

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:

Dejan Bogataj

Predlog ureditve levega brega Save na območju Vrbine na bodoči akumulaciji HE Brežice

Diplomska naloga št.: 2828

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Ljubljana, 29. 9. 2005

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani DEJAN BOGATAJ izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»PREDLOG UREDITVE LEVEGA BREGA SAVE NA OBMOČJU VRBINE PRI BODOČI
HE BREŽICE«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, _____

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK :** 624.13+626.882+627.4/.5+627.81 (043.2)
- Avtor:** Dejan Bogataj
- Mentor:** izr. prof. dr. Matjaž Mikoš
- Somentor:** viš. pred. mag. Andrej Kryžanowski
- Naslov:** Predlog ureditve levega brega Save na območju Vrbine pri bodoči HE Brežice
- Obseg in oprema:** 92 str., 14 prgl., 19 sl., 33 en.
- Ključne besede:** zadrževalnik, gramoznica, ribja steza, kajakaška proga, HE Brežice, spodnja Sava, Vrbina

Izvleček

V diplomski nalogi predstavljam možnost celovite ureditve območja ob bodoči akumulaciji HE Brežice. Primarni namen je z izgradnjo gramoznice zagotoviti pokrivanje potreb po materialu za gradnjo spodnjiesavske verige HE, saj se na predlaganem območju nahaja dober material tako za vgradnjo v betone kot za gradnjo nasipov. Gramozno jamo se nato z ureditvijo in zapolnitvijo z vodo uporabi kot dodaten zadrževalnik ob akumulaciji HE Brežice in s tem bistveno izboljša umestitev le-te v prostor, ki ga je možno na ta način uporabiti tudi za turistično-rekreacijske namene. Ti vključujejo tako gradnjo kajakaške proge kot tudi ureditev gozdnih polotokov, sprehajalnih poti, mokrišča in drugih turistično-rekreacijskih področij. Diplomsko delo zajema poleg predloga ureditve tudi ocene prostornin materialov iz gramoznice, vodni režim v zadrževalniku v primerih ekstremnih vremenskih sprememb, in različne hidravlične rešitve regulacij pretokov z izračuni. Ob gradnji spodnjiesavske verige se pojavlja problem migracije vodnih organizmov, ki jim je z izgradnjo pregrad onemogočena. Rešitev bi bile ribje steze, ki pa v Sloveniji žal še ne funkcionirajo kot bi morale, in pomenijo tudi izgubo energije za HE. V nalogi je predstavljena alternativna rešitev ribje steze v sklopu celovitega urejanja obvodnega prostora akumulacije HE Brežice z zasnovo, ki prinaša prihranek energije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC :** 624.13+626.882+627.4/.5+627.81 (043.2)
- Author:** Dejan Bogataj
- Supervisor:** Assoc. Prof. Ph. D. Matjaž Mikoš
- Co – supervisor:** Sen. Sect. M. Sc. Andrej Kryžanowski
- Title:** A suggestion of the arrangement of the river Sava's left bank in the area of Vrbina at the planned accumulation lake of the hydro power plant Brežice
- Notes:** 92 p., 14 tab., 19 fig., 33 eq.
- Key words:** accumulation lake, gravel pit, fish-pass, fish-way, kayak water course, hydro power plant Brežice

Abstract

In the graduation thesis I represent a suggestion to wholesome arrangement of the area near the planned accumulation lake of the hydropower station Brežice. Primary purpose is to build a gravel pit for ensuring covering the deficit of the material for hydro power plants construction, dams and dykes in particular, at the lower stream of the Sava river. The gravel grave will be used as additional accumulation by arranging it and filling it with water improving its installation to the area. The additional accumulation can be used also for tourist-recreational purposes, building a kayak water course, arrangement of the forest peninsula, walking paths, marshes and similar. The present work includes also appreciation of the volumes of materials from gravel pit, water regime in the additional accumulation for different extreme years and different hydraulic solutions of regulation of flows with calculations. On the other side there is also a problem of the water organisms' migrations after the hydro power plants at the lower stream of Sava are constructed. The solution would be fish-ways, which do not function as they should in Slovenia as they represent a waste of energy for hydro power plants. The alternative solution of the fish-way in the concept of the whole arrangement of the area near the accumulation of the hydropower plant Brežice is presented including the power saving project.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju viš. pred. mag. Andreju Kryžanowskemu. Hvala tudi izr. prof. dr. Mitju Brillyju, ki mi je pomagal pridobiti ustrezna dovoljenja za uporabo podatkov.

Zahvaljujem se ge. Meti Povž za pomoč pri iskanju rešitev ribje steze, Ministrstvu za gospodarstvo za dovoljenje za uporabo študij, in naslednjim podjetjem in organizacijam, ki so mi pomagali pri pridobivanju podatkov in informacij:

- Geološkemu zavodu Ljubljana,
- IBE d.d.,
- inštitutu IRMA d.o.o.,
- Inštitutu za vode Republike Slovenije,
- Ljubljanskemu urbanističnemu zavodu d.d.,
- Savskim elektrarnam d.o.o.,
- Zavodu za gozdove Slovenije (Območna enota Brežice).

Posebna zahvala velja tudi staršema, ki sta mi ves čas študija dajala vso podporo.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 VERIGA HE NA SAVI	3
2.1 SPLOŠNO O VERIGI	3
2.1.1 Hidroenergetika v Sloveniji - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995)	3
2.1.2 Opis zasnove verige HE na Savi - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995) in študiji Energetska izrabe Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979).....	5
2.2 VERIGA NA SPODNJI SAVI	7
2.2.1 Podatki o verigi - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995).....	7
2.2.2 Morfološke, geološke in geotehnične značilnosti - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995)	8
2.2.3 Krajinske značilnosti - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995).....	11
2.2.4 Tla - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995).....	13
2.2.5 HE Brežice - povzeto po študiji Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju (MOPE, 2003) in po študiji Energetska izrabe Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979) 14	
2.2.5.1 Podatki o akumulaciji in predvidenem vodnem režimu	14
2.2.5.2 Vplivi izgradnje akumulacije na okolje in prostor	18
3 ZASNOVA PREDVIDENIH UREDITEV	19
3.1 SPLOŠEN OPIS	19
3.2 STROKOVNE PODLAGE	20
3.2.1 Topografija s prikazom 3D modela	20
3.2.2 Geološki podatki	22
3.2.3 Podatki o sestavi gozdnih habitatov	23
3.2.4 Hidrološki podatki	24
3.3 DIMENZIONIRANJE OBJEKTOV.....	27
3.3.1 Gramoznica	27
3.3.1.1 Račun prostornine izkopanega materiala	27
3.3.1.2 Pokrivanje potreb po materialu in cene.....	33
3.3.2 Zadrževalnik	34
3.3.2.1 Račun stalne prostornine vode v zadrževalniku.....	34
3.3.2.2 Dotok vode v zadrževalnik	34
3.3.2.3 Iztok.....	47
3.3.2.4 Vodni režim v zadrževalniku.....	55
3.3.2.5 Izvedba nasipov	64
3.3.2.6 Tesnjenje	68

3.3.2.7 Vzdrževanje zadrževalnika.....	70
4 UREDITVE ZA REKREACIJSKO-TURISTIČNO RABO.....	71
4.1 KAJAKAŠKA PROGA.....	71
4.1.1 Teorija.....	71
4.1.2 Idejna zasnova.....	73
4.2 PRISTANIŠČE.....	76
4.3 UREDITEV DOSTOPNIH POTI.....	77
5 OKOLJSKE UREDITVE.....	79
5.1 UREDITEV RIBJE STEZE.....	79
5.1.1 Uvod.....	79
5.1.2 Teorija.....	79
5.1.3 Idejna zasnova.....	83
5.2 KRAJINSKE UREDITVE.....	85
5.2.1 Ureditev gozdnih polotokov.....	85
5.2.2 Ureditev mokrišča.....	87
8 ZAKLJUČKI.....	88
VIRI.....	90

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.2.4.1: Kote gladin reke Save pri 100-letni vodi, pri $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$	25
Preglednica 3.3.1.1.1: Ocene prostornin posameznih materialov, pridobljenih iz predvidene gramoznice.....	32
Preglednica 3.3.2.2.1: Pretok Q pri različnih višinah prelivanja (h_{pr}) za različne širine prelivnega polja (b).....	36
Preglednica 3.3.2.2.2: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 152,5 m in koti vode v zadrževalniku na 151,3 m (normalno obratovanje)	41
Preglednica 3.3.2.2.3: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 152,5 m in koti vode v zadrževalniku na 148,3 m ($\max. \Delta h$)... ..	42
Preglednica 3.3.2.2.4: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 151,4 m in koti vode v zadrževalniku na 151,3 m ($\min. \Delta h$)	43
Preglednica 3.3.2.2.5: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi v primeru razlike v kotah vode v akumulaciji HE Brežice in zadrževalniku 0,3 m.....	45
Preglednica 3.3.2.4.1: Račun koristne prostornine v odvisnosti od gladine vode (varianta b2)	57
Preglednica 3.3.2.4.2: Prihranki prostornine vode za različna leta in režime obratovanja (varianta b2).....	60
Preglednica 3.3.2.4.3: Račun koristne prostornine v odvisnosti od gladine vode (varianta c) ..	62
Preglednica 3.3.2.4.4: Prihranki prostornine vode za različna leta in režime obratovanja (varianta c).....	64
Preglednica 3.3.2.5.1: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 153,0 m	66

Preglednica 3.3.2.5.2: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 153,5 m	67
Preglednica 3.3.2.5.3: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 154,0 m	68

KAZALO GRAFIKONOV

Graf 3.3.2.2.1: Pretok čez prelivno polje (Q) v odvisnosti od višine prelivanja (h_{pr}) pri širini prelivnega polja $b = 4$ m	37
Graf 3.3.2.4.1: Naraščanje kote vode v odvisnosti od koristne prostornine vode (varianta b2)	58
Graf 3.3.2.4.2: Naraščanje kote vode v odvisnosti od koristne prostornine vode (varianta c)	63

KAZALO SLIK

Slika 3.2.1.1: Fotografija dela območja predvidenega zadrževalnika.....	20
Slika 3.2.1.2: Prikaz dejanskega stanja terena s 3D modelom	21
Slika 3.2.1.3: 3D model dejanskega stanja terena, ki je »raztegnjen« v višino (v z smeri) za 100-krat.....	21
Slika 3.2.1.4: Bočni pogled žičnega 3D modela dejanskega stanja terena, ki je »raztegnjen« v višino za 100-krat	22
Slika 3.2.4.1: Potok Močnik	26
Slika 3.3.1.1.1: Tloris daljic, postavljenih čez zadrževalnik	28
Slika 3.3.1.1.2: 3D model dna bodočega zadrževalnika, izrisanega po kvadratnih parabolah.	28
Slika 3.3.1.1.3: Popravljen 3D model dna zadrževalnika z najnižjo koto 145 m.....	30
Slika 3.3.2.2.1: Dotok čez prelivno polje	39
Slika 3.3.2.2.2: Prikaz sistema delovanja dotoka v zadrževalnik z uporabo meniha z zapornico	46
Slika 3.3.2.3.1: Iztok iz zadrževalnika	49
Slika 3.3.2.3.2: Prikaz oznak za račun nepoglobljenega podslapja.....	51
Slika 3.3.2.3.3: Prikaz oznak za račun poglobljenega podslapja.....	53
Slika 3.3.2.3.4: Prerez korita iz zadrževalnika z oznakami	55
Slika 4.1.2.1: Sestavni deli gumenega jezua (Sava Kranj, 1994).....	73
Slika 4.1.2.2: Sistem natančne regulacije gumenega jezua (Sava Kranj, 1994)	74
Slika 4.1.2.3: Prikaz ureditve dotoka v kajakaško progo	75

Slika 5.2.1.1: Polotok ob akumulaciji HE Završnica..... 86

Slika 5.2.2.1: Prikaz sedanjega stanja območja vzhodno od obstoječe gramoznice Stari grad,
kjer predlagam ureditev mokrišča..... 87

KAZALO PRILOG

- Priloga A Podatki iz geoloških vrtin
- Priloga B Podatki o pretokih reke Save za tri ekstremna leta (1960, 1978, 1983)
- Priloga C Računalniški program za izris dna zadrževalnika in račun prostornin
- C1 Prvotna verzija računalniškega programa za izris dna in račune prostornin
- C2 Popravljen računalniški program za izris dna zadrževalnika in izračune prostornin
- Priloga D Računi poglobljenega podslapja v programu EXCEL
- D1 Račun poglobljenega podslapja na dotoku v zadrževalnik
- D2 Račun poglobljenega podslapja na iztoku iz zadrževalnika
- Priloga E Račun vodnega režima zadrževalnika
- E1 Varianta b2
- E2 Varianta c
- Priloga F Vzdolžni prerez nasipa v merilu 1:2000/100
- Priloga G Situacije zadrževalnika za različne variante iztoka iz zadrževalnika v merilu 1:5000
- G1 Situacija-varianta a (ribja steza preko zadrževalnika, iztok prek mokrišča ob gramoznici Stari Grad)
- G2 Situacija-varianta b1 (ribja steza preko zadrževalnika, iztok prek Pšeničnika)
- G3 Situacija-Varianta b2 (ribja steza ob zadrževalniku, iztok prek Pšeničnika)
- G4 Situacija varianta c (predlagana varianta - iztok direktno v Močnik)

Priloga H	Prečni prerezi v merilu 1:200
H1	Prečni prerez 1-1 (čez gozdni polotok)
H2	Prečni prerez 2-2
H3	Prečni prerez 3-3 (čez kajakaško progo)
Priloga I	Vzdolžni profil odvodnika od iztoka iz zadrževalnika do reke Save v merilu 1:20.000/200
Priloga J	Pregledna karta načrtovanih ureditev v merilu 1:10.000

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

FAO	Food & agriculture organization of the United Nations
GZL	Geološki zavod Ljubljana
HE	hidroelektrarna
HSE	Holding slovenskih elektrarn
IBE	Inženirski biro elektroprojekt, podjetje za projektiranje in inženiring
IVRS	Inštitut za vode Republike Slovenije
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
MOPE	Ministrstvo za okolje, prostor in energijo
NEK	Nuklearna elektrarna Krško
RS	Republika Slovenija
SEL	Savske elektrarne
ZGS	Zavod za gozdove Slovenije

1 UVOD

Na spodnji Savi je predvidena izgradnja šestih hidroelektrarn (HE). HE Vrhovo že obratuje, HE Boštanj je v izgradnji, sledi pa izgradnja HE Blanca, HE Krško, HE Brežice in HE Mokrice kot zadnje v tej verigi hidroelektrarn. Ob tem se pojavlja potreba po materialu tako za gradnjo pregradnih objektov kot za gradnjo nasipov.

Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju temeljijo na dejstvu, da je treba že v fazi načrtovanja posegov pripraviti predloge rešitev, ki bodo sprejemljivi za vse udeležene uporabnike prostora in njihove interese v procesu gradnje in obratovanju verige HE.

Ključni element sprejemljivosti HE v prostoru je možnost njene souporabe in večnamenska raba akumulacije. Možnosti rabe so različne: od športno rekreacijske in turistične, do rabe za potrebe odvzema vode za industrijske porabnike, za namakanje in za potrebe požarnega varstva, ter za vzrejo, gospodarjenje, lov in ribolov.

Primarni problem pri gradnji HE na Savi je zagotavljanje materiala za gradnjo, saj obstaja velik primanjkljaj le-tega. Za ta namen je predvidena postavitvev gramoznice v Vrbini na levem bregu Save, dolvodno od Nuklearne elektrarne Krško (NEK).

Po izčrpanju materiala je ena od možnosti, da se obstoječa gramoznica uporabi kot dodaten zadrževalnik ob akumulaciji HE Brežice. Voda se vanjo pretaka prek preлива iz Save, izpust pa poteka prek potoka Močnik z izlivom dolvodno od bodoče pregrade HE Brežice. Ta vodna pot je namenjena tudi prehodu organizmov. V času visokih pretokov v reki Savi se zadrževalnik polni, ko so pretoki nizki, pa se prazni in s tem bogati vodno pot. Tako se zmanjšajo izgube energije.

Na tem območju obstaja tudi velik interes po turistično-rekreacijskem prostoru, saj zadrževalnik leži v bližini Brežic in Krškega. V ta namen se lahko uredi kajakaška proga med zadrževalnikom in potokom Močnik, obstoječe gozdne površine pa se uredi kot t.i. gozdne otočke oziroma polotoke. Na severni strani gramoznice se zgradi visokovodne nasipe, ki

preprečijo poplave na Krško-Brežiškem polju v primeru visokih voda, medtem ko so otočki lahko občasno preliti z vodo. Možna je tudi ureditev pristanišča za ladje.

Z zalitjem izkopane gramoznice z vodo in ureditvijo okolice se tudi poseg bistveno lepše prilagodi okolju. Tako bi z njim dosegli kar nekaj rešitev, ki so v interesu tako Savskih elektrarn d.o.o. (HSE d.o.o.), lokalnih skupnosti, ribiških družin, naravovarstvenikov, Kajakaške zveze Slovenije (KZS) in drugih turistično-rekreacijskih organizacij:

- izkop kvalitetnega materiala za potrebe gradnje verige HE na spodnji Savi,
- rešitev problema ribje steze,
- rekreacijsko-turistični center s kajakaško progo,
- pristanišče za plovila,
- dodatni zadrževalnik za visoke vode.

2 VERIGA HE NA SAVI

2.1 Splošno o verigi

2.1.1 Hidroenergetika v Sloveniji - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995)

S spremembo strukture preskrbe z električno energijo (stalno večanje % termoenergije) se je vloga hidroelektrarn (predvsem akumulacijskih) v sistemu spremenila: manjša se njihova vloga pri pokrivanju konstantnega dela dnevnega diagrama obtežbe, večja pa se potreba po proizvodnji zagotovljene vršne energije ter po sposobnosti za prevzemanje primarne in sekundarne regulacije. Paralelno s prestrukturiranjem naše industrije se pojavlja nov fenomen, ki bo v bodoče še izrazitejši. Rast potrošnje električne energije bo sicer upočasnjena, istočasno pa se bo, zaradi zmanjšanja deleža velikih porabnikov, neugodno spreminjal dnevni diagram obtežbe (razmerje med vršno, srednjo in najnižjo obremenitvijo).

V preskrbi z električno energijo in pri izgradnji elektroenergetskih proizvodnih zmogljivosti se je Slovenija v preteklosti bolj ali manj prilagajala politiki nekdanjega skupnega jugoslovanskega elektroenergetskega sistema. V Sloveniji so se pretežno gradile termoelektrarne na premogovnih bazenih Trbovlje in Velenje, v začetku osemdesetih let je bila za skupne potrebe Slovenije in Hrvaške zgrajena še nuklearna elektrarna Krško (NEK). Zanimanje za graditev hidroelektrarn (HE) kot virov za proizvodnjo variabilne energije in moči se je v Sloveniji po dograditvi verige HE na Dravi precej zmanjšalo, saj so bili razpoložljivi hidroenergetski viri v drugih republikah energetske in ekonomske ugodnejši. Slovenija je tako nepokriti del potreb po vršni energiji in moči nabavljala v drugih republikah. Kasneje je zaradi pomanjkanja lastnih naravnih virov oziroma zaradi visokih stroškov njihove eksploatacije začela sovlagati tudi v izgradnjo termoelektrarn v Bosni in Hercegovini. Vse to se je po osamosvojitvi Slovenije odrazilo na dokaj neugodni strukturi proizvodnih kapacitet. Z odcepitvijo od bivšega jugoslovanskega elektroenergetskega sistema je Slovenija izgubila možnosti pokrivanja manjkajoče količine energije in moči iz tega območja. Tako je prišlo do kritičnega zmanjšanja potrebne rezervne moči za kritje potreb po regulaciji v elektroenergetskem sistemu. Ta izpad se skuša trenutno nadomestiti z zakupom v tujini.

Energija termoelektrarn ali energija, ki se jo bo uvažalo, bo namenjena kritju potrebe po energiji v pasu, energija v vršnem delu diagrama (predvsem moč) pa mora biti po energetsko-ekonomski logiki proizvedena čim bližje konzuma.

Poudarek akumulacijskim hidroelektrarnam daje želja po samostojnem obratovanju elektroenergetskega sistema v Sloveniji v sistemu UCPT. Kljub želji po liberalizaciji trgovine z električno energijo bo v veljavi še vedno ostal princip, da si mora potrebno rezervno moč, tako rotirajočo kot stoječo, regulacijsko moč in proizvodnjo jalove energije vsak sistem zagotoviti sam. Prav na tem področju pa je elektroenergetski sistem Slovenije zelo šibak. Nova vloga hidroelektrarn v elektroenergetskem sistemu zahteva višje instalirane moči, kot so bile običajne v preteklosti, in iskanje možnosti zgraditve akumulacijskih elektrarn, ki bi lahko najboljše zadostile zgoraj omenjenim potrebam.

Zaradi ekoloških problemov, ki jih z onesnaževanjem zraka ustvarjajo termoelektrarne na domače premoge (z veliko količino žvepla), je v naši energetske politiki predvidena orientacija na uvožena »čistejša« tekoča in plinasta goriva, kar bo v prihodnosti še večalo našo energetsko odvisnost od uvoza in ustvarjalo probleme pri uravnoteženju naše zunanjetrgovinske bilance, pri čemer pa sploh ne rešujemo akutne svetovne problematike prevelike emisije CO₂.

Skupna instalirana moč zgrajenih hidroelektrarn je 677,7 MW, njihova povprečna letna proizvodnja pa znaša 3199 GWh. V celoti je izkoriščen samo razpoložljivi padec slovenskega odseka Drave. Razpoložljivi hidropotencial Save z Ljubljano je izkoriščen le okoli 12 %, in Soče z Idrijo okoli 24 %.

Zgrajene so le pretočne elektrarne z zelo majhnimi koristnimi prostorninami akumulacij (koristna prostornina vseh do sedaj zgrajenih akumulacij znaša 31,36 hm³) in z zelo nizkimi faktorji instalacije (razmerje med instaliranim in srednjim letnim pretokom).

Jasno je, da elektrarne s tako majhnimi akumulacijami in nizkimi faktorji instalacije ne morejo obratovati elastično in ne morejo v zadostni meri prispevati k pokrivanju variabilnega dela dnevnega diagrama ter potreb po primarni in sekundarni regulaciji v elektroenergetskem

sistemu, ne morejo torej vršiti vloge, ki naj bi jo imela hidroelektrarna. Današnjim potrebam v sistemu bi za obstoječe pretočne elektrarne ustrezal faktor instalacije med 2 in 2,5 v odvisnosti od hidrološkega karakterja vodotoka.

Pretežni del elektrarn obratuje že od 30 do 50 let in so potrebne revitalizacije. Pri tem bo potrebno v okviru danih morfoloških in ostalih možnosti povečati tudi instalirani pretok.

Slovenija ne razpolaga niti z eno akumulacijsko elektrarno sezonskega karakterja, ki bi lahko, poleg že omenjenega, vršila tudi vlogo rezerve v sistemu.

Prefeasibility študija (SEL d.o.o., 1995) tudi navaja, da je možno na glavnih vodotokih v Sloveniji zgraditi še elektrarne s skupno močjo približno 1391 MW in srednjo letno proizvodnjo približno 4213 GWh. Če k temu dodamo še grobo ocenjen tehnično in ekonomsko izkoristljivi potencial, ki ga je možno izkoristiti z malimi hidroelektrarnami približno 100 MW in 500 GWh, potem znaša skupni še neizkoriščen vodni potencial Slovenije približno 1491 MW moči oziroma 4713 GWh letne proizvodnje. Bistveno pri tem je, da obstajajo naravne možnosti za ustvaritev akumulacij s skupno koristno prostornino čez 760 milijonov m³. Pretežni del teh bazenov bi bil večnamenski. Razen svoje vloge v energetiki bi bogatili male vode (Cerknica, Planina), zmanjševali visoke in omogočali preskrbo širšega področja s pitno vodo (Radovna, Planina).

2.1.2 Opis zasnove verige HE na Savi - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995) in študiji Energetska izrabe Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979)

V povodju zgornje Save so doslej zgrajene tri elektrarne: HE Moste, HE Mavčiče in HE Medvode. Pretežni del potenciala (91 %) ostaja še neizkoriščen.

Nizvodno od HE Medvode je na območju Slovenije možno zgraditi še 16 pretočnih elektrarn.

Celotna veriga je razdeljena na tri smiselno in energetske zaključene odseke:

- I. Vrhovo – Mokrice (spodnja Sava);
- II. Tacen – Ponoviče (zgornja Sava);
- III. Renke – Suhadol (srednja Sava).

Skupaj z že obstoječimi hidroelektrarnami na zgornjem toku (Mavčiče – Medvode) naj bi veriga obratovala po principu pretočne akumulacije. HE Mavčiče in HE Medvode naj bi pri tem igrali vlogo čelne, HE Brežice in HE Mokrice pa izravnalne akumulacije. Akumulacije so, razen pri čelni in izravnalni stopnji, relativno majhne. Zato hidroenergetskega potenciala reke pri delno zgrajeni verigi (npr. na odseku Vrhovo – Mokrice) ni mogoče dovolj učinkovito izrabiti za proizvodnjo variabilne energije in moči.

I. odsek je v ekonomskem in energetskega smislu najbolj interesanten. Morfologija terena omogoča sorazmerno ugodno gradnjo, brez velikih posegov v okolje in vplivov na ostalo infrastrukturo. Zaradi bogatih vodonosnih stranskih pritokov (Savinja, Krka) so na tem odseku najugodnejši hidrološki pogoji. Širina struge na tem odseku omogoča, z izjemo ene stopnje (HE Krško), gradnjo glavnih pogonskih objektov v eni gradbeni jami.

Po končani izgradnji odseka I (HE Vrhovo – HE Mokrice) je predvideno, da se začne z izgradnjo odseka II (HE Tacen – HE Ponoviče), ki obsega 7 elektrarn. Izgradnja stopenj na tem odseku bi sklenila verigo 18 elektrarn. Povečala bi se možnost vršnega obratovanja in s tem tudi vrednost pridobljene energije v že obstoječih stopnjah. Graditev tega odseka je, razen za energetiko celotne Slovenije ter mesta Ljubljane, zanimiva tudi za vodno gospodarstvo in druge interesne dejavnosti, ki se vedno pojavljajo ob večjih naseljih: za rekreacijo, možnosti za vodne športe, razvoj turizma itd. Zajezitve bodo zagotovile dvig podtalnice na območju Ljubljanske kotline, od koder se mesto Ljubljana napaja s pitno vodo, pospešile pa bodo tudi razvoj rekreacijskih dejavnosti.

Zadnja je zgraditev načrtovanega odseka III (HE Renke – HE Suhadol), ki poteka v kanjonskem delu Save in obsega 3 elektrarne.

Po sklenitvi celotne verige elektrarn bo omogočeno njihovo polno obratovanje po principu pretočne akumulacije in s tem optimalno izkoriščanje razpoložljivega potenciala. Tak režim nudi možnost prilagajanja proizvodnje zahtevanim dnevnim nihanjem porabe električne energije ter pokrivanju potreb po regulaciji frekvence. Pri tem bosta HE Mavčiče in HE Medvode, kot že omenjeno, prevzeli vlogo čelne, HE Brežice in HE Mokrice pa vlogo izravnalne akumulacije.

Dnevno obratovanje verige je predpostavljeno po določenem predvidenem poteku potreb po moči v elektroenergetskem sistemu. Tako naj bi obratovanje s polno močjo ne trajalo več kot 4 ure, z 80 % močjo nadaljnjih 8 ur, s 60 % močjo še 6 ur, in končno še 6 ur z močjo, ki odgovarja 40 % inštaliranega pretoka. Minimalni pretoki skozi turbine naj bi bili manjši od 30 % inštaliranega pretoka.

Praviloma naj bi se dnevno obratovanje razdelilo v dopoldanski in večerni del, kar je običajno za podobne primere verige hidroelektrarn s sorazmerno majhnimi koristnimi akumulacijami.

2.2 Veriga na spodnji Savi

2.2.1 Podatki o verigi - povzeto po Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995)

Na spodnji Savi (od sotočja z reko Savinjo pri Zidanem mostu do Mokric) je predvidenih šest energetske stopenj na lokacijah: Vrhovo, Boštanj, Blanca, Krško, Brežice in Mokrice. Prva elektrarna v nizu (HE Vrhovo) je že dograjena in obratuje, HE Boštanj pa je v gradnji.

Instalirani pretok verige na spodnji Savi znaša: $Q_i = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, bruto potencial Save na odseku Zidani most – meja z republiko Hrvaško znaša: $W_b = 1106 \text{ GWh/leto}$, povprečna letna neto proizvodnja verige na spodnji Savi je ocenjena na $W_n = 865 \text{ GWh/leto}$, moč na pragu pa na $P_m = 206,8 \text{ MW}$.

Vloga verige HE na spodnji Savi bo proizvodnja vršne energije oz. regulacijske moči in bo obratovala v dnevnem pretočno akumulacijskem režimu. V času nizkih obremenitev (ponoči in v času dnevnih znižanih obremenitev) bo veriga obratovala z minimalnim možnim pretokom in polnila akumulacije, v času dnevnih vršnih obremenitev pa ob izrabi akumulirane vode z maksimalno možno močjo (ob 10 % rezervi za potrebe regulacije sistema).

Možnost obratovanja po principu pretočne akumulacije se bo povečala s stopnjo izgrajenosti verige (v začetku bodo elektrarne obratovala pretežno pretočno, s povečanjem števila stopenj pa se bo povečala tudi sposobnost verige za proizvodnjo vršne energije in regulacijske moči), odvisna pa bo tudi od predpisanih pogojev in omejitev obratovanja, ki jih narekujejo

koristniki vodotoka ter v skladu z dogovorjenim vodnim režimom v mejnem profilu z Republiko Hrvaško.

2.2.2 Morfološke, geološke in geotehnične značilnosti - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995)

Na tem odseku (od sotočja z reko Savinjo pri Zidanem mostu do Mokric) ima Sava padec 58 m in poteka po kameninah različne geološke starosti, od permokarbona do kvartarja. Pri Radečah se kanjonski del Save konča in preide v nekoliko širšo dolino. Ta je sorazmerno gosto naseljena, z vmesnimi kmetijskimi območji, ki so ob visokih vodah občasno tudi poplavljeni. Na območju naselja Brestanica se dolina zopet zoži – v sredini je Sava, na desnem bregu cesta in na levem železniška proga. Od Krškega navzdol se dolina razširi in predstavlja nekakšen začetek panonskega nižavja z vsemi vplivi, ki jih ta prinaša.

Leta 1960 je Geološki zavod izdelal inženirsko geološko poročilo za odsek Save med HE Vrhovo in HE Krško, in sicer za potrebe osnovnega energetskega projekta Save. Po daljši prekinitvi projektiranja se je leta 1982 na tem odseku ponovno začelo z raziskovalnimi deli. Geološke raziskave so se pričele na HE Vrhovo tako za pregradni profil kot tudi za akumulacijo, nato pa so se nadaljevale na HE Boštanj, HE Mokrice, HE Brežice ter nazadnje na HE Blanci. HE Krško leži neposredno nad mestom Krško na lokaciji, ki topografsko ter geološko-geotehnično ni bila raziskana.

V profilih elektrarn so bila izvršena obsežna geološka raziskovanja (geološka vrtanja, geofizikalne meritve, poskusna črpanja, seizmične meritve itd.), ki so določila točen položaj osnovne hribine in njene geotehnične karakteristike, kompetentne za temeljenje objektov in določitev obsega morebiti potrebnih injekcijskih del. Izdelane so bile terenske in laboratorijske raziskave za določitev geomehanskih karakteristik površinskih aluvialnih materialov, ki so potrebne za izvedbo bočnih nasipov ob akumulacijah, za tesnitev samih nasipov in aluvija pod nasipi.

Dodatne geološko-geotehnične raziskave bodo potrebne le v profilu HE Krško, katere lokacija je bila spremenjena, ter v profilu HE Mokrice, če bo pri nadaljnjem projektiranju prišlo do premika lokacije te elektrarne. Izvršene so regionalne geološke in geofizikalne raziskave za

razjasnitev zgradbe terena. Izvedena so sondažna raziskovalna dela s plitvimi vrtinami do hribinske podlage in le delno s poglobljenim vrtnanjem v podlago ter meritvami njenih fizikalnih lastnosti. Opravili so tudi hidrogeološke meritve na terenu z njegovo kategorizacijo in pridobitvijo potrebnih parametrov za modeliranje izgub vode iz akumulacij, ter vpliv zaježitve Save na podtalnico.

Reka Sava je v dolžini približno 50 km (zračna linija od Zidanega mostu do Mokric) vrezala svoj strugo v izredno pisano serijo kamenin širokega razpona geološke starosti in tektonske porušenosti.

V zgornjem delu pri Vrhovem se je vrezala v premokarbonatne sedimente, ki jih gradijo glinasti skrilavci, kremenovi peščenjaki in konglomerati. Proti Boštanju preseka triadne kamenine: bolj odporni ploščat in skladovit dolomit in manj odporni dolomit s plastmi sljudastega meljevca, peščenjaka in skrilavca. S svojim tokom proti Blanci in Brestanici si utira pot preko kamnin terciarne starosti v skladnico krednih sedimentov izredno pisane sestavine: rjav in zelen lapor, peščen lapor, laporni apnenec, ploščati apnenec z vložki peščene breče. Med Brestanico in Krškim se vreže v triadni skladovit dolomit in ploščat apnenec ter neplastnat dolomit k roženici. Od Krškega do Mokric poteka pretežno po ravninskem terenu Krško-Brežiškega, Čateškega in Dobovskega polja, delno po miocenskih, glinastih laporjih, glinovcih in peščenih laporjih ter po pliokvartarnih in kvartarnih prodno peščenih in meljnih sedimentih.

Po podatkih geološkega kartiranja se nad strugo reke Save dvigajo pleistocenske prodne terase. Tako teraso zasledimo na levem bregu pri Vrhovem do 18 m visoko nad rečno gladino, pri Boštanju do 15 m visoko nad rečno gladino, pri Brežicah 15 m, pri Mokricah 16 m, itd. Ob strugi Save so pretežno holocenske prodne naplavine, debele od 3 do 8 m ter prekrite s peščeno meljnimi in glinastimi zemljinami v debelini od 1 do 4 m. Podlago kvartarnim prodnim naplavinam sestavljajo sedimenti terciarne starosti (glinovec, meljevec, laporovec, peščenjak, peščen apnenec). Holocen je razčlenjen v več nivojev teras.

Ozemlje spodnjesavske energetske verige pripada štirim večjim geotektonskim enotam: Posavskim gubam, Zunanjim Dinaridom, Balatonskemu masivu in Krški udorini. Precejšen

del ozemlja pripada prav Posavskim gubam - v sklop te enote spadajo litijski antiklinorij, senovška sinklinala in Krško hribovje.

V zgornjem delu verige območja Vrhovega do Boštanja se nahajajo geotektonske enote litijskega antiklinorija, ki je usmerjen od zahoda proti vzhodu. Jedro antiklinorija sestavljajo mladopaleozojski glinasti skrilavci in peščenjaki. V sklopu zgradbe antiklinorija se nahajajo tudi še klastiti spodnje triade ter apnenci in dolomiti srednje in zgornje triade. Jugovzhodno od litijskega antiklinorija poteka senovški sinklinorij območja Boštanj-Blanca. Sestavljen je iz srednjih ter zgornjemiocenskih ter pontijskih plasti. Osrednji del pripada Krškemu hribovju (območje Blance in akumulacije HE Krško), ki ga sestavljajo spodnje srednje in zgornjetriasne kamenine, nanje pa so erozijsko odloženi kredni globokomorski sedimenti. Višinske peneplene sestavljajo pliokvartarne usedline. V Krškem hribovju prav tako prevladujejo strukture vzhod-zahod.

Poleg prelomne tektonike in gubanja je za te predele posavskih gub značilna tudi narivna zgradba. Smer narivanja je od severa proti jugu. Tako je narinjen kompleks triasnih kamenin Lisce in Rudnika na permokarbonske kamenine litijskega antiklinorija. Drugo narivno čelo sledi južno od Save pri Sevnici, kjer so zgornjetriasne in kredne plasti Krškega hribovja narinjene na spodnjetroiasne in permokarbonske plasti litijskega antiklinorija oziroma senovške sinklinale.

Krška sinklinala pripada v širšem smislu zagorskemu terciarnemu bazenu in predstavlja njegov jugozahodni del, ki je bil v pliokvartarju tektonsko porušen zaradi pogrezanja krške udorine. Gradijo jo miocenski sedimenti.

Po nastanku je med tektonskimi enotami najmlajša Krška kotlina, ki pripada panonskemu obdobju. To je tipična mlada tektonska udorina, ki se je pogrezala v pliocenu in kvartarju. Ima pravokotno obliko, ugrezala pa se je ob dinarsko, prečno dinarsko in alpsko potekajočih prelomnicah. Udorino so zapolnile rečne naplavine, jezerski in močvirski sedimenti in poluvialne usedline.

Na reambuliranem območju sta relief in hidrografska mreža v tesni zvezi s tektoniko. Manjše dolinice spremljajo sisteme razpok in lokalne prelome, večje doline pa so nastale ob večjih prelomih in prelomnih conah. Med miocenom in pliocenom je bilo na obravnavanem ozemlju močno gubanje, ki mu je v spodnjem pliocenu sledila splošna penneplenizacija.

Pri neotektonskih premikanjih so se ob različnih prelomnih sistemih deli spodnjepliocenskega penneplena dvigali in spuščali v različne višine. Neotektonika je skoraj v celoti reaktivirala starejše prelomne sisteme in je tako dala prelomni tektoniki današnjo podobo. O neotektonskem delovanju se v tem delu Slovenije lahko govori od srednjega pliocena dalje. Premikanja so sledila miocenskemu gubanju in narivanju. Glede na smer prelomov in vrsto premikov razlikujemo v tem delu Slovenije štiri vrste prelomnih sistemov:

1. prelomi s smerjo zahod-vzhod,
2. prelomi s smerjo sever-jug,
3. prelomi s smerjo severozahod-jugovzhod,
4. prelomi s smerjo jugozahod-severovzhod.

Poleg naštetih prelomnih sistemov so ponekod prisotni tudi lokalni neotektonski narivi in luske. Kamenine ob večjih prelomih so izredno močno nagubane, razkosane, zdrobljene in milonitizirane. Pogosto so spremenjene v tektonske breče. Zdrobljene cone so ponekod široke tudi do sto metrov. Najbolj je vidna tektonska dejavnost prav v terenih, ki so zgrajeni iz triasnega dolomita. Jakost posameznih prelomov in prelomnih sistemov je različna. Največja porušenost kamenin je opazna ob orliškem, stojdraškem (in poljskem) krškem prelomu in prelomnem sistemu ob Savi, ki je vzporeden sevniškemu prelomu.

2.2.3 Krajinske značilnosti - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995)

Krajinske značilnosti celotnega območja določata površinski pokrov in predvsem reliefna zgradba prostora, ki jo je izoblikovala reka Sava s pritoki. Smer prostora je tako določena s smerjo toka Save (dinarska smer), ki ga spreminjajo grebeni Posavskega hribovja in gričevja.

Medtem ko so za zgornji del Savske doline (nad Sevnico) značilne velike višinske razlike ter ozka dolina, obdana z visokim gozdnatim hribovjem, so za spodnji del značilni gričevje

(gorice) ter obsežne ravnice za intenzivno kmetijsko rabo s topolovimi nasadi na vlažnejših predelih. Dolina spodnje Save je zelo poseljena; velikost, gostota, morfološka zgradba in strnjenost naselij so tako kot druge rabe v mnogočem posledica naravne zgradbe prostora. Izstopajo nekateri kakovostni kulturni členi (Sevniški in Brestaniški grad ter prvine kmetijske kulturne krajine – vaška naselja in skupine kozolcev na Kompoljskem prelivu, v Šmarčni).

Po dolini spodnje Save so v večji ali manjši oddaljenosti od reke speljani infrastrukturni koridorji (cesta, železnica, elektrika, plin), ki zlasti v zožitvah močno obremenjujejo prostor in zmanjšujejo njegove ekološke in vidne vrednosti. Pomemben degradacijski dejavnik so kamnolomi (Krško) in gramoznice (Boštanj).

Območju daje prepoznavnost predvsem velika kultiviranost z različnimi vzorci kulturne krajine. V ravninah so ti vzorci večjih dimenzij in pravilnejših oblik, v gričevjih pa manjši in bolj prepleteni. Vzorci se po tipoloških značilnostih, predvsem po vidnih značilnostih krajinske zgradbe, uvrščajo v krajinske tipe:

- poljedelska krajina na gričevju z razpršeno pozidavo – značilen krajinski vzorec na gričevju, pester preplet kmetijske in drugih rab prostora, drobna členjenost parcelne strukture in kmetijskih kultur;
- krajina intenzivnega poljedelstva na ravnini (hmelj, poljščine) – z redkimi prostorskimi poudarki (osamela drevesa, posamični kozolci ali skupine kozolcev) in ponekod z reguliranimi vodotoki, podrejenimi tehnologiji kmetijske dejavnosti na obsežnih obdelovalnih površinah, posamezna območja kljub melioracijskim posegom še ohranjajo tradicionalno parcelno strukturo in sestavo pridelovalnih kultur, značilen krajinski vzorec na ravninah, pomemben za identiteto;
- gozdnato gričevje z gozdovi hrasta in bukve – pogost krajinski vzorec, predvsem na osojnih in manj dostopnih legah;
- gozdnato hribovje – gozdovi imajo pomembno varovalno funkcijo (strma pobočja, nestabilna, plazovita tla), pogost krajinski vzorec na osojnih pobočjih nad Savo;
- nižinski poplavni gozdovi in logi ter vrbina – gozdovi na vlažnih in ekološko bogatih (zanimivih) tleh, življenjsko povezan s podtalnico Krško-Brežiškega polja – značilen krajinski vzorec na ravnini, ki je v širšem prostoru redek (logi, manjši gozdovi) in v primeru

obsežnejših površin izjemen (Krakovski gozd) ter kot tak s posebnimi vrednostmi, krajinski vzorec, ki je pomemben za identiteto spodnjega Posavja;

- topolovi nasadi – gospodarsko pomembni gozdni sestoji na vlažnih in poplavnih tleh, v vplivnem območju visokih voda Save in podtalnice s pomembno lesno proizvodno funkcijo (celuloza) – vzorec, ki kot sestavni del kulturne krajine daje območju obsavskega prostora identiteto in je redek v širšem območju;

- reke v ravnini – značilen krajinski vzorec ob Savi in njenih večjih pritokih, pomemben vzorec za identiteto obravnavanega območja, opredeljujejo ga vodotok, prodišča, otoki v strugi, obsežna vegetacija, logi ter večje ali manjše travniške površine v poplavnih ali bolj mokrotnih območjih ob reki, ponekod so ta vzorec uničile regulacije, zato je obravnavan kot ogrožen;

- krajina manjših naravno ohranjenih vodotokov – vodotoki s kakovostno obrežno zarastjo in ekološko bogatimi izlivnimi deli – značilen krajinski vzorec predvsem v gričevnih območjih, v ravninskih delih je večina pritokov reguliranih, prav tako njihovi izlivni deli;

- sadjarske plantaže in vinogradi na gričevju – obsežne parcele na razmeroma členjenem reliefu, ureditev vrst po plastnicah (terase), ta krajinski vzorec je kot posledica intenzivne kmetijske pridelave soustvarjalec kulturne krajine in je v širšem območju redek;

- večja strnjena naselja – strnjena pozidava naselij v ozki dolini je posledica prostorske stiske in razlitosti grajene strukture na ravninskih delih savske ježe.

2.2.4 Tla - povzeto po študiji Ovrednotenje zasnove in projektov HE na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor (MOP, 1995)

Pri Krškem zapusti Sava tektonsko enoto Posavskih gub in priteče v terciarno udorino Krške kotline, kjer se dolina nenadoma zelo razširi. Reka in krajina ob njej dobita ravninski značaj.

Krška kotlina je tipična tektonska udorina, ugreznjena ob alpskih in dinarskih prelomnicah. V miocenu je sem segal vpliv Panonskega morja. V udorini je morje odložilo mladoterciarne usedline, ki so prekrite z mlajšimi pleistocenskimi nanosi (prod – pesek, gline – ilovice), ki sta jih tu odlagali Sava in Krka s svojimi pritoki.

Sava je v preteklosti v ravnini zelo spreminjala strugo, o čemer pričajo opuščene suhe struge in ježe, ki so po več kilometrov oddaljene od sedanjega toka, ki je reguliran.

OBČINA BREŽICE

Dolino reke Save od meje z občino Krško do Mokric prekrivajo naslednji tipi tal:

1. tla na peščenoprodnatih nanosih

Ta tip tal se pojavlja v dolinskem in ravninskem svetu ob Savi, od meje z občino Krško do Mokric, in se je razvil na matični podlagi z večjim deležem karbonatnih kamenin. Za ta tla so značilne ugodne fizikalne lastnosti. Tla so propustna za vodo, kar ima v humidni klimi izjemen pomen. Propustnost tal omogoča, da je obdelovanje klub padavinam poenostavljeno oziroma olajšano.

2. tla na glinah in ilovicah

Na vlažnih mestih ob potokih in na nižjih terasah, kjer se pojavljajo tudi metamorfne kamenine, najdemo iluvialne gline, ki pogojujejo to obliko tal na ilovicah in glinah.

3. tla na trdnih karbonatnih kameninah

Ta tip tal je razvit na Čateški terasi oziroma ob spodnjem obrobju pobočja Gorjancev in Čateža.

2.2.5 HE Brežice - povzeto po študiji Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju (MOPE, 2003) in po študiji Energetska izrabe Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979)

2.2.5.1 Podatki o akumulaciji in predvidenem vodnem režimu

Akumulacija HE Brežice predstavlja skupno z akumulacijo HE Mokrice izravnalno akumulacijo za celotno verigo. Zajema del poplavnega območja Krškega in Brežiškega polja na levem in desnem bregu Save. Koristna prostornina je 3,45 milijona m³ vode pri denivelaciji 1,1m, zasnovana površina akumulacije za popolno izravnavo na meji pa 3,14 milijonov m². HE je locirana gorvodno od sotočja s Krko, približno 300 m gorvodno od starega cestnega mostu v Brežicah. Moč elektrarne je 39,68 MW, inštaliran pretok pa znaša 500 m³/s. Neto padec znaša 10,40 m. Da bi bili zadoščeni pogoji obratovanja NEK, je predvidena kota zajezbe 152,5 m, ki po dosedanjih ocenah še ne predstavlja ovir pri odtoku hladilne vode iz NEK. Študije so pokazale, da bi bila višja kota energetsko sprejemljivejša,

tudi mestno jedro zato ne bi bilo bolj prizadeto, glavno omejitev pa dejansko predstavlja hladilni sistem NEK. Poleg že naštetih vprašanj višinske namestitve iztoka se postavlja tudi vprašanje obratovalnih dovoljenj, vezano na spremembo obratovalnih pogojev – vprašanje toplotne polucije, vprašanje kratkega stika tople in mrzle vode, problemi zablatenja vtoka nujne vode itd.

Kot nadaljevanje te diplomske naloge bi se lahko proučilo možnosti izpuščanja hladilne vode NEK v zadrževalnik, ki se ga obravnava v tej nalogi.

V študiji energetske izrabe Save (IBE, 1979) so bili analizirani tudi štiri karakteristični pretoki, t.j. 3-, 6- in 9-mesečni, ter srednji nizki pretok Save za celotno verigo.

Pri 6-mesečnem dotoku (zgornja meja najpogostejših pretokov je na obravnavanih profilih 6-mesečna voda) mora HE Brežice večji del dnevnega odtoka HE Krško izravnati za toliko, da bo v HE Mokrice – tik pred republiško mejo – možno popolno izravnavanje pretokov. Ostane 2-urno konično obratovanje s $500 \text{ m}^3/\text{s}$ ter za preostalih 22 ur pretok $168 \text{ m}^3/\text{s}$, z izjemo dveh ur s pretokom $184 \text{ m}^3/\text{s}$. Dvakrat dnevno je potrebna denivelacija $0,37 \text{ m}$ za $V = 2,75 \text{ hm}^3$.

V primeru obratovanja pri 3-mesečnih pretokih (obravnavani so pretoki, ki so prekoračeni samo 90 dni v letu) bo veriga obratovala z najmanj 40 % pretokom ene turbine. V HE Brežice se potem, razen 4-urnega koničnega pretoka $492 \text{ m}^3/\text{s}$, vsi ostali pretoki izravnavajo na $282 \text{ m}^3/\text{s}$. Zato je potrebno $1,60 \text{ hm}^3$ akumulacije ob $0,22 \text{ m}$ denivelacije.

9-mesečni pretoki predstavljajo spodnjo mejo najpogostejših pretokov. Pri takih pretokih se skoraj vse razpoložljive vode s primerno regulacijo lahko predelajo s 4 do 6-urnim dnevnim forsiranim obratovanjem. Do omejitev takega obratovanja pride samo za potrebe NEK in ob predpostavljeni zahtevi po popolni izravnavi pretokov v HE Mokrice. HE Brežice povečuje stalni dnevni pretok na $76 \text{ m}^3/\text{s}$, konični pretok pa se skrajša na skupno 4 ure. Potrebna je akumulacija $0,68 \text{ hm}^3$ ob denivelaciji $0,09 \text{ m}$.

Pri srednjih nizkih pretokih na Savi se s primerno regulacijo dnevnih pretokov lahko pojavita dve dnevni dvourni konici ob sorazmerno majhnih potrebah po koriščenju akumulacij

posameznih hidroelektrarn v verigi. HE Brežice ima enake pretoke kot HE Krško, pri čemer se konica skrajša na eno dopoldansko in eno večerno uro po 290 m³/s.

Lokacija pregrade HE Brežice je pogojena s sotočjem Save in Krke ter se nahaja gorvodno od sotočja. S tem ne vpliva na visoke vode Save na področju sotočja s Krko, in posredno na poplave na območju Krške vasi. Natančna lokacija bo znana po pridobitvi natančnih smernic in pogojev izvedbe. Glede na energetske karakteristike je optimalna lokacija čim bližje mostu čez Savo in Krko – km 738,442 Save, glede na naravne značilnosti prostora pa čim bolj gorvodno od sotočja.

Akumulacija se nahaja na prodnih zasipih Krško-Brežiškega polja. Za razliko od gorvodnih elektrarn bosta HE Brežice in HE Mokrice na obsežnem aluvialnem območju z deset in več metri debelimi sloji aluvija, ki pa je brez podtalnice zaradi nizkih gladin vode v reki Savi. Z izgradnjo akumulacije se bo podtalnica v vodonosniku ponovno dvignila, ponekod tudi do površine, in ogrozila objekte, ki so trenutno varni. Potrebne so obsežne raziskave z modelom podtalnice.

Gorvodno od jezovne zgradbe so levo in desno predvideni energetske nasipi, ki bodo tesnjeni do nepropustne podlage. Pred dokončno odločitvijo o velikosti in načinu tesnitve, so tu potrebne še natančnejše in vsaj nekaj let trajajoče meritve nihanja podtalnice, da bo možno na podlagi matematičnega modela ugotoviti in prirediti lego podtalnice zahtevam prostora. V Prefeasibility študiji (SEL d.o.o., 1995) so predvideli tesnitev vseh energetskih nasipov do nepropustne podlage, tam pa, kjer voda preide v obstoječo korito in so merodajni visokovodni nasipi, tesnjenje ni predvideno. V primeru zajezne višine 152,5 m je dolžina levoobrežnega nasipa 6980 m, desnega pa 6920 m, volumen levega je 558.400,0 m³, desnega pa 553.600,0 m³, kar skupaj znaša 1.112.000,0 m³.

Tako za energetskimi kot za vodno gospodarskimi nasipi je predviden drenažni kanal, ki ima zaščiteno dno s skalometno oblogo. Prav tako je po celotni višini nasipa predvidena skalometna obloga debeline 0,5 m.

Zaradi nedorečenega stanja o obratovanju verige HE na spodnji Savi in dogovora s Hrvaško o obratovanju, je obseg akumulacije še nepredvidljiv. Izraženi sta dve možnosti, in sicer:

- minimalna varianta v primeru obratovanja HE v taktu tudi s hrvaškimi HE, ki obsega le najnujnejši obseg, ki ga prevajajo visokovodni nasipi dolvodno od Brežic, in sicer v širini približno 350 m;
- maksimalna varianta v primeru potrebe po maksimalni kompenzaciji količin vode na slovenskem ozemlju; obseg je odvisen najprej od energetskih potreb in zahtev, pri čemer pa je treba upoštevati zahteve ostalih uporabnikov prostora, predvsem kmetijstva, varstva naravnih vrednot, varstva kulturne dediščine ter možnosti večnamenske rabe akumulacije.

V študiji Energetska izraba Save od Medvod do Mokric (IBE, 1979) je navedeno, da bo izgradnja velike akumulacije HE Krško vplivala na spremembe v režimu podtalne vode na Krškem polju na desnem bregu in Krško-Brežiškem polju na levem bregu. Po doslej znanih podatkih se pretaka skozi Krško polje v profilu Krška vas – Brežice 300 l/s kvalitetne podtalne vode pri nizkem vodnem stanju, in skozi Krško – Brežiško polje 130 l/s podtalne vode. V času izdelave študije se je na Krškem polju iz enega vodnjaka črpalo 42 l/s podtalne vode, severno od vasi Brege pa je bila predvidena izgradnja črpališča za območje Krškega z zmogljivostjo 150 l/s ter izgradnja črpališča za NE Krško z zmogljivostjo 28 l/s. Pri Skopicah in Krški vasi je bila predvidena izgradnja črpališča za območje Brežic z zmogljivostjo 90 l/s. S tem se zajame nizek pretok podtalne vode Krškega polja. Na Krško-Brežiškem polju je bila predvidena izgradnja črpališča za Brežice na območju Vrbine, ki bi bilo s predvideno akumulacijo delno potopljeno.

Iz omenjenih podatkov je razvidno, da ima podtalna voda tako na desnem kot levem bregu Save izreden pomen za vodopreskrbo Krškega in Brežic. Če se akumulacija ne bo zablatala, je pričakovati celo povečanje pretoka podtalne vode, ki se že sedaj napaja v glavnem iz Save. Delež Save pri napajanju znaša sedaj 40-60 %, ostalo odpade na infiltracijo padavin. V primeru zablatenja bregov se bo seveda delež Save pri napajanju podtalnice močno zmanjšal, kar bo povzročilo v sušnem obdobju močan padec pretoka podtalnice. S tem bodo ogrožena vsa predvidena črpališča za območje Krškega in Brežic, zato bo treba podtalno vodo bogatiti z umetno infiltracijo vode iz akumulacije, oziroma če bo vode dovolj, iz drenažnih kanalov. To

bo seveda terjalo izgradnjo infiltracijskih bazenov in mehanskih čistilnih naprav za čiščenje močno onesnažene savske vode.

2.2.5.2 Vplivi izgradnje akumulacije na okolje in prostor

GOZDARSTVO:

- topolovi nasadi niso zelo občutljivi za spremembo gladine podtalnice, ogrozi jih lahko le neposredno zalitje;
- nižinski sestoji doba in belega gabra so zelo občutljivi na spremembo gladine podtalnice, ob povišanju bi prišlo do zamočvirjanja in spremembe vrstne sestave, ob znižanju gladine pa do sušenja redkih in ogroženih sestojev - njihovo uničenje bi bilo nesprejemljivo;
- predvsem znižanje gladine podtalnice bi lahko ogrozilo Krakovski gozd.

KMETIJSTVO:

- obsežna akumulacija bo pomenila izredno velike izgube kmetijskih in tistih zemljišč, ki imajo potencialne za kmetijstvo ter so nacionalnega pomena.

TURIZEM:

- zaradi bližine občin Brežice in Čatež so vplivi na potencialne prostora za rekreacijo in turizem veliki, kar velja predvsem za čas gradnje, vendar niso nepomembne možnosti za njihovo ohranitev ali celo povečanje.

3 ZASNOVA PREDVIDENIH UREDITEV

3.1 Splošen opis

Pri gradnji spodnjėsavske verige se pojavlja potreba po materialu tako za vgrajevanje v betone za gradnjo pregrad, kot za gradnjo nasipov. Ob bodoči akumulaciji HE Brežice, dolvodno od NUK (na območju Vrbine) obstaja za ta namen primeren material, kar dokazuje (poleg podatkov geoloških preiskav Geološkega zavoda Ljubljana (1984)) tudi že obstoječa gramoznica Stari grad, ki v bližini tega območja obratuje že 20 let. Zato se mi zdi smiselno na tem delu, ob bodoči HE Brežice, zgraditi gramoznico za črpanje materiala, ki bi v veliki meri rešila problem primanjkljaja materiala za gradnjo pregrad in nasipov.

Gramoznica sama po sebi negativno vpliva na krajinski izgled območja. Zato po izčrpanju materiala predlagam ureditev gramozne jame kot dodaten zadrževalnik ob akumulaciji HE Brežice, ki bi se ob visokih vodah polnil, in praznil, ko so pretoki v reki Savi nizki. Zadrževalniku je potrebo predpisati ustrezen vodni režim, ki je pogojen s sistemom dotoka in iztoka vode.

Obvodno površino zadrževalnika je mogoče izkoristiti za rekreacijsko-turistično rabo. Kot eno od možnosti ponujam izgradnjo kajakaške proge, ureditev pristanišča za manjše ladje (kot dodaten zaliv 300 m dolvodno od konca zadrževalnika), na opuščnem delu gramoznice Stari grad pa vidim možnost ureditve mokrišča, saj je tam že sedaj gramozna jama, napolnjena z vodo. Na območju zadrževalnika predlagam ureditev gozdnih polotokov zaradi izboljšanja krajinskega izgleda območja, boljše vključitve v prostor in rekreacijsko-turistične atraktivnosti. Vse to prikazujem v situaciji (Prilogi G4).

Ob gradnji spodnjėsavske verige se pojavlja tudi problem migracije vodnih organizmov. V Savi živi veliko rib, ki se v večjem delu leta selijo gorvodno do glavnih voda, kjer se drstijo. Z izgradnjo pregrad HE je prekinjena povezanost toka in s tem živim organizmom onemogočena migracija po toku navzgor in navzdol. Glede na to, da je večina teh rib sposobna premagovati določene višinske razlike, jim je na poti čez umetno ali naravno oviro možno pomagati z zgraditvijo ustreznih prehodov oziroma ribjih stez, ki pa predstavljajo izgubo energije za HE. Vodo iz zadrževalnika je mogoče koristno uporabiti za bogatenje ribje

steze v času nizkih pretokov, to pa pomeni prihranek energije. Pri iskanju možnih variant iztekanja vode iz zadrževalnika glavno pozornost namenjam prav izpolnitvi zahtev ribje steze.

3.2 Strokovne podlage

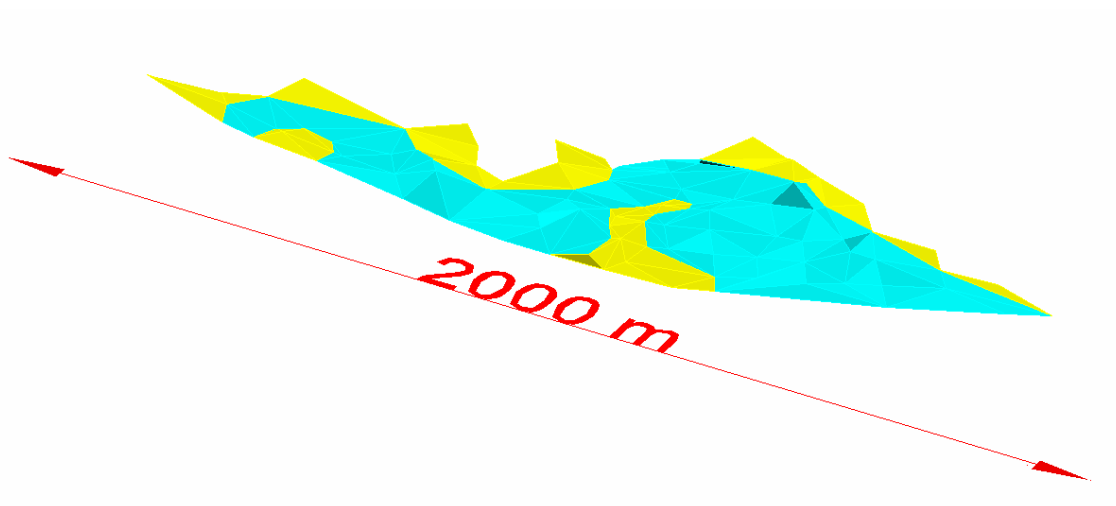
3.2.1 Topografija s prikazom 3D modela

Za topografijo terena sem uporabil topografske karte v merilu 1:5000 (del študije Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju (MOPE, 2004)). Nanje sem nato vrisal različne variante sistema predvidenega zadrževalnika (priloge G). Zaradi boljše predstave sem si območje ogledal tudi sam. Iz topografskih kart in ogleda je razvidno, da je teren zelo raven, saj razlika med najnižjo in najvišjo koto območja ne presega niti treh metrov. Za boljšo predstavo območja prilagam tudi fotografijo (Slika 3.2.1.1).



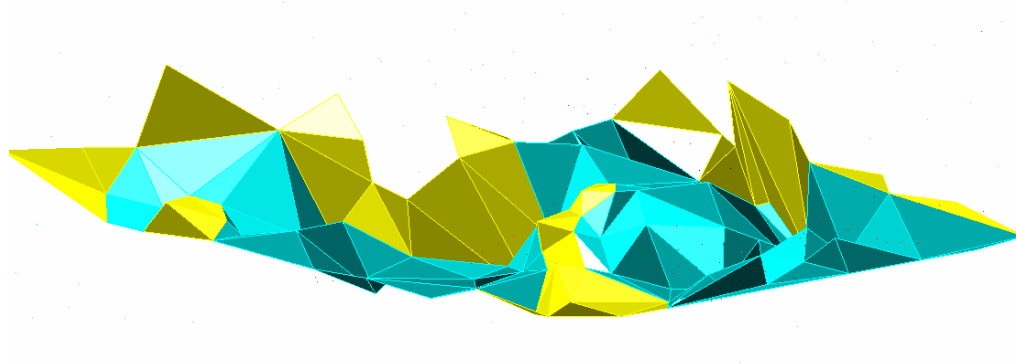
Slika 3.2.1.1: Fotografija dela območja predvidenega zadrževalnika

Za še boljši občutek nagiba in oblike terena sem v programu AUTOCAD na podlagi geodetskih podlog izdelal 3D model območja (Slika 3.2.1.2). Geodetske točke sem postavil na prave koordinate (tudi na pravo višino) in jih povezal med sabo s trikotnimi ploskvicami (3D Face). Na modelu modre trikotne ploskvice predstavljajo območje bodočega zadrževalnika, ploskvice ob robu zadrževalnika pa so rumene. Kateri del območja je predstavljen, je razvidno iz situacij (priloge G).

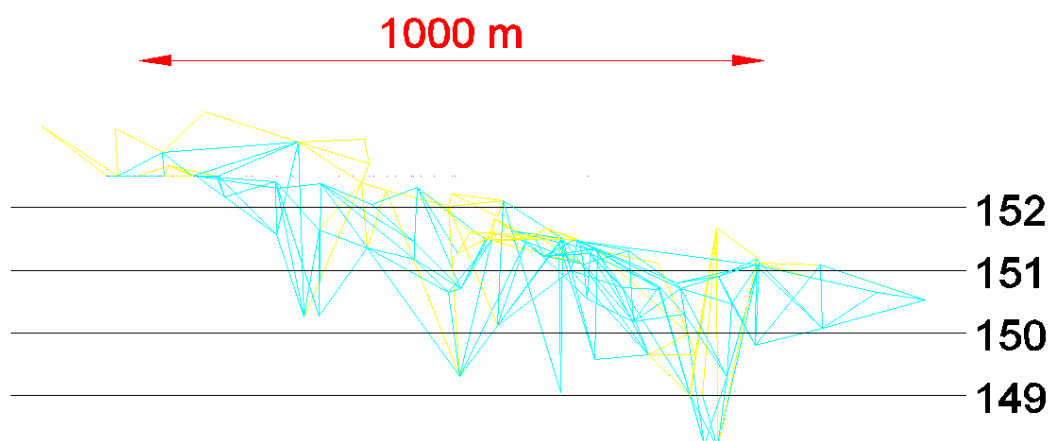


Slika 3.2.1.2: Prikaz dejanskega stanja terena s 3D modelom

Da bi že tako majhni nagibi bili bolj vidni, sem teren »raztegnil« v višino za 100-krat (Slika 3.2.1.3). Iz bočnega pogleda novo nastalega modela je zelo dobro razviden padec iz leve proti desni strani terena (Slika 3.2.1.4), ki v povprečju znaša približno 1,5 ‰. Glede na to, da je padec reke Save na daljšem območju nekje 1 ‰, je ta vrednost sprejemljiva. Pri tako majhnih nagibih pa je, žal, težko določljiv točen padec terena.



Slika 3.2.1.3: 3D model dejanskega stanja terena, ki je »raztegnjen« v višino (v z smeri) za 100-krat



Slika 3.2.1.4: Bočni pogled žičnega 3D modela dejanskega stanja terena, ki je »raztegnjen« v višino za 100-krat

3.2.2 Geološki podatki

Geološki podatki (Geološko-geotehnični elaborat (Geološki zavod Ljubljana (GZL), 1984)) so za to območje zelo skopi. Na območju predvidene ureditve je, žal, narejena samo ena piezometrična vrtina s koordinatami: $x=087422,76$, $y=541635,86$ na nadmorski višini 151,53 m. Lokacija je vrisana v situacije (Priloga G).

Na območju in v neposredni bližini območja je bilo narejenih še 9 preiskav s sondažnimi jaški za vizualno klasifikacijo zemljin in meritev gladin talne vode, od tega 6 neposredno na območju predvidenega zadrževalnika (JB 40-45). Podatki iz piezometrične vrtine in sondažnih jaškov so prikazani v Prilogi A.

Geološko-geotehnični elaborat (GZL, 1984) navaja, da je v območju akumulacije in pregradnega mesta predkvartarna osnova prekrita s prodrom in peščeno meljnimi sedimenti različne debeline. Vse ugotovljene zemljinske tipe je možno vgrajevati v nasipe, vendar je stopnja težavnosti vgrajevanja različna. Najtežje je vgrajevati zemljine z oznako GP in SU ter zemljine, ki jim je primešan premog.

Za vgrajevanje v nasipe priporočajo vse peščeno meljne materiale, ki ne vsebujejo premoga. Ker so ti materiali zelo različni, se priporoča natančna določitev pogojev vgrajevanja na

vzorcih, ki predstavljajo povprečen material iz odzemnega mesta (naravna vlaga, optimalna vlaga in največja suha prostorninska teža, spodnja zahtevana meja stopnje zgoščenosti) ter poskusno vgrajevanje. Pred njim je potrebno material dobro homogenizirati.

Za pripravo betonov pridejo v poštev prodni materiali, ki se nahajajo na celotnem območju akumulacije, in dosegaajo v zgornjem delu akumulacije (bliže Krškemu) tudi čez 30 m debeline (kvartar), v območju pregradnega mesta pa 4 do 12 m debeline (kvartar). V zvezi z uporabnostjo proda za pripravo betona se posebej opozarja, da vsebuje globlje ležeči pliokvartarni prod relativno več prodnikov iz magmatskih ter metamorfnih kamenin, zato je potrebno v fazi pripravljanih del proučiti možnosti reakcije med cementom in agregatom. Najmlajši prod ponekod v zgornjem delu vsebuje premogove vključke in je zato kot tak neuporaben za pripravo betonov.

Študija Energetska izraba Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979) navaja, da je iz karte dna kvartarnega vodonosnika Krškega polja iz l. 1978 mogoče sklepati, da je podlaga prodnih naplavin na koti približno 143 m. Podlago prodnih naplavin sestavljajo terciarne plasti, lapor in litotamijski peščenjak.

3.2.3 Podatki o sestavi gozdnih habitatov

Podatke o gozdovih sem dobil na Zavodu za gozdove Slovenije (ZGS), območna enota Brežice.

Zaradi intenzivne kmetijske rabe je gozdov zelo malo, zaradi česar ima gozd poudarjeno ekološko vlogo v prostoru. Prevladujejo rastišča gozdov doba in belega gabra.

Drevesna sestava je naslednja:

- hrast dob (30 %),
- veliki jesen (30%),
- črna jelša (15 %),
- ostale drevesne vrste se pojavljajo v manjšem deležu – beli gaber, poljski brest, robinija, vrbe, trepetlika, topoli, češnja, bor, smreka (umetno nasajena).

Lesna zaloga je okvirno $200 \text{ m}^3/\text{ha}$, pri čemer obsežne površine topolovih nasadov niso uvrščene v gozd.

Na ZGS, območni enoti Brežice, sem dobil podatek, da je optimalni povprečni nivo podzemne vode za nižinski hrast dob v vegetacijskem obdobju od 150 do 200 cm pod površjem. Ob višji podtalnici hrast izpodrivajo jelša, jesen in vrba, ob nižji pa beli gaber.

Zanimiv biotop so tudi topolovi nasadi, ki zavzemajo največje poplavne površine ob reki Savi, nizvodno od Krškega do Brežic, z gosto podrastjo zelišč in posameznih grmov. V podrasti sta gosto zastopana zlata rozga (*Solidago virgaurea*) in cigansko perje. Predvideno je preoblikovanje plantažnega nasada topolov v avtohtonejšo obliko gozda, in sicer v obmestnem pasu Brežic (Vrbina do Močnika).

3.2.4 Hidrološki podatki

Podatke o pretokih reke Save postaje HE Krško sem zbral za tri vremensko ekstremna leta:

- sušno leto (1983),
- srednje leto (1978),
- mokro leto (1960).

V sušnem letu je srednji pretok (Q_{sr}) znašal $149,0 \text{ m}^3/\text{s}$, v srednjem $235,3 \text{ m}^3/\text{s}$, v mokrem pa $345,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Podatki o pretokih za ta tri leta so zbrani v Prilogi B. Podatki o visokih vodah za reko Savo so naslednji:

- 10-letni pretok: $Q_{10} = 2560 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 50-letni pretok: $Q_{50} = 3077 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 100-letni pretok: $Q_{100} = 3258 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 1000-letni pretok: $Q_{1000} = 3749 \text{ m}^3/\text{s}$.

V podjetju IBE d.d. sem dobil tudi podatke o kotah gladin Save pri 100-letni vodi, pri $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$, v profilih pri predlagani lokaciji zadrževalnika (Preglednica 3.2.4.1).

Preglednica 3.2.4.1: Kote gladin reke Save pri 100-letni vodi, pri $Q=500 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri $Q=1000 \text{ m}^3/\text{s}$

Stacionaža (km)	500m ³ /s-gl. (m n.m.)	1000m ³ /s-gl. (m n.m.)	Q100-gl. (m n.m.)
746940	152,86	153,62	155,56
746797	152,83	153,55	155,44
746610	152,81	153,49	155,16
746512	152,79	153,45	154,93
746340	152,77	153,39	154,85
746202	152,75	153,36	154,82
746122	152,74	153,31	154,77
745802	152,69	153,15	154,50
745732	152,68	153,13	154,44
745302	152,64	153,00	153,87

V območju akumulacije HE Brežice se stekajo v reko Savo naslednji pritoki:

- Pašnik,
- Potočnica,
- Močnik in
- Struga.

Na vplivnem območju se steka v Savo še nekaj manjših potokov, ki oživijo le v času padavin.

Iztok iz zadrževalnika sem predvidel preko potoka Močnik (Slika 3.2.4.1) in v eni od različic tudi posredno preko potoka Pšeničnik, ki se izliva v potok Močnik. Pšeničnik je manjši potok. Žal zanj nisem dobil številčnih podatkov, sem pa uspel izvedeti, da pred izlivom v potok Močnik na nekem delu v sušnem obdobju presiha. Potok Močnik se priključi reki Savi dolvodno od pregrade HE Brežice. Močnik je glavni odvodnik vse zaledne vode in retenzijskih površin levega brega Save. Po hidrološki študiji pritokov Save oktobra 2004, ki jo je pripravil inštitut za vode RS, je teoretična 100-letna visoka voda na izlivu v Savo $81 \text{ m}^3/\text{s}$ pri prispevni površini $44,7 \text{ km}^2$. Pri tem je v študiji navedeno, da so dejanski pretoki manjši, ker se Dolenjevaški potok razlije po kotanjah in ne priteče do Močnika. Do Dolenjevaškega potoka so navedeni tudi naslednji podatki:

- $Q_5 = 17,4 \text{ m}^3/\text{s}$;

- $Q_{10} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$;

- $Q_{20} = 32 \text{ m}^3/\text{s}$;

- $Q_{50} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$;

- $Q_{100} = 56 \text{ m}^3/\text{s}$.

Prispevna površina do Dolenjevaškega potoka je $20,5 \text{ km}^2$. Žal sem za primer suše dobil le podatek za pretok v koordinatah $x=5089430$ in $y=5544080$, to je gorvodno od izliva Pšeničnika v Močnik. Ta je znašal 25.8.1992, ko je bilo zelo sušno leto, $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 3.2.4.1: Potok Močnik

3.3 Dimenzioniranje objektov

3.3.1 Gramoznica

3.3.1.1 Račun prostornine izkopanega materiala

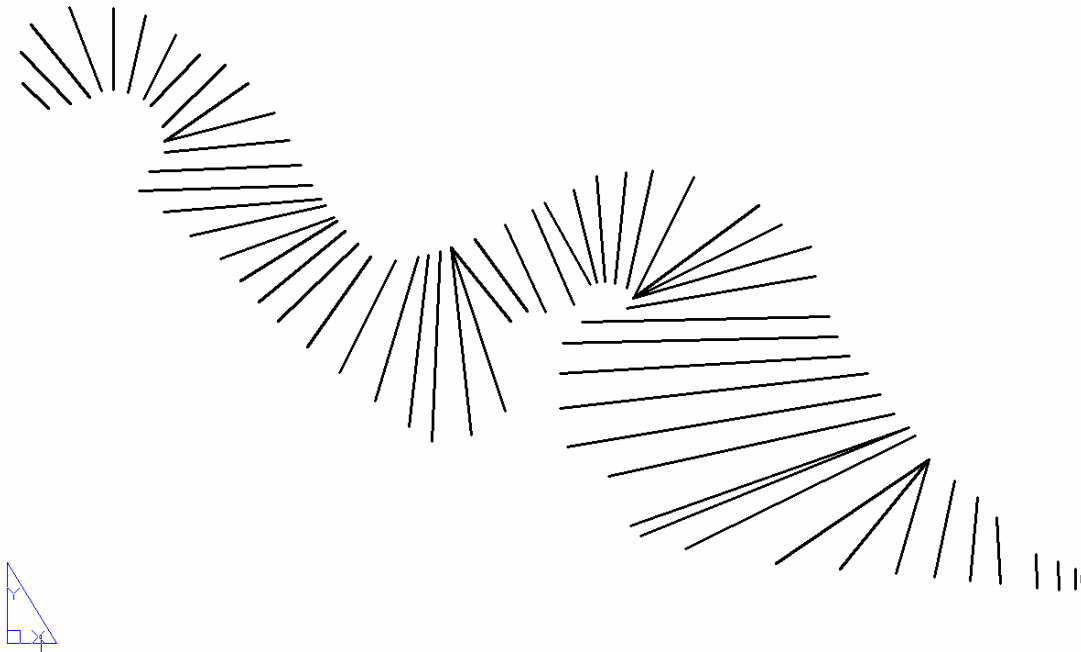
Za izračun volumna materiala, ki je predviden za izkop, sem uporabil 3D model, ki sem ga naredil v programu AUTOCAD. Digitaliziral sem rastrsko topografsko karto, tako da sem vsem geodetskim točkam podal koordinate (x, y in z). Vse točke sem povezal med sabo s trikotnimi ploskvicami (3D face).

Glede na to, da je na območju gramoznice predvideno uporabiti dodaten zadrževalnik tudi za turistično-rekreacijsko rabo, predlagam, da se pri izkopu materiala poskuša doseči čim bolj naravno obliko jezerskega dna. Zato sem najprej naredil računalniški program (Priloga C1) s pomočjo primerov v programu AUTOCAD in povezavo s programom VISUAL BASIC, ki izriše dno zadrževalnika na podlagi podanih daljic, ki se jih prej izriše med roboma zadrževalnika na bodoči dejanski višini (v večjem delu so to kote kron bodočih nasipov), po enačbi za kvadratno parabolo (3.3.1.1.1), ki predstavlja obliko podobno dnu naravnega jezera.

$$(y - y_1) = k(x - x_1)^2 \quad (3.3.1.1.1)$$

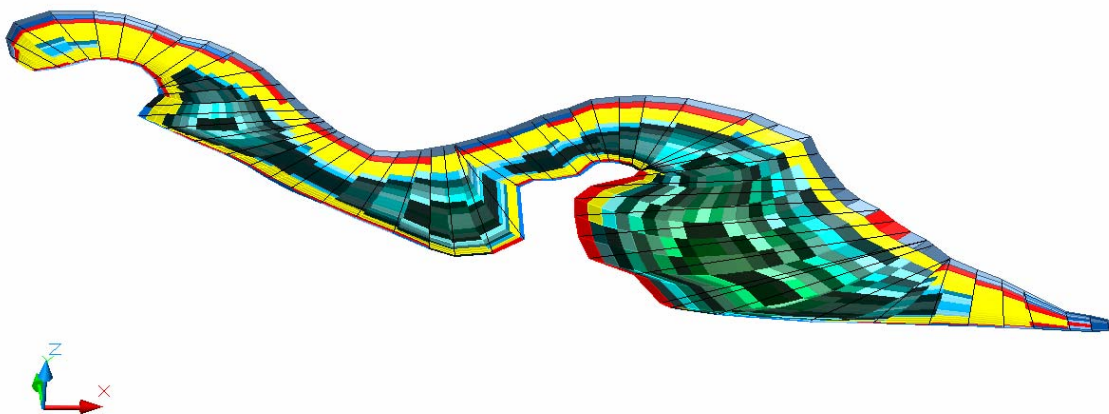
Druga funkcija programa je izračun prostornine od podanih ploskvic do kote 0. To omogoča izračun prostornine izkopanega materiala (razlika med sedanjim in izkopanim stanjem) in izračun prostornine vode v zadrževalniku pri različnih globinah, kar bom potreboval v 4. točki pri računu vodne bilance.

V programu AUTOCAD sem čez predvideni zadrževalnik postavil 60 daljic, ki so v začetnih in končnih točkah na višinah bodočega roba zadrževalnika oziroma nasipov (Slika 3.3.1.1.1). Nasipe sem postavil na koto 154 m (več o tem pod točko 3.3.2.5). Glede na to, da je dopustno, da so polotoki lahko v primeru visoke vode poplavljeni, sem levega pustil na obstoječih kotah (brez nasutja), t.j. na 152,5 m, za desnega pa je predvideno dodatno nasutje proda v višini 0,5 m, tako da končna kota znaša nad 152 m.



Slika 3.3.1.1.1: Tloris daljic, postavljenih čez zadrževalnik

Za izris predvidenega jezerskega dna je možno uporabiti makro. Po predvidenem naklonu nasipov 1:2 ($=0,5$) sem s programom dobil dno, sestavljeno iz štirikotnikov in trikotnikov, ki so postavljeni med parabolami (Slika 3.3.1.1.2). Barva posamezne ploskvice je odvisna od njene nadmorske višine.



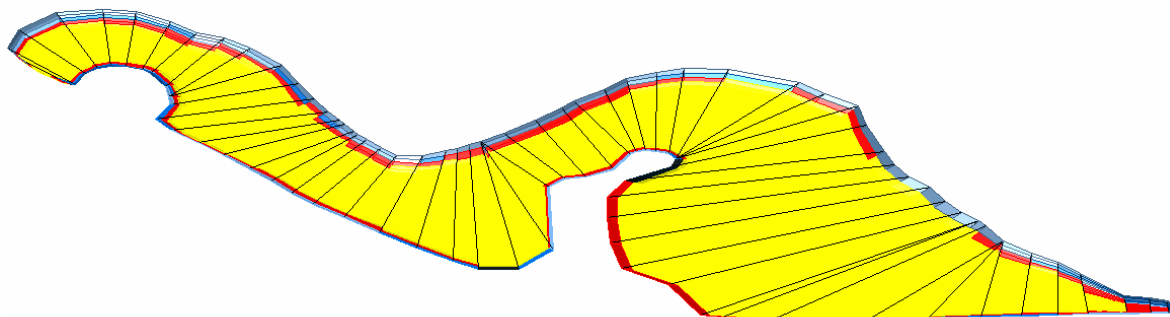
Slika 3.3.1.1.2: 3D model dna bodočega zadrževalnika, izrisanega po kvadratnih parabolah

Z zagonom drugega dela programa za zgoraj prikazano sliko (Slika 3.3.1.1.2) sem dobil podatek, da je prostornina od dna jezera do kote 0 enaka $39.646.354 \text{ m}^3$. Nato sem s programom za dejansko stanje terena dobil podatek, da je prostornina materiala do kote 0 enaka $44.159.627 \text{ m}^3$. S pomočjo ukaza »area« v programu AUTOCAD sem dobil površino ene in druge aproksimacije območja zadrževalnika. Prišlo je do približno 1 % odstopanja zaradi različnih aproksimacij ploskev. Razlika med površinama tako znaša 3.062 m^2 , večja je pri modelu zadrževalnika. Program v takem primeru izračuna tudi večjo prostornino do kote 0, napaka pa je zelo velika. Da bi jo zmanjšal, sem od prostornine pri modelu zadrževalnika odštel razliko površin, pomnoženo s 150 m ($150 \text{ m} \times 3.062 \text{ m}^2 = 459.273 \text{ m}^3$), kolikor ocenjujem, da znaša povprečna kota terena, in dobil novo prostornino $39.187.082 \text{ m}^3$. Sedaj lahko izračunam dejansko oceno pridobljenega materiala na območju gramoznice, ki tako znaša kar $4.972.545 \text{ m}^3$.

Izkop tako velike gramozne jame jasno ni upravičen, saj potrebe niso tako velike (točka 3.3.1.2), pojavi pa se še drug problem. Dobil sem podatke o profilih Save na tem območju in jih dal v program HEC-RAS. Nato sem čez strugo spustil povprečni pretok (povprečje vseh treh let -sušnega, srednjega in mokrega), ki znaša $243 \text{ m}^3/\text{s}$, in dobil povprečno gladino reke Save na koti 147,8 m. Glede na ta podatek ocenjujem, da je gladina podtalnice na območju bodočega zadrževalnika tudi na tej koti. Ocenjujem, da je z normalno mehanizacijo možen izkop največ 2-4 m pod vodno gladino, za globlji izkop pa bi bila potrebna posebna mehanizacija, ki pa je draga in ekonomsko to ne bi bilo opravičeno.

Izdelal sem novo varianto, pri kateri najnižja kota dna zadrževalnika ni nižja od 145 m, kolikor ocenjujem, da je možen izkop z običajno mehanizacijo. Seveda sem v ta namen najprej popravil računalniški program, tako da ima sedaj vgrajeno tudi možnost določitve najnižje kote dna zadrževalnika (Priloga C2).

Poleg tega sem popravil tudi daljice ob nasipu akumulacije HE Brežice, pri čemer sem upošteval, da se izkop za gramoznico začne 18 m od roba krone glavnega nasipa, saj predlagam varovanje le-tega z bermo, ki ima krono v širini 5 m, nato pa še 10 m prosto raščenege terena, da ne pride do spodkopavanja nasipa (točka 3.3.2.5). Novi 3D model je prikazan na Sliki 3.3.1.1.3.



Slika 3.3.1.1.3: Popravljen 3D model dna zadrževalnika z najnižjo koto 145 m

Za oceno volumna materiala, ki ga je možno uporabiti, sem uporabil podatke iz Geološko-geotehničnega elaborata (GZL, 1984), navedeni so v Prilogi A. Za bolj točen podatek, koliko materiala je primernega za uporabo pri gradnji pregrad in nasipov, bi bilo potrebno narediti več geomehanskih preiskav oz. vrtin in tako zgostiti mrežo geoloških vrtin, saj trenutno na obravnavanem območju obstaja samo ena, in nekaj sondažnih jaškov, ki pa dajejo podatke le do globine okoli 2 m.

Iz geološke vrtine B-4 (Priloga A) je razvidno, da izkopan material sestoji iz različnih slojev, ki so, kot je opisano v Geološko-geotehničnem elaboratu (GZL, 1984), vsi uporabni za vgrajevanje v nasipe, vendar je stopnja težavnosti vgrajevanja različna. Prodni materiali pridejo v poštev tudi za pripravo betonov. Zato je potrebno sloje ločiti glede na uporabnost in preveriti količine posameznega materiala.

Glede na to, da se gradi veriga elektrarn na spodnji Savi, obstaja velika potreba po gramozu za beton za gradnjo pregrad in seveda tudi po materialu za gradnjo nasipov. Če je material primeren za vgradnjo v betone, ga lahko prodamo veliko dražje kot za gradnje nasipov. Zato najprej pogledjmo, katere materiale bi bilo možno vgrajevati v betone za pregrade.

Podatki iz vrtine B-4 (Priloga A) pokažejo, da sloja do globine 0,6 m odpadeta. Prvi sloj je humus (0,0-0,3 m), ki se odrine in nato uporabi na nasipih za zatravitev, drugi pa je rjav zaglinjen peščen melj (0,3-0,6 m). Glede na rjavo barvo lahko sklepam, da vsebuje humusne

delce. Sledi sloj peska z drobnim in srednjim prodom (0,6-1,0 m). Ta sloj bi bil lahko uporaben kot nadomestek za drobne frakcije do 0,2 mm (za zapolnitev med večjimi zrni), saj tako zmanjšamo porabo cementa, zmanjša pa se tudi krčenje betona. Pred uporabo je potrebno opraviti sejalne analize in iz njih ugotoviti, koliko glinenih in drobnih delcev vsebuje material, potrebno je preveriti vsebnost organskih snovi in lahkih delcev ter drugih nevarnih primesi. Iz sondažnih jaškov JB-40 in JB-45 je razviden pojav drobcev črnega premoga v tem sloju, kar naj bi bila posledica TE Trbovlje, saj se je to pojavljalo že gorvodno pri preiskavah za ostale HE spodnje Save. Nekatere primesi je možno odstraniti s pranjem. Če se v postopku predelave glinene delce in drobne primesi da odstraniti, lahko predvidimo, da je material uporaben. Seveda pa je potrebno poseg tudi ekonomsko preučiti. Če je procent primesi majhen, se običajno izplača, drugače pa je bolje tak material uporabiti drugje, npr. za nasipe.

Na globini 1,0-2,2 m se nahaja temno siv srednji in debeli prod s peskom. Za ta material velja enako kot za zgornjega, le da je bilo za materiale na tej globini že narejenih nekaj sejalnih analiz iz sondažnih jaškov.

Tudi podatki iz sondažnih jaškov od JB-37 do JB-45 kažejo podobno sestavo tal do te globine.

Sledi drobni srednji in debeli prod s kršjem in meljem na globinah 2,2-10,9 m. Ta je vsekakor najprimernejši za vgradnjo v betone jezovnih zgradb. Pri gradnji HE Boštanj se je pri gradnji pregrad uporabil za betone zrna do premera 64 mm brez drobljenja na drobnejše frakcije. Sicer je pri masivnih betonih interes imeti čim večja zrna, vendar se je potrebno omejiti na velikost, ki jo dopuščajo naprave. Sejalne analize za ta material nimam, saj noben sondažni jašek na območju zadrževalnika ali v bližini ni bil globok več kot dobra 2 m, sejalne analize pa so bile narejene za materiale na globini večinoma okoli 1m. Kljub temu lahko sklepam, da maksimalno zrno ne bo preseglo 45 mm in tako ne bo potrebno drobljenje na drobnejše frakcije, saj se za gradnjo HE Boštanj material dobavlja iz Krškega, kjer je maksimalno zrno 45 mm, velikost zrn pa v splošnem nizvodno po Savi pada, tako da bi pri HE Brežice pričakoval maksimalno zrno manjše od 45 mm.

Poleg podatkov iz vrtin in sondažnih jaškov velja upoštevati tudi to, da v bližini bodočega zadrževalnika obstaja že obstoječa gramoznica Stari grad (vrisana v situacijah v prilogah G1-G4), kar še poveča verjetnost, da bi moral biti material na obravnavanem območju primeren za uporabo.

Ocene potencialnih prostornin izkopanega materiala po slojih sem zopet dobil s pomočjo računalniškega programa (Priloga C2), ki izračuna prostornino od dane ploskve do kote 0. Če bi imel več vrtin, bi lahko izdelal 3D modele za vsak sloj posebej. Ker na območju obstaja že omenjena ena sama vrtna B-4 in je iz podatkov iz sondažnih jaškov razvidno, da je struktura na celotnem območju zelo podobna, sem predpostavil, da so enako globoki po celem območju. Tako sem enostavno ploskev dejanskega terena premikal navzdol po slojih in dobil ocene prostornin materialov po slojih. Pri tem je seveda potrebno upoštevati napako zaradi končne velikosti mejnih ploskvic, ki sem jih brisal pri prestavljanju ploskve terena. Na podlagi tega, da površina mejnih ploskvic ne presega 2,0 % površine celotnega območja, globina izkopa pa je na robu najmanjša, ocenjujem, da napaka ne presega tega odstotka. Izračunane prostornine so prikazane v Preglednici 3.3.1.1.1.

Preglednica 3.3.1.1.1: Ocene prostornin posameznih materialov, pridobljenih iz predvidene gramoznice

GLOBINA [m]	MATERIAL	PROSTORNINA [m ³]
0-0,3	humus	79.000
0,3-0,6	rjav zaglinjen peščen melj	78.000
0,6-1,0	pesek z drobnim in srednjim prodom	103.000
1,0-2,2	temno siv srednji in debeli prod s peskom	294.000
>2,2	drobni srednji in debeli prod s kršjem, peskom in meljem	896.000
SKUPAJ:		1.450.000

Po prej opisani hipotezi so materiali na globinah večjih od 0,6 m posredno ali neposredno primerni za vgrajevanje v betone. Prostornina teh materialov skupaj znaša 1.292.000 m³. Če izločim pesek z drobnim in srednjim prodom (103.000 m³) in temno siv srednji in debeli prod s peskom (294.000 m³), za katere je pred uporabo potrebno preveriti smotrnost glede na koncentracijo organskih snovi in lahkih delcev, mi ostane še vedno 895.000 m³ primerne

materiala za vgradnjo v betone (drobnega srednjega in debelega proda s kršjem, peskom in meljem).

3.3.1.2 Pokrivanje potreb po materialu in cene

Gradnja gramoznice bi pokrila velik del potreb po materialu, ki so na tem področju kar precejšnje. Za oceno teh podatkov so mi koristili pogovori s predstavniki lokalnih gradbenih podjetij na tem območju.

Za potrebe gradnje pregrad verige HE na spodnji Savi naj bi se po ocenah na leto porabilo 100.000 m³ materiala, poleg tega se ga nekje 150.000 m³ letno vgradi v nasipe, 50.000 m³ na leto pa se ga porabi za gradnjo lokalnih cest na področju okoliških občin. Skupna ocena tako znaša približno 300.000 m³ materiala na leto.

Uporabnost in količine posameznih materialov za betone je že opisana v točki 3.3.1.1. Omenil sem že, da, količina materiala, ki je neposredno uporabna za vgradnjo v betone, znaša 895.000 m³, skupaj s t.i. pogojno uporabnim materialom pa kar 1.292.000 m³. To pomeni, da bi (če bi kapacitete strojev za izkopavanja to omogočale) lahko več kot 4 leta pokrivali tamkajšnje potrebe po gramozu.

Rjav zaglinjen peščen melj, za katerega ocenjujem, da ga je 78.000 m³ za vgrajevanje v betone, sicer ne bi bil uporaben, bi se pa verjetno dal vgrajevati v nasipe. Za gradnjo nasipa okoli zadrževalnika je potrebnega 44.500 m³ materiala, za bermo ob glavnem nasipu pa 8.400 m³.

Del humusa, ki ga je 79.000 m³, se uporabi za sonaravno ureditev nasipov okoli zadrževalnika ter zatravitev in pogozditev gozdnih polotokov, ostalo pa za sonaravno ureditev nasipa okoli akumulacije HE Brežice.

Podatke o cenah materialov sem dobil pri gradbenih podjetjih. Cene materiala so seveda odvisne od kakovosti in granulacije ter seveda od ponudbe in povpraševanja. Cena m³ gramoza je v povprečju 1200 SIT/ m³. Če material separiramo na frakcije, lahko iztržimo višjo ceno. Ta je odvisna od frakcije, ki v povprečju znaša:

- za frakcije 0-4: 4500 SIT/m³,
- za frakcije 8-16: 2600 SIT/m³,
- za frakcije 16-32: 2600 SIT/m³.

Če je v določeni gramoznici neke frakcije zelo veliko in ni velikih potreb po njej, se lahko cena zniža ali obratno.

Če bi prodali le material, neposredno primeren za vgradnjo v betone (895.000 m³), brez separiranja (kar pomeni okvirno ceno 1200 SIT/m³), bi za to dobili 1.074.000.000 SIT. S separiranjem na posamezne frakcije pa bi se ta številka še bistveno povečala. Seveda v to niso zajeti stroški kopanja, transporta itd.

3.3.2 Zadrževalnik

3.3.2.1 Račun stalne prostornine vode v zadrževalniku

Prostornino vode v zadrževalniku sem dobil na enak način kot prostornino izkopanega materiala. Prav tako sem si pomagal s 3D modelom v programu AUTOCAD in programom za račun prostornin (Priloga C). Z njim sem dobil prostornino od dna zadrževalnika do kote 0 ($V_1=36.370.108 \text{ m}^3$). Prostornino prizme od kote 0 do gladine vode zadrževalnika (vzel sem najnižjo koto, t.j. 149 m) sem dobil z množenjem površine na tej koti z nadmorsko višino:

$$V_2 = 148,3m \cdot 250440m^2 = 37140171m^3$$

Razlika je stalna prostornina vode v zadrževalniku, ki tako znaša 770.063 m³.

3.3.2.2 Dotok vode v zadrževalnik

Voda se v zadrževalnik preliva v primeru nastopa visokih vod, t.j. če je pretok v Savi večji od 500 m³/s s pretokom 10 m³/s; v primeru normalnega obratovanja v zadrževalnik doteka 1 m³/s. Če pa se pretok v Savi zelo zmanjša (pod 100 m³/s), se dotok v zadrževalnik prekine (točka 3.3.2.4). Dodaten dotok v zadrževalnik predstavlja še kajakaška proga, česar pa pri režimu zadrževalnika (točka 3.3.2.4) nisem upošteval, saj obratuje le občasno. Takrat se za ustrezen čas zmanjša oziroma zapre stalni dotok v zadrževalnik (čez preliv ali preko prepusta).

Za dotok vode v zadrževalnik sem predvidel 2 možni rešitvi - v obeh je možna izvedba dotoka pri stacionaži Save 745.310 (na začetku zadrževalnika gledano dolvodno).

Prva rešitev je dotok preko preliva. Pretok se regulira z zaklopko. Teorijo povzemam po Pemič, A. in Mikoš, M. (2003):

Konstrukcija je jeklena, statično določena in protitorzijsko oblikovana. Zvezni točkovni tečaj zaklopke je sidran na kroni prelivnega polja. Zaklopka je tesnjena ob straneh in na tečaju. Sile na zaklopko se prenašajo na zvezni tečaj ter pogonske naprave. Stebri med prelivnimi polji so lahko ozki, brez utorov, in služijo za stransko tesnjenje ter namestitvev pogonskih naprav zaklopke. Pri zmernih prelivnih višinah je protierozijsko oblikovana zaklopka lahko zelo široka, kar je njena prednost pred ostalimi vrstami zapornic. Na nizkih jezovih in pragovih (kar je v tudi v tem primeru), je pogon pomaknjen v steber.

Vrh prelivnega polja je na koti 151,3 m (v primeru spuščene zaklopke), kolikor znaša kota najvišje vode v zadrževalniku v primeru normalnega obratovanja (v primeru nastopa visokih vod se lahko izjemoma voda v njem dvigne do kote 152,5 m). Pred zaklopko se vgradi tablasta zapornica, ki omogoča zaprtje dotoka v primeru okvare ali remonta zaklopke. Pretok (Q) za različne višine prelivanja (h_{pr}) in različne širine prelivnega polja (b) je izračunan v Preglednici 3.3.2.2.1. Pri računu je upoštevan koeficient prelivanja $m = \frac{2}{3} \mu = \frac{2}{3} \cdot 0,64 = 0,43$, pri čemer za μ navajam približno vrednost 0,64 po Steinmanu (1999) za ostrorobi preliv, saj se voda preliva preko zaklopke. Račun pretoka je izveden po enačbi (3.3.2.2.1) Hitrost sem nato dobil z enačbo (3.3.2.2.2):

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} h_{pr}^{\frac{2}{3}} \quad (3.3.2.2.1)$$

$$v = \frac{Q}{h_{pr} \cdot b} \quad (3.3.2.2.2)$$

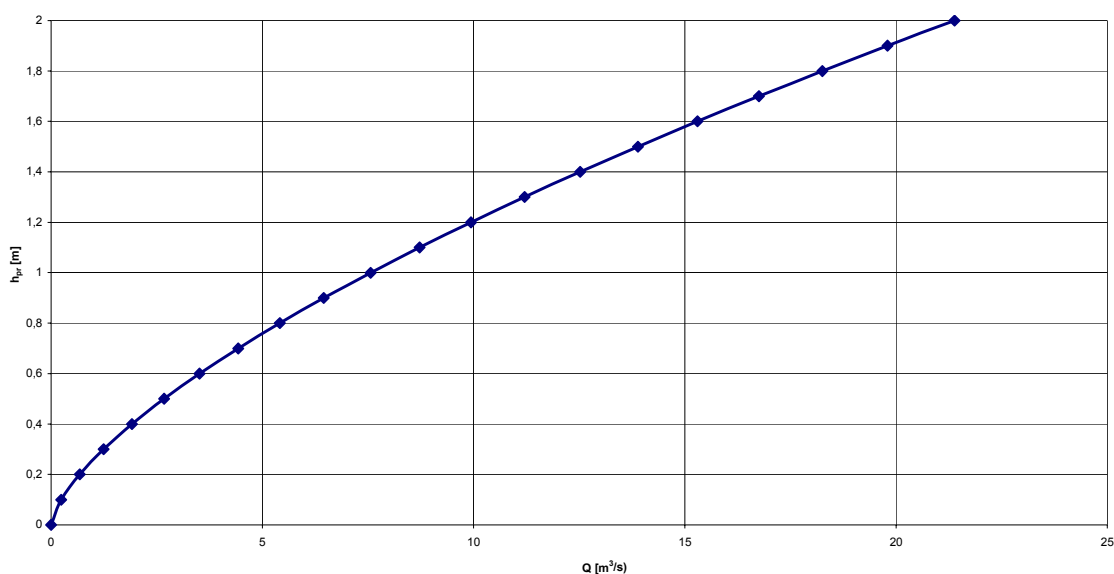
Preglednica 3.3.2.2.1: Pretok Q pri različnih višinah prelivanja (h_{pr}) za različne širine prelivnega polja (b)

hpr [m]	Q [m ³ /s]							v [m/s]
	b = 1 m	b = 2 m	b = 3 m	b = 4 m	b = 5 m	b = 6 m	b = 7 m	
0,1	0,059764	0,1195276	0,179291	0,239055	0,298819	0,358583	0,418347	0,597638
0,2	0,169038	0,3380751	0,507113	0,67615	0,845188	1,014225	1,183263	0,845188
0,3	0,310542	0,6210836	0,931625	1,242167	1,552709	1,863251	2,173793	1,035139
0,4	0,47811	0,9562208	1,434331	1,912442	2,390552	2,868662	3,346773	1,195276
0,5	0,66818	1,3363592	2,004539	2,672718	3,340898	4,009078	4,677257	1,336359
0,6	0,878345	1,7566898	2,635035	3,51338	4,391725	5,270069	6,148414	1,463908
0,7	1,106841	2,2136822	3,320523	4,427364	5,534205	6,641047	7,747888	1,581202
0,8	1,3523	2,7046009	4,056901	5,409202	6,761502	8,113803	9,466103	1,690376
0,9	1,613623	3,2272453	4,840868	6,454491	8,068113	9,681736	11,29536	1,792914
1	1,889897	3,7797947	5,669692	7,559589	9,449487	11,33938	13,22928	1,889897
1,1	2,180355	4,3607103	6,541066	8,721421	10,90178	13,08213	15,26249	1,982141
1,2	2,484335	4,9686692	7,453004	9,937338	12,42167	14,90601	17,39034	2,070279
1,3	2,801259	5,6025177	8,403777	11,20504	14,00629	16,80755	19,60881	2,154815
1,4	3,130619	6,2612388	9,391858	12,52248	15,6531	18,78372	21,91434	2,236157
1,5	3,471963	6,9439263	10,41589	13,88785	17,35982	20,83178	24,30374	2,314642
1,6	3,824883	7,6497666	11,47465	15,29953	19,12442	22,9493	26,77418	2,390552
1,7	4,189012	8,3780239	12,56704	16,75605	20,94506	25,13407	29,32308	2,464125
1,8	4,564014	9,1280281	13,69204	18,25606	22,82007	27,38408	31,9481	2,535563
1,9	4,949583	9,8991661	14,84875	19,79833	24,74792	29,6975	34,64708	2,605044
2	5,345437	10,690874	16,03631	21,38175	26,72718	32,07262	37,41806	2,672718

Režim obratovanja HE Brežice še ni določen, je pa določena kota zaježitve (152,5 m), po podatkih LUZ-a pa naj bi denivelacija znašala največ 1,1 m. Obratovalni režim je v veliki meri odvisen od dogovora s Hrvaško, ki bo določil, ali bo na meji potrebna popolna izravnava pretokov. V tem primeru bosta akumulaciji HE Brežice in Mokrice izravnalni in bo denivelacija bolj izrazita.

Pri dovajanju vode v zadrževalnik je potrebno upoštevati, da je zagotovljen povprečni dnevni dotok $1 \text{ m}^3/\text{s}$ v primeru normalnega pretoka v Savi, v primeru pretokov v Savi nad $500 \text{ m}^3/\text{s}$ pa je potrebno zagotoviti $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (točka 3.3.2.4). Nad določenim pretokom se zapornice HE

Brežice odprejo in v reki je vzpostavljen naravni pretok. Maksimalni pretok obratovanja zaenkrat še ni določen. Od podjetja IBE sem dobil podatke, kakšna je kota gladine vode v Savi pri pretokih $500 \text{ m}^3/\text{s}$, $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri 100-letni vodi v stacionaži predvidenega preliva v zadrževalnik. Ti znašajo $152,64 \text{ m}$, $153,00 \text{ m}$ in $153,87 \text{ m}$. Predpostavil sem, da se v primeru pretoka nad $500 \text{ m}^3/\text{s}$ v Savi vzpostavi naravni pretok (odprejo se zapornice), ki se bo sicer po izgradnji verige nekoliko razlikoval od sedanjega, saj bo kljub odprtju zapornic prihajalo do delne zajeze, kar pa morda pomeni še višjo koto vode (ker model za HE Brežice še ni bil narejen, tega podatka ni na voljo). To pomeni, da mora v primeru preseženega maksimalnega pretoka, biti zagotovljen dotok vode v zadrževalnik vsaj $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (določen v točki 3.3.2.4). Ker v primeru pretoka $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ gladina v reki presega koto zajezitve $152,5 \text{ m}$, sem vzel za osnovo tisto, ki je nižja. Če je minimalna kota krone preliva (ko je zaklopka spuščena) na koti $151,3 \text{ m}$, to pomeni višino preliivanja $1,2 \text{ m}$. Iz Preglednice 3.3.2.2.1 je razvidno, da je pri tej prelivni višini dosežen pretok $10 \text{ m}^3/\text{s}$ v primeru širine prelivnega polja 4 m . Na Grafu 3.3.2.2.1 je prikazan pretok v odvisnosti od prelivne višine za širino prelivnega polja 4 m .



Graf 3.3.2.2.1: Pretok čez prelivno polje (Q) v odvisnosti od višine preliivanja (h_{pr}) pri širini prelivnega polja $b = 4 \text{ m}$

Če izberem še najnižjo vodo v zadrževalniku (148,3 m), je to kritičen primer za dimenzioniranje podslapja. Zaradi boljše disipacije energije predlagam uporabo poglobljenega podslapja. Skica prelivnega polja z oznakami je prikazana na Sliki 3.3.2.2.1.

Podoben postopek je opisan pri dimenzioniranju podslapja na iztoku (točka 3.3.2.3). Račun sem zaradi iteracij izdelal v programu Excel (Priloga D1), pri čemer sem uporabil naslednje podatke (oznake so podrobno razložene v točki 3.3.2.3):

- 3. konjugirana globina (globina vode dolvodno): $y_3 = 0,70$ m

- faktor izgub čez preliv: $\varphi = 0,98$

- prelivna višina: $H_0 = 152,5$ m – $151,3$ m = $1,2$ m

- specifični pretok: $q = \frac{Q}{b} = \frac{10 \text{ m}^3 / \text{s}}{4,0 \text{ m}} = 2,5 \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$

- višina praga: $p = 151,3$ m – $149,3$ m = 3 m

- faktor varnosti: $\sigma = 1,05$

Dobil sem naslednje rezultate:

- 1. konjugirana globina: $y_1 = 0,25$ m

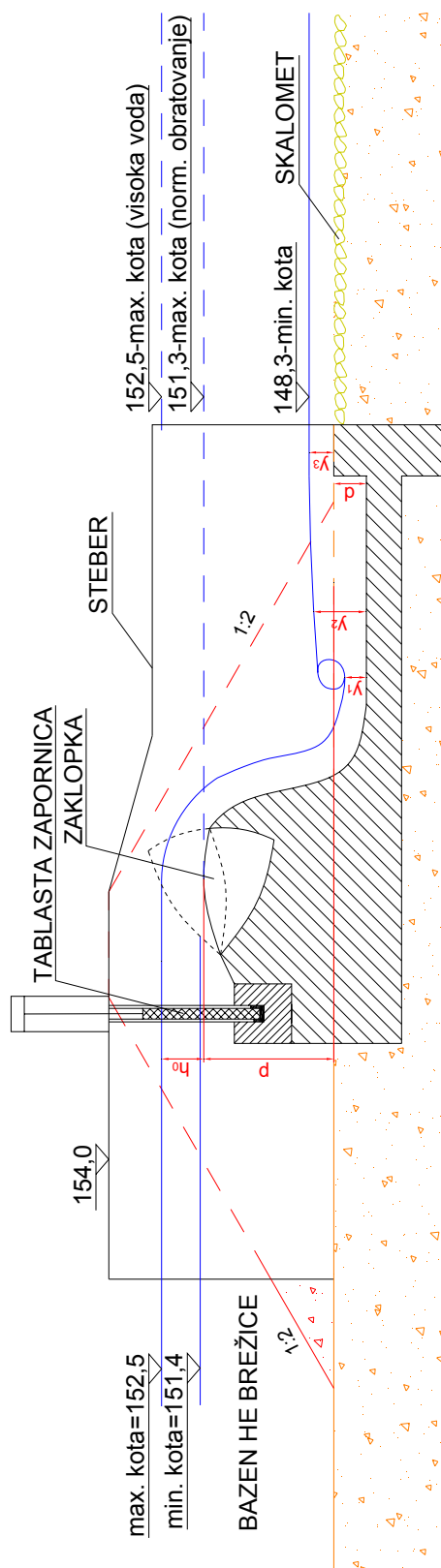
- hitrost (deročega toka) v podslapju: $v_1 = 10,20$ m/s

- Froudovo število v podslapju: $Fr = 6,58$

- 2. konjugirana globina: $y_2 = 2,16$ m (brez globine poglobitve znaša 2. konjugirana globina $0,59$ m)

- globina poglobitve: $d = 1,57$ m

- za dolžino podslapja (L) sem po Steinmanu (1999) dobil vrednosti $8,6$ m in $7,7$ m (enačbe in obrazložitev v točki 3.3.2.3), da sem na varni strani predlagal dolžino podslapja: $L = 8,6$ m



Slika 3.3.2.2.1: Dotok čez prelivno polje

Druga varianta je ureditev dotoka vode v zadrževalnik preko prepusta skozi nasip. Seveda je tudi v tem primeru potrebno tok vode umiriti, da curek ne bi prišel v zadrževalnik s preveliko hitrostjo. Zato predlagam regulacijo s pomočjo meniha (Slika 3.3.2.2.1). Najprej sem naredil informativni račun pretokov skozi prepust za različne kote v akumulaciji HE Brežice in v zadrževalniku, če bi bil prepust narejen brez meniha (razlika v gladinah je že določena in je konstantna, računal sem pretok pri različnih premerih cevi). Izgubo energije skozi prepust prikazuje enačba (3.3.2.2.3.)

$$\Delta h = \Delta E_{vtoka} + \Delta E_{cevi} + \Delta E_{iztoka} \quad (3.3.2.2.3)$$

Pri tem je Δh razlika med kotama gladin v akumulaciji HE Brežice in zadrževalniku (ta je določena s kotami vode v obeh bazenih), ΔE_{vtoka} je izguba energije na vtoku v cev, ΔE_{iztoka} pa izguba pri iztoku iz cevi - obe sem izračunal po enačbi (3.3.2.2.4) za lokalne izgube energije, pri čemer sem za koeficient ξ za vtok vzel vrednost 0,5 (ostrorobi vtok), za iztok pa vrednost 1. ΔE_{cevi} predstavlja linijsko izgubo energije v cevi in je odvisna od hitrosti (v), od dolžine cevi (l), premera cevi (d) in od empiričnega brezdimenzijskega koeficienta trenja λ (odvisen od hrapavosti cevi), za katerega sem privzel vrednost 0,02. Izračuna se po enačbi (3.3.2.2.5) za linijske izgube.

$$\Delta E_{lokalna} = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (3.3.2.2.4)$$

$$\Delta E_{linijska} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (3.3.2.2.5)$$

Če enačbi (3.3.2.2.4) in (3.3.2.2.5) upoštevam v enačbi (3.3.2.2.3), lahko iz slednje dobim hitrost vode skozi prepust - enačba (3.3.2.2.6), iz hitrosti pa pretok - enačba (3.3.2.2.7).

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\xi_{vtoka} + \xi_{iztoka} + \lambda \frac{l}{d}}} \quad (3.3.2.2.6)$$

$$Q = v \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.3.2.2.7)$$

V Preglednici 3.3.2.2.2 so izračunane hitrosti in pretoki za različne premere cevi prepusta, v primeru, da je voda v akumulaciji HE Brežice na koti 152,5 m (kota pri normalnem obratovanju) in kote v zadrževalniku 151,3 m (maksimalna kota pri normalni vodi). V Preglednici 3.3.2.2.3 je narejen izračun za primer vode v akumulaciji HE Brežice prav tako na koti 152,5 m, v zadrževalniku pa na najnižji koti (148,3 m), kar pomeni maksimalno razliko v kotah (max. Δh), v Preglednici 3.3.2.2.4 pa v primeru kote v akumulaciji HE Brežice 151,4 m (kota v primeru denivelacije in kote v zadrževalniku 151,3 m, kar pomeni minimalno razliko v kotah (min. Δh)).

Preglednica 3.3.2.2.2: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 152,5 m in koti vode v zadrževalniku na 151,3 m (normalno obratovanje)

d [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,5	2,849319	0,559463
0,6	2,971363	0,840133
0,7	3,068811	1,181017
0,8	3,148533	1,582626
0,9	3,215026	2,045311
1	3,271363	2,569323
1,1	3,319728	3,154843
1,2	3,361714	3,802009
1,3	3,398512	4,510923
1,4	3,431035	5,281668
1,5	3,459989	6,114306
1,6	3,485935	7,008888
1,7	3,509319	7,965456
1,8	3,530506	8,984043
1,9	3,549791	10,06468
2	3,56742	11,20738

Preglednica 3.3.2.2.3: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 152,5 m in koti vode v zadrževalniku na 148,3 m (max. Δh)

d [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,5	5,330588	1,046659
0,6	5,558912	1,571745
0,7	5,741219	2,20948
0,8	5,890367	2,960821
0,9	6,014762	3,826426
1	6,12016	4,806763
1,1	6,210643	5,902171
1,2	6,289191	7,112907
1,3	6,358035	8,439165
1,4	6,418878	9,881096
1,5	6,473047	11,43882
1,6	6,521587	13,11243
1,7	6,565336	14,902
1,8	6,604971	16,8076
1,9	6,64105	18,82929
2	6,674032	20,96709

Preglednica 3.3.2.2.4: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi pri koti vode v akumulaciji HE Brežice na 151,4 m in koti vode v zadrževalniku na 151,3 m (min. Δh)

d [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,5	0,822528	0,161503
0,6	0,857759	0,242526
0,7	0,885889	0,34093
0,8	0,908903	0,456865
0,9	0,928098	0,59043
1	0,944361	0,7417
1,1	0,958323	0,910725
1,2	0,970443	1,097545
1,3	0,981066	1,302191
1,4	0,990454	1,524686
1,5	0,998813	1,765048
1,6	1,006303	2,023292
1,7	1,013053	2,299429
1,8	1,019169	2,59347
1,9	1,024736	2,905422
2	1,029825	3,235292

Če ne bi bilo meniha za regulacijo pretoka in bi bilo potrebno v vsakem primeru zagotavljati dotok 1 m³/s, bi bil potreben minimalni premer vtočne cevi 1,2 m, ki tudi v najbolj kritičnem primeru (Preglednica 3.3.2.2.4) zagotavlja takšen pretok. Za zagotavljanje maksimalnega pretoka 10 m³/s pa bi moral biti premer cevi kar 1,9 m v primeru razlike v gladinah 1,2 m. Iz Preglednice 3.3.2.2.3 je razvidno, da v primeru cevi premera 1,9 m in maksimalne razlike v gladinah voda doseže hitrost v cevi kar 18,8 m/s. Zato je, kot že omenjeno, na iztoku potrebno narediti nekaj za umiritev tako močnega curka (za disipacijo energije).

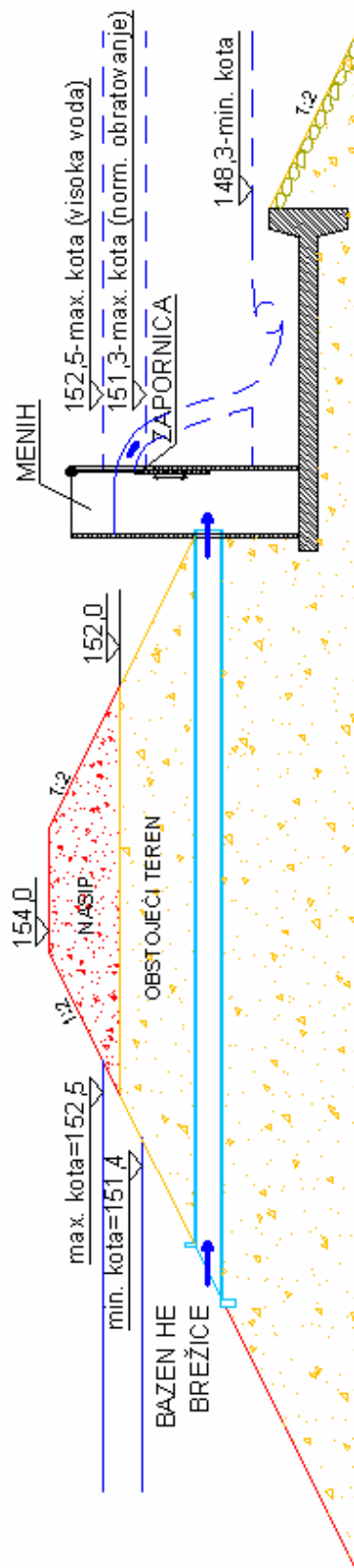
Za regulacijo vtoka v primeru variante s prepustom predlagam menih z zapornico (Slika 3.3.2.2.2). Voda se preliva čez zapornico (ostrorobi preliv). Možno je polnjenje do maksimalne kote v akumulaciji. Zapornica se projektira tako, da je možen dvig do kote 100-letne vode (153,0 m) in spust do kote 151,1 m (0,3 m pod minimalno koto v akumulaciji HE Brežice).

Če je premer cevi skozi nasip dovolj velik, da je dotok skozi njo veliko večji od preliwa čez menih, lahko predpostavim, da je gladina vode v menihu na koti vode v akumulaciji HE Brežice. Za račun preliwa čez zapornico meniha lahko uporabim račun preliwa čez nasip (Preglednica 3.3.2.2.1), saj imamo prav tako ostrorobi preliv, tako da lahko vzamem enak koeficient preliwa ($m = 0,43$). Iz tega sledi, da bo za zagotavljanje maksimalnega pretoka $10 \text{ m}^3/\text{s}$ potrebna širina meniha znašala 4 m.

Pri računu prepusta skozi nasip (brez meniha) je razvidno, da je za pretok $10 \text{ m}^3/\text{s}$ potrebna širina cevi kar 1,9 m v primeru razlike v kotah gladine 1,2 m. V primeru uporabe meniha pa se te razlike med kotama gladin zmanjšajo. Zato je možno uporabiti menih le v kombinaciji s prelivom. V tem primeru se čez menih spušča normalen dotok ($1 \text{ m}^3/\text{s}$), v primeru visokih vod, ko se zadrževalnik polni, pa voda doteka vanj čez menih in čez preliv. Širina meniha ostaja 4 m in s tem zagotavlja dotok v zadrževalnik $1 \text{ m}^3/\text{s}$ do razlike v kotah gladin 0,3 m, saj le v redkih primerih lahko pride do popolne denivelacije v akumulaciji HE Brežice (do kote 151,4 m) in hkrati do maksimalne kote v zadrževalniku, kar pomeni prelivno višino le 0,1 m. V takem primeru pa lahko v zadrževalnik dodatno spuščamo primanjkljaj dotoka čez prelivno polje. Vtočna cev skozi prepust mora imeti za zagotavljanje $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (v primeru razlike v kotah 0,3 m) premer vsaj 0,90 m (Preglednica 3.3.2.2.5).

Preglednica 3.3.2.2.5: Hitrosti in pretoki skozi prepust za različne premere cevi v primeru razlike v kotah vode v akumulaciji HE Brežice in zadrževalniku 0,3 m

d [m]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,5	1,42466	0,279731
0,6	1,485682	0,420067
0,7	1,534405	0,590508
0,8	1,574267	0,791313
0,9	1,607513	1,022655
1	1,635682	1,284661
1,1	1,659864	1,577422
1,2	1,680857	1,901004
1,3	1,699256	2,255462
1,4	1,715517	2,640834
1,5	1,729995	3,057153
1,6	1,742967	3,504444
1,7	1,75466	3,982728
1,8	1,765253	4,492021
1,9	1,774895	5,032338
2	1,78371	5,60369



Slika 3.3.2.2.2: Prikaz sistema delovanja dotoka v zadrževalnik z uporabo meniha z zapornico

3.3.2.3 Iztok

Pri iskanju možnih variant iztekanja vode je bil primarni namen izpolniti zahteve ribje steze, ki tu igra glavno vlogo. Ves čas je pomembno zagotavljati minimalni pretok, da se ribe lahko selijo. Za iztok sem izdelal 4 možne variante, po katerih bi voda lahko iztekala v potok Močnik (priloge G1 do G4).

Varianta a (Priloga G1) predstavlja možnost iztoka v Močnik preko jezera, ki je nastalo na mestu opuščene gramoznice Stari Grad, ki sedaj obratuje zahodno od tega jezera. S tem bi se v njem zagotovil pretok in obstajala bi možnost turistično-rekreacijske izrabe. Problem se pojavi zaradi ribje steze, saj se v tem primeru zmanjša možnost, da bodo ribe potovale gorvodno, ampak bi se lahko zadrževale v jezeru, s čimer pa ne bi bil dosežen namen ribje steze. Na območju opuščene gramoznice sem zato raje predvidel ureditev mokrišča, ki se bogati iz drenaž okoli zadrževalnika, ki služijo za odvajanje zalednih vod in vode, ki pronica skozi nasip (točka 5.2.2).

Zelo sprejemljiva se mi zdi varianta b, kjer sem predvidel, da voda prek potoka Pšeničnik izteka v Močnik. Za Pšeničnik žal nisem našel nobenih podatkov o sušnih pretokih. V vsakem primeru bo potreben dodaten pretok iz zadrževalnika, saj sem uspel izvedeti, da pred pritokom v Močnik ta potok presuši v primeru sušnih pretokov. Za to varianto je potrebno preveriti, koliko vode se izgubi od pritoka kanala iz zadrževalnika v Pšeničnik do Močnika. V primeru prevelikih izgub je potrebno strugo dodatno tesniti v delih, kjer se izgubi največ vode.

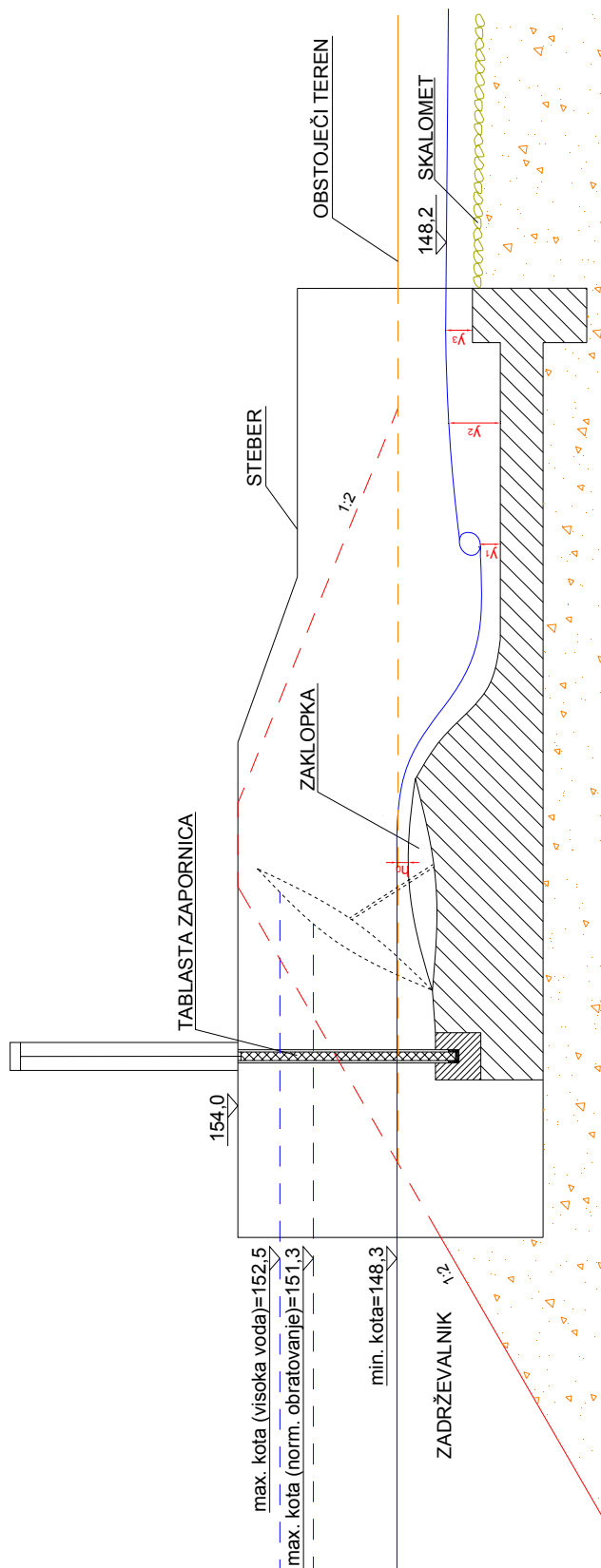
Za primer b sem najprej predvidel, da ribe potujejo prek zadrževalnika gorvodno (b1) - prikazano v Prilogi G2. Pri tem je potrebno na robu zadrževalnika zagotoviti stalen pretok, da ribe najdejo pot iz zadrževalnika (naredi se kanal po dnu ob robu zadrževalnika). Kar se tiče vodne bilance bi bila ta rešitev zelo ugodna, vendar sem po posvetovanju z biologinjo to možnost opustil, saj se večina rib v tem primeru ne bi selila gorvodno, ampak bi ostale v zadrževalniku in cilj selitve rib zopet ne bi bil dosežen.

Zato sem naredil varianto b2 (Priloga G3). Po tej je ribja steza popolnoma ločena od zadrževalnika. Speljana je ob zunanji strani nasipa do iztoka iz zadrževalnika. Tu se ji

priključi iztok in jo tako bogati z dodatnim pretokom vode, saj ocenjujem, da bi voda drugače presahnila do iztoka v potok Močnik. Dolžina na novo zgrajenih kanalov bi bila po tej varianti 2385 m, od tega 893 m za potek ribje steze od akumulacije do iztoka iz zadrževalnika (ob zadrževalniku) in 1492 m od iztoka do potoka Pšeničnik.

V varianti c (Priloga G4) sem predvidel kanal direktno iz zadrževalnika v potok Močnik. Glede na to, da je v tem primeru potrebno zgraditi najkrajši kanal za ribjo stezo (1368 m), kar pomeni manjši poseg, ocenjujem to za najsprejemljivejšo rešitev. Krajša struga pomeni tudi manjše izgube vode in manjše izgube višine zaradi padca. Kanal je bližje akumulaciji HE Brežice, ki naj bi kljub tesnjenju dvignila podtalnico. Zato ocenjujem, da bodo tu izgube vode zaradi ponikanja zato še toliko manjše. Ker se kanal priključi potoku Močnik bolj dolvodno kot v varianti b, pridobimo s tem, po moji oceni iz topografske karte, po ogledu potoka Močnik in na podlagi narejenega vzdolžnega profila odvodnega kanala (Priloga I), še dodaten meter višine (podatkov o profilih Močnika namreč nisem uspel dobiti). Teren v splošnem pada v smeri toka reke Save (Sava ima povprečni padeč 1 ‰). Tudi območje kanala ima približno tak padeč in zato niso potrebna tako obsežna gradbena dela. Ustrezno je potrebno oblikovati kanal od zadrževalnika do potoka Močnik in pri tem upoštevati vsa priporočila konstruiranja ribje steze, opisana v točki 5.1.

Izgube po kanalu do potoka Močnik ocenjujem na $1 \text{ m}^3/\text{s}$, zato se iz zadrževalnika zagotovi stalen iztok vode $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Poteka preko dveh prelivnih polj, saj je v primeru remonta enega polja možen pretok čez drugo prelivno polje. Vsako prelivno polje mora prevajati pretok $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Možnost regulacije omogočata zaklopki (tako kot na dotoku v zadrževalnik). Sistem prikazujem na Sliki 3.3.2.3.1.



Slika 3.3.2.3.1: Iztok iz zadrževalnika

Glede na to, da sem za regulacijo uporabil zaklopko, lahko ponovno predpostavim, da gre za ostrorobi preliv, zato za koeficient pretoka vzamem koeficient preliva za ostrorobi preliv $m = \frac{2}{3} \mu = \frac{2}{3} \cdot 0,64 = 0,43$ (tako kot pri dotoku v točki 3.3.2.2). V primeru spuščene zaklopke bo kota preliva 148,2 m, kar je 0,1 m nižje kot kota najnižje vode v zadrževalniku (148,3 m). To pomeni, da je minimalna prelivna višina (h_{pr}) enaka 0,1 m. S preureditvijo enačbe (3.3.2.3.1) dobim enačbo (3.3.2.3.2), po kateri je možno s temi podatki izračunati minimalno potrebno širino prelivnega polja (b).

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} h_{pr}^{\frac{2}{3}} \quad (3.3.2.3.1)$$

$$b = \frac{Q}{m \sqrt{2g} h_{pr}^{\frac{2}{3}}} \quad (3.3.2.3.2)$$

Če v enačbo (3.3.2.3.2) vstavim podatke ($Q=1 \text{ m}^3/\text{s}$, $m=0,43$, $g=9,81 \text{ m/s}^2$, $h_{pr}=0,1 \text{ m}$), dobim minimalno širino prelivnega polja 2,44 m. Zato predlagam na iztoku iz zadrževalnika 2 prelivni polji širine 2,50 m. Hitrost čez preliv (v) lahko sedaj izračunam po enačbi (3.3.2.3.3) in znaša 4 m/s, specifični pretok (q) pa po enačbi (3.3.2.3.4) in znaša $0,4 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$.

$$v = \frac{Q}{h_{pr} \cdot b} \quad (3.3.2.3.3)$$

$$q = \frac{Q}{b} \quad (3.3.2.3.4)$$

Pri iztoku čez prelivno polje je potrebno zagotoviti zadostno izgubo energije za prehod iz deročega v mirni tok, da ne bi prišlo do erodiranja struge dolvodno. Zato je potrebno ustrezno dimenzionirati podslapje.

Za zagotavljanje mirnega toka dolvodno mora biti Froudovo število manjše od 1. Froudovo število (Fr) predstavlja po definiciji razmerje vztrajnostnih in težnostnih sil (Steinman, F., 1999):

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (3.3.2.3.5)$$

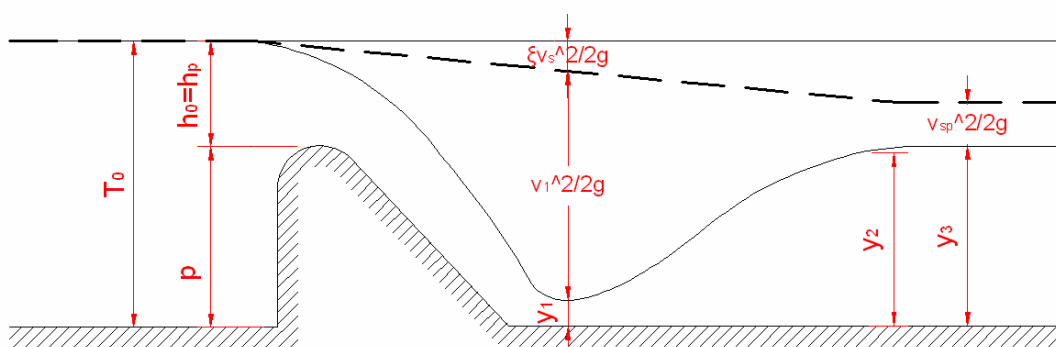
Če je to število blizu 1, obstaja nevarnost, da preide tok iz mirnega v deročega. Zato sem zaradi varnosti predpostavil, da mora biti Froudovo število enako 0,6. Tudi hitrost vode ne sme biti prevelika, da ne bi prihajalo do erodiranja dna ali brežin struge. Dolvodno sem

predpostavil hitrost (v_{sp}) 1 m/s. Sedaj lahko s preureditvijo enačbe (3.3.2.3.5) dobim globino vode dolvodno (h_{sp}):

$$h_{sp} = \frac{v_{sp}^2}{g \cdot Fr^2} = \frac{1^2}{9,81 \cdot 0,6^2} = 0,3m$$

Ko sem izračunal robne pogoje gorvodno in dolvodno od podslapja, lahko slednje dimenzioniram. Račun podslapja sem naredil iterativno, za najbolj kritičen primer. To je primer prostega preliivanja, ko je zaklopka popolnoma spuščena, saj se voda ne odlepi od stopnje in je zato disipacija energije najmanjša.

Najprej sem izvedel račun za primer nepoglobljenega podslapja (oznake so prikazane na Sliki 3.3.2.3.2).



Slika 3.3.2.3.2: Prikaz oznak za račun nepoglobljenega podslapja

Račun sem izvedel po naslednjem postopku:

- iz Slike 3.3.2.3.2 je razvidno, da veljajo naslednje enakosti:

$$T_0 = \Delta h + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = \sum \xi \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_1^2}{2g} + y_1 = (\sum \xi + 1) \frac{v_1^2}{2g} + y_1 \quad (3.3.2.3.6)$$

- vsoto izgub sem izrazil s koeficientom φ , za katerega sem vzel vrednost 0,98 (ocena):

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\sum \xi + 1}} \quad (3.3.2.3.7)$$

- s preureditvijo enačbe (3.3.2.3.6) in upoštevanjem enačbe (3.3.2.3.7) dobim enačbo za račun hitrosti deročega toka v podslapju (v_1):

$$v_1 = \varphi \sqrt{2g(T_0 - y_1)} \quad (3.3.2.3.8)$$

- tudi specifični pretok (q) lahko izrazim kot produkt hitrosti in globine:

$$q = v_1 y_1 \quad (3.3.2.3.9)$$

- če iz enačbe (3.3.2.3.9) izrazim 1. konjugirano globino (y_1) in v njej upoštevam enačbo (3.3.2.3.8), dobim:

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(T_0 - y_1)}} \quad (3.3.2.3.10)$$

- z enačbo (3.3.2.3.10) lahko iterativno določim 1. konjugirano globino (višina praga (p)) znaša 0,3 m in iz tega $T_0=0,4$ m, za prvo iteracijo sem vzel $y_1=0$):

$$1. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0)}} = 0,146 \text{ m}$$

$$2. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,146)}} = 0,183 \text{ m}$$

$$3. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,183)}} = 0,198 \text{ m}$$

$$4. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,198)}} = 0,205 \text{ m}$$

$$5. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,205)}} = 0,209 \text{ m}$$

$$6. \text{ iteracija: } y_1 = \frac{0,4}{0,98 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot (0,4 - 0,209)}} = 0,211 \text{ m}$$

- za y_1 sem tako dobil vrednost 0,21 m in iz enačbe (3.3.2.3.8) dobil še hitrost v_1 :

$$v_1 = 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81(0,4 - 0,21)} = 1,9 \text{ m/s}$$

- po enačbi (3.3.2.3.5) sem izračunal Froudovo število:

$$Fr = \frac{1,9}{\sqrt{9,81 \cdot 0,21}} = 1,31$$

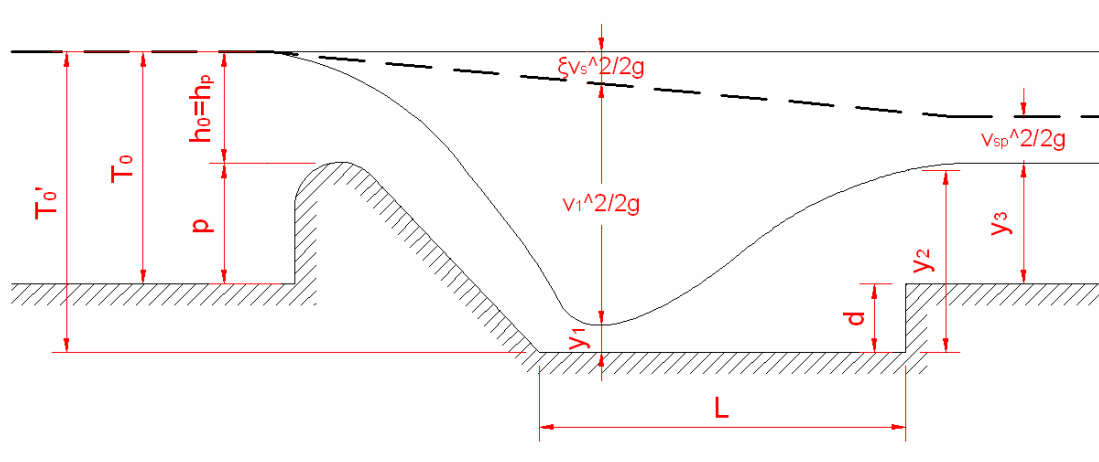
- za izračun 2. konjugirane globine (y_2) sem uporabil enačbo (3.3.2.3.11):

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1) = \frac{0,21}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot 1,31^2} - 1) = 0,30 \text{ m} \quad (3.3.2.3.11)$$

- za globino dolvodno sem upošteval varnost (σ) 1,05 in dobil minimalno potrebno globino dolvodno:

$$y_3^{\min} = \sigma \cdot y_2 = 1,05 \cdot 0,30 = 0,315 \text{ m} \quad (3.3.2.3.12)$$

Z razmerami dolvodno bi lahko vplival, da bi bila globina vode večja od te vrednosti, obstaja pa še druga možnost, t.j. poglobitev podslapja. Naredil sem izračun tudi za to varianto ter pri tem upošteval že navedene robne pogoje za razmere dolvodno ($Fr=0,6$, $h=y_3=0,3$ m). Oznake za račun poglobljenega podslapja so prikazane na Sliki 3.3.2.3.3.



Slika 3.3.2.3.3: Prikaz oznak za račun poglobljenega podslapja

Račun poglobljenega podslapja poteka podobno kot račun nepoglobljenega, le da je potrebna dvojna iteracija (za y_1 in za globino poglobitve d):

- iz Slike 3.3.2.3.3 je razvidna naslednja enakost:

$$T_0' = T_0 + d = H_0 + p + d \quad (3.3.2.3.13)$$

- izberem si začetno globino poglobitve d in po enačbi (3.3.2.3.13) izračunam T_0'

- po enačbi (3.3.2.3.14.), tako kot pri nepoglobljenem podslapju, z iteracijami dobim y_1

$$y_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(T_0' - y_1)}} \quad (3.3.2.3.14)$$

- izračunam hitrost v_1 (3.3.2.3.15)

$$v_1 = \varphi \sqrt{2g(T_0' - y_1)} \quad (3.3.2.3.15)$$

- izračunam Froudovo število Fr (3.3.2.3.16)

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} \quad (3.3.2.3.16)$$

- izračunam y_2 (3.3.2.3.17)

$$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1) \quad (3.3.2.3.17)$$

- izračunam novi d (3.3.2.3.18)

$$d_{novi} = \sigma \cdot y_2 - y_3 \quad (3.3.2.3.18)$$

- ponavljam postopek, dokler se d ne približa določeni vrednosti.

Račun za primer poglobljenega podslapja sem izvedel v programu EXCEL in je prikazan v Prilogi D2. Dobil sem naslednje rezultate:

- $y_l = 0,16$ m

- $v_l = 2,57$ m/s

- $Fr = 2,074$

- $y_2 = 0,39$ m (brez globine poglobitve znaša 2. konjugirana globina 0,28 m)

- $d = 0,11$ m

Za dolžino podslapja (L) Steinman (1999) podaja za primer s pragom kriterija (3.3.2.3.19) in (3.3.2.3.20.), za primer brez praga pa (3.3.2.3.21):

$$L = 4,5 \cdot (y_2 - y_1) \quad (3.3.2.3.19)$$

$$L = 3,6 \cdot [q(p + h - y_1)]^{\frac{1}{3}} \quad (3.3.2.3.20)$$

$$L = 8,5 \cdot (y_2 - y_1) \quad (3.3.2.3.21)$$

Pri tem se dolžina L meri od prereza, kjer se pojavi prva konjugirana globina (y_l).

Za primer poglobljenega podslapja sem po kriterijih (3.3.2.3.19) in (3.3.2.3.20) za L dobil vrednosti 1,04 m in 1,65 m. Steinman (1999) navaja še pogoj, da mora biti stopnica večja od $0,06L$, kar je v vsakem primeru. Če vzamem za dolžino višjo vrednost, sem na varni strani, torej bo dolžina podslapja 1,65 m. V primeru nepoglobljenega podslapja mora biti dolžina po pogoju (3.3.2.3.21) 0,77 m. Sistem zapornic je enak kot v primeru dotoka čez prelivno polje (Slika 3.3.2.3.1).

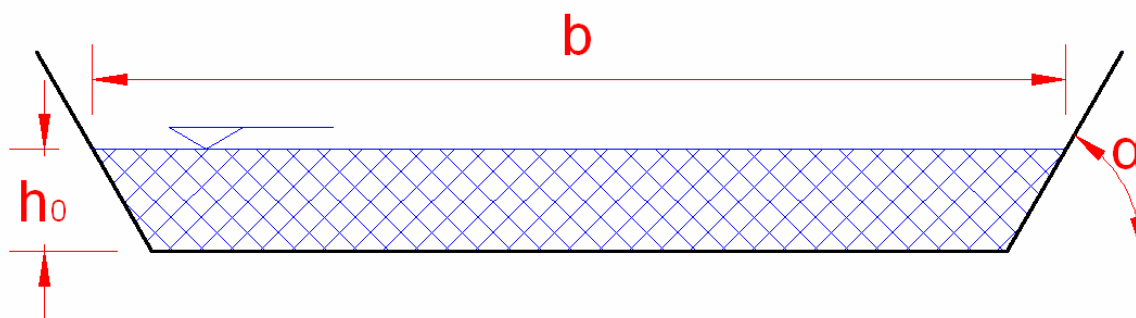
Za dimenzioniranje struge dolvodno sem uporabil Manningovo enačbo:

$$Q = \frac{1}{n_G} S \cdot R^{2/3} \quad (3.3.2.3.22)$$

Pri tem je Q pretok, n_G koeficient hrapavosti struge, S presek struge, R pa hidravlični radij, ki je enak razmerju med presekom struge (S) in omočenim obodom (O). Prerez struge bo trapez (Slika 3.3.2.3.4), uporabi se hidravlično najugodnejši prerez, ki ima najmanjši presek za prevajanje določenega pretoka. Prerez struge se pri trapezu lahko izračuna po enačbi (3.3.2.3.23), v kateri m predstavlja naklon brežin in je enak kotangensu kota α , b pa širino struge na nivoju gladine vode v strugi (Slika 3.3.2.3.4).

$$S = b \cdot h_0 + m \cdot h_0^2 \quad (3.3.2.3.23)$$

Določeno imam že globino ($h_0=0,3$ m), znan je pretok ($Q=1\text{m}^3/\text{s}$), za hidravlično najugodnejši prerez pa je hidravlični radij enak: $R=h_0/2=0,15$ m (pri pogoju, da je naklon konstanten) in naklon brežin (α) enak 60° (pri pogoju, da je globina konstantna). Iz teh podatkov lahko z Manningovo enačbo (3.3.2.3.22) ob upoštevanju enačbe za prerez pri trapeznem koritu (3.3.2.3.23) dobim širino struge dolvodno, ki tako znaša 2,5 m.



Slika 3.3.2.3.4: Prerez korita iz zadrževalnika z oznakami

3.3.2.4 Vodni režim v zadrževalniku

Vodni režim v zadrževalniku je odvisen od variante ureditve dotoka vode v zadrževalnik in iztoka iz zadrževalnika, saj sta s tem pogojeni maksimalna in minimalna kота vode v zadrževalniku in s tem koristni volumen. Zato sem izdelal dve varianti vodnega režima za dve različni ureditvi iztoka (podrobneje opisani v točki 3.3.2.3), in sicer za primer b2 (situacija v Prilogi G3) in za primer c (situacija v Prilogi G4).

Maksimalna gladina vode v akumulaciji HE Brežice znaša 152,5 m, saj je le-ta navzgor omejena z iztokom hladilne vode NEK. Denivelacija znaša 1,1m, tako da gladina vode niha med 151,4 m in 152,5m.

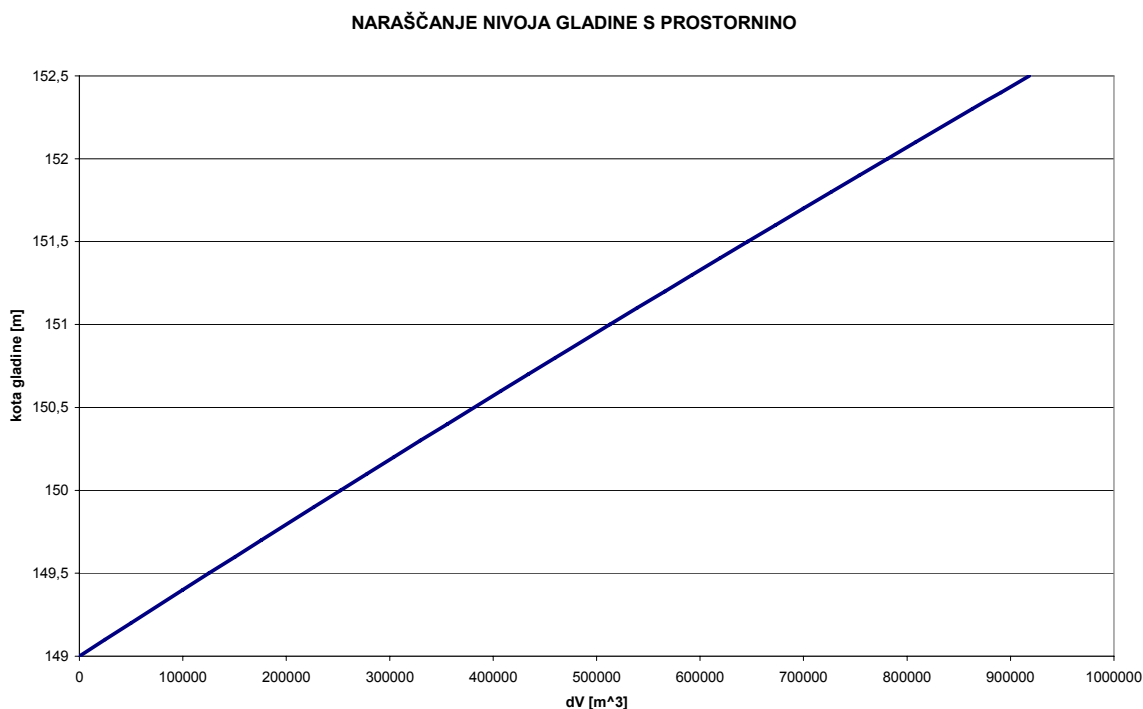
V zadrževalniku v primeru nastopa visoke vode spustimo vodo čez preliv (poleg meniha), tako da se del vode iz akumulacije HE Brežice prelije v zadrževalnik. Tu se gladina lahko dvigne v tem primeru na maksimalno koto 152,5 m (zato je tudi kota krone nasipa okoli zadrževalnika 154,0 m, kar je 1,5 m nad maksimalno koto zaradi varnostnega nadvišanja).

Pri varianti b2 (Priloga G3) je kota krone preliva iztoka na koti 149 m, ki je tako tudi kota minimalne gladine vode v zadrževalniku. Običajno dopustno nihanje v zadrževalniku bo med kotama 149 m in 152 m, razen izjemoma, t.j. v primeru nastopa visokih vod (npr. 100-letne vode), ko se, kot že omenjeno, voda izjemoma lahko dvigne do kote 152,5m. Gozdni polotoki so takrat poplavljeni, kar je v takem primeru za zelo kratko obdobje dopustno. Spodnja gladina je postavljena glede na koto iztoka, najvišja pa na koto 0,5 m pod najvišjo koto vode v akumulaciji, da lahko preliv še normalno funkcionira. To je tudi kota najnižjega polotoka, ki v običajnem obratovanju ne sme biti poplavljen.

Za račun vodne bilance sem naredil graf odvisnosti kote vode od koristnega volumna v zadrževalniku (Graf 3.3.2.4.1), pri čemer sem vzel za začetno koto 149 m, pri kateri je koristni volumen enak 0. Prostornine sem dobil na podlagi 3D modela (Slika 3.3.1.1.3), ki sem ga presekal z ravninami na minimalni in maksimalni koti vode v zadrževalniku in s funkcijo »area« dobil različne površine. Za vmesne površine sem predpostavil, da naraščajo linearno, in jih tako izračunal na 10 cm razlike v višini vode (Preglednica 3.3.2.4.1). Volumen med dvema kotama je približno enak povprečju mejnih površin, pomnoženem z razliko v višinah.

Preglednica 3.3.2.4.1: Račun koristne prostornine v odvisnosti od gladine vode (varianta b2)

kota gladine [m]	dH [m]	površina [m ²]	povp. površin [m ²]	dV [m ³]
149,0	0,0	248449		0
149,1	0,1	249245	248847	24885
149,2	0,2	250041	249643	49849
149,3	0,3	250837	250439	74893
149,4	0,4	251633	251235	100016
149,5	0,5	252429	252031	125220
149,6	0,6	253225	252827	150502
149,7	0,7	254021	253623	175865
149,8	0,8	254817	254419	201307
149,9	0,9	255614	255215	226828
150,0	1,0	256410	256012	252429
150,1	1,1	257206	256808	278110
150,2	1,2	258002	257604	303870
150,3	1,3	258798	258400	329710
150,4	1,4	259594	259196	355630
150,5	1,5	260390	259992	381629
150,6	1,6	261186	260788	407708
150,7	1,7	261982	261584	433866
150,8	1,8	262778	262380	460104
150,9	1,9	263574	263176	486422
151,0	2,0	264370	263972	512819
151,1	2,1	265166	264768	539296
151,2	2,2	265962	265564	565852
151,3	2,3	266758	266360	592488
151,4	2,4	267554	267156	619204
151,5	2,5	268350	267952	645999
151,6	2,6	269146	268748	672874
151,7	2,7	269943	269545	699829
151,8	2,8	270739	270341	726863
151,9	2,9	271535	271137	753976
152,0	3,0	272331	271933	781170
152,1	3,1	273127	272729	808442
152,2	3,2	273923	273525	835795
152,3	3,3	274719	274321	863227
152,4	3,4	275515	275117	890739
152,5	3,5	276311	275913	918330



Graf 3.3.2.4.1: Naraščanje kote vode v odvisnosti od koristne prostornine vode (varianta b2)

S pomočjo programa Excel sem iz krivulje (Graf 3.3.2.4.1) dobil enačbo za račun gladine vode v odvisnosti od koristnega volumna v zadrževalniku (enačba (3.3.2.4.1)).

$$\Delta H = -2 \cdot 10^{13} V^2 + 4 \cdot 10^{-6} V + 149 \quad (3.3.2.4.1)$$

S temi podatki sem se lahko lotil računa vodne bilance zadrževalnika. Glede na to, da hidroelektrarna pri pretokih Save nad $500 \text{ m}^3/\text{s}$ vodo spušča čez zapornice in je tako praktično izgubljena za energetska izrabo, jo je smiselno zadržati in nato izkoristiti v obdobju nizkih pretokov. Zato sem predpostavil, da se pri pretokih v Savi, ki so večji od $500 \text{ m}^3/\text{s}$ voda začne prelivati v zadrževalnik.

Pri računu vodne bilance sem prioriteto želel zagotoviti stalen pretok po ribji stezi. Glede na to, da je pretok odvisen od mnogih elementov, sem predpostavil, da ribja steza za normalno funkcioniranje potrebuje pretok vsaj $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Pri tem je potrebno upoštevati, da se del pretoka izgubi do vtoka vode najprej v Pšeničnik in Močnik, in nato do reke Save. Predpostavil sem, da ta izguba prav tako znaša $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Najbolj ekonomično bi bilo ribjo stezo speljati preko zadrževalnika, vendar s tem ne bi bil dosežen njen namen, saj se ribe ne bi selile gorvodno,

ker večina ne bi našla izhoda v Savo, razen če bi se zagotovil nek stalen tok v zadrževalniku. To pri tako veliki prostornini vode ni izvedljivo, saj bi bile za vzdrževanje stalnega toka v zadrževalniku potrebne znatno večje vodne količine, kot so na voljo.

Zato sem ribjo stezo predvidel ločeno od zadrževalnika, po zunanji strani nasipa, nato pa se ji priključi iztok iz zadrževalnika, ki zagotovi stalen dodaten dotok $1 \text{ m}^3/\text{s}$ vode v ribjo stezo (več o tem v točki 3.3.2.4.3.). To sem vzel tudi kot robni pogoj pri računu vodne bilance.

Glede na dobljene podatke o pretokih v reki Savi za tri ekstremna leta (sušno, srednje, mokro) sem izdelal po tri variante režima obratovanja zadrževalnika za vsakega od teh treh let (za različne primere dotokov). Ker je vseh izračunov preveč, prikazujem za ta primer samo vhodne podatke in grafe nihanja vode v zadrževalniku za tri leta in tri različne dotoke v Prilogi E1 (celoten račun vodne bilance je prikazan v Prilogi E2 za primer c pri dotoku $10 \text{ m}^3/\text{s}$). Za vse primere sem določil, da mora biti zadrževalnik poln 30. junija, saj je statistično gledano takrat največja verjetnost za nizke pretoke. Voda se z maksimalnim pretokom vanj pretaka takrat, ko je gladina v njem nižja od kote 152 m in je pretok v Savi večji od $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Iztok je stalen in znaša $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (zaradi ribje steze). Če je pretok v Savi manjši od $500 \text{ m}^3/\text{s}$ in večji od $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (odvisno od leta in obdobja), doteka v zadrževalnik toliko vode, kot jo izteka, tako da se nivo v njem ne spreminja. V primeru nastopa nizkih vod (pretok pod $100 \text{ m}^3/\text{s}$) pa dotok v zadrževalnik zapremo, seveda če je v njem kota gladine nad najnižjo, ki znaša 149 m. Zadrževalnik se začne prazniti, saj je iztok stalen ($1 \text{ m}^3/\text{s}$). Izračunal sem tudi prihranek prostornine vode in posredno električne energije z uporabo zadrževalnika za vse režime obratovanja in za vsa tri leta. Rezultati so prikazani v Preglednici 3.3.2.4.2.

Preglednica 3.3.2.4.2: Prihranki prostornine vode za različna leta in režime obratovanja (varianta b2)

MAX. DOTOK [m ³ /s]	PRIHRANJENA PROSTORNINA VODE PO LETIH [m ³]:		
	SUŠNO (1983)	SREDNJE (1978)	MOKRO (1960)
5	1908570	2858200	2509169
10	2340369	3034569	2685540
15	2343509	3034708	2685540

Zelo velika razlika v prihranku energije nastane, če maksimalni dotok v zadrževalnik povečam s 5 na 10 m³/s, saj se zadostna količina vode prelije bistveno prej, preden pretok v Savi pade nazaj pod 500 m³/s. Če dotok v zadrževalnik v primeru visokih vod še povečujem, pri povečanju dotoka z 10 m³/s na 15 m³/s dobim v celoletnem povprečju samo 100 m³ vode prihranka. Zaradi tega predlagam dimenzioniranje vtočnih prelivnih polj na pretok 10 m³/s.

Moč HE Brežice znaša 39,68 MW, inštaliran pretok pa 500 m³/s. Iz tega lahko dobim faktor moči:

$$\text{Faktor moči} = \frac{39,68 \text{ MW}}{500 \text{ m}^3 / \text{s}} = 0,07936 \text{ MW} / \text{m}^3 / \text{s}$$

Če množim faktor moči s prihranjeno prostornino zaradi uporabe zadrževalnika, dobim podatek, koliko električne energije lahko prihranim z uporabo le-tega. Pri maksimalnem vtoku 10 m³/s je to za sušno leto (1983) 51,7 MWh, za srednje leto (1978) 66,9 MWh in za mokro leto (1960) 59,2 MWh. Glede na to, da je predvidena letna proizvodnja 162 GWh, to predstavlja v primeru sušnega leta 0,032 % prihranka električne energije, za srednje leto 0,041 % energije in v primeru mokrega leta 0,037 %.

Vodni režim sem predvidel še za varianto c po enakem sistemu. To tudi predlagam kot končno rešitev, saj je v tem primeru bistveno lažje rešiti sistem dotoka (izdelal sem ga v točki 3.3.2.2). Gladine v zadrževalniku so ob normalnem obratovanju nižje, kar pomeni večji rezervni volumen za visoke vode in manjši vpliv na podtalne vode Krško-Brežiškega polja.

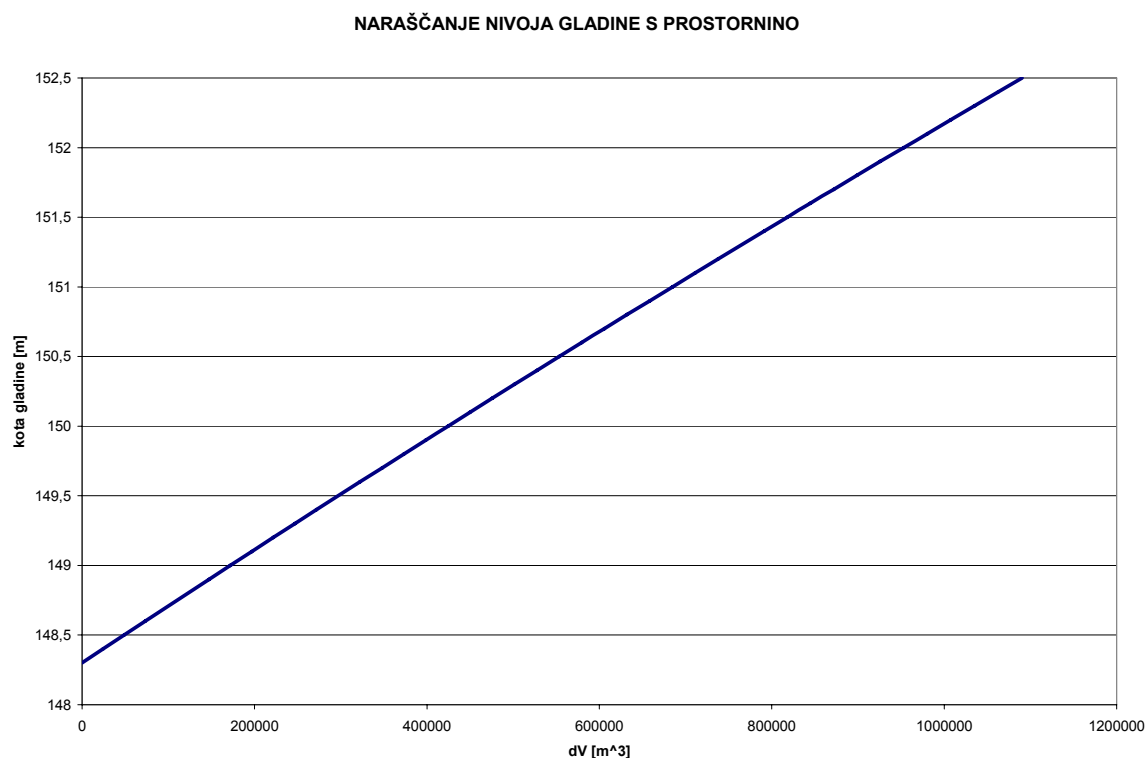
Tudi glede vegetacije na vplivnem območju zadrževalnika je sprejemljivejše, da je kota v zadrževalniku čim nižja, saj se tako poveča možen izbor dreves, ki tam lahko uspevajo zaradi globin korenin.

Varianta c s sistemom iztoka direktno v potok Močnik (Priloga G4) omogoča znižanje gladine v zadrževalniku do kote 148,3 m (0,7 m nižje kot v varianti b2). Koristni volumen sem v tem primeru predvidel do kote 151,3 m, kar je še vedno pod najnižjo koto v akumulaciji HE Brežice (v primeru denivelacije). S tem lahko vedno zagotovimo minimalni dotok ($1 \text{ m}^3/\text{s}$). Izjemoma (v primeru nastopa visokih vod) se nivo vode v zadrževalniku prav tako lahko dvigne do kote 152,5 m.

Tudi za to varianto sem naredil graf odvisnosti kote vode od koristnega volumna v zadrževalniku (Graf 3.3.2.4.2), začetna kota je v tem primeru 148,3 m (takrat je koristni volumen enak 0). Račun koristnega volumna v odvisnosti od gladine vode sem izvedel po enakem postopku kot v varianti b2 (Preglednica 3.3.2.4.3).

Preglednica 3.3.2.4.3: Račun koristne prostornine v odvisnosti od gladine vode (varianta c)

kota gladine [m]	dH [m]	površina [m ²]	povpr. površin [m ²]	dV [m ³]
148,3	0	242877		0
148,4	0,1	243673	243275	24327
148,5	0,2	244469	244071	48735
148,6	0,3	245265	244867	73221
148,7	0,4	246061	245663	97787
148,8	0,5	246857	246459	122433
148,9	0,6	247653	247255	147159
149	0,7	248449	248051	171964
149,1	0,8	249245	248847	196849
149,2	0,9	250041	249643	221813
149,3	1	250837	250439	246857
149,4	1,1	251633	251235	271980
149,5	1,2	252429	252031	297184
149,6	1,3	253225	252827	322466
149,7	1,4	254021	253623	347829
149,8	1,5	254817	254419	373271
149,9	1,6	255614	255215	398792
150	1,7	256410	256012	424393
150,1	1,8	257206	256808	450074
150,2	1,9	258002	257604	475834
150,3	2	258798	258400	501674
150,4	2,1	259594	259196	527594
150,5	2,2	260390	259992	553593
150,6	2,3	261186	260788	579672
150,7	2,4	261982	261584	605830
150,8	2,5	262778	262380	632068
150,9	2,6	263574	263176	658386
151	2,7	264370	263972	684783
151,1	2,8	265166	264768	711260
151,2	2,9	265962	265564	737816
151,3	3	266758	266360	764452
151,4	3,1	267554	267156	791168
151,5	3,2	268350	267952	817963
151,6	3,3	269146	268748	844838
151,7	3,4	269943	269545	871793
151,8	3,5	270739	270341	898827
151,9	3,6	271535	271137	925940
152	3,7	272331	271933	953134
152,1	3,8	273127	272729	980406
152,2	3,9	273923	273525	1007759
152,3	4	274719	274321	1035191
152,4	4,1	275515	275117	1062703
152,5	4,2	276311	275913	1090294



Graf 3.3.2.4.2: Naraščanje kote vode v odvisnosti od koristne prostornine vode (varianta c)

Tudi enačba (3.3.2.4.2) je dobljena na enak način kot v varianti b2 enačba (3.3.2.4.1), in določa naraščanje gladine v zadrževalniku (ΔH) v odvisnosti od koristne prostornine vode (V). Ker volumen v zadrževalniku narašča s koto skoraj linearno, se enačba razlikuje samo v tretjem členu (148,3 namesto 149), saj se tukaj koristni volumen začne pri koti 148,3 m.

$$\Delta H = -2 \cdot 10^{13} V^2 + 4 \cdot 10^{-6} V + 148,3 \quad (3.3.2.4.2)$$

Pri računu bilance sem upošteval enake predpostavke kot v varianti b2. Prav je predvidena bogatitev ribje steze iz zadrževalnika ($1 \text{ m}^3/\text{s}$), zadrževalnik se polni pri pretokih v Savi, ki so večji od $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Za tri vremensko ekstremna leta so po tri variante režima prikazane v Prilogi E2. Za primera dotokov 5 in $15 \text{ m}^3/\text{s}$ prilagam (zaradi prevelikega števila podatkov) le vhodne podatke in grafa nihanj vode v zadrževalniku, za primer dotoka $10 \text{ m}^3/\text{s}$ pa tudi preglednice, ki prikazujejo dnevni izračun bilance čez celo leto za primer treh vremensko ekstremnih let, saj to varianto v nadaljevanju predlagam kot rešitev. Prihranki energije za varianto c so prikazani v Preglednici 3.3.2.4.4. Izkaže se, da so skoraj isti kot po varianti b2, torej je tudi v tem primeru smiselno omogočiti dotok v zadrževalnik blizu $10 \text{ m}^3/\text{s}$, ni pa

pogoj. V primeru mokrega leta in maksimalnega dotoka $10 \text{ m}^3/\text{s}$ prihranimo 7,0 % več energije kot v primeru maksimalnega dotoka $5 \text{ m}^3/\text{s}$, v primeru sušnega pa 22,7 %. Ta prihranek ne narašča linearno, ampak počasneje, če se dotoki večajo. Zato tudi manjši maksimalni dotok od $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ne pomeni bistveno manjšega prihranka energije.

Preglednica 3.3.2.4.4: Prihranki prostornine vode za različna leta in režime obratovanja (varianta c)

MAX. DOKOK [m^3/s]	PRIHRANJENA PROSTORNINA VODE PO LETIH [m^3]:		
	SUŠNO (1983)	SREDNJE (1978)	MOKRO (1960)
5	1907940	2688541	2509169
10	2340369	3034569	2685540
15	2343509	3034708	2685540

3.3.2.5 Izvedba nasipov

Na območju akumulacijskega bazena so potrebne podrobnejše geološke in geomehanske preiskave, ki se osredotočajo na območje gradnje nasipov. Geomehansko se preveri vse materiale, ki pridejo v poštev tako za gradnjo temelja kot telesa nasipa.

Izvedba nasipov negativno deluje na krajinsko sliko širšega območja. Zato je za ustrežnejšo vključitev v pestro krajinsko sliko območja potrebno izvesti prilagoditve nasipov v florisnem gabaritnem smislu. Hkrati je potrebno s spreminjanjem naklonov nasipov na zračni strani ustvariti tudi videz morfološke členjenosti prostora ter z zasaditvijo vegetacije zagotoviti vključitev novega objekta v naravno ohranjeni prostor.

Ob akumulaciji HE Brežice meji na zadrževalnik del nasipa v dolžini 1491 m, njegova krona bo zaradi varnosti v primeru prelitja vode 1,5 m nad koto zajezebe, ki je 152,5 m. Iz tega sledi, da se nasipi gradijo do kote 154 m. Grajeni bodo iz materiala iz gramoznice. Brežine se izvedejo v naklonu 1:2, razen na mestih, kjer bodo postavljene posebne zahteve. Širina krone

nasipa naj bo zaradi manevriranja strojev vsaj 3 m. Z večanjem širine se večja varnost tako pred erozijo kot pred pojavi razpok.

Na območju zadrževalnika se ob nasipu HE Brežice nasuje berma v širini 5 m do kote 100-letne vode, ki je ob zadrževalniku v Savi po podatkih IBE d.d. povprečno na koti 153,0 m, za bermo pa se pusti še 10 m raščenege terena, da ne bi prišlo do poškodb nasipa zaradi spodjedanja le-tega. Povprečna površina preseka berme je $5,6 \text{ m}^2$ (dobljeno iz prečnih prerezov zadrževalnika). Če to množim z dolžino berme, ki je enaka dolžini nasipa med zadrževalnikom in akumulacijo HE Brežice (t.j. 1491 m), dobim oceno potrebnega materiala za bermo, ki znaša 8.400 m^3 . Berma se naredi kot homogen nasip. Peto berme je potrebno ojačati s skalami, da ne pride do spodjedanja le-te. Po bermi se položi filc, ki prepreči njeno možnost erodiranja, in ga potegnemo še 0,5 m v glavni nasip. Čezenj se nasuje 30 cm kamenega nasutja (prerez je prikazan v Prilogi H1).

Ostali nasipi (okoli zadrževalnika) v dolžini 1823 m bodo zaradi varnosti imeli krono prav tako na koti 154 m, saj je teren okoli zadrževalnika blizu te kote in večje nasutje ni potrebno. To je razvidno iz vzdolžnega prereza nasipa (Priloga F) in iz izračunanih ocen potrebnega materiala za različne kote kron nasipa (Preglednice 3.3.2.5.1, 3.3.2.5.2 in 3.3.2.5.3). Notranje brežine nasipa se izvedejo v naklonu 1:2, zunanje pa čim bolj sonaravno v naklonih manjših od 1:5. Nasip se izvede kot homogen.

Oceno potrebnega materiala za gradnjo nasipov na zunanji strani zadrževalnika sem dobil z izdelavo vzdolžnega prereza nasipa (Priloga F), tako da sem za vsak odsek (med dvema profiloma) množil dolžino odseka s povprečno površino prerezov nasipa v profilih. Izračunal sem potrebne količine materiala za različne kote krone nasipa, izračuni so v preglednicah 3.3.2.5.1, 3.3.2.5.2 in 3.3.2.5.3. Za predlagano višino nasipa je po oceni potrebnih 44.509 m^3 materiala.

Preglednica 3.3.2.5.1: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 153,0 m

PROFIL	STACIONAŽA [m]	RAZDALJA [m]	KOTA TERENA [m]	KOTA NASIPA [m]	RAZLIKA [m]	POVRŠINA [m ²]	VOLUMEN [m ³]
1	0,0	0,0	152,5	153,0	0,5	2,38	0,0
2	145,0	145,0	152,9	153,0	0,1	0,33	196,5
3	376,5	231,5	153,0	153,0	0,0	0,00	38,8
4	459,3	82,8	153,0	153,0	0,0	0,00	0,0
5	512,6	53,3	152,5	153,0	0,5	2,38	63,3
6	854,3	341,7	152,0	153,0	1,0	6,50	1516,3
7	931,1	76,8	151,5	153,0	1,5	12,38	724,8
8	1011,3	80,2	151,3	153,0	1,7	15,21	1106,4
9	1068,5	57,2	151,5	153,0	1,5	12,38	789,1
10	1090,6	22,1	152,0	153,0	1,0	6,50	208,6
11	1182,5	91,9	152,0	153,0	1,0	6,50	597,4
12	1201,5	19,0	149,5	153,0	3,5	53,38	568,8
13	1222,2	20,7	151,5	153,0	1,5	12,38	680,5
14	1611,4	389,2	151,0	153,0	2,0	20,00	6300,2
15	1733,9	122,5	150,5	153,0	2,5	29,38	3024,2
16	1822,8	88,9	150,5	153,0	2,5	29,38	2611,4

POTREBEN MATERIAL ZA NASIPE 18426,1

Preglednica 3.3.2.5.2: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 153,5 m

PROFIL	STACIONAŽA [m]	RAZDALJA [m]	KOTA TERENA [m]	KOTA NASIPA [m]	RAZLIKA [m]	POVRŠINA [m ²]	VOLUMEN [m ³]
1	0,0	0,0	152,5	153,5	1,0	6,50	0,0
2	145,0	145,0	152,9	153,5	0,6	3,06	693,1
3	376,5	231,5	153,0	153,5	0,5	2,38	629,1
4	459,3	82,8	153,0	153,5	0,5	2,38	196,7
5	512,6	53,3	152,5	153,5	1,0	6,50	236,5
6	854,3	341,7	152,0	153,5	1,5	12,38	3224,8
7	931,1	76,8	151,5	153,5	2,0	20,00	1243,2
8	1011,3	80,2	151,3	153,5	2,2	23,54	1746,0
9	1068,5	57,2	151,5	153,5	2,0	20,00	1245,2
10	1090,6	22,1	152,0	153,5	1,5	12,38	357,7
11	1182,5	91,9	152,0	153,5	1,5	12,38	1137,3
12	1201,5	19,0	149,5	153,5	4,0	68,00	763,6
13	1222,2	20,7	151,5	153,5	2,0	20,00	910,8
14	1611,4	389,2	151,0	153,5	2,5	29,38	9608,4
15	1733,9	122,5	150,5	153,5	3,0	40,50	4279,8
16	1822,8	88,9	150,5	153,5	3,0	40,50	3600,4

POTREBEN MATERIAL ZA NASIPE 29872,6

Preglednica 3.3.2.5.3: Ocena potrebnega materiala za nasip v primeru krone na koti 154,0 m

PROFIL	STACIONAŽA [m]	RAZDALJA [m]	KOTA TERENA [m]	KOTA NASIPA [m]	RAZLIKA [m]	POVRŠINA [m ²]	VOLUMEN [m ³]
1	0,0	0,0	152,5	154,0	1,5	12,38	0,0
2	145,0	145,0	152,9	154,0	1,1	7,53	1443,5
3	376,5	231,5	153,0	154,0	1,0	6,50	1624,6
4	459,3	82,8	153,0	154,0	1,0	6,50	538,2
5	512,6	53,3	152,5	154,0	1,5	12,38	503,0
6	854,3	341,7	152,0	154,0	2,0	20,00	5531,3
7	931,1	76,8	151,5	154,0	2,5	29,38	1896,0
8	1011,3	80,2	151,3	154,0	2,7	33,61	2525,9
9	1068,5	57,2	151,5	154,0	2,5	29,38	1801,5
10	1090,6	22,1	152,0	154,0	2,0	20,00	545,6
11	1182,5	91,9	152,0	154,0	2,0	20,00	1838,0
12	1201,5	19,0	149,5	154,0	4,5	84,38	991,6
13	1222,2	20,7	151,5	154,0	2,5	29,38	1177,3
14	1611,4	389,2	151,0	154,0	3,0	40,50	13597,7
15	1733,9	122,5	150,5	154,0	3,5	53,38	5749,8
16	1822,8	88,9	150,5	154,0	3,5	53,38	4745,0

POTREBEN MATERIAL ZA NASIPE 44509,0

Z nadaljnjim monitoringom bo potrebno obravnavati spremembe režima podzemnih vod in v skladu z ugotovitvami predlagati dodatne ukrepe (dodatna tesnitev, zagotavljanje večje prepustnosti). Izoblikovanje brežin in potrebo po vmesnih bermah bodo dale dodatne analize stabilitetnih izračunov. Protierozijsko zavarovanje se bo izvedlo z naravnimi materiali (kamen na ustrezni filterni podlagi na vodni strani) in ozelenitev ter zasaditev grmovnic s plitvimi koreninami na zračni strani brežine nasipa.

3.3.2.6 Tesnjenje

V študiji Energetska izraba Save od Medvod do Mokric (IBE p.o., 1979) je naveden podatek, da je koeficient prepustnosti k proda na levem in desnem bregu $2 \cdot 10^{-3}$ m/s. Zaradi tako velike prepustnosti je pričakovati vsaj na začetku po zajezitvi močno izcejanje vode skozi prod pod

nasipi. Da bi preprečili dvig podtalnice ali celo preplavitev nizke trase zunaj nasipov, je potrebno tesnjenje.

Za nasipe ob HE Brežice predlagam tesnitev z navpično injekcijsko zaveso. Teorijo povzemam po Nonveiller, E. (1983):

Injekcijska navpična zavesa se običajno uporablja v prepustnih nasipih in v aluvialnih plasteh. Pretok vode skozi prepustne plasti prekinja delno, odvisno od debeline vbrizgane mase in od njene prepustnosti. Ustvarja se z vtiskanjem injekcijske zmesi, najpogosteje stabilizirane vodene suspenzije cementa ali glin in cementa, v steno pod pritiskom čez izolirane dele vrtin. Zmes zapolnjuje okoli predela vrtine najprej najširše med sabo povezane razpoke, nato pa s postopno povečanim tlakom še večino ožjih razpok, v katere zrnca zmesi lahko prodrejo. Bolj kot je injekcijska masa iz finih zrn, popolneje bo zapolnila tudi zelo majhne, med sabo povezane razpoke.

Domet prodiranja s tem postopkom je odvisen od gostote injekcijske mase, vbrizgalnega pritiska in od lastnosti sistema razpok, v katere masa prodira. Čim večji je pritisk, redkejša zmes in širše razpoke, večji je domet. Le-ta in stopnja zmanjšanja prepustnosti stene sta osnova za projektiranje injekcijske zaveso. Rezultat, ki se ga lahko ustvari z injektiranjem, je odvisen od strukture, razpokanosti stene ter od tega, kako in s katerim polnilom so zapolnjene razpoke ter kako so med sabo povezane. Za ugotavljanje vseh teh elementov je potrebno narediti vrsto raziskav.

Pri tem so najpomembnejši litološki in tektonski elementi stene pod nasipom, razpokanost jedra in zapolnjenost razpok, prepustnost in odvisnost med prepustnostjo in pritiskom. Ti dejavniki se razjasnijo s sintezo geoloških in geotehničnih raziskav. Slojevitost, razpokanost, prepustnost in druge lastnosti stene v območju temelja so večinoma zelo heterogene, medtem ko racionalnost raziskovanj nalaga omejitve vrtanja. Za projekt obstaja ponavadi premalo podatkov, da bi potrdili statistično zaupljiv model prepustnosti stene pod nasipom.

Za nasip okoli akumulacije HE Brežice je v Prostorskih ureditvah HE na spodnji Savi (MOPE, 2004) predlagano, naj se tesnjenje izvede po možnosti do nepropustne podlage v obsegu, ki bo določen na podlagi dodatnih raziskovalnih del. Obseg tesnilne zavesa se bo določil na podlagi nadaljnjih raziskav prepustnosti materialov in terena.

Za nasipi se izvede drenažni jarek, ki ima dve funkciji:

- odvod drenažne vode skozi nasipe v ribjo stezo ter posredno v podslapje, in zadrževanje podzemne vode na projektirani višini;
- odvod zalednih voda in regulacijskih voda v ribjo stezo in posredno v podslapje, dolvodno od ribje steze pa direktno v podslapje.

Za nasip okoli zadrževalnika ocenjujem, da tesnjenje s tesnilno zaveso ni potrebno, saj je okoliški teren večinoma višji od nivoja maksimalne gladine v normalnem obratovanju zadrževalnika. V homogen nasip se vgradi večjo koncentracijo glinenega materiala, da se s tem zmanjša prepustnost. Pomembno je le, da se nivo podtalnice ne dvigne nad teren.

Če bi dodatne raziskave pokazale, da bi bilo pronicanje skozi nasip še vedno preveliko, predlagam tesnjenje s tesnilno bariero.

Okoli nasipa se vgradi drenažna cev premera 60 cm, minimalno 1,5 m pod terenom, za odvod zaledne vode in vode, ki pronica skozi nasip. Voda iz drenaž se spelje v mokrišče, ki se uredi na območju opuščene gramoznice (več v točki 5.2.2).

3.3.2.7 Vzdrževanje zadrževalnika

Zadrževalnik je potrebno tudi vzdrževati, saj se v daljšem časovnem obdobju v njem nabere material, ki ga je potrebno redno odstranjevati, še posebno če je vnos proda iz reke Save velik pri dotekanju vode. Ker popolna izpraznitev zadrževalnika v varianti, ki jo predlagam, ni mogoča (iztok je na koti 148,3 m, kar je 3,3 m nad dnom zadrževalnika), vidim kot edino možno rešitev odstranjevanje materiala z gradbeno mehanizacijo.

4 UREDITVE ZA REKREACIJSKO-TURISTIČNO RABO

4.1 Kajakaška proga

4.1.1 Teorija

Najprej si je potrebno ogledati osnovne parametre kajakaške proge, ki jih povzemam po Bondu, K. in Snelu, R. (1999). Ti so naslednji:

- ŠIRINA: Priporočena nominalna širina znaša vsaj 10 do 12 m. Odseki, daljši od dveh dolžin čolna, naj ne bodo ožji od 8 m. Plovila variirajo v dolžini med 2 in 4,5 m in potrebujejo precej prostora za vodene zavoje. Če je proga široka le 7 m, zahteva od kajakaša, da je na levi strani reke, da vstopi v vrtinec na desni strani z zadostno hitrostjo.
- GLOBINA: Kajakaš se lahko prevrne, če je njegova zagnanost večja kot spretnost. V primeru naravnih vodotokov je taka situacija nevarna, saj se plavalec lahko poškoduje na podvodnih ovirah. Globina 0,4 m naj bi bilo varna, da se ne zadane ob dno, kar pomeni, da naj globina proge nikoli ne bo manjša, še posebno ne na delih z veliko hitrostjo toka. Priporoča pa se globina od 0,75 m do 0,9 m, da se s tem kajakašu omogoči poglobljanje krme v primeru zavojev. V primeru globine vode pod 0,4 m obstaja nevarnost, da se prevrnjen kajakaš dotakne dna. Nominalna globina 1,0 m ali več je zahtevana v primerih maksimalne hitrosti valov in posledične vleke kajakov in raftov. Za nekatere roдео-kajakove bi morala biti globina vode vsaj 1,5 m. Da bi se naredila stabilna vodna gladina, se je potrebno izogniti kritičnim stanjem, kar pomeni Froudovemu številu (Fr) blizu 1, pri čemer je

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}. \quad (4.1.1.1)$$

- HITROST VODE IN IZTOK: Za kajakaše divjih vod je ustrezne hidravlične značilnosti najbolje opisati s pomočjo Froudovega števila. Froudova enačba (4.1.1.1.) opisuje odnos med gladino vode (h), hitrostjo v strugi (v) in Froudovim številom (Fr). Če je $Fr < 1$, je to mirni tok, če je $Fr > 1$, pa je to deroči tok. Pri $Fr = 1$ je kritični tok. Tekmovalni hidravlični pojavi, kot so stoječi valovi in skoki, se pojavljajo na mestih, kjer se vodni tok nenadno spremeni iz mirnega v deročega. Višina hidravličnih skokov in valov je predmet za klasifikacijo tekmovalcev divjih vod. Mednarodno so skoki

višine 1 m maksimalni za najelitnejše kajakaše, medtem ko je 0,7 m maksimum za amaterje. To pomeni Froudovo število 2,5 oziroma 1,7. Valovi so lahko oblikovani s spreminjanjem globine in hitrosti vode. Froudovo število 2,5 lahko dosežemo s hitrostjo vode 5 m/s in globino vode 0,5 m. Tako visoke hitrosti je pod naravnimi pogoji možno doseči samo s strmim pragom, ki zahteva veliko energije. Na srečo ni pomembno, na kakšen način dosežemo to hitrost. Manningova enačba

$$v = \frac{1}{n_G} R^{2/3} I_0^{1/2} \quad (4.1.1.2)$$

opisuje razmerje med padcem (i_0), hidravličnim radijem (R), hrapavostjo (n) in povprečne hitrosti vode (v). Manningov koeficient hrapavosti (n_G) se giblje od 0,012 pri gladkih betonskih podlagah, do 0,07 pri naravnih vodotokih. Za kajakaške vode je skupna mednarodna vrednost za povprečno hitrost 2 m/s (za elitne kajakaše) in padec 1 % v kombinaciji s pretokom 15 m³/s. Na območjih, kjer tak padec ni mogoč, je potrebno povečati pretok. Priporočena hitrost za kajakaše začetnike je med 1,4 in 1,7 m/s.

- PREČNI PREREZ KORITA: Uporabljajo se različne oblike: pravokotne, trapezne in polkrožne. Hidravlično najugodnejši prerez je prerez polkrožne oblike (pri enakem padcu, pretoku in hrapavosti ima najmanjši presek korita), medtem ko je prednost obeh prerezov z ravnim dnom, da omogočajo namestitve modularnih ovir, ki se lahko pripenjajo na tla. V primeru trapeznega prereza je zaradi poševnih brežin problematično izstopanje iz vode. Potrebno se je zavedati, da je pravokoten prerez bistveno lažji za vzpenjanje in zato posledično tudi varnejši. Posredno ima pravokotna oblika prednost tudi zaradi globine pri vrtincih.
- TRENJE NA DNU: Majhen odpor pomeni visoko hitrost vode za nizko ceno. S primerjavo Manningovih koeficientov je razvidno (enačba 4.1.1.2), da je lahko pri enakem padcu v primeru gladke betonske podlage ($n_G = 0,012$) hitrost vode 5-krat večja kot v nekaterih naravnih vodotokih, katerih struga je prekrita s prodom. Iz tega sledi, da morajo biti struge čim bolj gladke.
- DOLŽINA: Po možnosti naj bo proga daljša od 300 m, kar je olimpijska razdalja za slalom. Daljša proga omogoča več variacij.

4.1.2 Idejna zasnova

Kajakaška proga se uredi od bazena za pristanišče do zadrževalnika ob nasipu akumulacije HE Brežice, saj tako ni potrebno graditi nasipov na obeh straneh proge. Prerez je prikazan v Prilogi H3.

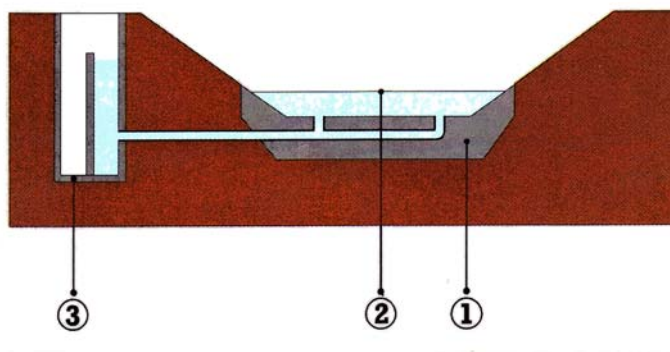
Ker je padec terena zelo majhen, bo padec kajakaške steze 0,6 %, kar pomeni, da bo pri dolžini 300 m višinska razlika znašala 1,8 m. Padec se naredi umetno, saj naravnega padca v tem delu ni. Razlika v gladinah med akumulacijo HE Brežice in zadrževalnikom znaša med 0,1 in 4,2 m. Zato je obratovanje proge pogojeno z nivojema gladin vode v zadrževalniku in akumulaciji HE Brežice. Kajakaška proga seveda ne more obratovati, če je gladina vode v zadrževalniku višja od gladine vode v akumulaciji.

Glede na to, da naj bi kajakaška proga obratovala takrat, ko je v akumulaciji dosti vode, predpostavljam, da je gladina vode v njej 152,5 m. Če upoštevam 0,6 % padec, pomeni, da mora biti gladina v zadrževalniku za obratovanje proge pod koto 150,7 m (0,6 m pod najvišjo koto).

Za regulacijo pretoka se vgradi gumeni jez, ki omogoča prehod kajakašem. Podatke o jezu in skice povzemam po prospektu Save Kranj (1994).

Gumeni jez sestoji iz treh delov (Slika 4.1.2.1):

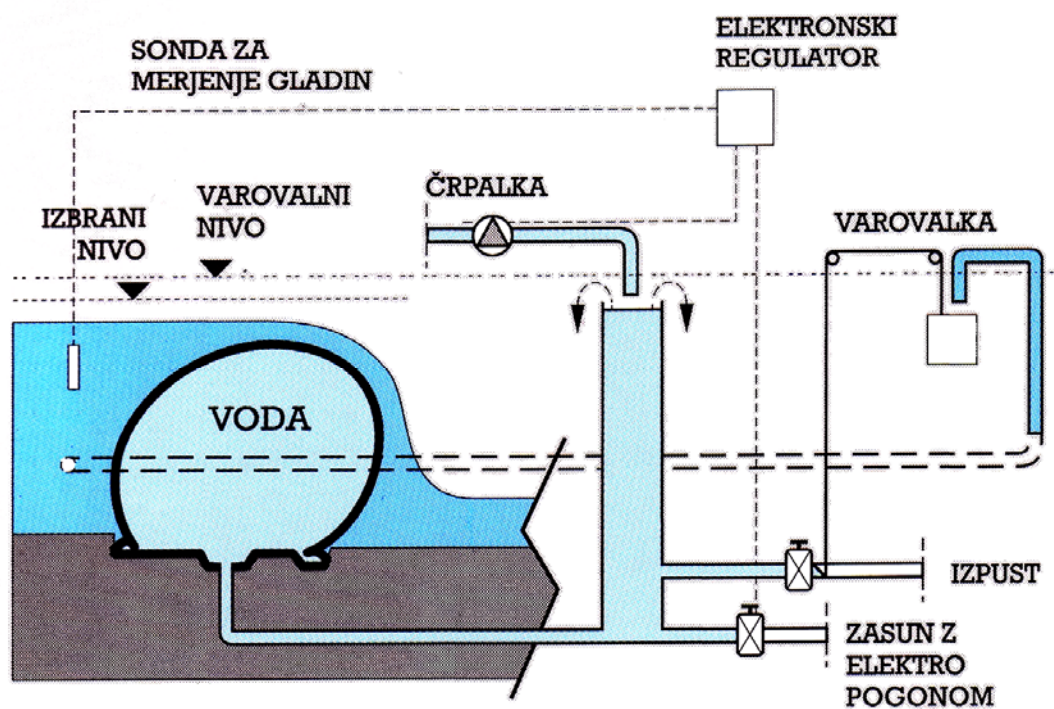
- iz betonskega temelja z dovodnimi cevovodi in pritrditvenimi profili (1);
- iz gumene vreče, izdelane iz elastičnega materiala, ki je impregniran in obložen z gumo (2);
- iz manipulativnega dela, ki omogoča delovanje in krmiljenje gumene vreče (3).



Slika 4.1.2.1: Sestavni deli gumenega jez (Sava Kranj, 1994)

Da bi dosegli želeno zaježitev, moramo gumeno vrečo napolniti z vodo ali zrakom, kar je odvisno od obratovalnih razmer, od zahtevane natančnosti regulacije krone jezusa, s tem pa zaježitvene gladine v vodotoku. Gumeno vrečo dvigne na želeni nivo nadtlak vode ali zraka v vreči. Za polnjene gumene vreče z zrakom se uporablja puhalo, za polnjenje z vodo pa je več možnosti: črpalka, vodovod, višje ležeči rezervoar ali vodno zajetje.

V projektu se uporabi sistem natančne regulacije (Slika 4.1.2.2). Višino krone gumene vreče se tako uravnava s krmilnimi napravami. To omogoča natančne nastavitve višin krone gumene vreče, obenem pa jo je možno popolnoma izprazniti pri določeni gladini vode v akumulaciji, neodvisno od notranjega pritiska vode v gumni vreči.



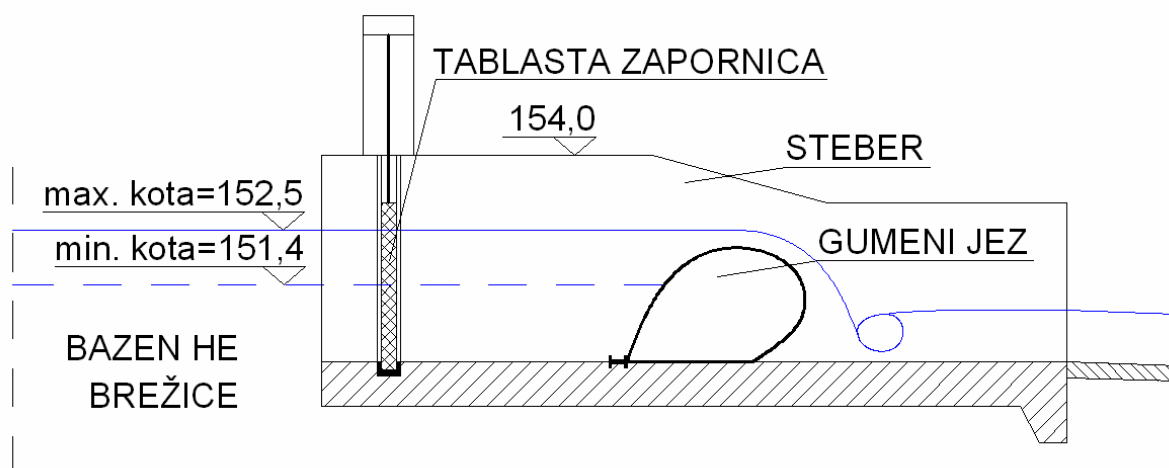
Slika 4.1.2.2: Sistem natančne regulacije gumenega jezusa (Sava Kranj, 1994)

Pritrjevanje jezusa poteka tako, da gumeno vrečo pritrdimo na betonski temelj s pomočjo kovinskih profilov. Ali bo gumena vreča pritrjena eno ali dvoredno, je odvisno predvsem od višine gumenega jezusa.

Lastnosti jezov so naslednje:

- Krona gumene vreče se samodejno znižuje ob naraščanju višine vode tudi v primeru, če krmilne naprave ne delujejo.
- Gumeni jez je lahko poljubno dolg, gumena vreča pa se razdeli na več polj. Maksimalna višina gumenega jezov je 5 m.
- Za postavitev gumenega jezov so potrebna minimalna pripravljalna dela.
- Konstrukcija jezov se prilagaja okolju.
- Barva gumene vreče je lahko poljubna.
- Gumeno vrečo je mogoče enostavno namestiti in odstraniti.
- Vzdrževanje gumenega jezov je enostavno.
- Poškodovano gumeno vrečo je mogoče hitro in poceni popraviti, manjše poškodbe tudi med obratovanjem gumenega jezov.
- Gumena vreča je odporna proti atmosferskim vplivom, UV-žarkom, medijem (topila), kislinam, lugom ter proti abraziji.

Ker pa je potrebno zagotoviti tudi ustrezno varnost, se pred jez vgradi tablasta zapornica, ki omogoča zaprtje dotoka v primeru napake na gumenem jezov in remont le-tega (tako kot v primeru dotoka preliva pri dotoku v zadrževalnik). Ureditev dotoka je prikazana na Sliki 4.1.2.3.



Slika 4.1.2.3: Prikaz ureditve dotoka v kajakaško progo

Pri projektiranju kajakaške proge se je potrebno zavedati, da le-ta ni primarni namen projekta zadrževalnika. Zato bo njeno obratovanje odvisno od stanja vode v akumulaciji HE Brežice in od kote vode v zadrževalniku. Če pride do sušnih pretokov in je gladina vode v akumulaciji nižja, obratovanje kajakaške proge vsekakor odpade. V času obratovanja kajakaške proge je potrebno spremeniti režim obratovanja zadrževalnika, predvsem minimalen dotok $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ki ni potreben, če se le-ta zagotavlja že z obratovanjem kajakaške proge.

Glede na robne pogoje, ki jih določata gladini v akumulaciji HE Brežice in zadrževalniku, ter glede na priporočila, napisana v prejšnji točki (4.1.1), predlagam naslednje lastnosti prečnega prereza struge kajakaške proge (odsekoma se ga oblikuje glede na zahteve kajakašev):

- glede na omejitve z začetno in končno gladino znaša povprečni naklon (I_0) 0,6%;
- širina (b) bo znašala 10 m (glede na priporočila);
- globina vode (h) naj bo 0,75 m;
- za koeficient hrapavosti (n_G) bom v izračunih vzel vrednost za tla iz gramozov - 0,03;
- uporabi se pravokoten prerez zaradi lažjega izstopanja in možnosti namestitve modularnih ovir, ki se lahko pripenjajo na dno.

Te podatke sem vstavil v Manningovo enačbo (4.1.1.2) in izračunati hitrost (v), ki znaša 1,94 m/s, kar je priporočena vrednost (za elitne kajakaše), iz hitrosti pa pretok ($Q = v S$), ki znaša $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Tak pretok se sicer priporoča v kombinaciji s padcem 1 %, vendar to v tem primeru ni izvedljivo. Z zmanjšanjem koeficienta hrapavosti struge (n_G) oziroma z betoniranjem dna dosežemo večji pretok, kar pa pomeni tudi večje izgube vode v akumulaciji HE Brežice.

4.2 Pristanišče

Ideja o plovnosti Save od Zagreba do Jadranskega morja je že zelo stara. Sava s svojim tokom in srednjimi vodami ne omogoča (v obstoječem stanju) plovnosti reke niti do Ljubljane. Ker se bo globina vode z zajezbami hidroelektrarn povečala, se bodo povečale tudi možnosti za plovbo manjših rečnih ladij (omejitve so naravni radiji rečnih zavojev).

Plovnost reke Save bi bilo potrebno obravnavati na celotnem odseku, saj je komercialna plovba smiselna le, če je neprekinjena in na daljši razdalji. Ekonomskih potreb za takšno plovbo ni, kanjonski del Save pa je manj primeren za tovrstno obliko transporta. Visoke vode, glede na prisotnost infrastrukture, zahtevajo skoraj celoten pretočni profil reke Save. Če bi se

pojavitve gospodarske ali druge pobude za aktiviranje teh potreb, bi bilo potrebno izvesti splavnice tako ob pregradi HE Brežice, pa tudi ob ostalih pregradah spodnje Save, pri čemer bi bila na nekaterih mestih potrebna tunnelska izgradnja le-teh (npr. lokacija HE Krško). V primeru pregrade HE Brežice bi bila možna izgradnja splavnice ob objektu.

Lahko pa se izvaja rekreacijska plovba v akumulaciji v obsegu in namenu, določenem glede na rekreacijske potencialne občin Krško in Brežice. V primeru rabe vodotoka za plovbo se lahko bistveno poveča privlačnost plovbe tako za turistične kot tudi za osebne in lokalne potrebe. V ta namen se uredi pristanišče 300 m dolvodno od konca zadrževalnika, kjer se uredi zaliv (prikazano v situaciji v Prilogi G4). Na dolvodni strani zaliva se uredi pomol s privezi za plovila s parkiriščem in dostopnimi potmi. Iz tega zaliva se uredita tudi vtoka v kajakaško progo in ribjo stezo. Zato je tu kota vode enaka kot v akumulaciji HE Brežice, kar pomeni maksimalno 152,5 m.

4.3 Ureditev dostopnih poti

Za zagotovitev večnamenske rabe zadrževalnika in okolice je potrebno zagotoviti ustrezno število urejenih dostopov do vode. Vsi so praviloma večnamenski, v sklopu njihove ureditve pa je potrebno zagotoviti izvedbo ploščadi ali drugačnih tehničnih rešitev, stopnice do vode, utrjeno dostopno pot z obračališčem za kamione in kmetijska vozila.

Obstoječe poti po levem bregu Save na področju Vrbine je potrebno prestaviti tako, da bo omogočena povezava po levem bregu. Potrebno je urediti pot okoli zadrževalnika in dostop do pristanišča.

Prva možnost je, da se rekonstruira in po možnosti asfaltira že obstoječo makadamsko pot, ki poteka mimo predvidenega pristanišča in mimo gramoznice Stari Grad do območja predvidenega zadrževalnika. Na tem območju je potrebno cestišče speljati ob zadrževalniku do obstoječe ceste v dolžini približno 500 m.

Boljša se mi zdi varianta postavitve povsem nove ceste ob zalivu za pristanišče do kajakaške proge, nato ob kajakaški proggi do zadrževalnika in ob njem do obstoječe ceste, ki vodi do naselja Stari Grad.

Za dovoz do pristanišča se izgradi cesto v dolžini 150 m po kroni zadrževalnika do obstoječe lokalne poti (situacija prikazana v Prilogi G4).

5 OKOLJSKE UREDITVE

5.1 Ureditev ribje steze

5.1.1 Uvod

V Savi živi veliko vrst rib, ki se v večjem delu selijo gorvodno do glavnih voda, kjer se drstijo. Z izgradnjo pregrad HE je prekinjena povezanost toka in s tem živim organizmom onemogočena migracija po toku navzgor in navzdol.

Glede na to, da je večina teh rib sposobna premagovati določene višinske razlike, jim je na poti čez umetno ali naravno oviro možno pomagati z zgraditvijo ustreznih prehodov oziroma ribjih stez. Te so oblikovane tako, da ribam omogočajo pot čez ali okoli ovire (pregrade) s tem, da jim omogočijo premagati razliko v vodnih gladinah s pomočjo serije stopenj ali z zmanjšanjem hitrosti vode v prelivnih poljih ribje steze.

5.1.2 Teorija

Glavni dejavnik pri oblikovanju ribje steze je poznavanje plavalnih sposobnosti rib selivk, ki so pogojene s hitrostjo in vzdržljivostjo. Plavalna hitrost rib je pogosto izražena glede na telesno dolžino na sekundo ($BL/s = \text{»body length per second«}$), čeprav je boljša enota meter na sekundo (m/s).

Hitro plavanje rib je običajno kratkotrajno, pri čemer sta tako hitrost kot trajanje plavanja odvisna od velikosti ribe. Raziskave so pokazale, da so hitrosti pri ribah enakih velikosti podobne. Danes je že dokazano, da je hitrost plavanja ribe lahko določljiva s pomočjo frekvence nihanja repa. Razdalja, za katero se riba premakne z vsakim t.i. valom telesa, je enaka 0,7 dolžine ribe. Beach (1984) podaja splošno enačbo, ki povezuje največjo hitrost plavanja z dolžino:

$$U = \frac{0,7L}{2t} \quad (5.1.2.1)$$

U je največja hitrost plavanja, L dolžina ribe in t čas krčenja mišice. Le-ta je kratek za majhne ribe in se veča z njihovo dolžino. Odvisen pa je tudi od temperature vode (hladne mišice se krčijo počasneje, riba pa ima enako temperaturo kot voda).

Ribja steza bi morala biti skonstruirana tako, da je možno:

- uravnnavati hitrost vode glede na plavalno zmogljivost rib,
- preprečevati hitre spremembe vodnega toka,
- poskrbeti za fizično in vizualno čistost,
- predvideti odseke za počitek,
- funkcioniranje brez človekove kontrole,
- narediti dovolj močne vodne curke za privabljanje rib,
- ustrezno umestiti vhod za ribe,
- ekonomično vzdrževanje in izgradnja,
- obratovanje brez vpliva sedimentov in naplavin,
- uporabljati samo toliko vode, kot je predvideno (nikakor ne več).

Delovanje ribje steze se lahko kontrolira z avtomatičnimi števci rib.

Obstaja več možnih variant za pomoč ribam pri selitvi:

- ribje stopnice ali prehod z bazeni (v primeru velike razlike med nivojem vode gorvodno od pregrade in dolvodno se oblikujejo stopnje);
- gibljiva ribja steza (deluje na podoben način, kot splavnica za ladje);
- ribja dvigala;
- obhodni kanal ali preusmeritveni potok;
- ribje zapornice.

Najprej se je potrebno odločiti, katero varianto oziroma kombinacijo variant se uporabi. Glede na to, da je v primeru HE Brežice ribjo stezo možno speljati preko naravne struge potoka Močnik, in da je na voljo dovolj prostora, predlagam na delu od zadrževalnika do Save varianto s preusmeritvenim potokom, o katerem zato navajam tudi nekaj več podatkov.

Pod pojmom preusmeritveni potok se razume sonaravno oblikovana tekoča voda (umetna struga), ki oviro (pregrado) obide. V našem primeru bi moral biti preusmeritveni potok dolg, dovolj širok in moral bi imeti oblikovan širok iztok, da bi ga ribe lahko našle. Izpolnjevati bi moral naslednje zahteve:

- zagotovitev nemotenega vzpenjanja in spuščanja (prehoda) rib in drugih vodnih organizmov;

- zagotovitev ustreznih struktur, podlag, habitatov in hitrosti toka za posamezne ribje vrste oziroma vodne organizme;
- območje za razvoj iker in mladice za čim več različnih ribjih vrst na omenjenem območju.

Tudi preusmeritveni potok ima tako dobre in slabe strani, pa tudi nekatere zahteve, brez katerih te variante ni mogoče uporabiti:

- Pomembna je dovolj velika površina, da je potok možno sonaravno urediti in speljati tako, da se z ustrezno velikimi zavoji doseže zahtevan padec glede na to, kako veliko razliko v gladinah gorvodno in dolvodno je potrebno premagati. V nasprotnem primeru je potrebna kombinacija z ribjimi stopnicami.
- Da bo preusmeritveni potok ekološko funkcionalen, je potrebna velika količina vode. Zaradi tega ni primeren za manjše hidroelektrarne oziroma majhne pregrade, kjer je skupna količina vode večkrat premajhna. V tem primeru so veliko boljša izbira ribje stopnice, ki lahko z ustreznim dimenzioniranjem funkcionirajo že z minimalno količino vode.
- Prednost je vsekakor, da je obvodni potok nezahteven za vzdrževanje in ni podvržen motnjam, saj je še najbolj podoben naravnemu vodotoku.
- Tehnični pomoči ribam pri selitvi bi se morala dati prednost, ko bi se morale posamezne HE in jezovne zgradbe, na katere se priključujejo v zgornji vodi še večje ribje ekološko-funkcionalne tokovne poti z ustreznimi strukturami, prodnimi drstišči, zatočišči za mladice itd., narediti premagljive.

Učinek kombinacije prehoda, drstišča, mesta za razvoj mladice in življenjskega prostora lahko prispeva k vodno-ekološkim izboljšavam, pa tudi k ohranjanju in obstoju vrst. Preusmeritveni potoki lahko dosežejo pri ustreznem načrtovanju in izvedbi celo več kot samo prepletenost v vzdolžni smeri. Če mrtve rokave in ostale bližnje pritoke povežemo, lahko nastane mreža med seboj prepletenih biotopov. Na ta način je možno tudi odvodnjavanje zalednih voda. Celostni ekološki pomen preusmeritvenega potoka je v takih primerih ocenjen zelo visoko.

TEHNIČNO OBLIKOVANJE PREUSMERITVENEGA POTOKA

Tako kot pri prehodih z bazeni je tudi pri obvodnem potoku glavnega pomena eksaktno prilagajanje hidravličnim in morfološkim lastnostim pri bioloških zahtevah rib. To pomeni, da

se morajo prečni prerezi vodotoka, odtoki, naklon, višine skokov in hitrosti tokov tako ujemati drug z drugim, da bodo vsi odseki ribje steze v obeh smereh omogočali prehod predvsem za vodotok relevantnim ribjim vrstam in malim organizmom. Poleg tega bi morale biti podlage vsaj v nekaj delih potoka primerne za drstišča. Posamezni odseki bi morali biti strukturno tako preskrbljeni, da so lahko trajno poseljeni s tipičnimi ribami in malimi organizmi za to lokacijo.

Pri upoštevanju naslednjih postavk je, z ozirom tako na varnost pred visoko vodo in statično stabilnost, kot tudi na krajinsko estetske vidike, pri načrtovanju dovoljeno vse, kar pokaže naravne tekoče vode v konstrukcijskih rešitvah. Detajlni planski cilji ali karakteristični prerezi v primeru obvodnega potoka ne morajo biti že vnaprej predpisani, ker je vsaka situacija edinstvena.

Temeljna načrtovalna in konstrukcijska priporočila so naslednja:

- srednja hitrost toka v strugi: 0,5-0,8 m/s;
- maksimalna hitrost toka na mestu prelivov, zapornic: 1,3-1,6 m/s;
- prerez struge na območjih prostega toka (brez pragov, zapornic) asimetričen; prečni naklon dna tudi v ravnih progah;
- maksimalna višina pragov: 0,1-0,2 m;
- pri prelivih, prepustih, zapornicah mora biti curek v snopu in tako nadzorovan, da lahko ribe premagajo prag z odzivom;
- oblikovanje vstopnega in izstopnega objekta naj se orientira na določitve konstrukcije tehničnih ribjih prehodov;
- dno obvodnega potoka naj bo peščeno do prodnato, pri čemer se upošteva dejanska zrnastost, ki se jo optimira glede na vrste, ki se tam drstijo.

PRETOK V PREUSMERITVENEM POTOKU:

Splošno veljavne formule za točen izračun potrebne količine odtoka za selitev rib preko določenega vzpona ni. Zato je potrebno za vsak ribji prehod narediti poseben izračun. Orientacijska navodila za to (povzeta po Jens, G., Born, O., Hohlstein, R., et al. (1997)) so naslednja:

- Za napolnitev preusmeritvenega potoka z velikim prečnim prerezom in padcem so praviloma potrebni pretoki z več sto litri na sekundo. Globina vode mora biti večja od

0,25 m, hitrosti toka pa take, da se prodnata podlaga ohrani brez prekrivanja z drobnimi delci ($>0,4$ m/s). Pri vodnih količinah pod 200 do 300 l/s preusmeritveni potok težko doseže več funkcij, velike ribje vrste ga ne morejo prečkati, medtem ko za različne vodne organizme in majhne ribje vrste zadoščajo že majhni potočki in pretoki. Končna obratovalna količina pretoka se lahko ugotovi s poskusnim obratovanjem. Ob upoštevanju obveznega minimalnega potrebnega pretoka je dopusten časovno modificiran pretok, pri katerem se upoštevajo sezonsko spremenljive okoljske potrebe.

- Pri projektiranju preusmeritvenega potoka je potrebno v primeru prepustne podlage upoštevati izgubo vode zaradi ponikanja, ali zatesniti tla z ustreznim veznim materialom.
- Preusmeritveni potok lahko deluje tudi kot zbiralec podzemne vode na zunanji strani tesnjenega nasipa. S tem dobimo dodatno povečanje pretoka.

Cowx, I. G. in Welcomme, R. (1998) navajata, da glavni padec ne sme biti več kot 1:20 (5 %), medtem ko prečni nagib ne sme prekoračiti razmerja 1:15 (6,7 %).

PRIPOROČILA GLEDE ZAPORNIC (povzeto po Beach, M. H. (1984)):

- segmentne zapornice niso priporočljive, bolje je uporabiti tablaste;
- bolje je imeti do konca odprte ali zaprte zapornice, kot le malo odprte, saj se riba lahko izčrpa s poskušanjem prečkanja le-teh;
- minimalna odprtina zapornic: 0,30 m X 0,30 m;
- maksimalna hitrost vode: 3 m/s;
- predlaga se več manjših zapornic kot eno veliko, saj ob manjšem pretoku lahko odpremo le posamezno.

5.1.3 Idejna zasnova

Za iztok iz zadrževalnika so možne 4 variante (opisane v točki 3.3.2.3). Zaradi pogojev ribje steze varianti a in b1 odpadeta, saj je za selitev rib potreben stalen tok vode brez vmesnih akumulacij, kjer bi ribe lahko ubrale svojo pot, in ribja steza ne bi dosegla svojega namena. Iskal sem tudi možnost združitve kajakaške proge z ribjo stezo, a sem po posvetu z biologinjo

te variante opustil. To nikakor ne bi funkcioniralo, saj imata obe popolnoma drugačne zahteve.

Ribja steza mora obratovati 24 ur na dan in 365 dni v letu. Skupaj premaguje višinsko razliko med akumulacijama HE Brežice (maksimalna višina zaježitve 152,5 m) in HE Mokrice (maksimalna zaježitvena višina 141,5 m), ki znaša normalno 11 m, če ne upoštevam denivelacij akumulacij. Ker je na razpolago zelo veliko prostora, se mi zdi najprimernejša rešitev uporaba preusmeritvenega potoka. Kot sem omenil že v točki 3.3.2.3, predlagam varianto c (Priloga G4), po kateri bi se ribe selile po potoku Močnik, ki se izliva dolvodno od pregrade HE Brežice, nato pa po umetnem kanalu direktno do akumulacije HE Brežice. Predpostavljam, da za normalno funkcioniranje ribja steza potrebuje pretok $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ki nikakor ne sme pasti pod $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Jens, G., Born, O., Hohlstein, R., et al. (1997)), saj pri tako majhnem pretoku ne more več zagotavljati prehoda za vse vrste rib. Glede na to, da se del pretoka izgubi, potok Močnik pa v primeru suše teče s pretokom le nekaj čez 20 l/s (Hidrološka študija pretokov Save (IVRS, 2004)) oziroma po nekaterih podatkih tamkajšnjih prebivalcev celo izjemoma presahne, sem predvidel dodatno bogatenje ribje steze iz zadrževalnika (dodaten $1 \text{ m}^3/\text{s}$), kolikor ocenjujem, da naj bi bila izguba do reke Save. Drugega podatka žal nisem uspel dobiti, saj ne obstaja več meritev pretokov na potoku Močnik, ki bi bile nujne za bolj točne ocene.

Pri bogatenju iz zadrževalnika obstaja velika verjetnost, da bi ribe zašle v zadrževalnik in ne v akumulacijo HE Brežice, kot je predvideno. Zato je potrebno pred dotokom v ribjo stezo iz zadrževalnika postaviti mehansko ali elektronsko zaporo, da ribe ne morejo v zadrževalnik.

Umetni kanal od HE Brežic do potoka Močnik se uredi tako, da ustreza vsem zahtevam ribje steze. To pomeni sonaravno ureditev z vmesni tolmoni, da se ribe odpočijejo pri selitvi, v primeru lokalno večjih padcev se uredijo tudi kaskade za lažji prehod.

Ribja steza mora premagovati višinsko razliko med akumulacijo HE Brežice in zadrževalnikom pri vseh pogojih. Ker obe gladini nihata, je potrebno preveriti funkcioniranje hidravlike.

Akumulacija HE Brežice ima maksimalno dovoljeno nihanje 1,1 m, kar pomeni, da se voda spusti najnižje na 151,4 m. Dnevna denivelacija akumulacije zahteva izvedbo gibljivega vtočnega dela ribje steze, ki bo sledil spremembam nivoja gornje vode. Gibljivi del je žleb iz jeklene pločevine, ki avtomatsko sledi gibanju gladine vode, preko njega pa je možna tudi regulacija dotoka, saj ga je možno mehansko uravnati.

5.2 Krajinske ureditve

5.2.1 Ureditev gozdnih polotokov

Na območju zadrževalnika predlagam ureditev gozdnih polotokov zaradi izboljšanja krajinskega izgleda območja, boljše vključitve v prostor in rekreacijsko-turistične atraktivnosti.

Predvideni sta dve ureditvi polotokov (Priloga G4). Gorvodni polotok (POLOTOK 1) naj ostane na obstoječi koti terena (152,5 m), kar pomeni, da ni nikoli poplavljen, pri dolvodnem pa predlagam dodatno nasutje proda v višini 0,5 m, tako da je končna kota 152,0 m (POLOTOK 2). Na to je potrebno nasuti še plast humusa v višini 30 cm, s katero se omogoči uspevanje vegetacije.

Glede gozda obstaja problem potopitve korenin. Različne gozdne vrste zahtevajo različne globine. Podatki o sedanjih gozdnih habitatih na tem območju so navedeni v točki 3.2.4.

Točnih podatkov, kje se nahajajo drevesne vrste nimam, je pa iz ORTO-FOTO posnetka (Priloga J) razvidno, da na območju bodočega gorvodnega polotoka trenutno obstaja gozdna vegetacija, na območju dolvodnega pa je sedaj travnik. Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije je optimalni nivo podzemne vode 150-200 cm za uspevanje nižinskega hrasta dob, ki ga je na območju gozda kar 30 %. Kota gorvodnega polotoka bi skupaj s humusom znašala 152,8 m, kota maksimalne vode v normalnem obratovanju pa 151,3 m, kar pomeni, da bo nivo podtalne vode vsaj 1,5 m pod površjem, razen v primeru visoke vode, kar pa je le izjemoma, za kratek čas pa so lahko drevesa tudi poplavljeni. V primeru višje podtalnice hrast izpodrivajo jelše, ki jih je 15 %, jesen (30 %) in vrbe, ki se pojavljajo v manjšem deležu.

Glede na te podatke ocenjujem, da bi se vsaj nekatere avtohtone vrste na gorvodnem polotoku morale obdržati, dodatno pa se območje lahko pogozdi še z manj občutljivimi gozdnimi habitati (npr. vrbami, jelšami). Na nekaterih delih Vrbine so v preteklosti gojili tudi topolove nasade, ki so se večinoma še ohranili. Topol prenese tudi zelo visoke gladine podtalnice in je lahko nekaj časa celo potopljen. Zato bi bilo smiselno preveriti možnosti uporabe tudi te drevesne vrste, še posebno na dolvodnem polotoku, ki je za pol metra nižji od gorvodnega.

Stabilnost obale polotokov se zagotovi z lesenimi količki, med katere se postavi cela ali po dolgem razpolovljena debla. Količke je potrebno sidrati. Taka rešitev se lepo prilagodi okolju in onemogoči izpodjedanje materiala. Sistem je razviden iz prereza čez gozdni polotok (Priloga H1). Na podoben način je izveden sistem varovanja obale polotoka ob akumulaciji HE Završnica (Slika 5.2.1.1).



Slika 5.2.1.1: Polotok ob akumulaciji HE Završnica

5.2.2 Ureditev mokrišča

Severovzhodno od območja predvidenega zadrževalnika se nahaja že obstoječa gramoznica Stari grad, ki obratuje že več kot dve desetletji. V tem obdobju je bilo tam izkopenega že precej materiala. Zahodno od sedanje lokacije izkoriščanja materiala je že izkopen del, ki je bil nato zasut s pepelom iz papirnice, vzhodno pa se na območju izkopenega dela nahaja stoječa voda (razvidno iz ORTO-FOTO posnetka (Priloga J in Slika 5.2.2.1)). Za ta del predlagam ureditev mokrišča, pri čemer bi se voda iz drenaže okoli zadrževalnika stekala vanj in ga s tem bogatila. Območje bi lahko postalo življenjski prostor za marsikatero biotopo. Z ustrezno ureditvijo dostopnih poti in sprehajalnih stezic bi bil tudi ta del lahko izkoriščen za namen turizma.



Slika 5.2.2.1: Prikaz sedanjega stanja območja vzhodno od obstoječe gramoznice Stari grad, kjer predlagam ureditev mokrišča

8 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi sem skušal najti najboljše variante celostne ureditve območja Vrbine ob bodoči akumulaciji HE Brežice, tako da bi v največji meri zadovoljil potrebe in interese za dejavnosti, ki imajo na tem območju potencialne možnosti za razvoj.

Na podlagi pridobljenih podatkov, projektov in študij sem izbral območje zadrževalnika, ki sem ga nato še večkrat popravil. Potrebno je bilo preprečiti izkop pepela iz opuščenega dela gramoznice Stari grad in obliko čim bolj prilagoditi poteku terena. Izračunana je bila ocena pridobljenega materiala iz izkopa in možnost njegove uporabe. S posveti z gradbenimi podjetji, ki delujejo na tem območju sem ugotovil, da poleg interesa po pridobitvi materiala za gradnjo spodnjesavske verige HE obstajajo tudi potrebe po uporabnem agregatu za potrebe ostalih gradenj na območju tamkajšnjih lokalnih skupnosti.

Izkop gramozne jame sem opravičil z uporabo le-te kot dodatnega zadrževalnika, ki bi imel zelo dober vpliv na splošen izgled območja, hkrati pa bogatil ribjo stezo, ki je nujno potrebna za selitev rib preko pregrade HE Brežice. Potrebno je bilo preučiti možna nihanja. Slednja so omejena s kotami vode v akumulaciji HE Brežice in z iztokom, za katerega sem prav tako preučil več variant in na koncu prišel do zaključka, da je najbolj racionalno speljati iztok direktno iz zadrževalnika v potok Močnik, ribjo stezo pa popolnoma ločeno od zadrževalnika, saj je za ribe pomembno, da je njihova pot čim bolj neposredna in brez vmesnih bazenov. V primeru realizacije projekta predlaganega zadrževalnika je potrebo posebno pozornost usmeriti tudi na tesnjenje nasipov, da ne bi s tem dvignili podtalnice okoli zadrževalnika, še posebej ne nad koto terena. Ocenjujem, da to sicer ne bi smel biti problem, saj sem pri izbiri območja zadrževalnika predvidel tako lokacijo, da je okoliški teren večinoma na višjih kotah kot je običajni nivo vode v zadrževalniku, in bi vgradnja glinenih frakcij v nasip za krajši dvig gladin nad nivo terena morala zadoščati. V nasprotnem primeru bo potrebno zagotoviti dodatno tesnjenje.

Kajakaška proga se mi je na začetku zdela možna dodatna alternativa k ribji stezi, a se je po študiji literature o ribjih stezah in kajakaških progah izkazalo, da ti dve funkciji nikakor nista združljivi v eni strugi, saj ima vsaka posebej povsem svoje zahteve. Za kajakaše sem zato

predvidel popolnoma ločen kanal, ki dodatno polni zadrževalnik. Pojavlja se problem majhnega padca območja, zato je potrebno ustvariti umeten padec, ki pa je zopet omejen s kotami gladin v akumulaciji HE Brežice in v zadrževalniku. Kajakaška proga bi torej lahko obratovala le pod posebnimi pogoji.

Pri izdelavi diplomske naloge sem ugotovil, da za realizacijo projekta predloga ureditve manjkajo podatki:

- geoloških preiskav (potrebne so dodatne geološke vrtine na območju predvidenega zadrževalnika, saj trenutno obstaja le ena);
- sejalne analize materiala iz geoloških vrtin;
- hidrologije (potrebno je izvesti meritve pretokov potoka Močnik);
- o gladinah visokih vod po izgradnji akumulacije zaradi določitve kote krone preлива v zadrževalnik (potrebno je narediti model akumulacije HE Brežice);
- analiza možnosti migracij rib.

Kot nadaljevanje te naloge predlagam še bolj podrobno obravnavo vsake ureditve posebej, predvsem problema ribje steze, ki ji v Sloveniji posvečamo premalo pozornosti. To bi bilo potrebno vedno obravnavati že v fazi idejnega projekta in ne šele po izgradnji pregrade. Pri projektiranju je zelo pomembno sodelovanje strokovnjakov različnih strok in obravnava vseh problemov kot celote že v fazi projektiranja. To je praktično sicer zelo težko izvedljivo, je pa edini način za kvaliteten in optimalen projekt v vseh pogledih.

VIRI

Beach, M. H. 1984. Fisheries research technical report No. 78, Fish pass design-criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. Lowestoft, Ministry of agriculture, fisheries and food directorate of fisheries research: 46 str.

Bond, K., ing. Snel., R. 1999. Functional design proposal for the Grave White Water Park. Concept version 10th.

Cowx, I. G., Welcomme, R. 1998. Rehabilitation of rivers for fish. A study undertaken by the European Inland Fisheries Advisory Commission of FAO, Published by arrangement with the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) by Fishing News Books: 260 str.

Geološki zavod Ljubljana (GZL). 1984. HE Brežice na Savi, Geološko – geotehnični elaborat. Ljubljana, Geološki zavod Ljubljana.

Holding slovenskih elektrarn d.o.o. (HSE d.o.o.). 2005. HE Blanca, Idejni projekt (št. projekta: IBBL-A200/018A). Ljubljana.

Inštitut za vode RS. 2004. Hidrološka študija pritokov Save.

Inženirski biro elektroprojekt, podjetje za projektiranje in inženiring p.o. (IBE p.o.). 1979. Energetska izraba Save od Medvod do Mokric. Ljubljana.

Jens, G., Born, O., Hohlstein, R., Kämmerleit, M., Klupp, R., Labatzki, P., Mau, G., Seifert K., Wondrak, P. 1997. Fischwanderhilfen, Notwendigkeit, Gestaltung, Rechtsgrunladen. Verbund Deutscher Fischerreiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V.: 114 str.

Mosonyi, E. 1966. Wasserkraftwerke, Band I, Niederdruckanlagen. Düsseldorf , VDI-Verlag GmbH:1148 str.

Mosonyi, E. 1966. Wasserkraftwerke, Band II, Hochdruckanlagen, Kleinstkraftwerke, Pumpspeicheranlagen. Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH:1241 str.

Nonveiller, E. 1983. Nasute Brane, projektiranje i građenje. Zagreb, Šolska knjiga: 359 str.

Pemič, A., Mikoš, M. 2003. Hidrotehnični objekti – osnutek učbenika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Republic of Slovenia, Government of the Republic of Slovenia. 1994. Appendices to the concession act for the exploitation of the lower Sava river hydro potential. Ljubljana.

Republika Slovenija, Ministrstvo za gospodarske dejavnosti in Savske elektrarne d.o.o. 1998. HE Mokrice – Študija vplivov postavitve HE Mokrice v prostor. Ljubljana.

Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor (MOP). 1995. Ovrednotenje zasnove in projektov hidroelektrarne na spodnji Savi z vidika vplivov na prostor – študija. Krško.

Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo (MOPE). 2003. Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju, Poročilo 2. faze. Ljubljana.

Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo (MOPE). 2004. Prostorske ureditve hidroelektrarn na spodnji Savi in urejanje prostora v vplivnem območju, Poročilo 4. faze za HE Brežice in HE Mokrice. Ljubljana.

Sava Kranj, industrija gumijevih, usnjenih in kemičnih izdelkov p.o. 1994. Gumeni jezovi (prospekt).

Savske elektrarne Ljubljana d.o.o. (SEL d.o.o.). 1995. Prefeasibility študija. Ljubljana.

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