHE. V tabeli (Priloga C) so prikazani dogodki med gradnjo, stvari in/ali osebe, ki jih gradnja prizadene, vpliv in prioriteta oz. važnost vpliva.

Tabela v Prilogi D prikazuje vplive na okolje med obratovanjem mHE. Ti vplivi so stalni v celotnem načrtovanem obratovalnem obdobju mHE in pogosto tudi po končanju načrtovanega življenjskega obdobja mHE, ker je velikokrat bolj ekonomično obnoviti obstoječ sistem, kot pa ga demontirati in postavljati novega ali urediti okolico vodotoka v stanje, kot je bilo pred začetkom posegov (ExternE, 1995).

Obe preglednici v prilogah sta povzeti iz študije Evropske komisije o virih energije in njihovih vplivih na okolje (ExternE, 1995). Iz poročila so v preglednicah povzeti vplivi relevantni za pričujočo nalogo. Analiza teh vplivov je obdelana v poglavju 4.4 Analiza okoljskih vplivov.

2.4.2 Ekološko sprejemljivi pretok

V hidrološko analizo spada tudi določitev ekološko sprejemljivega pretoka (Q_{ES}) za profil vodotoka pri odvzemu vode. Določitev Q_{ES} določa Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka, Uradni list RS, št. 97/2009 (v nadaljevanju Uredba Q_{ES}). Način določanja Q_{ES} opisan v nadaljevanju je povzet po omenjeni uredbi.

Osnovna kriterija (hidrološki izhodišči) za določitev ekološko sprejemljivega pretoka sta mali srednji pretok (sQ_{np}) na mestu odvzema in srednji pretok (sQ_s) na mestu odvzema. Pridobita se iz podatkov za vodotok, ki jih zbira ARSO. Potrebna je obsežnejša serija podatkov; običajno se uporabi podatke za zadnjih 30 let. Srednji mali pretok je definiran kot aritmetična sredina najnižjih dnevnih pretokov:

$$sQ_s = \sum_{i=1}^N Q_{np,i} / N \quad \text{Enačba 47}$$

kjer je $Q_{np,i}$ najnižji dnevni pretok v vsakem letu in N število let v opazovanem obdobju.

Srednji pretok pa je definiran kot aritmetična sredina srednjih letnih vrednosti pretoka:

$$sQ_s = \sum_{i=1}^N Q_{s,i} / N \quad \text{Enačba 48}$$

in je $Q_{s,i}$ srednji dnevni pretok v vsakem letu in N število let v opazovanem obdobju.

Če serije podatkov za obravnavani vodotok ni na voljo se izvede ocena zgoraj opisanih pretokov. Ocena se izvede z izračuni pretokov na podlagi razmerij pretoka in prispevnih površin obravnavanega vodotoka ter vodotoka, ki ima hidrogeološko in hidromorfološko podobno porečje in je v isti skupini ekoloških tipov vodotokov. V primeru, da pogoji podobnosti niso izpolnjeni je potrebno opraviti simultane hidrometrične meritve podatkov na obravnavanem vodotoku in na bližnjem oziroma hidrološko podobnem vodotoku, za katerega so na razpolago podatki za daljše časovno obdobje. Ocena opisanih hidroloških izhodišč za določitev ekološko sprejemljivega pretoka mora vsebovati njihovo obrazložitev in utemeljitev, kar preveri ARSO.

Ekološko sprejemljivi pretok se na podlagi hidroloških izhodišč določi, s pomočjo f faktorja, ki je določen v Prilogi 1 Uredbe Q_{ES} (Priloga A v tej nalogi), po naslednji enačbi:

$$Q_{ES} = f \cdot sQ_{np}$$

Faktor f je odvisen od velikosti prispevne površine vodotoka do odvzema, tipa odvzema (lahko je nepovraten ali povraten, ki je lahko kratek ali dolg) in ekološkega tipa vodotoka. Ekološki tipi vodotokov so prikazani v Prilogi 2 (Priloga B v tej nalogi) te uredbe in pa na publikacijski karti dostopni na spletnih straneh ministrstva, pristojnega za upravljanje voda.

Ekološko sprejemljivi pretok je mogoče določiti tudi neodvisno od zgornjega postopka z izvedbo študije za določitev ekološko sprejemljivega pretoka, ki jo opravi vlagatelj vloge za

pridobitev vodne pravice. Študijo mora preveriti in potrditi Inštitut za vode Republike Slovenije.

Uredba določa tudi izjeme za določanje ekološko sprejemljivega pretoka, ki veljajo, če mora biti zagotovljen prehod za ribe pri odvzemu za mHE, če je potrebno zvišati proizvodnjo mHE, ali če je v sušnem obdobju nujen odvzem vode za namakanje, oskrbo prebivalstva s pitno vodo ali preprečitev pogina rib v ribogojnicah. Ta količina vode se določi tako, da je na mestu odvzema dovolj vode za prehod rib.

2.5 Umestitev v prostor

2.5.1 Izbira lokacije

Izbira lokacije za mHE je izjemno pomembna, saj je od nje odvisno ali bo imela elektrarna dovolj vode in padca za obratovanje. Zadostnost pretoka lahko ocenimo s preliminarno hidrološko analizo, padec ki je na voljo pa z ogledom terena pri katerem si lahko pomagamo z novjšimi GPS sprejemniki, ki so dovolj majhni za enostavno uporabo in dovolj natančni za preliminarne ocene razpoložljivega padca.

Po odločitvi za lokacijo glede na razpoložljiv pretok in padec je potrebno izvesti še geološko analizo terena. Geološka analiza je predvsem pomembna pri pregradnih sistemih mHE, kjer se mora izvesti geološka analiza za zagotovitev stabilnosti pregrade, hidrogeološka analiza pa zato, da se prepreči pronicanje pod pregrado in destabiliziranje brežin. Članice EU in druge države po svetu imajo izdelane geološke karte, ki so dovolj natančne za prvo oceno stanja izbrane lokacije, vendar pa se morajo ti podatki dopolniti s preiskavami na terenu, z vrtnjem in odvzemom vzorcev (ESHA, 2004).

2.5.2 Določitev lokacije

Prvotna določitev lokacije, za potrebe projektne dokumentacije faze IDZ in IDP, je mogoča z ortofoto posnetki. Ortofoto posnetki so zračni posnetki, ki imajo odpravljene motnje zaradi

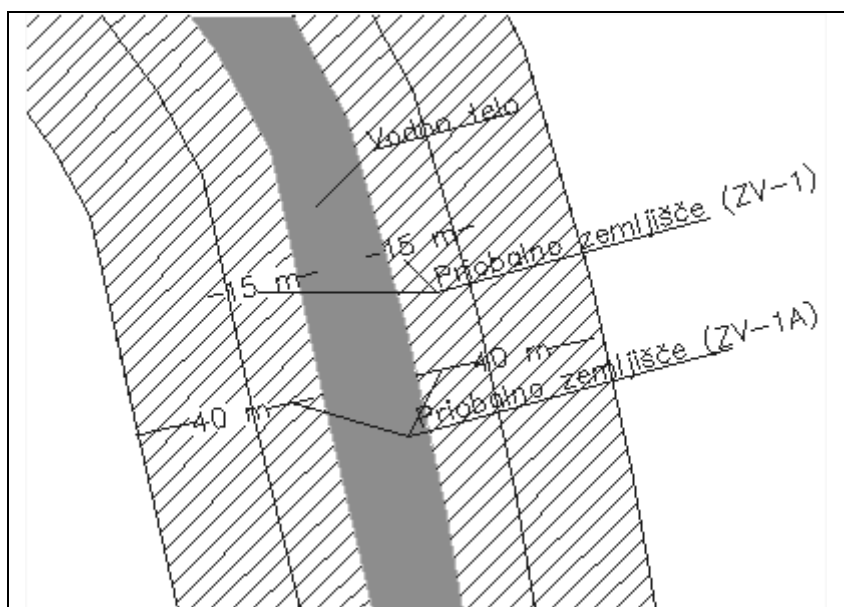
nagiba kamere in neravnosti terena (ESHA, 2004). Navadno se na karto iz ortofoto posnetkov umesti še sloj digitalnega katastrskega načrta (DKN), kjer je razvidno, na katerih parcelah bo stal objekt in na katere parcele bo gradnja vplivala. Na podlagi teh preliminarnih načrtov se pridobi projektne pogoje morebitnih soglasodajalcev v katerih pristojnost posegamo z načrtovano gradnjo.

Natančne načrte z višinskimi kotami zajema, iztoka, gabariti strojnice in natančno geografsko lokacijo elementov sistema (situacija), za potrebe projektne dokumentacije faz PGD in PZI, se naredi na podlagi geodetskega načrta. Geodetski načrt je posnetek terena, ki ga naredi in certificira geometer. Vsebuje višinske kote in geografsko lokacijo, v Gauss-Krügerjevem koordinatnem sistemu, za elemente obstoječega terena in morebitne obstoječe zgradbe.

Poleg situacije se na podlagi geodetskega posnetka izdelata tudi prečne in vzdolžne profile sistema. Vzdolžni profil vsebuje višinski potek tlačnega in sesalnega kanala s kotami vtoka, iztoka in turbine. Shematsko je prikazan tudi lega strojnice, ki je natančno obdelana v načrtu arhitekture.

2.5.3 Območja s pravnimi režimi

Območja s pravnimi režimi so območja, določena s predpisom (RS, LS), ki za vse uporabnike prostora prinaša omejitve, prepovedi in zapovedi. Gradnja mHE je lahko ekološko kočljiva saj posega v območje vodotokov, ki so pomemben in občutljiv habitat. Zaradi tega je pri načrtovanju mHE potrebno upoštevati ali na izbranem območju veljajo območja s posebnimi režimi Priobalni pas (tekočih in stoječih celinskih in morskega) vodnih teles spada med varovana območja. Ravnanje na priobalnem pasu in njegov obseg (15 m pri vodah 1. reda in 5 m pri vodah 2. reda) določajo 11., 12., 13. in 14. člen Zakona o vodah (ZV-1). Dopolni se na podlagi 8. člena Zakona o spremembah in dopolnitvah Zakona o vodah (ZV-1A), ki spremeni 14. člen tako, da se priobalno zemljišče izven naselji razširi na 40 m, vendar se lahko na podlagi 6. odstavka tega člena tudi skrči. Obe širini priobalnega pasu sta prikazani na spodnji sliki.

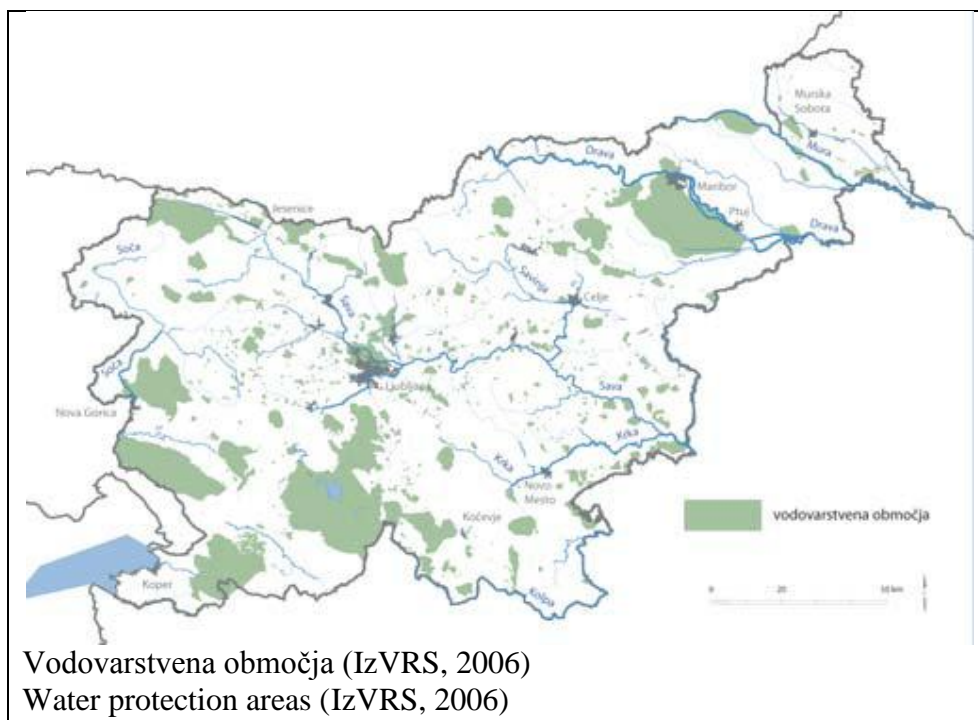


Slika 2.16: Skica širine priobalnega zemljišča

Fig. 2.16: Width of coastal area sketch

Preostala predstavljena območja s pravnimi režimi so povzeta iz brošure IzVRS Izvajanje vodne direktive v Sloveniji

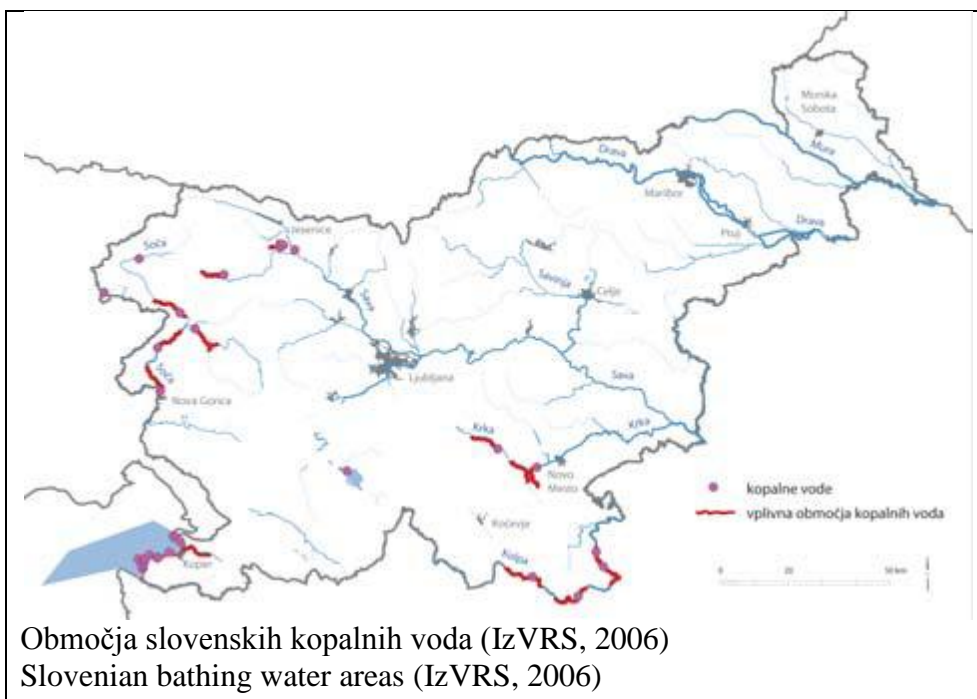
- območja, določena za odvzem vode za oskrbo ljudi (vodovarstvena območja)



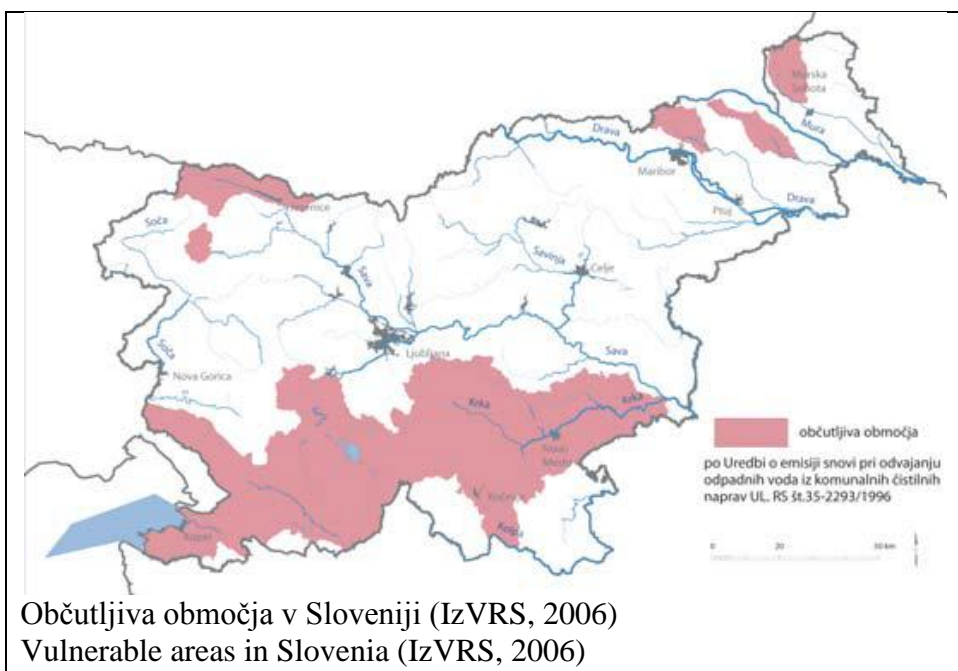
Vodovarstvena območja (IzVRS, 2006)

Water protection areas (IzVRS, 2006)

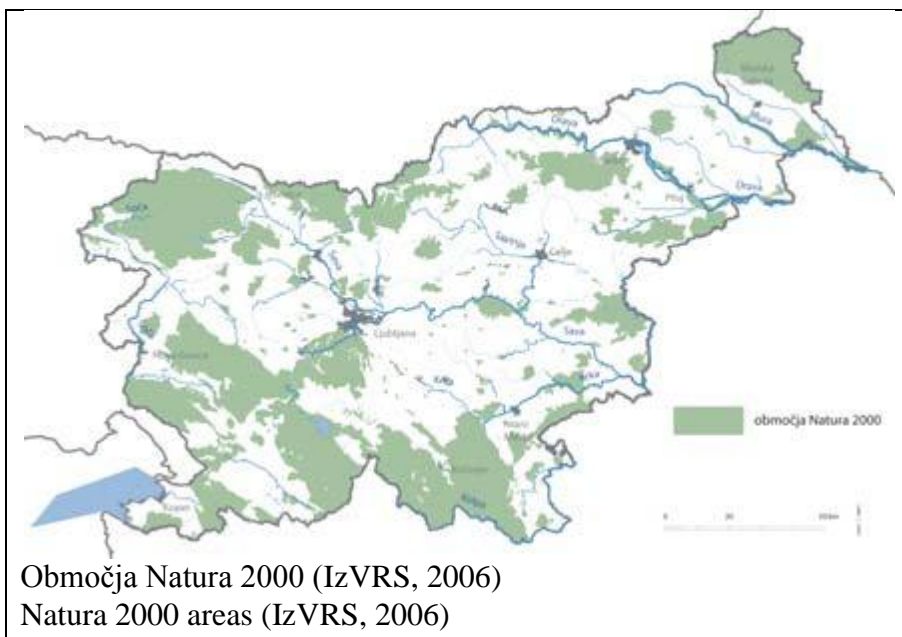
- vodna telesa, določena kot rekreativne vode, vključujoč območja, določena kot kopalne vode



- občutljiva območja, vključujoč območja, določena kot ranljiva območja



- območja, določena za varovanje habitatov (Natura 2000)



2.6 Zakonska podlaga in ekonomski izračun

2.6.1 Dokumenti, ki urejajo področje rabe obnovljivih virov energije

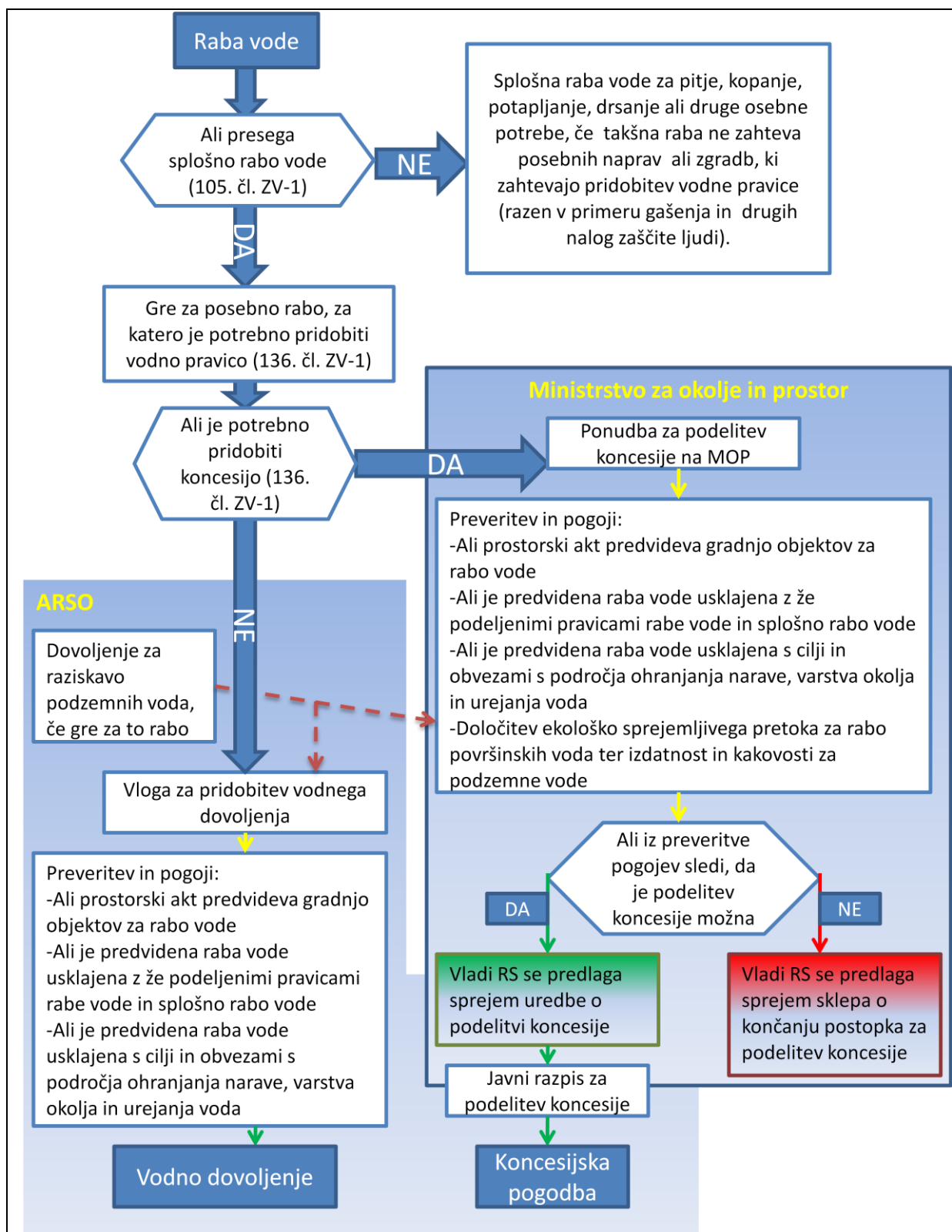
Na nivoju Evropske unije področje rabe OVE ureja direktiva o obnovljivih virih energije: Direktiva 2001/77/EC (RES), ki določa načrte za prehod na OVE za EU kot celoto in za vsako članico posebej, ter njena dopolnilna Direktiva 2009/28/ES. Na nivoju Republike Slovenije pa prihodnjo rabo OVE ureja Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE) in Resolucija o nacionalnem energetskega programu (ReNEP). Cilji in izvajanje teh dokumentov so opisani v poglavju 2.1 Vloga male hidroelektrarne v energetskega sistemu.

2.6.2 Zakonski pogoji za pridobitev dovoljenja za mHE

Podeljevanje koncesije za gospodarsko izkoriščanje vode za območje Tržiške Bistrice ureja Uredba o koncesijah za gospodarsko izkoriščanje vode na posameznih odsekih vodotokov Jezernice in Tržiške Bistrice za proizvodnjo električne energije (Uradni list RS, št. 21/1995), ki jo dopolnjuje Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje (Uradni list RS, št. 23/2004).

Postopek za pridobitev dovoljenja za gospodarsko izkoriščanje vode ureja Zakon o vodah (ZV-1) z dopolnili in spremembami. Postopek je odvisen od načina in količine izkoriščanja vode in se deli na pridobitev vodnega dovoljenja, ki ga podeljuje ARSO, in pridobitev koncesijske pogodbe, ki jo na podlagi javnega razpisa podeljuje vlada RS. Oba postopka sta prikazana na odločitvenem drevesu spodaj.

Koncesija se lahko podeli pravni ali fizični osebi, ki izpolnjuje pogoje, da je pravna oseba registrirana v RS oz. fizična oseba državljan RS in je sposobna za izvajanje dejavnosti. Poleg zgornjih dveh pogojev je koncesionar dolžen zadostiti pogojem o varstvu okolja in ostale pogoje, navedene v uredbi.



Odločitveno drevo za pridobitev vodnega dovoljenja ali koncesijske pogodbe (MOP, Jakin, 2010)

Decision flow chart for water permit or concession contract acquisition (MOP, Jakin, 2010)

2.6.3 Zahteve za projektno dokumentacijo

Zahteve za vsebino in obliko projektne dokumentacije ureja Pravilnik o projektne dokumentaciji (UL RS, št. 66/2004). Projektne dokumentacija določa lokacijske, tehnične, funkcionalne in oblikovne značilnosti predvidene gradnje tako, da ob upoštevanju naročila investitorja, zagotovi skladnost s prostorskimi akti, zanesljivost in evidentiranost. Objekt, zgrajen na podlagi projektne dokumentacije mora izpolnjevati vse bistvene zahteve, določene v Zakonu o graditvi objektov (ZGO-1), ki se nanašajo na obravnavani objekt. Obvezno izpolnjevanje bistvenih zahtev določajo gradbeni predpisi, tehnične smernice, standardi oziroma zadnje stanje gradbene tehnike. Vseh bistvenih zahtev je šest: mehanska odpornost in stabilnost, varnost pred požarom, higienska in zdravstvena zaščita in zaščita okolice, varnost pri uporabi, zaščita pred hrupom, varčevanje z energijo in ohranjanje toplote.

Projekt sestavljajo vodilna mapa, načrti in elaborati. Vodilna mapa vsebuje podatke o gradnji in udeležencih pri graditvi in ostale dokumente, ki so pomembni za ugotavljanje skladnosti projekta s prostorskimi akti, izpolnjevanja bistvenih zahtev in druge podatke pomembne za odločanje v upravnem postopku. Načrti vsebujejo sistematično urejene sestave grafičnih prikazov in opisov, s katerimi se določijo lokacijske, funkcionalne, oblikovne in tehnične značilnosti nameravane gradnje in s pomočjo katerih je mogoče skupaj z drugimi predpisanimi sestavinami dokazati, da bo nameravana gradnja skladna s prostorskimi akti, izpolnjevala bistvene zahteve ter da bodo za objekt, za katerega je to določeno s posebnimi predpisi, zagotovljeni neoviran dostop, vstop in uporaba brez grajenih ovir. Elaborati vsebujejo študije, zasnove, strokovne ocene, geodetske načrte, konservatorske načrte ter druge tehnične dokumente v zvezi z gradnjo, kadar so zaradi posebnosti posamezne vrste objekta ali lokacije, na kateri se objekt gradi, potrebni in jih zahtevajo posebni predpisi, s katerimi se dokazuje izpolnjevanje predpisanih bistvenih zahtev.

Glede na namen uporabe se projektne dokumentacija razvršča na naslednje projekte: idejno zasnovo (IDZ), katere namen je pridobitev projektne pogodbe oziroma soglasij za priključitev pristojnih soglasodajalcev, idejni projekt (IDP), katerega namen je izbor najustreznejše variante nameravanega objekta oziroma načina izvedbe del, ki se izdelajo, če je tako

določeno s posebnimi predpisi ali če to izrecno pisno zahteva investitor, projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja (PGD), katerega namen je pridobitev gradbenega dovoljenja, projekt za izvedbo (PZI), katerega namen je izvedba gradnje, projekt izvedenih del (PID), katerega namen je pridobitev uporabnega dovoljenja.

2.6.4 Podlage za oceno ekonomičnosti in prispevek k izvajanju RES

Količino proizvedene energije ocenimo tako, da iz krivulje trajanja, Q_{ES} in lastnosti sistema ocenimo količino ur v življenjskem obdobju naprave (30 let), v katerih bo lahko obratovala s polno zmogljivostjo, količino ur, ko bo lahko obratovala z zmanjšano zmogljivostjo, in število ur, ko naprava ne bo mogla obratovati zaradi premajhnega pretoka. Uram izpada bom dodal še ocenjen čas, ki je posledica vzdrževanja, popravil in nepričakovanih dogodkov.

Po uredbi, ki ureja koncesijske pogodbe o mHE (UL RS, št. 23/2004), je taksa za koncesijo 3% letne proizvodnje in se računa za vsako leto posebej s podatki o proizvodnji, ki jih mora posredovati koncesionar. Po uredbi (UL RS, št. 98/2008), ki spreminja zgoraj omenjeno uredbo, je taksa za koncesijo od 1. januarja 2009 4.2% letne proizvodnje.

Ceno zagotovljenega odkupa električne energije, proizvedene iz OVE, določa AN OVE. Ceno sestavljata dva dela; prvi je nespremenljivi del, ki velja za celotno trajanje pogodbe o zagotovljenem odkupu, drugi del pa je spremenljivi del, ki se spreminja glede na referenčno ceno goriva, kar pa za hidroelektrarno ni relevantno, ker ne uporablja goriva. Zaradi tega lahko izračun prihodkov mHE od zagotovljenega odkupa izračunamo na podlagi spodnje tabele iz AN.

Cene zagotovljenega odkupa električne energije iz proizvodnih naprav OVE – hidroenergija (AN OVE)

Assured buyout prices for electricity produced from RES – hydroenergy (AN OVE)

Velikostni razred proizvodne naprave	Cena zagotovljenega odkupa [EUR/MWh]
mikro (< 50 kW)	105,47
mala (< 1 MW)	92,61
srednja (do 5 MW)	82,34

Za oceno prispevka k izvajanju RES je primerno predvideno količino energije iz MWh pretovoriti v tone naftnega ekvivalenta (tonne of oil equivalent – toe), saj lahko tako ocenimo koliko izpusta CO₂ bo predvidena mHE prihranila. Tona naftnega ekvivalenta je količina energije, ki se sprosti, če pokurimo 1 tona surove nafte, in je definirana kot 10¹⁰ cal torej 41.868 GJ. Upoštevati je potrebno, da termoelektrarne niso 100% učinkovite, ampak je družba BP njihovo učinkovitost ocenila na 39% (BP, 2010). Tako za izračun prihranka emisij CO₂ 1 toe ustreza 4.4MWh.

3 PRAKTIČNI PRIMER

3.1 Tok Tržiške Bistrice

Tržiška Bistrica je reka v severozahodni Sloveniji. Izvira v Karavankah, med vrhovoma Črna peč in Veliki vrh na nadmorski višini približno 1100 m. Prvih 7.5 km teče v splošnem proti zahodu, nato pa se pri naselju Dolina obrne proti jugu in teče mimo naselji Tržič, Bistrica pri Tržiču, Retnje in Podbrezje. Pri naselju Žeje jo prečkata avtocesta A2 in regionalna cesta Radovljica-Kranj, nato pa se kot levi pritok izliva v Savo. Skupna dolžina je 25 km (Slika 3.1).



3.2 Opis male hidroelektrarne Smuk in obstoječe stanje

Smukov mlin je po nekaterih virih prvi mlin na vodni pogon na Slovenskem. Obstajal naj bi že od leta 1060. Postavljen je bil ob Tržiški Bistrici, kjer je bila s Krišeljnovim jezom izkoriščena ugodna morfologija toka. Na izrazitem desnem zavoju struge je urejen odvzem z bočnim levobrežnim zajemom vode za mlinščico.

Na mlinščici, dolgi približno 1750m, so že zgrajene štiri naprave na vodni pogon. Prvotno sta bili to dve žagi (Krišeljnova, Popovičeva), Mozgajev mlin ter mlin, cvekarna in kovačija Smuk. Te štiri naprave so danes mHE Zupan, Jerala, Terbežnik in Smuk.

Na posestvu Smuk se mlinščica razdeli na dva kanala (Slika 3.2), od katerih je eden gnal kovačnico in cvekarno. Danes je njegov pretok namenjen za uporabo v obstoječi mHE Smuk. Drugi kanal je namenjen odvajanju presežka vode in prosto odteka. Kanala se ponovno zlijeta (Slika 3.3) približno 125 m gorvodno od izliva v Tržiško Bistrico.



Slika 3.2: Razcep mlinščice
Fig. 3.2: Millstream split



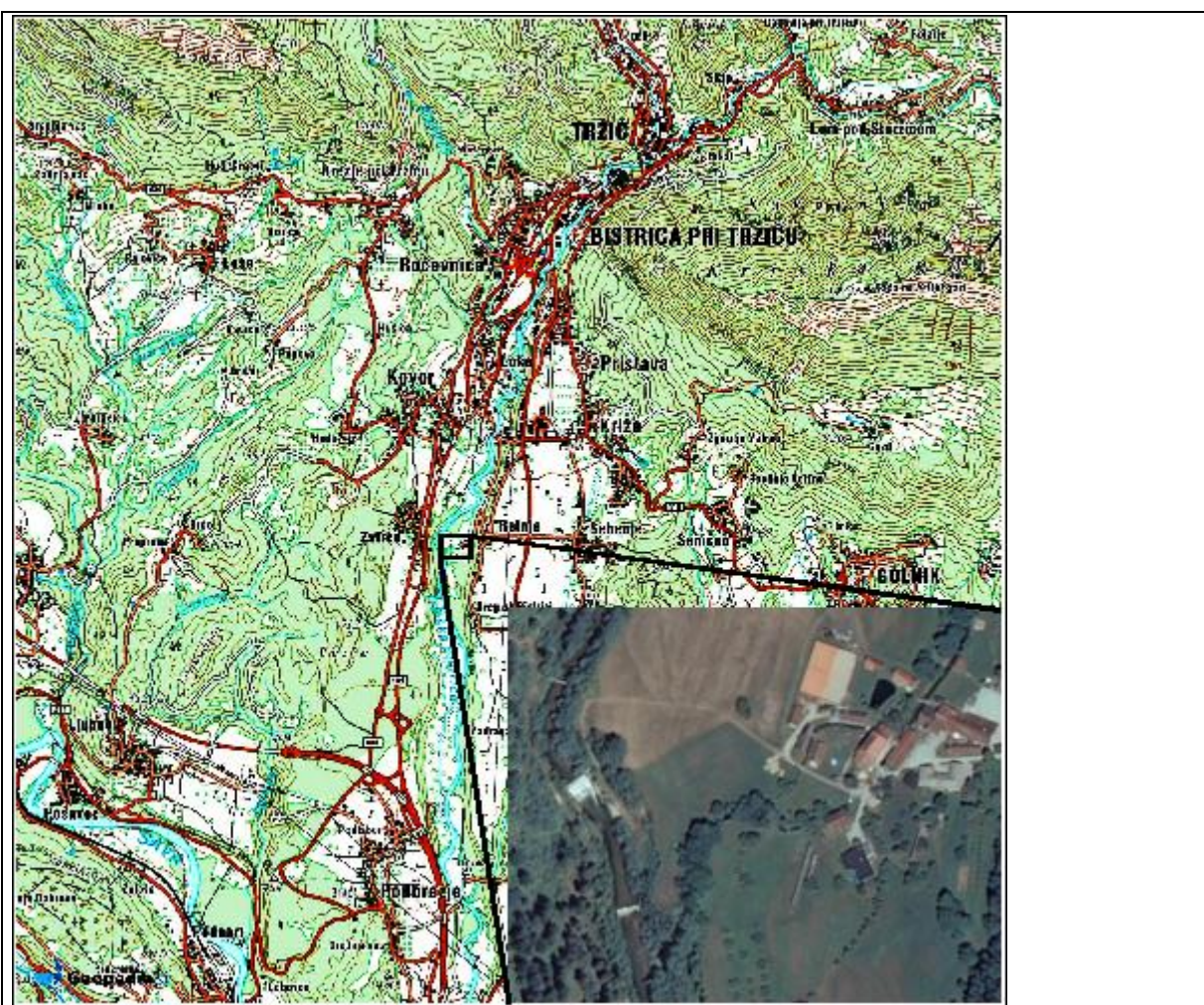
Slika 3.3: Sotočje kanalov
Fig. 3.3: Channel confluence

Obstoječa mHE Smuk ima instalirani dve turbini. Večja ima instalirani pretok $0.913 \text{ m}^3/\text{s}$, manjša pa $0.164 \text{ m}^3/\text{s}$ (PHCE, 2007).

3.3 Lokacija

Makrolokacija obravnavane mHE Smuk je v občini Trzič, južno od Trziča in severno od avtoceste A2, med Kranjem in Radovljico (izvoz 6 - Podtabor), ob Tržiški Bistrici (Slika 3.1).

Mikrolokacijsko se obravnavana mHE nahaja na levem bregu Tržiške Bistrice, med naseljema Zvirče in Retnje, na koncu obstoječe mlinščice ob njenem izlivu nazaj v Tržiško Bistrico (Slika 3.4).



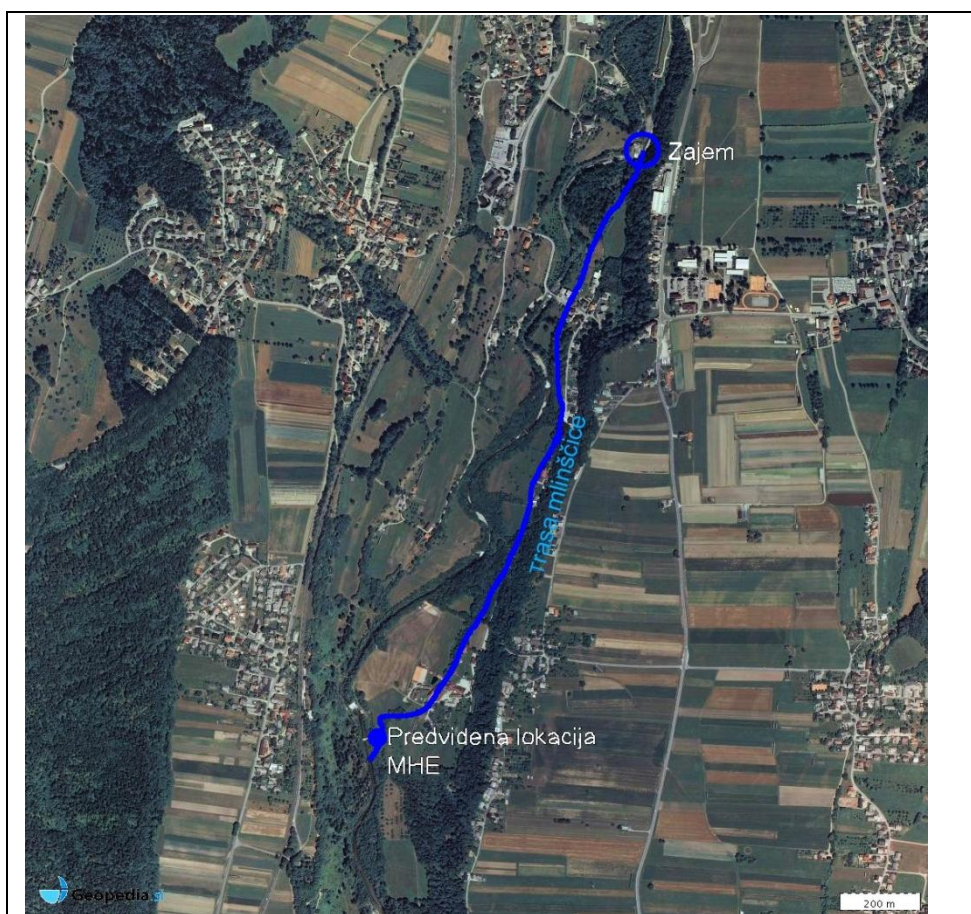
Slika 3.4: Mikrolokacija predvidene mHE

Fig. 3.4: Microlocation of SHP

Zajem mlinščice je na ostrem desnem zavoju Tržiške Bistrice, severno od naselja Retnje (Krišeljnovec jez). Zajem je na njenem levem bregu. Mlinščica poteka od zajema proti jugu ob naselju Retnje. Dolžina je približno 1750 m (Slika 3.5).

3.4 Višinski podatki in trasa mlinščice

Izvir Tržiške Bistrice je na nadmorski višini približno 1100 m. Zajem za mlinščico pri Krišeljnovec jezju je na 467 m n.m., zajem iz mlinščice za novo mHE je na 452.80 m n.m., izpust v Tržiško Bistrico pa po koncesijski pogodbi na 436.60 m nadmorske višine. Kot je že bilo omenjeno so na mlinščici štiri obstoječe mHE, ki vse obratujejo pretočno; uporabniki nimajo dovoljenja odvajati vode iz mlinščice in morajo poskrbeti, da vsa zajeta voda pride do zadnjega uporabnika ter da so nihanja v gladini čim manjša, ne glede na režim delovanja (PHCE, 2007).



Slika 3.5: Trasa mlinščice

Fig. 3.5: Millstream route

3.5 Vhodni podatki

Vhodne podatke potrebuje projektant, da lahko izvede izračune za obdelavo projekta. Vhodne podatke za diplomsko nalogo sem predstavil že v poglavjih 2, 3 in 4, zato bodo tukaj samo povzeti in kratko opisani. V nalogi sem od spodaj opisanih vhodnih podatkov uporabil projektno nalogo (obstoječe stanje, želje investitorja: poglavje 3.2), izvlečke iz koncesijske pogodbe (višinske kote, ekološko sprejemljivi pretok, določen instalirani pretok: poglavje 2.3, 4.3.3). Za te podatke sem se oprl na že pripravljeno projektno dokumentacijo (PHCE, 2007). Topografijo struge Tržiške Bistrice za analizo gladin pri karakterističnih vodotokih (poglavje 4.3.1) sem pridobil tako, da sem kolikor se da natančno premeril tiskan geodetski posnetek in podatke prenesel v program.

3.5.1 Hidrološki podatki

Hidrološke podatke sem pridobil z internetne strani ARSO (poglavje 2.2.1). Hidrološki podatki so bili pridobljeni s spletne strani Agencije RS za okolje, iz spletnega arhiva za Tržiško Bistrico na hidrološki postaji Preska. Postaja Preska je primerna, ker se nahaja približno 1.2 km gorvodno od zajema za mlinščico, in okoli 3 km gorvodno od konca mlinščice in predvidenega iztoka iz mHE, na GPS koordinatah: dolžina: 14.29957014, širina: 46.35787415 (Slika 3.6).



Slika 3.6: Lokacija merilnega mesta Preska
Fig. 3.6: Monitoring station Preska location

Med postajo in izpustom tudi ni dodatnih pritokov v Tržiško Bistrico, zato pretoki v profilu postaje in izpusta niso bistveno drugačni. Postaja je primerna tudi zaradi relativno velikega časovnega razpona podatkov, saj so na voljo podatki o pretoku in vodostaju za vsak dan med leti 1958 in 2007. Vseh podatkov o pretokih je tako 18 262.

3.5.2 Projektna naloga

Projektno nalogo izda investitor glede na želen rezultat investicije. Vsebuje okvirje, v katerih naj projektant izdelava projektno dokumentacijo za obravnavani objekt, ter opis obstoječega stanja. Želja investitorja je ukinitvev obstoječe male hidroelektrarne in postavitve nove, ki bo boljše izkoriščala razpoložljiv pretok mlinščice.

3.5.3 Koncesijska pogodba

V koncesijski pogodbi so navedeni pogoji države in občine, ki jih morata investitor in projektant upoštevati pri načrtovanju in gradnji objekta. V primeru mHE koncesijska pogodba vsebuje tudi določen razpoložljiv padec, ki ga koncesionar lahko izkorišča, ter maksimalni pretok, ki je koncesionarju na voljo. Koncesijska pogodba lahko vsebuje tudi ekološko sprejemljivi pretok, sicer ga je treba določiti v postopku načrtovanja.

3.5.4 Podatki, ki jih pridobi projektant

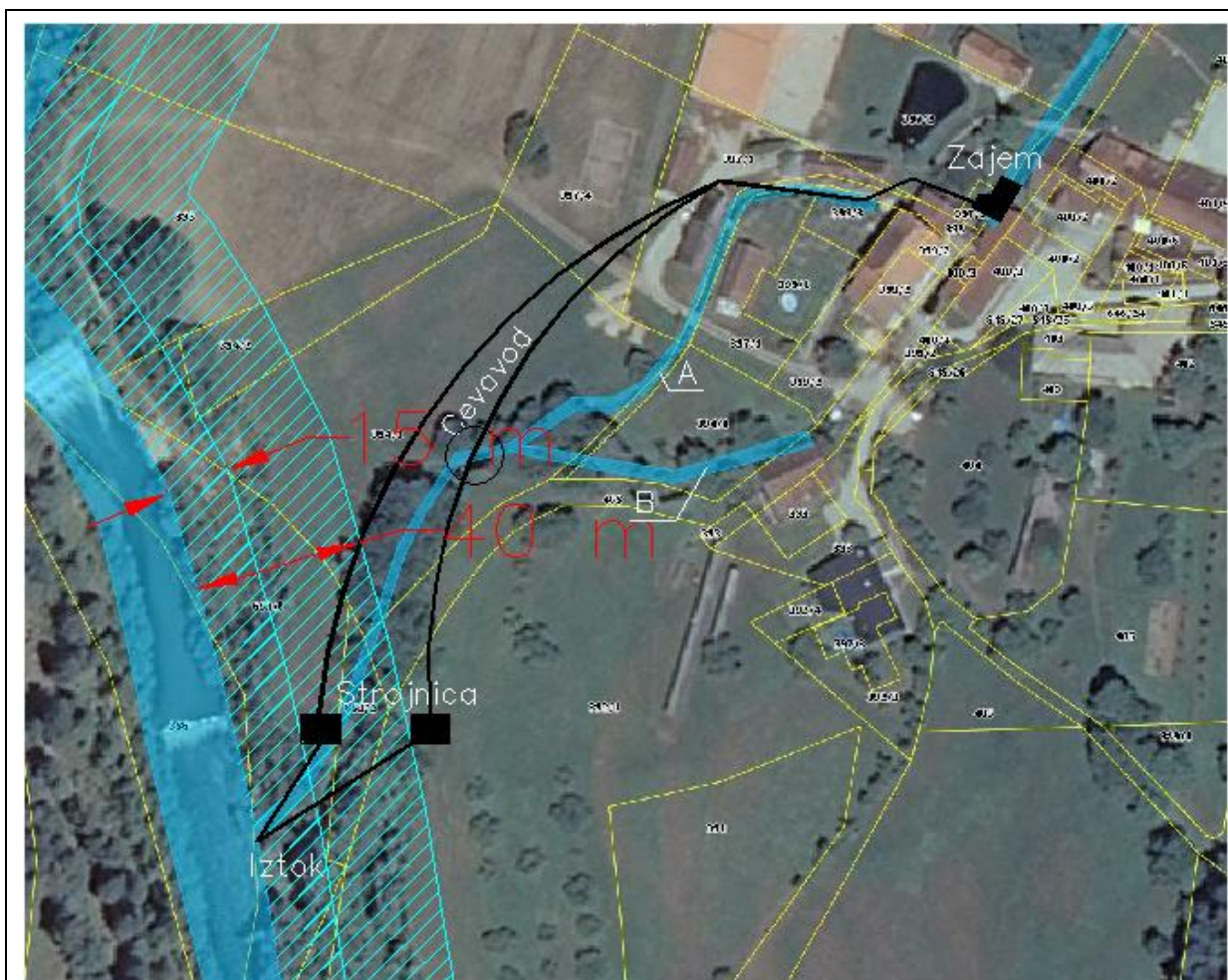
Glavni okvir za projektantsko delo predstavljata zgornja dokumenta, vendar pa mora projektant za izvedbo projekta pridobiti še druge vhodne podatke, in sicer geodetski posnetek obstoječega stanja, ki ga izvede geodet in se na njem narišejo natančni načrti objekta; za okvirno risbo situacije se lahko za podlogo uporabijo ortofoto posnetki, ki so dostopni na internetu. Geodetski posnetek vsebuje višinske podatke o terenu in digitalni katastrski načrt. Hidrološki podatki za obravnavani vodotok se pridobijo od Agencije RS za okolje; z njimi se določijo kritični pretoki in krivulje trajanja. Kot vhodni podatek pa se lahko obravnavajo tudi fotografije obstoječega stanja, ki jih za boljšo predstavo o potrebnosti predlaganih ukrepov, navadno naredi projektant sam.

4 OBDELAVE

4.1 Umestitev v prostor

4.1.1 Določitev lokacije mHE

Lokacija mHE je približna in prikazana na ortofoto posnetku v dveh variantah glede na širino priobalnega zemljišča, prikazanega kot šrafrirano območje (Slika 4.1). Situacija mHE v večjem merilu je prikazana v Prilogi D in Prilogi E. V nalogi sem se osredotočil na hidrološki in hidravlični del načrtovanja mHE, zato nisem pridobil geodetskega posnetka v digitalni obliki, kar je pogoj za izris natančnega načrta prostorske postavitve.



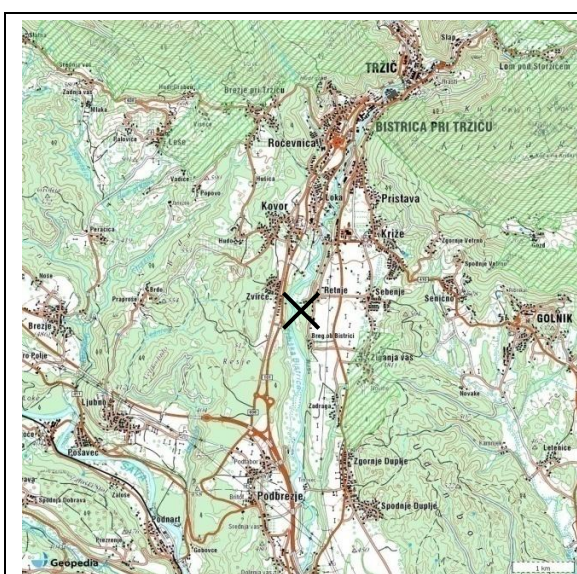
Slika 4.1: Ožje območje mHE

Fig. 4.1: A more detailed area of SHP

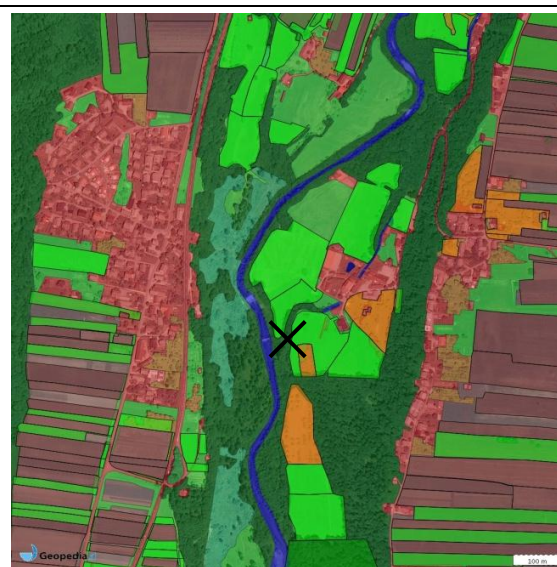
4.1.2 Območja s pravnimi režimi

Območja s pravnimi režimi narekujejo dodatne zahteve pri gradnji in razvoju. To so okoljsko zaščitena območja in zaščitena kmetijska območja. Za obravnavano mHE pridejo v poštev območja Natura 2000 (Slika 4.2), ki je evropsko omrežje varstvenih območij za ohranitev biotske raznovrstnosti; drugi pomemben podatek pa je lokacijska informacija o kmetijski rabi območja (Slika 4.3). Podatke o rabi površine vsebuje Grafična enota rabe kmetijskega gospodarstva (GERK).

Priloga D in E prikazujeta območje prikazano na zgornji sliki v merilu 1:1000. Priloga D prikazuje prvotno zamišljeno postavitev sistema elektrarne, ki je upoštevala takrat veljaven 14. člen Zakona o voda, ki je postavil mejo priobalnega zemljišča na razdaljo 15m ob brega struge. Priloga E pa prikazuje postavitev sistema tako, da ta upošteva 8. člen ZV-1A, ki postavlja mejo priobalnega zemljišča 40 m od brega struge izven naselja. Po 6. odstavku 8. člena ZV-1A se pa 40 m lahko ob izpolnjenih pogojih tudi skrči, kljub temu pa sem preučil kakšen vpliv ima 40 m pas na umestitev mHE, predvsem strojnice. Strojnica pod temi pogoji pade na parcelo 392/1, ki pa lastniško ni problematična. Nekoliko se podaljša iztočni cevovod, malo pa skrajša dovodni. Hidravlični sistem se ne spremeni bistveno, saj lahko višinske kote strojnice, in s tem turbine, ostanejo enake. Obdelati pa je potrebno križanje tlačnega cevovoda s kanalom za odvod presežne vode. V obeh primerih se struga, ki je v



Slika 4.2: Območje Natura 2000
Fig. 4.2: Natura 2000 area



Slika 4.3: GERK
Fig. 4.3: GERK

prilogah in na sliki (Slika 4.1) označena z A ukine in nadomesti s tlačnim cevovodom, struga označena z B pa se ohrani in se uporabi za odvod viška vode iz zajema v tlačni cevovod.

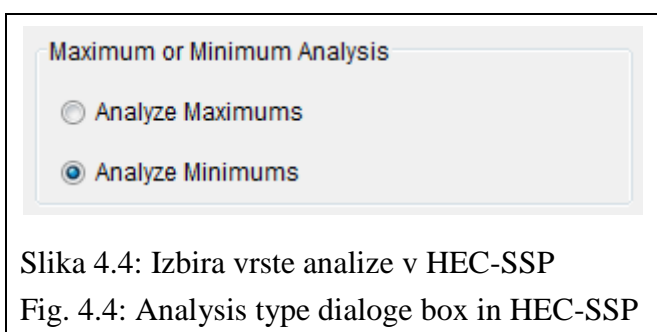
Na sliki (Slika 4.2) območja Natura 2000 predstavlja zelena črtasta šrafura, predvideno lokacijo mHE pa X; tako lahko ugotovimo, da predvidena gradnja ne pade v območje Nature 2000. Slika 4.3 pa prikazuje rabo tal po GERK-u, kjer pomeni svetlozelena barva trajni travnik. Na tej parceli je predvidena strojnica mHE, zato bi bilo treba spremeniti namembnost zemljišča pred začetkom izvajanja projekta. V Prilogah G in H je prikaz situacije mHE na ortofoto posnetku z vrisanim priobalnim zemljiščem, širine 15 m na Prilogi F in 40 m na Prilogi G, kot je določeno v ZV-1 in ZV-1A.

4.2 Obdelava podatkov o pretokih

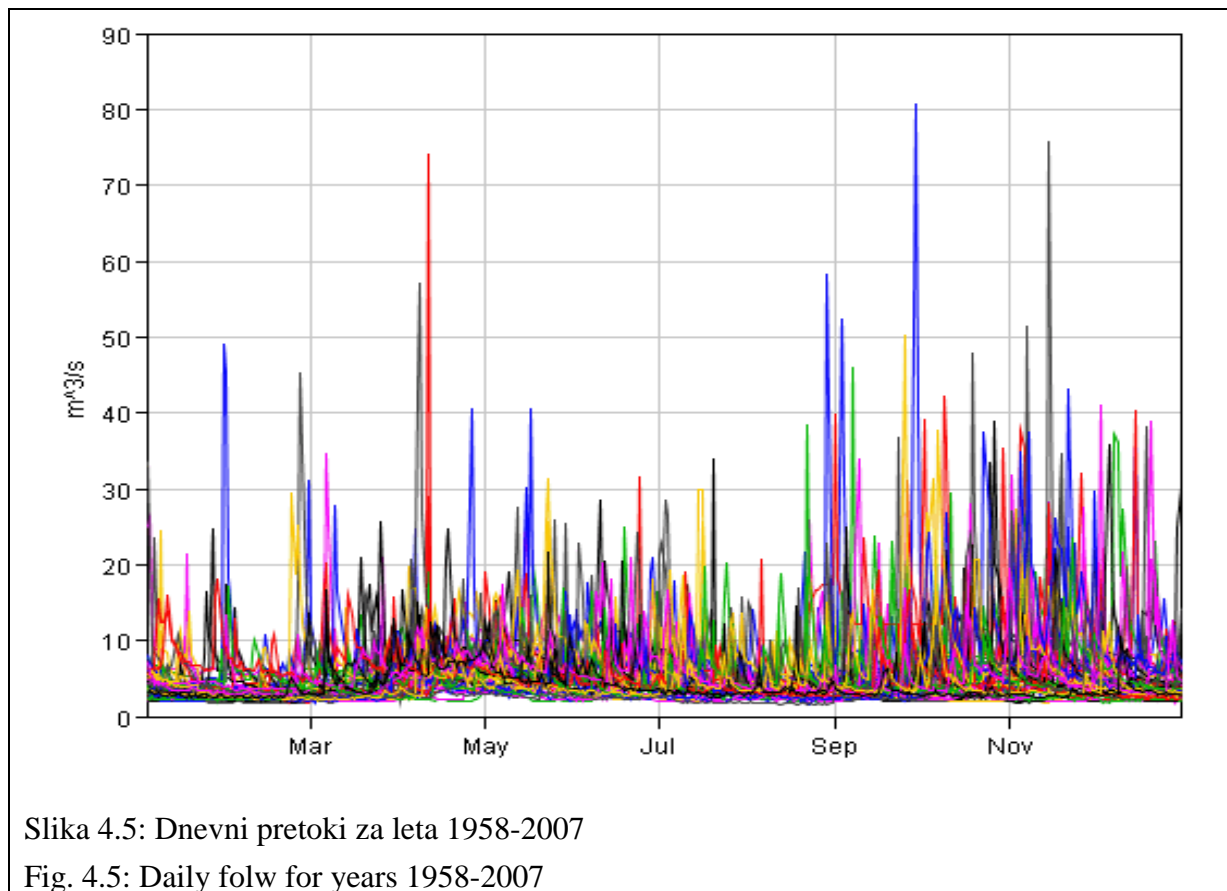
Spletni hidrološki arhiv ARSO omogoča izvoz dnevniških podatkov s hidroloških postaj v obliki preglednic za MS Excel (*.xls). Ker pa so podatki v posebnih datotekah za vsako leto posebej, jih je potrebno najprej združiti v eno kontinuirano preglednico, ki vsebuje dva stolpca: enega s časovnim zaporedjem in drugega z ustrežajočim dnevnim pretokom.

4.2.1 Maksimalni in minimalni pretoki

Analizo maksimalnih in minimalnih podatkov sem opravil s programom HEC-SSP, in sicer z analitično logaritemsko Pearsonovo III porazdelitvijo. Program zahteva vnos vseh podatkov o dnevniških pretokih skupaj s časovnim zaporedjem datumov; HEC-SSP avtomatsko določi maksimume oziroma minimume glede na to, katero analizo želimo izvesti (Slika 4.4).



Po vnosu podatkov sem, da bi ugotovil, ali so maksimumi in minimumi kje v letu bolj združeni, izrisal letne krivulje pretokov za vsa leta na en diagram datum/pretok (Slika 4.5).



Kot je razvidno iz grafa (Slika 4.5), je večina maksimalnih pretokov jeseni, med septembrom in novembrom, nekaj pa tudi spomladi, med marcem in majem. Minimalni pretoki pa so skoncentrirani poleti, od junija do septembra, z nekaj večjimi pretoki zaradi poletnih neviht, in pa pozimi, decembra in januarja.

Rezultati statistične analize so tabele in grafi, ki prikazujejo verjetnosti, da bo pretok presegel neko vrednost n dni v enem letu za maksimalne pretoke, oz. padel pod neko vrednost n dni v letu za minimalne pretoke. Za maksimalne pretoke so rezultati analize v sledeči preglednici (Preglednica 4).

Preglednica 4: Maksimalni pretoki v m³/s

Table 4: Maximum flows in m³/s

Verjetnost prekoračitve [%]	Povratna doba [let]	1	3	7	15	30	60	90	120	183
0.1	1000	81.20	58.70	35.50	24.60	22.90	18.80	15.50	14.20	12.70
0.2	500	75.20	54.80	33.40	23.20	21.30	17.50	14.70	13.50	12.00
0.5	200	67.50	49.70	30.60	21.40	19.20	15.90	13.50	12.40	11.10
1	100	61.70	45.90	28.50	20.10	17.70	14.70	12.70	11.70	10.40
2	50	56.00	42.00	26.40	18.70	16.20	13.60	11.90	10.90	9.70
5	20	48.30	36.80	23.60	16.90	14.30	12.10	10.80	9.90	8.80
10	10	42.50	32.70	21.40	15.50	12.90	11.00	9.90	9.10	8.10
20	5	36.30	28.40	19.00	14.00	11.50	9.80	8.90	8.30	7.40
50	2	27.00	21.60	15.30	11.50	9.40	8.00	7.50	7.00	6.30
80	1.25	20.00	16.40	12.40	9.60	7.90	6.80	6.30	6.00	5.40
90	1.11	17.20	14.20	11.10	8.80	7.30	6.20	5.80	5.60	5.00
95	1.05	15.10	12.60	10.20	8.20	6.90	5.80	5.40	5.30	4.80
99	1	11.90	10.10	8.70	7.20	6.30	5.20	4.80	4.80	4.30
Trajanje [dni]		1	3	7	15	30	60	90	120	183
Srednja vrednost		1.431	1.334	1.186	1.065	0.982	0.912	0.876	0.851	0.803
Standardna deviacija		0.154	0.141	0.111	0.096	0.097	0.097	0.091	0.083	0.081
Koefficient asimetrije		0.018	-	0.133	0.212	0.552	0.430	0.260	0.394	0.412
Št. let		50	50	50	50	50	50	50	50	50

Za analizo maksimalnih pretokov so pomembni predvsem rezultati za pretoke, ki imajo trajanje 1 dan, saj so to maksimalni pretoki, ki jih lahko pričakujemo v obravnavanem profilu. Za analizo poplavne ogroženosti se navadno uporabljajo maksimalni pretoki s 100 do 1000-letno povratno dobo, glede na stopnjo ogroženosti (HEC, 2009). Za boljšo predstavbo so v preglednici (Preglednica 5) prikazane verjetnosti, da se bo ekstremni dogodek zgodil v določeni življenjski dobi objekta.

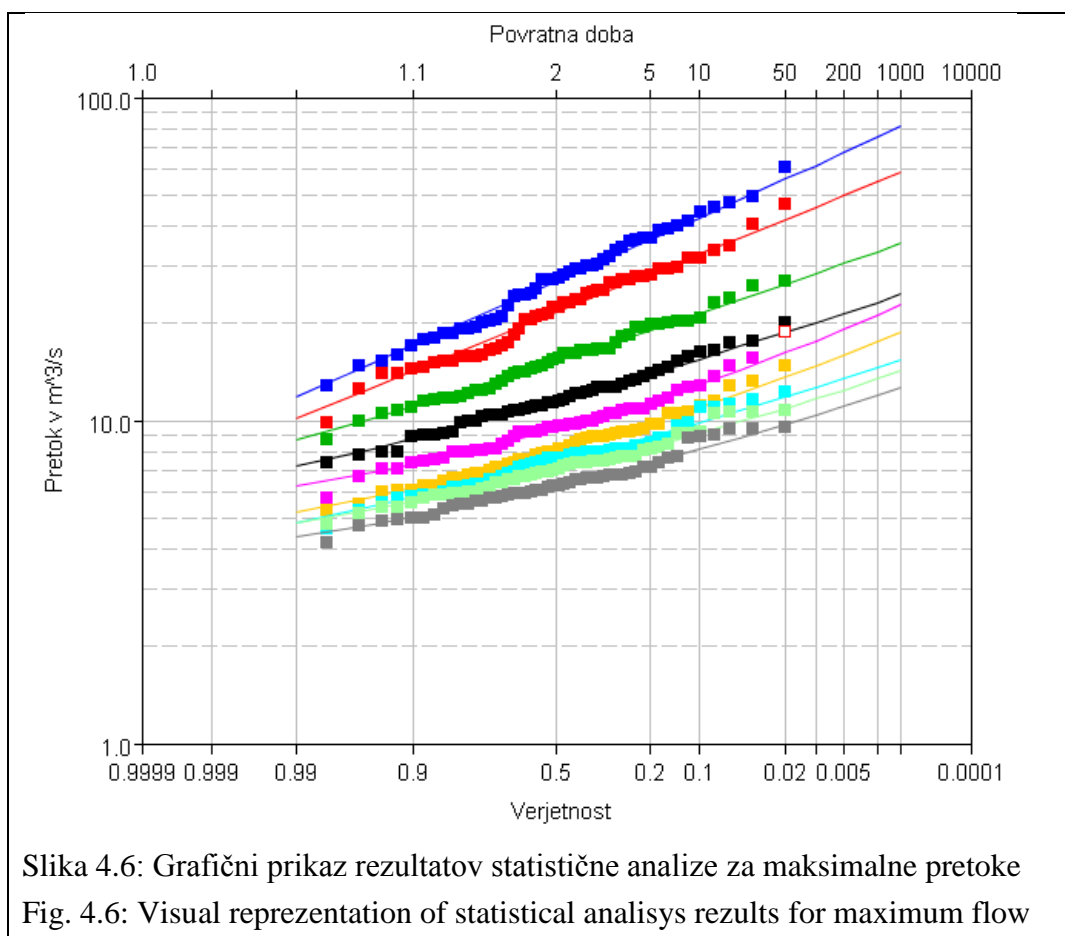
Preglednica 5: Verjetnost ekstremnega dogodka glede na življenjsko dobo in povratno dobo
 Table 5: Extreme event probability in dependance on object life span and return period

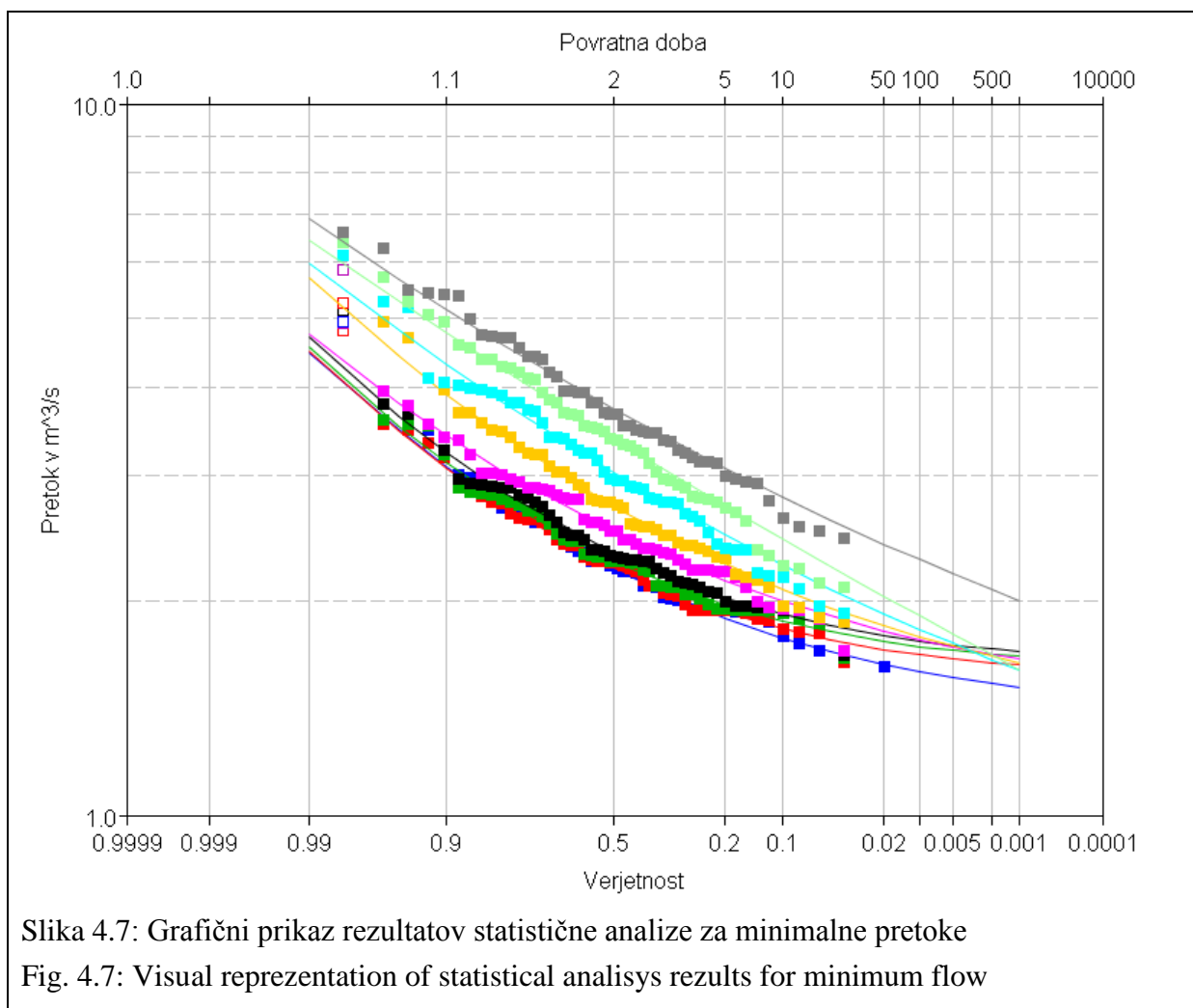
Življenjska doba	10 let	50 let	100 let	200 let
Verjetnost (povratna doba)				
0,01 (100)	9,6 %	39 %	63 %	87 %
0,002 (500)	1,9%	9,5	18%	33%
0,001 (1 000)	1 %	5 %	9,5 %	18 %
0,0001 (10 000)	0,1 %	0,5 %	1%	2%

Relevantni rezultati za obravnavni objekt so prikazani v spodnji preglednici.

Verjetnost [%]	0.1	0.2	0.5	1
Povratna doba [let]	1000	500	200	100
Pretok [m^3/s]	81.20	75.20	67.50	61.70

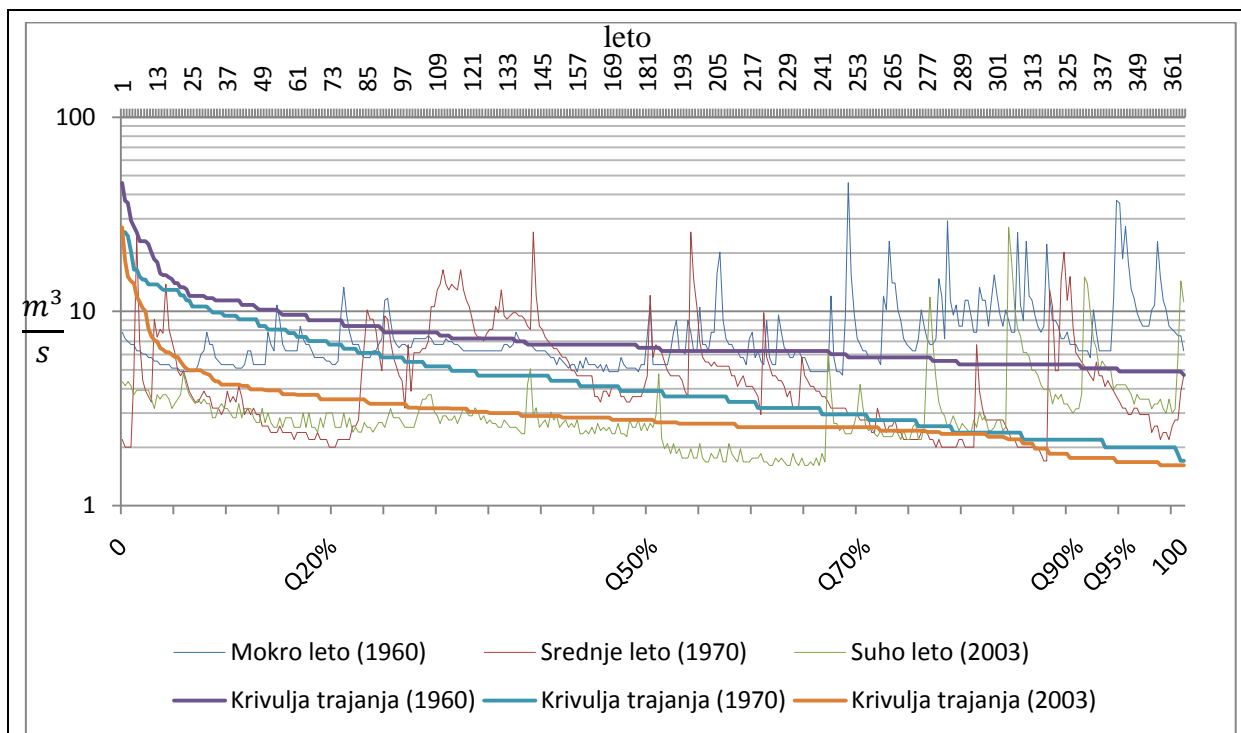
Za boljšo predstavbo s rezultati analize prikazani še v obliki grafa (Slika 4.6).





4.2.2 Krivulja trajanja

Na podlagi povprečnih pretokov za vsa leta opazovanja sem določil mokro leto, 1960, s povprečnim pretokom 7.82 m³/s, suho leto, 2003, s povprečnim pretokom 3.21 m³/s, in srednje leto, 1970, s povprečnim pretokom 5.00 m³/s. Količine pretokov na grafu (Slika 4.8) so prikazane v logaritemski skali zaradi boljše preglednosti, ker je razpon med minimalnim in maksimalnim pretokom v teh letih relativno velik.



Slika 4.8: Krivulje trajanja

Fig. 4.8: Flow-duration curves

V preglednici (Preglednica 7) so prikazane vrednosti pretokov v m^3/s , ki jih vodotok doseže 20, 50, 70, 90, 95% števila dni v letu za vsa tri karakteristična leta.

Preglednica 7: Vrednosti pretokov dobljene s krivuljami trajanja (pretoki v m^3/s)

Table 7: Flow rates derived from flow-duration curves (flow rate in m^3/s)

Presežen pretok dni		Suho leto 2003	Srednje leto 1970	Mokro leto 1960
%	n			
Q20%	73	3.53	6.74	9.00
Q50%	183	2.77	3.89	6.51
Q70%	256	2.54	2.95	5.80
Q90%	329	1.76	2.19	5.33
Q95%	347	1.68	2.00	4.90

4.3 Hidravlična analiza

4.3.1 Analiza gladine vode pri strojnici

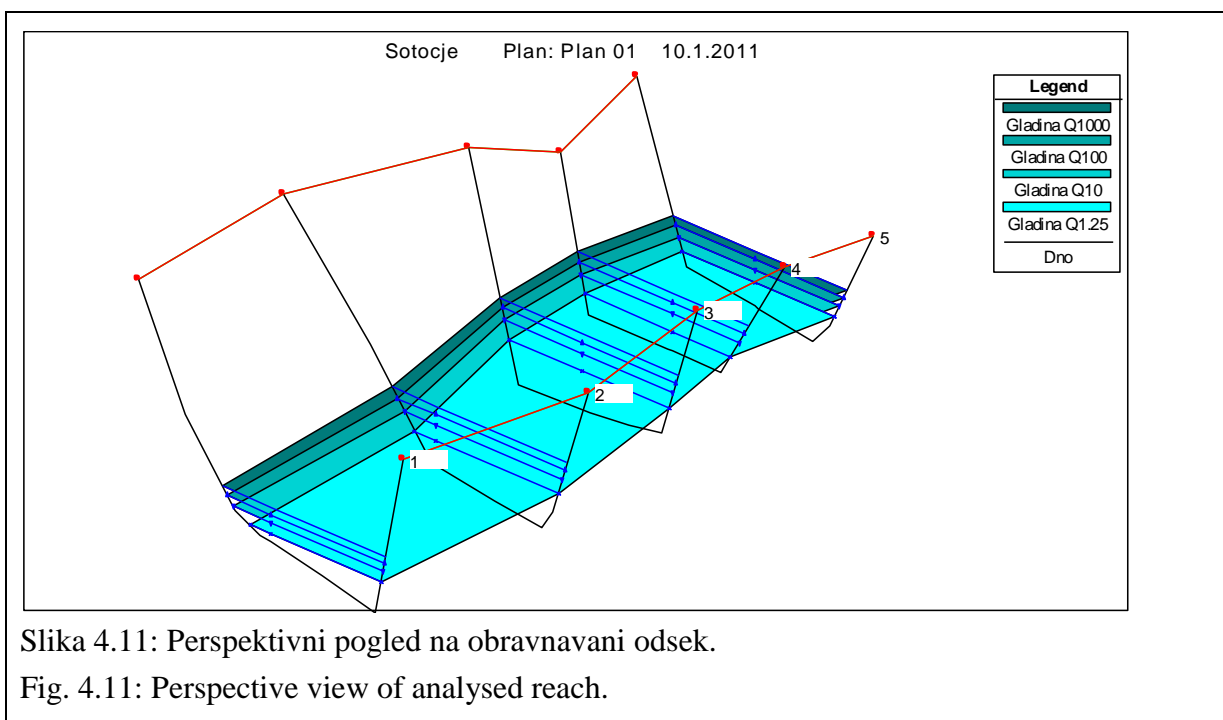
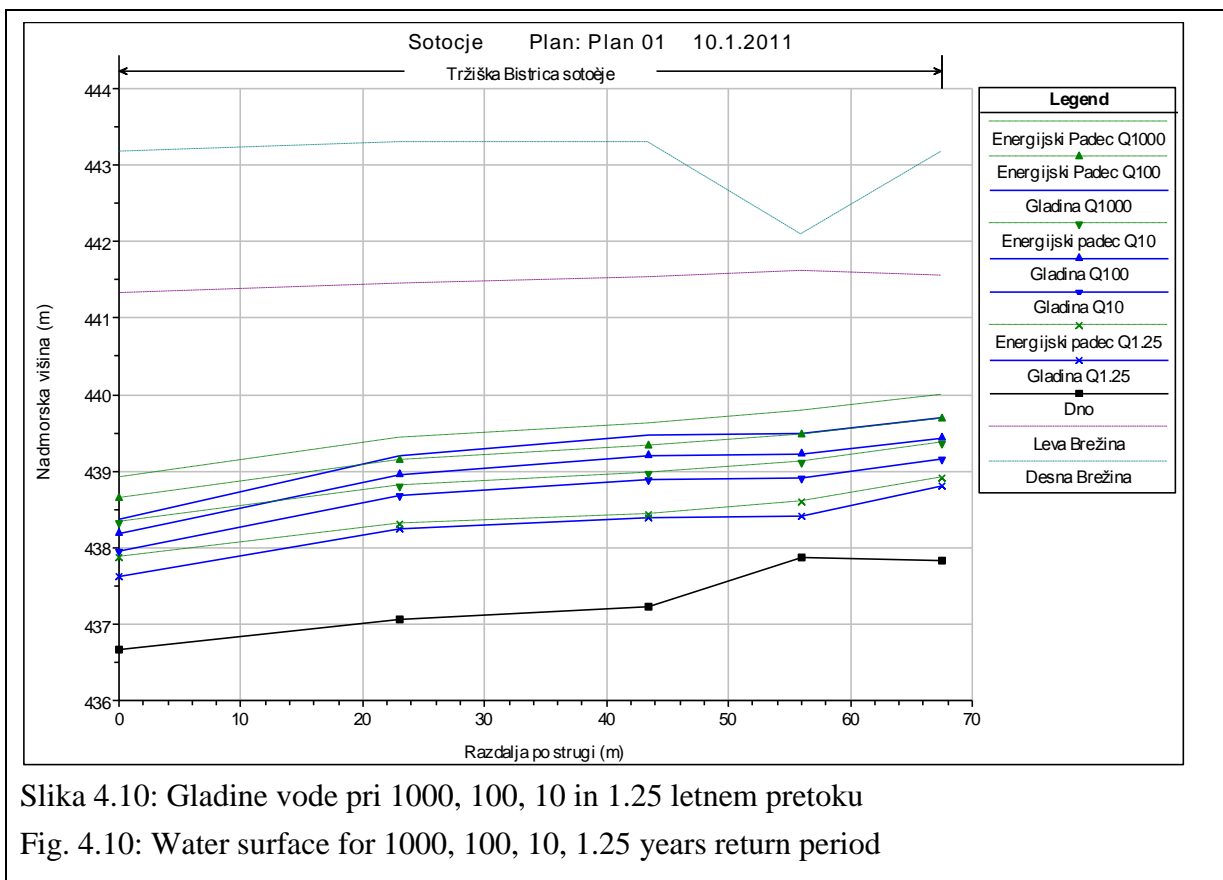
Analiza gladine je potrebna, da se določi, če so potrebni kakšni protipoplavni ukrepi za zgradbo strojnice. Ker je iztok iz elektrarne dolvodno od strojnice, ga v analizi gladin nisem upošteval. Model vsebuje 5 profilov na razdalji 67.5 m (Slika 4.9). Za analizo sem uporabil pretoke, pridobljene iz hidrološke analize, in sicer pretoke, ki se pojavijo en dan na leto s povratno dobo 1000, 100, 10 let, in pa pretok z 80% verjetnostjo (1.25 leta povratne dobe).



Slika 4.9: Skica profilov za račun

Fig. 4.9: Profile sketch

Na slikah (Slika 4.10, Slika 4.11) in preglednici (Preglednica 8) so za omenjene pretoke prikazane gladine in struga; iz njih je razvidno, da visoka voda poplavno ne ogroža objektov, zgrajenih na bregu Tržiška Bistrice.



Preglednica 8: Rezultati hidravlične analize.

Table 8: Hydraulic analysis results.

Profil	Pretok Qpovratna doba	Energijska višina (m)	Gladina (m)	Hitrost toka (m)	Trenjske izgube (m)	Pretok (m ³ /s)	Širina gladine (m)
5	Q1000	439.98	439.69	0.29	0.2	81.2	24.26
5	Q100	439.69	439.44	0.25	0.21	61.7	23.38
5	Q10	439.36	439.16	0.2	0.24	42.5	22.43
5	Q1.25	438.91	438.8	0.11	0.3	20	21.21
4	Q1000	439.78	439.5	0.28	0.12	81.2	23.96
4	Q100	439.47	439.23	0.25	0.12	61.7	23.05
4	Q10	439.12	438.91	0.21	0.12	42.5	21.98
4	Q1.25	438.6	438.42	0.19	0.12	20	20.32
3	Q1000	439.62	439.47	0.15	0.18	81.2	24.94
3	Q100	439.32	439.2	0.12	0.16	61.7	24.28
3	Q10	438.97	438.88	0.09	0.15	42.5	23.51
3	Q1.25	438.44	438.39	0.04	0.12	20	22.32
2	Q1000	439.44	439.21	0.23	0.49	81.2	24.49
2	Q100	439.14	438.96	0.19	0.48	61.7	23.35
2	Q10	438.81	438.67	0.14	0.46	42.5	22.04
2	Q1.25	438.31	438.23	0.07	0.42	20	20.02
1	Q1000	438.92	438.37	0.55		81.2	22.74
1	Q100	438.64	438.17	0.47		61.7	21.9
1	Q10	438.33	437.95	0.37		42.5	20.98
1	Q1.25	437.87	437.62	0.25		20	18.21

4.3.2 Izračun minimalne potopitve vtoka v tlačni cevovod

Knauss
$$h_p \geq D \left(1 + 2.3 \frac{v}{\sqrt{gD}} \right) = 1 \left(1 + 2.3 \frac{2.55}{\sqrt{9.81 \cdot 1}} \right) = 2.87$$

Nagarkar
$$h_p \geq 4.4(vD^{0.5})^{0.54} = 4.4(2.55\sqrt{1})^{0.54} = 7.29$$

Rohan
$$h_p \geq 1.474v^{0.48}D^{0.76} = 1.474 \cdot 2.55^{0.48} \cdot 1^{0.76} = 2.31$$

Gordon
$$h_p \geq cv\sqrt{D}$$

$c = 0.7245$ za nesimetrični vtok
$$h_p = 0.7245 \cdot 2.55 \cdot \sqrt{1} = 1.85$$

$c = 0.5434$ za simetrični vtok
$$h_p = 0.5434 \cdot 2.55 \cdot \sqrt{1} = 1.39$$

$$h_p = \max\{\text{izračunani zgornji } h_p\}$$

Izračun po Nagarkarju se zelo razlikuje od ostalih, iz česar sklepam, da je empirična formula namenjena uporabi v drugačnih situacijah; zato te vrednosti ne bom uporabil in je

$$h_p = 2.87m$$

To pomeni, da je na vtoku teme tlačnega cevovoda 2.87 m pod gladino zgornje vode.

4.3.3 Račun hidravličnega sistema

Hidravlični model za obravnavani sistem je zaradi strogih zahtev, podanih s koncesijsko pogodbo, lahko razmeroma enostaven. Sestoji iz enega tlačnega cevovoda z določenima višinskima kotama zgornje in spodnje vode, na katerem je naprava za odzemanje energije iz sistema (turbina). Skica sistema, z vrisanim potekom energijske črte, je prikazana v Prilogi J. Cilj hidravlične analize sistema cevovoda je dobiti neto energijski padec Δh_n , ki je razpoložljiv za pogon turbine.

Višinski koti podata razpoložljivo geodetsko (Δh_g) višinsko razliko. Za koto zgornje vode sem predpostavil, da se bo zajemni objekt za v tlačni cevovod zasnoval tako, da se bo vzdrževala konstantna kota zgornje vode.

$$h_z = 452.80m \text{ n. v.}, h_i = 436.60m \text{ n. v.}$$

Razpoložljiva geodetska višinska razlika:

$$\Delta h_g = h_z - h_i = 16.20m$$

Po koncesijski pogodbi določen instalirani pretok je $Q = 2 \text{ m}^3/s$ in dolžina cevovoda je $L = 226m$. Za cevovod sem predpostavil notranji premer $D = 1 \text{ m}$ in izračunal hitrost:

$$Q = S \cdot v = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v$$
$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 2}{\pi \cdot 1^2} = 2.55 \text{ m}$$

Na podlagi hitrosti in dimenzij cevovoda lahko izračunamo energijske izgube v sistemu po enačbah iz poglavja 2.3.1.

Izgube na vtoku so računane za hidravlično ugoden vtok (poglavje 2.3.1):

$$\Delta E_{vt} = \xi_{vt} \frac{v^2}{2g} = 0.06 \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.02 \text{ m}$$

Izgube zaradi spremembe smeri cevovoda. Radij zavoja $R \cong 75m$ in kot spremembe smeri toka $\varphi \cong 150^\circ$

$$\xi_{zav} = \left(0.131 + 0.163 \left(\frac{D}{R} \right)^{3.5} \right) \frac{\varphi}{90} = \left(0.131 + 0.163 \left(\frac{1}{75} \right)^{3.5} \right) \frac{150}{90} = 0.22$$

$$\Delta E_{zav} = \xi_{zav} \frac{v^2}{2g} = 0.22 \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.07 \text{ m}$$

Izgube zaradi zožitve imajo izgubo $\xi_{zož} = 0.04$, ker je pred strojnico dovolj prostora, da je kot zožitve lahko $\varphi < 20^\circ$

$$\Delta E_{zož} = \xi_{zož} \frac{v^2}{2g} = 0.04 \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.01 \text{ m}$$

Izgube zaradi ventila pri popolnem odprtju sem računal za kroglični ventil:

$$\Delta E_{ze} = \xi_{ze} \frac{v^2}{2g} = 0.05 \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.02 \text{ m}$$

Izgube na iztoku so računane kot iztok v posodo ($\xi_{iz} = 1.0$):

$$\Delta E_{iz} = \xi_{iz} \frac{v^2}{2g} = 1.0 \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.33 \text{ m}$$

Račun linijskih izgub zaradi trenja ob stene cevovoda sem izvedel s pomočjo Moodyjevega diagrama za jeklen cevovod. Absolutna hrapavost $\varepsilon = 0.1 \text{ mm}$ za varjene cevi (Rössert, 1999). Potrebujemo pa relativno hrapavost glede na dimenzijo cevovoda:

$$\varepsilon/D = \frac{0.1}{1000} = 0.0001$$

Kinematično viskoznost sem obravnaval pri $T = 4^\circ\text{C}$ (Rössert, 1999):

$$\nu = 1.564 \cdot 10^6$$

Iz premera cevovoda, hitrosti toka in kinematične viskoznosti izračunamo Reynoldsovo število.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{2.55 \cdot 1}{1.564 \cdot 10^6} = 1.63 \cdot 10^{-6}$$

Na Moodyjevem diagramu pade krivulja relativne hrapavosti $\varepsilon/D = 0.0001$ pri izračunanemu Reynoldsovem številu v prehodno območje. Vrednost koeficienta trenja pa je $\lambda = 0.013$. Iz teh podatkov lahko izračunamo linijske izgube v cevovodu.

$$\Delta E_{lin} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 0.013 \frac{226}{1} \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} = 0.97 \text{ m}$$

Vse izračunane energijske izgube so podane v metrih.

Na podlagi izračunanih energijskih izgub lahko izračunamo neto padec, ki je na voljo za izkoriščanje za proizvodnjo energije.

$$\Delta h_n = \Delta h_g - \left(\sum_i \Delta E_{i,lok} \right) - \Delta E_{lin}$$

$$\Delta h_n = 16.20 - (0.02 + 0.07 + 0.01 + 0.02 + 0.33) - 0.97 = 14.78 \text{ m}$$

4.3.4 Dimenzioniranje tlačnega cevovoda

Debelino stene cevovoda določi proizvajalec na podlagi, s strani projektanta ali naročnika, dostavljenih podatkov. Treba pa je preveriti odpornost gradnje na vzgon. Preveril bom najbolj neugodno situacijo. Po dogovoru z upravljavci komunalnih vodov je globina zasipa 1.5-2.0 m. Zato bo za račun privzeta globina zasipa $h_z = 1.5$ m. Zemljino bom računal kot nekohezivno, z nasipnim kotom $\varphi = 34^\circ$, nivo podtalnice pa na nivoju terena, da vzgon deluje tudi na vso zasipno zemljino.

Izračun površine preseka zemljine:

$$B = 2\{(h_z + r)tg\varphi\} + D = 2\{(1.5 + 0.5)tg34\} + 1 = 3.7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} S &= \left(\frac{(B - D)(h_z + r)}{2} \right) + \left(D(h_z + r) - \frac{\pi D^2}{8} \right) = \\ &= \left(\frac{(3.7 - 1) \cdot (1.5 + 0.5)}{2} \right) + \left(1 \cdot (1.5 + 0.5) - \frac{\pi \cdot 1^2}{8} \right) \\ S &= 4.31 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Izračun površine preseka cevovoda:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1^2}{4} = 0.79 \text{ m}^2$$

Pogoj, da se cevovod ne dvigne, je $F_v < F_g$. Račun je na dolžinski meter, gostoti za vodo in suho zemljino sta $\rho_{vod} = 10 \text{ kN/m}^3$ in $\rho_{zem} = 27 \text{ kN/m}^3$.

$$F_v = \rho_{vod}gV_{cev} = 10 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.79 \text{ m}^3 = 7.9 \text{ kN}$$

$$F_g = (\rho_{zem} - \rho_{vod})gV_{zem} = (27 - 10) \text{ kN/m}^3 \cdot 4.31 \text{ m}^3 = 73.3 \text{ kN}$$

Faktor varnosti pred vzgonom:

$$f_v = \frac{F_g}{F_v} = \frac{73.3}{7.9} = 9.28$$

Torej je pogoj izpolnjen in cevovod je varen pred vzgonom s faktorjem varnosti 9.28.

4.3.5 Izbira turbine in generatorja

Za hitro oceno, katero turbino izbrati, je na voljo diagram z ovojnici delovanja za Peltonove, Francisove in Kaplanove turbine, ki je prikazan v poglavju 2.3.4. Iz diagrama je razvidno, da sistem s padcem ~14 m in instaliranim pretokom $2 \text{ m}^3/\text{s}$ pade v območje primerno za Francisove turbine.

Bolj zanesljiv kriterij je specifična hitrost vode skozi turbino, ki je kriterij za določanje tipa turbine, pa tudi za preliminarno določitev dimenzije turbine. Odvisna je od instaliranega pretoka, specifične energije in frekvence.

Instalirani pretok $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Specifična energija $E = gh_n = 9.81 \cdot 14.78 = 144.99 \text{ J/kg}$

Sinhrona frekvenca generatorja je, pri določeni frekvenci omrežja, odvisna od števila polov. Po priporočilu (0, str. 149) je želeno število polov večkratnik števila štiri. Na podlagi tega sem izbral generator z 12 poli, kar glede na preglednico iz poglavja 2.3.4 (Preglednica 3) pomeni frekvenco $v = 500/\text{min}$.

$$n = \frac{v}{60} \dots [s^{-1}]$$
$$n_{QE} = \frac{n\sqrt{Q}}{E} = \frac{8.3 \cdot \sqrt{2}}{144.99} = 0.28$$

Glede na preglednico območij delovanja tipov turbin tudi izračunana specifična hitrost narekuje izbiro Francisove turbine.

Sedaj lahko izračunamo instalirano moč turbine iz neto razpoložljivega hidravličnega padca na turbini in za Francisovo turbino pri najboljšem izkoristku iz tabele poglavju 2.3.4.

$$N_{TUR} = \xi_{TUR} \rho g Q h_n = 0.94 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 14.78 = 272585 \text{ W}$$

$$N_{TUR} \cong 272.5 \text{ kW}$$

Pri preverjanju nevarnosti kavitacije je osnovni preizkus, na kakšni višini glede na iztok mora biti postavljena turbina, da ne pride do kavitacije. Turbina mora biti postavljena nižje kot izračunani H_s , da se v sistemu ustvari tlak, ki preprečuje nastanek kavitacije.

Za Francisovo turbino velja:

$$\sigma = 1.2715n_{QE}^{1.41} + \frac{v^2}{2gh_n} = 1.2715 \cdot 0.28^{1.41} + \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 14.78} = 0.2336$$

$$H_s = \frac{P_{atm} - P_v}{\rho} + \frac{v^2}{2g} - \sigma h_n = \frac{100000 - 864}{1000} + \frac{2.55^2}{2 \cdot 9.81} - 0.2336 \cdot 14.78$$

kjer je parni tlak vode odvisen od temperature vode v Kelvinih:

$$P_v = e^{(20.386 - 5132/T)}$$

$$P_v = e^{(20.386 - 5132/277)} = 6.482 \text{ mmHg} = 864 \text{ Pa}$$

Tako je potreben energijski padec:

$$H_s = 6.98 \text{ m}$$

Rezultat pomeni, da je lahko turbina nameščena največ 6.98 m nad nivojem spodnje vode.

Na podlagi tipa turbine in specifične hitrosti lahko sedaj izračunamo še začetne dimenzije turbine.

$$D_3 = 84.5(0.31 + 2.488n_{QE}) \frac{\sqrt{h_n}}{v} = 84.5(0.31 + 2.488 \cdot 0.28) \frac{\sqrt{14.78}}{500} = 0.647 \text{ m}$$

$$D_1 = \left(0.4 + \frac{0.095}{n_{QE}}\right) D_3 = \left(0.4 + \frac{0.095}{0.28}\right) 0.647 = 0.478 \text{ m}$$

$$D_2 = \frac{D_3}{0.96 + 0.3781n_{QE}} = \frac{0.647}{0.96 + 0.3781 \cdot 0.28} = 0.607 \text{ m}$$

Ko imamo podatke o instaliranem pretoku skozi turbino in ekološko sprejemljivem pretoku v profilu odvzema, je potrebno preveriti še, kolikokrat na leto bo pretok v Tržiški Bistrici tako majhen, da bo obratovanje turbine onemogočeno, in koliko dni na leto bo obratovala z zmanjšano zmogljivostjo.

Iz preglednice (Preglednica 6) je razvidno, da bo v povprečju vsako drugo leto (povratna doba 2 leti) v Tržiški Bistrici pretok vsaj 60 dni na leto manjši, kot je vsota instaliranega pretoka Q_{inst} in ekološko sprejemljivega pretoka Q_{ES} , kar znaša $2.8 m^3/s$, kar pomeni, da bo turbina delovala z zmanjšano močjo. Da bo turbina delovala z zmanjšano močjo vsaj 183 dni v letu, pa se bo zgodilo s povratno dobo 10 let.

Glede na to, da je izbrana turbina Francisova, lahko na podlagi priporočila iz poglavja 2.3.4 zaključimo, da je pretok Tržiške Bistrice, pri katerem pride do izpada proizvodnje zaradi premajhnega pretoka, enak $1.8 m^3/s$. Tako je povratna doba za 15 dnevni letni izpad proizvodnje 20 let, za 60-dnevni izpad pa 50 let. Daljši izpadi proizvodnje pa imajo povratne dobe, ki zelo presegajo pričakovano življenjsko dobo objekta.

4.4 Analiza okoljskih vplivov

Oceno okoljskih vplivov bom podal na podlagi postavk v preglednicah v prilogah C in D.

4.4.1 Analiza začasnih in obratovalnih vplivov

Hrup med gradnjo povzročajo geodetske meritve, uporaba gradbiščne mehanizacije in prisotnost delavcev na gradbišču. Na obravnavanem območju hrup ni prevelik problem, saj območje ni zelo pomemben habitat za divje živali, ker je obdelano (travniki) in obdano z vodo (Tržiška Bistrica, mlinščica), dostop pa živalim otežujejo tudi strma pobočja doline in pa naseljenost ljudi relativno blizu območja. Gradnja je začasna dejavnost in naselja so dovolj daleč, da bistvenega vpliva ne bo.

Drugi obravnavan vpliv je sprememba rečnega in obrečnega habitata. Najvišji vpliv bi imela začasna preusmeritev vodotoka, ki pa se ne bo izvajala. Odstranitev rasti je predvidena v relativno ozkem pasu brežine Tržiške Bistrice, kot tudi izkopi v vodotoku, ki se bodo izvajali samo za ureditev struge na iztoku iz sesalnega kanala. Zaradi tega rečni in obrečni habitat ne bosta doživela bistvene škode. Ureditve nabrežja je prav tako predvidena na iztoku iz sesalnega kanala in bo vplivala na rečno hidravliko, vendar bo imela ugoden vpliv, ker se bo zaradi ureditve izboljšala pretočnost struge Tržiške Bistrice.

Območje ureditve je relativno ravno in prazno, zato ureditev gradbišča (začasne deponije, ureditev cest, kontejnerjev) ne predstavlja večjih okoljskih obremenitev, kot jih pri običajnih gradnjah. Začasnih posegov v ureditve lokalnih cest in daljnovodov ne bo, bo pa potrebna nadgradnja obstoječih dostopnih cest, da se bo omogočil dostop težji gradbeni mehanizaciji.

Zemeljska dela se morajo izvajati v skladu z navodili projektanta in nadzornega inženirja, da se ohrani stabilnost brežin vodotokov in stabilnost gradbene jame.

Med obratovanjem mHE glede na sedanje stanje sprememb pretoka ne bo, ker bo obratovala z obstoječim zajemom. Iz enakega razloga tudi ne bo sprememb toka, ki bi vplivale na habitat. Tlačni cevovod bo nameščen pod zemljo in tako ne bo imel vizualnega vpliva in ne bo ovira za prehod divjadi. Prav tako bodo pod zemljo nameščeni električni vodi. Stalen objekt v rečnem dnu bo samo ojačitev dna na iztoku, in ne bo bistveno vplival na vodni ekosistem. Hrup elektromehanske opreme med delovanjem ni problematičen, ker je strojnica postavljena na dovolj odročnem kraju, da ne bo moteč dejavnik za javnost.

4.4.2 Določitev ekološko sprejemljivega pretoka

Ekološko sprejemljivi pretok za Tržiško Bistrico sem določil na podlagi Uredbe Q_{ES} , ki je opisana v poglavju 2.4.2. Določene so naslednje vrednosti:

Srednji mali pretok: $sQ_{np} = 2.35 \text{ m}^3/\text{s}$

Srednji pretok: $sQ_s = 5.01 \text{ m}^3/\text{s}$

Na podlagi tabel iz Prilog 1 in 2 Uredbe sem določil, za dolg povratni zajem, prispevno površino 120 km^2 (PHCE, 2007) in ekološki tip Tržiške Bistrice 3, faktor f : $f = 0.7$ in se lahko izračuna Q_{es} :

$$Q_{es} = f \cdot sQ_{np} = 0.7 \cdot 2.35 = 1.64 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ta pretok je večji od $Q_{es} = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$, ki ga določa koncesijska pogodba za mHE Smuk. Zaradi tega bi bilo treba v procesu načrtovanja mHE in preveriti ali je možno uporabiti ta

ekološko sprejemljivi pretok, saj Uredba o kriterijih za določitev ter načinu spremljanja in poročanja ekološko sprejemljivega pretoka dopušča, da se Qes zmanjša za potrebe delovanja malih hidroelektrarne.

4.5 Ekonomska analiza in prispevek mHE k izvajanju RES

4.5.1 Račun predvidene proizvedene energije v življenjskem obdobju mHE

Letni izpad proizvodnje zaradi vzdrževanja, popravil in nepredvidenih dogodkov sem ocenil na 30 dni letno. Spodnje preglednice prikazujejo število obratovalnih dni, ko lahko mHE obratuje s polno močjo (Preglednica 9) in z zmanjšanim izkoristkom (Preglednica 10).

Preglednica 9: Število dni s polnim izkoristkom turbine glede na povratne dobe nizkih pretokov

Table 9: Number of days with full turbine efficiency in regard to low flow return periods

dni/leto	št. let
335	15
305	12
183	3

Iz zgornje preglednice lahko izračunam število ur:

$$335 \cdot 15 + 305 \cdot 12 + 183 \cdot 3 = 9234dni$$

$$9234 \cdot 24 = 221616h$$

Torej pri moči turbine 272 kW izračunam proizvodnjo energije:

$$E = P \cdot t = 272 \cdot 221616 = 60279552kWh \cong 60279.6MWh$$

Glede na graf izkoristkov turbin in priporočilu, v poglavju 2.3.4, da Francisove turbine ni smiselno gnati pod 40% instaliranega pretoka, sem za zmanjšan izkoristek (Preglednica 10) vzel povprečno vrednost 0.8 in 0.96:

$$\eta = \frac{0.8 + 0.96}{2} = 0.88$$

Preglednica 10: Število dni z delnim izkoristkom turbine glede na povratne dobe nizkih pretokov

Table 10: Number of days with partial turbine efficiency in regard to low flow return periods

dni/leto	št. let
183	3
30	12

Iz zgornje preglednice lahko izračunam število ur:

$$183 \cdot 3 + 30 \cdot 12 = 819 \text{dni}$$

$$819 \cdot 24 = 19656 \text{h}$$

Potrebno je upoštevati zmanjšan izkoristek turbine:

$$P_{\eta} = \eta \cdot P = 0.88 \cdot 272 = 239.36 \text{kW}$$

$$E = P_{\eta} \cdot t = 239.36 \cdot 19656 = 4704860 \text{kWh} \cong 4705 \text{MWh}$$

Izpad proizvodnje, 15 dni na leto, zaradi premajhnega pretoka se zgodi z 20-letno povratno dobo, tako da to lahko pričakujemo enkrat v 30-letni življenjski dobi naprave. Skupaj s 30 dnevi letno tako pride do izpada proizvodnje približno 915 dni v 30 letih.

Skupna proizvedena energija je torej:

$$E_{sk} = 60279.6 + 4705 = 64984.6 \text{MWh}$$

Dajatev za koncesijo je 3% letne proizvodnje in je skupaj torej:

$$E_{kon} = 0.03 E_{sk} = 0.03 \cdot 64984.6 = 1949.5 \text{MWh}$$

$$\text{in } \frac{E_{kon}}{30} = \frac{1949.5}{30} = 64.98 \text{MWh/leto}$$

$$E_{neto} = E_{sk} - E_{kon} = 64984.6 - 1949.5 = 63035.1 \text{MWh}$$

Po novi uredbi je dajatev za koncesijo 4.2% letne proizvodnje in je neto proizvodnja, ki lastniku prinaša dobiček torej:

$$E_{kon} = 0.042 E_{sk} = 0.042 \cdot 64984.6 = 2729.4 \text{MWh}$$

$$\text{in } \frac{E_{kon}}{30} = \frac{2729.4}{30} = 90.9 \text{MWh/leto}$$

$$E_{neto} = E_{sk} - E_{kon} = 64984.6 - 2729.4 = 62255.2 \text{MWh}$$

4.5.2 Račun prihodkov od prodaje

Zagotovljena odkupna cena za mHE instalirane moči 272 kW je glede na preglednico iz poglavja 2.5.4 enaka 92.61 €/MWh. Tako lahko izračunam prihodke, ki jih bo prinesla mHE v 30 letih:

$$63035.1MWh \cdot 92.61€/MWh = 5837680€$$

Po določitih nove uredbe pa je pričakovan priliv od prodaje:

$$62255.2 MWh \cdot 92.61 €/MWh = 5765454€$$

Stroški investicije niso izračunani, saj izdelana dokumentacija ni bila temu namenjena.

4.5.3 Prispevek mHE k izvajanju RES

Z upoštevanjem pretvorb iz poglavja 2.5.4 in podatka, da se ob izgorenju $1m^3$ nafte v zrak spusti 2 325 kg CO₂, lahko izračunam prihranek emisij CO₂ zaradi obratovanja obravnavane mHE. Tu je potrebno računati s celotno proizvodnjo, saj se tudi proizvodnja, ki je za koncesionarja izgubljena zaradi prispevkov, šteje v zmanjšanje emisij:

$$E_{TOE} = \frac{E_{sk}}{4.4} = \frac{64984.6}{4.4} = 14769 \text{ toe}$$

Z upoštevanjem gostote nafte $\rho \approx 900 \text{ kg}/m^3 = 0.9 \text{ t}/m^3$ lahko tako izračunam:

$$\frac{\text{toe}}{\rho} = \frac{14769}{0.9} = 16410 \text{ m}^3$$

$$16410m^3 \cdot 2325 \text{ kg}/m^3 = 38153250kg \cong 38153t \text{ CO}_2$$

Z izgradnjo obravnavane mHE bi se tako prihranilo izpust 38 153 t CO₂ v 30 letih življenjske dobe naprave.

5 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem preučil postopek načrtovanja male hidroelektrarne in obdelavo praktičnega primera ter vloge male hidroelektrarne pri prehajanju na obnovljive vire energije pri proizvodnji elektrike. V uvodu sem opisal zgodovino in princip pridobivanja energije iz vodne energije ter dodal nekaj splošnih definicij in opis delovanja mHE.

Postopek načrtovanja sem začel s hidrološko analizo in izpustil določanje najprimernejšega prostora za postavitev naprave, ker je obdelani praktični primer že obstoječ objekt, na vnaprej določeni lokaciji, za katero sem privzel, da je primerna, saj so na njej že dolgo časa nameščene naprave na vodosilni pogon. Teoretične podlage za hidrološko analizo vsebujejo opis pridobivanja hidrološki podatkov in teoretična orodja za njihovo obdelavo. Naslednji korak je bilo zbiranje teoretičnih podlag za hidravlično analizo, z opisom hidravličnega modela in hidravličnimi lastnostmi zajema, cevovoda, turbine in iztoka. V poglavju Analiza okoljskih vplivov so obravnavni vplivi naprave na neposredno okolico med gradnjo in med obratovanjem. Pravne podlage in podlage za ekonomski izračun sem združil v enem poglavju, v katerem so predstavljeni dokumenti, ki urejajo predvideno rabo OVE na nivoju RS in EU, zakonodaja, ki ureja pridobitve dovoljenj za postavitev mHE, in pa podlage za ekonomski izračun z izračunom za oceno prispevka mHE k izvajanju načrtov za zmanjšanje izpustov.

Na osnovi opisanih teoretičnih podlag sem izvedel hidrološko in hidravlično analizo za obravnavani praktični primer mHE Smuk. Iz omenjenih analiz sem dobil rezultate, ki so navedeni v nalogi. Pomembnejši rezultati so, da bi se lahko v napravo vgradila turbina z instalirano močjo 272 kW pri instaliranem pretoku $2 \text{ m}^3/\text{s}$ in z razpoložljivim neto padcem 14.78 m. Predvidena povprečna letna proizvodnja znaša 64 984.6 MWh. V življenjski dobi 30 let so ocenjeni prihodki, s 4.2% odbitkom za plačilo koncesije, na 5 765 454 €. S predvideno proizvodnjo elektrike iz OVE je v življenjski dobi naprave predvideno zmanjšanje izpustov v ekvivalentu 38 153 t CO₂.

Iz obdelave hidrološke in hidravlične analize v pričujoči diplomski nalogi bi bilo možno narediti idejni projekt oz. projekt za gradbeno dovoljenje, vendar bi bili za nadaljnje obdelave

potrebni lokacijski podatki za natančno lociranje komponent. Za delo na nivoju PGD je potreben geodetski posnetek lokacije v digitalni obliki, da bi se lahko ponovno, z natančnejšim izračunom določili lokacija in kote načrtovanih zgradb. V tej fazi je potrebno razčistiti tudi, kako širok priobalni pas je potrebno upoštevati in razčistiti vse dileme, ki jih prinese razširjen priobalni pas. Za upravni postopek je potrebno še določiti parcele, na katere vpliva gradnja, da se določi stranke v postopku za pridobitev gradbenega dovoljenja. Potreben bi bil tudi načrt objekta za turbino s statiko. Po pridobitvi gradbenega dovoljenja se pripravi še projekt za izvedbo, ki vključuje detajle za izvedbo gradnje ter strojnih in električnih instalacij, in se po njem celoten projekt tudi izvede.

VIRI

Akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010-2020 (AN OVE) Slovenija.

American Physical Society. Energy units. <http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/energy/units.cfm> (20.1.2011)

ARSO. 2008. Program hidrooškega monitoringa površinskih voda za leto 2009.

ARSO. Arhiv hidroloških podatkov za Tržiško Bistrico.
http://vode.arso.gov.si/hidarhiv/pov_arhiv_tab.php?p_vodotok=Tr%C5%BEi%C5%A1ka%20Bistrica&p_postaja=4050 (5.10.2010)

BP statistical review of world energy June 2010. Pdf. <http://bp.com/statisticalreview>
(20.1.2011)

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

de Siervo, F., Lugaresi, A. 1976. Modern trends in selecting and designing Francis turbines. Water Power & Dam Constrution, August 1976.

de Siervo, F., Lugaresi, A. 1977 in 1978. Modern trends in selecting and designing Kaplan turbines. Water Power & Dam Constrution, December 1977 in January 1978.

de Siervo, F., Lugaresi, A. 1978. Modern trends in selecting and designing Pelton turbines. Water Power & Dam Constrution, December 1978.

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

ESHA. 2004. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant, Part 1. 151 str.

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/Part_1_Guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant-Final.pdf (2.6.2010).

ESHA. 2004. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant, Part 2. 145 str.

http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/Part_2_Guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant-Final-2.pdf (2.6.2010).

ExternE. 1995. Externalities of energy Vol. 6 Wind and Hydro <http://www.externe.info/>
(8.11.2010)

Han, D. 2010. Concise Hydrology. Bookboon.com, Ventus Publishing ApS. 145 str.

<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> (20.11.2010)

Inštitut za vode Republike Slovenije. 2006. Izvajanje vodne direktive v Sloveniji.

Jakin, U. 2010. Vpliv ekološko sprejemljivega pretoka na poslovanje malih hidroelektrarn.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo,
Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer. 90 str.

Lugaresi, A., Massa, A. 1987. Designing Francis turbines: trends in the last decade. Water
Power & Dam Construction, November 1987.

Mohorič, I. 1965. Zgodovina industrije, gozdarstva in obrti v Trziču, 1.,2.,3. Del. Trzič,
Turistično društvo Trzič. 379 str., 519 str., 422 str.

Moody, Lewis F: 1944. Friction Factors for Pipe Flow. Transactions of the A.S.M.E.,
November 1944. <http://www.chem.mtu.edu/~fmorriso/cm310/MoodyLFpaper1944.pdf>
(9.12.2010).

Natura 2000. <http://www.natura2000.gov.si/index.php?id=18> (17.1.2011)

Pemič, A., Mikoš, M. 2007. Inženirska hidrotehnika – univerzitetni učbenik, verzija 5.2007, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KSH. 445 str.

PHCE d.o.o. 2007. Gradnja MHE6 na Tržiški Bistrici – mlinščici. Projektna dokumentacija IDZ. Ljubljana, Malin d.o.o., Križe.

Poročilo Republike Slovenije Evropski komisiji o implementaciji Direktive 2001/77/ES Evropskega parlamenta in sveta o spodbujanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov energije, Ljubljana, 2009.

Pravilnik o tehnični in projektni dokumentaciji. UL RS št. 66/2004.

Resolucija o Nacionalnem energetskega programu (ReNEP), UL RS, 35/2002

Rössert, R. 1999. Hydraulik im Wasserbau 10. Auflage, München, R. Oldenbourg Verlag. 184 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika, 1. ponatis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 295 str.

Steinman, F. 2008. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, KMTe. 146 str.

Struna, A. 1955. Vodni pogoni na Slovenskem : (gradivo za zgodovino). Ljubljana, Knjižnica zavodov »Litostroj«. 449 str.

U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 2009. HEC-SSP Statistical Software Package User's Manual. Version 1.1. http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ssp/documentation/HEC-SSP_11_Users_Manual.pdf (15.11.2010)

U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. 2010. HEC-RAS River Analysis System User's Manual, Version 4.1. ftp://ftp.usace.army.mil/pub/iwr-hec-web/software/ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf (22.11.2010)

United States Department of Interior Bureau of Reclamation. 1976. Selecting Hydraulic Reaction Turbines. Engineering Monograph No. 20.

Uredba o koncesijah za gospodarsko izkoriščanje vode na posameznih odsekih vodotokov Jezernice in Tržiške Bistrice za proizvodnjo električne energije. UL RS, št. 21/1995.

Uredba o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje. UL RS, št. 23/2004.

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

Uredba o spremembi Uredbe o koncesiji za rabo vode za proizvodnjo električne energije v hidroelektrarnah do 10 MW nazivne moči, za katere je bilo pridobljeno pravnomočno uporabno dovoljenje. UL RS, št. 98/2008.

Wikipedia. Francis turbine. http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine (1.12.2010)

Wikipedia. Hydroelectricity. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity#History> (30.9.2010)

Wikipedia. Hydropower. <http://en.wikipedia.org/wiki/Hydropower#History> (30.9.2010)

Wikipedia. Kaplan turbine. http://en.wikipedia.org/wiki/Kaplan_turbine (1.12.2010)

Wikipedia. Pelton turbine. http://en.wikipedia.org/wiki/Pelton_turbine (30.11.2010)

Zakon o spremembah in dopolnitvah zakona o vodah (ZV-1A). UL RS, št. 57/2008.

Zakon o vodah (ZV-1). UL RS, št. 67/2002.

PRILOGE

Priloga A: Vrednosti faktorja f za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pri povratnem odvzemu

Priloga B: Tabela skupin ekoloških tipov za izračun Qes

Priloga C: Publikacijska karta skupine ekoloških tipov

Priloga D: Vplivi na okolje med gradnjo

Priloga E: Vplivi na okolje med obratovanjem

Priloga F: Shema odtočnega režima 1:5000

Priloga G: Situacija mHE s 15 m priobalnega zemljišča 1:1000

Priloga H: Situacija mHE s 40 m priobalnega zemljišča 1:1000

Priloga I: Vzdolžni profil mlinščice 1:1000/100

Priloga J: Shema hidravličnega modela

Priloga A: Vrednosti faktorja f za izračun ekološko sprejemljivega pretoka pri povratnem odvzemu

Iz Uredbe Q_{ES}, Priloga 1 je povzeta:

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

Priloga B: Tabela skupin ekoloških tipov za izračun Q_{es}

Iz Uredbe Q_{ES}, Priloga 2 je povzeta:

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	v
	11	Panonska gričevja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	11	Krško-brežiška kotlina	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Obalna gričevja	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	11	Panonske ravnine z alpskim vplivnim območjem	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
2	4	Predalpska hribovja-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	4	Predalpska hribovja-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Preddinarska hribovja in ravnine	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Dinarski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Submediteranski kras	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Submediteranska hribovja brez površinskega odtoka	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Submediteranska hribovja s površinskim odtokom	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
3	4	Karbonatne Alpe-donavsko porečje	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	4	Silikatne Alpe	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	4	Karbonatne Alpe-jadransko povodje	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
	5	Dinarska hribovja	vsi ekološki tipi v bioregiji	v
4		Velike reke	vsi ekološki tipi v bioregiji	v

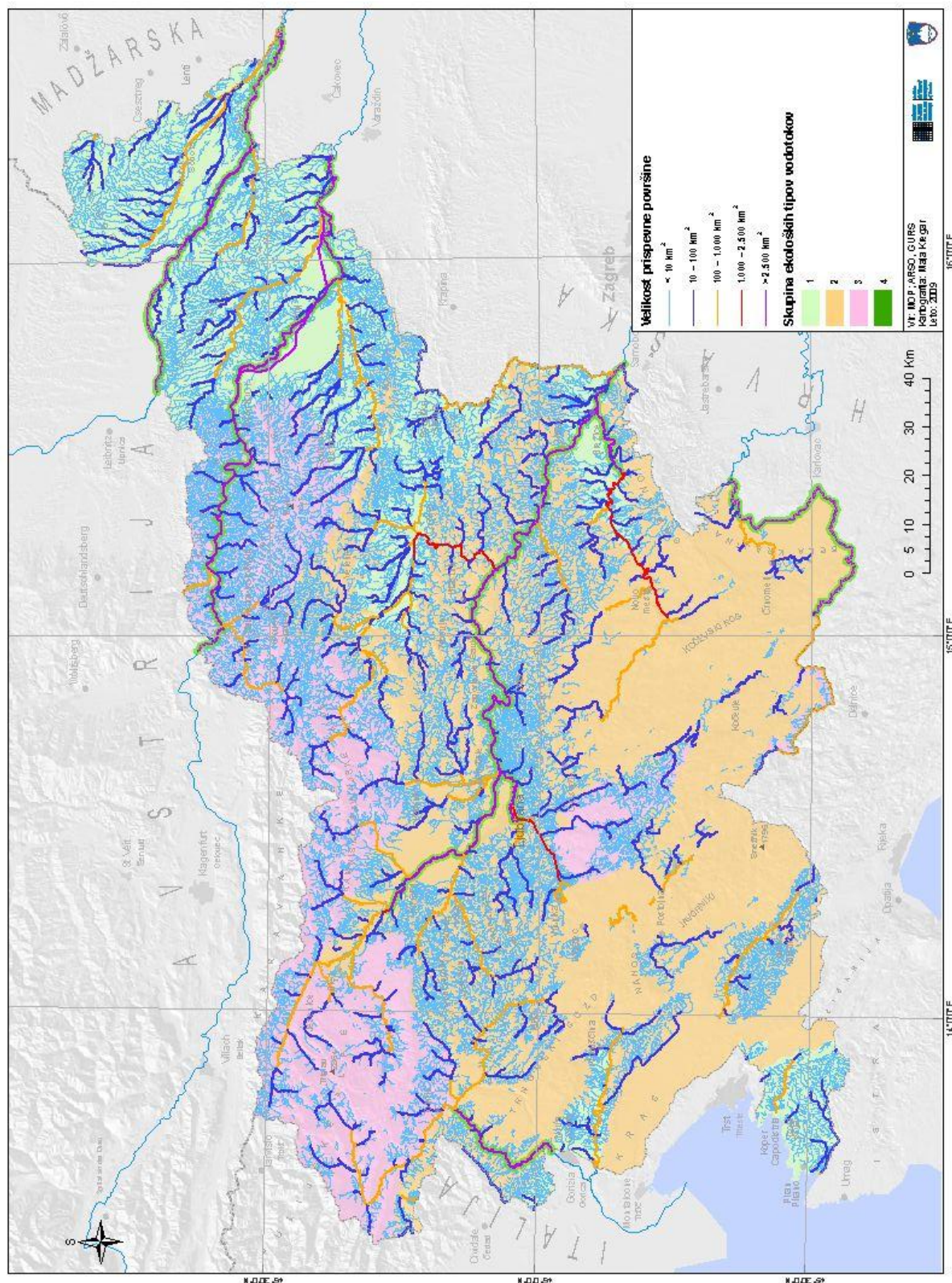
⁽¹⁾ skupine ekoloških tipov so prikazane na publikacijski karti, ki je objavljena na spletnih straneh ministrstva

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

Priloga C: Publikacijska karta skupine ekoloških tipov

vir MOP,

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/okolje/voda/skupine_ekoloških_tipov_vodotokov.jpg (1.4.2011)



Priloga D: Vplivi na okolje med gradnjo

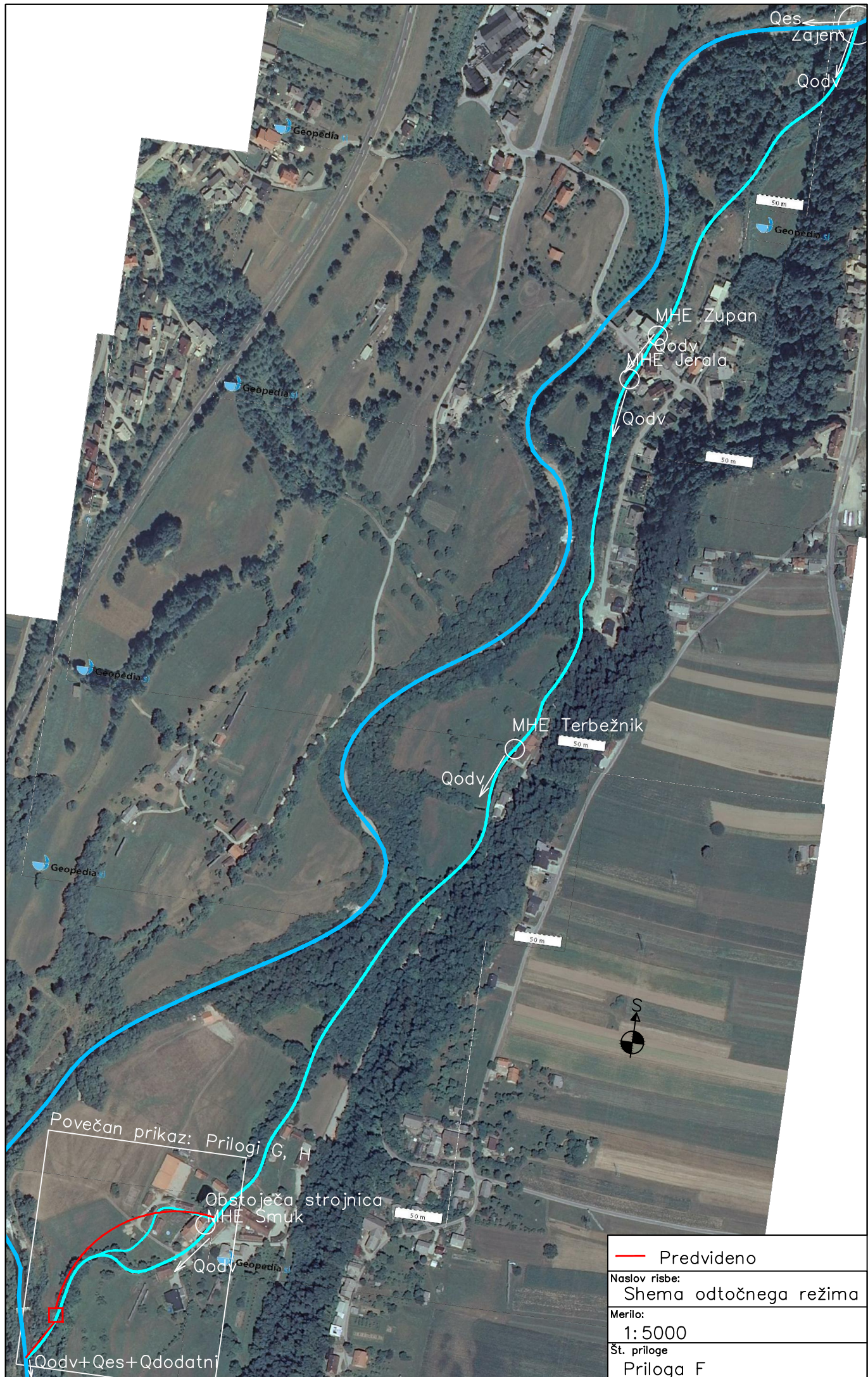
Preglednica povzeta po Externalities of energy Vol. 6 Wind and Hydro

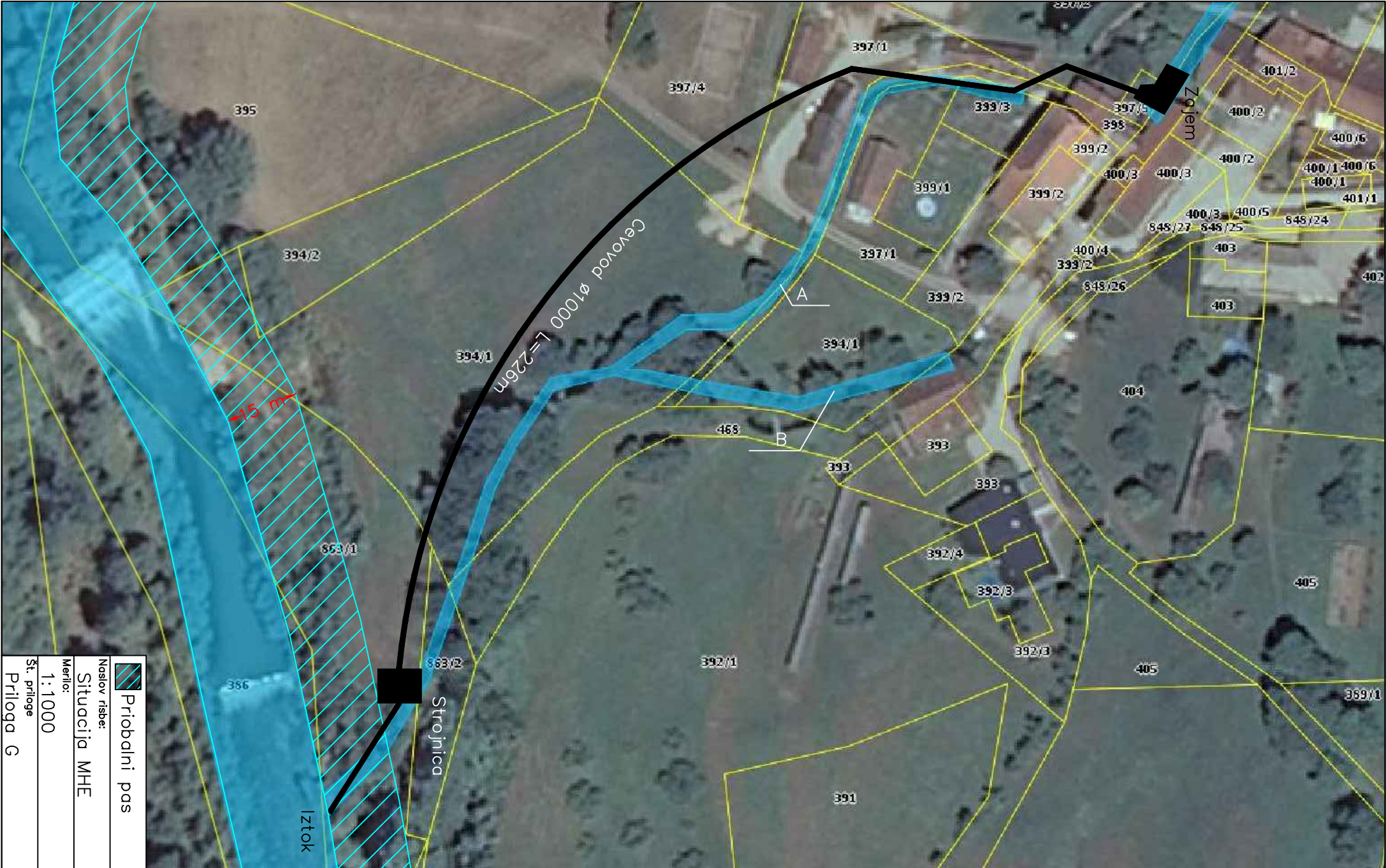
Dogodki med gradnjo	Prizadete osebe ali stvari	Vpliv	Prioriteta
Geodetske meritve	Divjad	Hrup	Nizka
Odstranitev rasti	Rastje	Sprememba habitata	Srednja
Nadgradnja obstoječih cest	Javnost, divjad	Odpiranje priložnosti, sprememba habitata	Srednja
Zemeljska dela	Geologija gradbišča	Stabilnost brežin	Nizka
Ureditev nabrežja	Vodni živelj, hidromorfologija območja	Sprememba rečne hidravlike	Srednja
Začasne deponije za zemljin	Geologija območja	Stabilnost brežin	Nizka
Začasne spremembe cest in daljnovodov	Javnost		Zanemarljiva
Ureditev cest in kontejnerjev za gradbišče	Divjad, javnost	Vizualni vpliv, plašenje divjadi	Nizka
Izkopi v vodotoku	Vodni ekosistem	Sprememba habitata	Srednja
Začasna diverzija vodotoka	Vodni ekosistem	Sprememba habitata	Visoka
Uporaba gradbiščne mehanizacije	Divjad, javnost	Hrup	Visoka
Prisotnost delavcev na gradbišču	Divjad, javnost	Hrup	Nizka


Priloga E: Vplivi na okolje med obratovanjem

Preglednica povzeta po Externalities of energy Vol. 6 Wind and Hydro


Dogodki med obratovanjem	Prizadete osebe ali stvari	Vpliv	Prioriteta
Proizvodnja elektrike iz OVE	Javnost, okolje	Zmanjšanje emisij polutantov	Visoka
Stalni objekti v rečnem dnu	Vodni ekosistem	Sprememba habitata	Visoka
Sprememba toka	Vodni ekosistem	Sprememba habitata	Visoka
Tlačni cevovodi	Divjad, javnost	Vizualni vpliv, ovira za migracije divjadi	Srednja
Novi daljnovodi	Javnost, divjad	Vizualni vpliv	Nizka
Kamnometi	Vodni ekosistem, javnost	Sprememba habitata, vizualni vpliv	Nizka
Sprememba pretoka	Ribe	Sprememba habitata	Visoka
	Rastline	Sprememba habitata	Srednja
	Javnost	Sprememba možnosti za rekreativne dejavnosti	
Hrup elektromehanske opreme	Javnost	Sprememba kvalitete življenja	Nizka



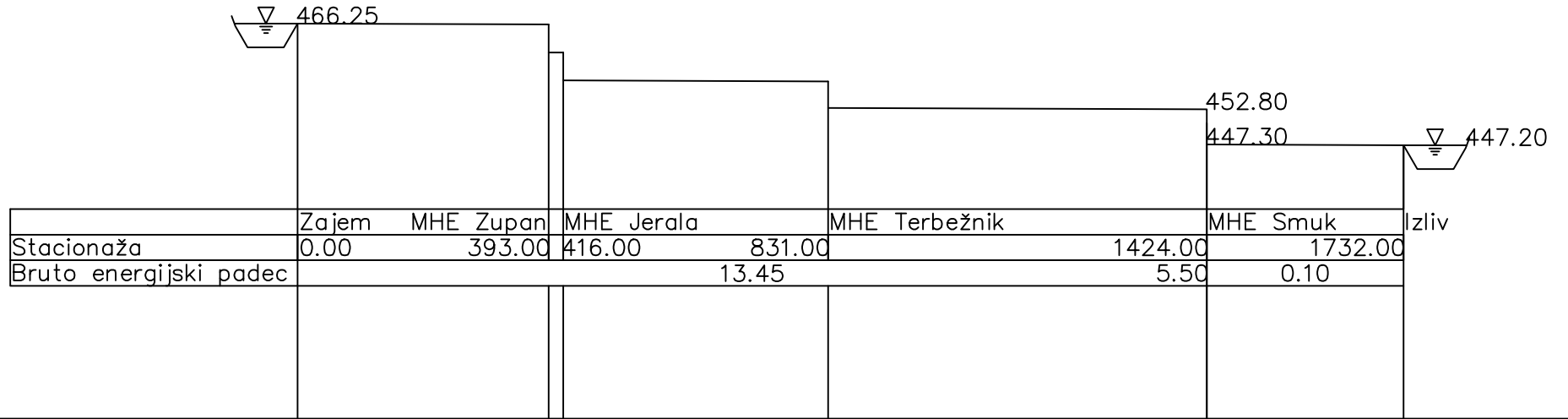


	Priobalni pas
Naslov risbe:	Situacija MHE
Merilo:	1:1000
St. priloge	Priloga G

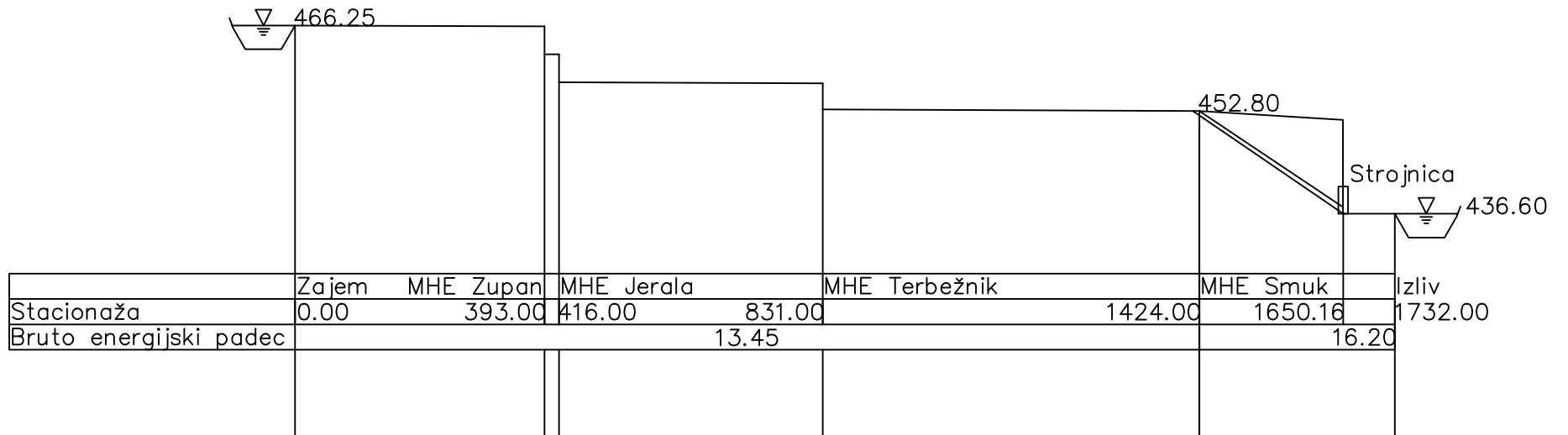


	Priobalni pas
Noslov risbe:	Situacija MHE
Merilo:	1:1000
St. priloge	Priloga H

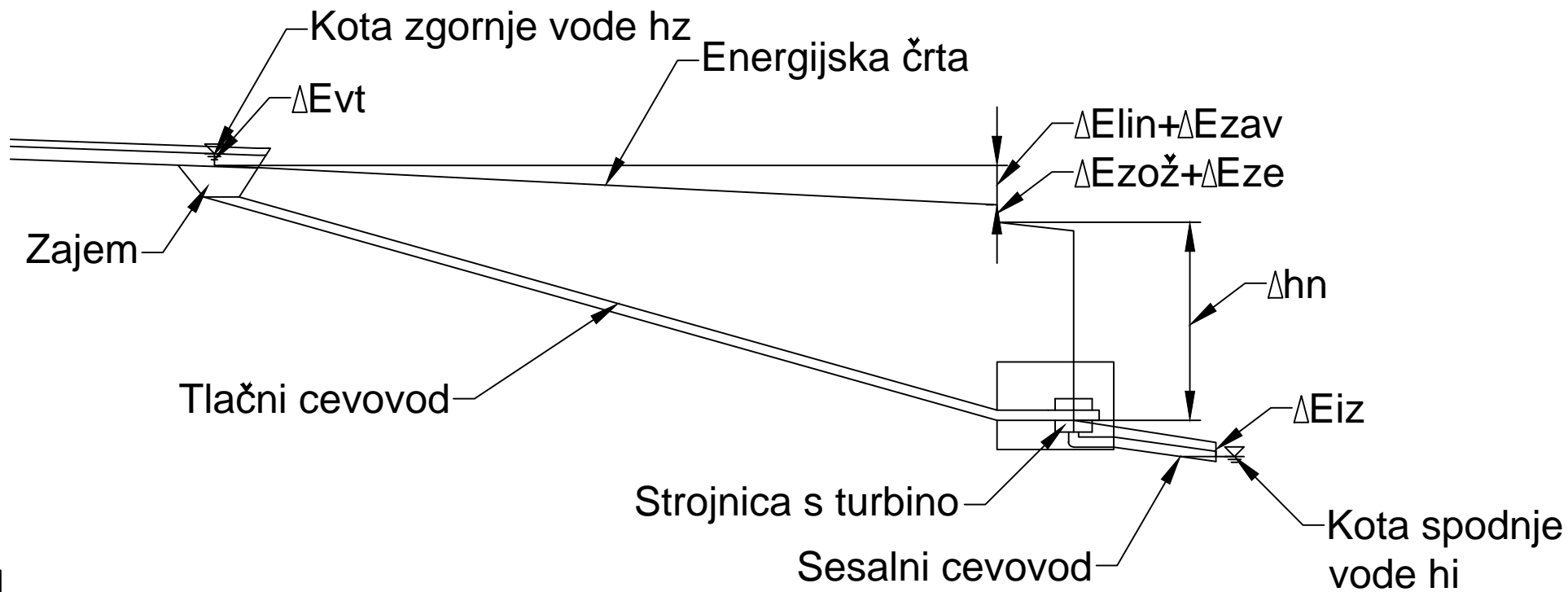
Obstoječe stanje



Predvideno stanje



Naslov risbe:
 Vzdolžna profila mlinsčice
 Merilo:
 1:10000/1000
 St. priloge
 Priloga I



Naslov risbe:	Schema hid. modela
St. priloge	Priloga J