

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



GAŠPER POLAK

OPTIMIZACIJA ZADRŽEVALNIKOV NA SAVINJI

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM
DRUGE STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2017

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE
STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Kandidat/-ka:

GAŠPER POLAK

OPTIMIZACIJA ZADRŽEVALNIKOV NA SAVINJI

OPTIMIZATION OF RESERVOIR STORAGES ON THE SAVINJA RIVER

Mentor/-ica:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

Somentor/-ica:

viš. pred. mag. Andrej Vidmar

Član komisije:

Predsednik komisije:

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	627.152.153:711.1(497.4)(043)
Avtor:	Gašper Polak
Mentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski univ. dipl. inž. grad.
Somentor:	viš. pred. mag. Andrej Vidmar univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Optimizacija zadrževalnikov na Savinji
Tip dokumenta:	Magistrsko delo
Obseg in oprema:	74 str., 34 sl., 16 graf., 14 pregl., 6 pril.
Ključne besede:	Državni prostorski načrt, suhi zadrževalnik, nasip, bilanca volumnov, DMR, hidrogram, prelivni objekt, poplavni val, raba tal

Izvleček

V sklopu priprave Državnega prostorskega načrta, je izdelan Idejni projekt poplavne varnosti na območju Spodnje Savinjske doline. Za zagotavljanje poplavne varnosti, so predvideni suhi zadrževalniki na reki Savinji in Bolski. Magistrska naloga obravnava optimizacijo suhih zadrževalnikov na Savinji. Na osnovi potrebnih prostornin zadržane poplavne vode, da ta ne ogroža območij ob Savinji dolvodno od pritoka Bolske, je predlagana nova zasnova in umestitev v prostor. Namesto predvidenih osmih zadrževalnikov, magistrsko delo obravnava en večji zadrževalnik z imenom Šempeter. Zadrževalnik Šempeter je razdeljen na štiri dele, ki so med seboj funkcijsko povezani. Predstavljena je ideja, da je en del trajno ojezerjen, ki se ga lahko izkoristi v namene namakanja, rekreacije ali energetskega izkoriščanja. S programom SAGA GIS, je določena vodna bilanca zadrževalnikov pri različnih kotah zaježitve. Za različne kote zaježitve so predstavljene potrebne količine zemeljskega materiala za gradnjo nasipov. Za posamezni zadrževalnik so detajlneje prikazane umestitve v prostor, potrebni infrastrukturni posegi in dejanska raba zemljišč. Na osnovi vtočnega hidrograma, so določene gladine posameznega zadrževalnika v odvisnosti od trajanja poplavnega vala. Vtočni in iztočni objekti, so dimenzionirani po principu, eno polje je blokirano (n-1). V zaključku so podane ugotovitve in primerjave z Idejnim projektom zagotavljanja poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 627.152.153:711.1(497.4)(043)
Author: Gašper Polak
Supervisor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph.D.
Co-advisor: Sen. Lect. Andrej Vidmar, M.Phil.
Title: Optimization of Reservoir Storages on the Savinja River
Document type: M. Sc. Thesis
Notes: 74 p., 34 fig., 16 graph., 14 tab., 6 ann.
Keywords: levees, construction, dams and reservoirs, design, flooding, hydraulics, operation, storage, ground characterization, hydrograph, Culvert, gates

Abstract

In the context of the National Spatial Plan, the Preliminary design Flood safety in the Lower Savinjska Valley is in progress. Flood protection is provided by dry reservoirs on the Savinja and Bolska River. Master thesis deals with the optimization of dry reservoirs on Savinja River. Based on the required volumes of retained water that does not threaten areas along the Savinja River downstream from the inflow Bolska, is proposed new design and placement in space. Instead estimated eight reservoirs, master's thesis deals with one bigger, named Šempeter. The Reservoir Šempeter is divided into four parts, which are functionally connected. One is permanently dammed, which can be exploited for purposes of irrigation, recreation or energy utilization. Water balance reservoir is determined with Saga Gis Program. The different heights of the dam presented the necessary quantities of natural materials for the construction of levees. For each reservoir the details of placements in space are shown, necessary infrastructural developments and actual land use. Based on the intake hydrograph, levels of each reservoir are presented as a function of the duration of the flood wave. The intake and outlet structures are dimensioned according to the principle, one field is blocked (n-1). In conclusion, we introduced the findings and comparison with the Preliminary design ensuring flood safety in the Lower Savinjska valley.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomskega dela se zahvaljujem mentorju doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in somentorju viš. pred. mag. Andreju Vidmarju.

Hvala družini za podporo v času študija.

IZJAVA O AVTORSTVU	I
BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	II
BIBLOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA	IV
KAZALO VSEBINE	
1 UVOD	1
1.1 Namen in cilj naloge	1
2 POREČJE SAVINJE	2
2.1 Opis in oblikovanost porečja	2
2.2 Geološka sestava tal	3
2.3 Hidrološke situacije na porečju Savinje	4
2.3.1 Hudourniške poplave	4
2.3.2 Hidrološko dogajanje	4
3 GRADBENI UKREPI ZA VARSTVO PRED POPLAVAMI	6
3.1 Izbira ureditvenih ukrepov	6
3.2 Pregrade	7
3.2.1 Zemeljske pregrade	8
3.3 Delovanje zadrževalnika	10
4 DRŽAVNI PROSTORSKI NAČRT ZAGOTAVLJANJA POPLAVNE VARNOSTI V SPODNJI SAVINJSKI DOLINI	12
4.1 Zasnova objektov	12
4.2 Izvedba zadrževalnikov in obstoječih nasipov	13
4.3 Vtočni in iztočni objekti	13
5 ZASNOVA ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER	15
5.1 Umestitev v prostor	15
5.2 Priprava podatkov in podlog	16
5.2.1 Izdelava DMR modela	16
5.3 Razdelitev zadrževalnika Šempeter	19
5.4 Osnovni podatki o zadrževalnikih	20
5.4.1 Zadrževalnik I	20
5.4.2 Zadrževalnik II	20
5.4.3 Zadrževalnik III	21

5.4.4	Zadrževalnik IV	21
5.5	Obstoječa infrastruktura in načrtovane ureditve	22
5.5.1	Zemeljska dela krovnih površin	23
5.5.2	Objekti in cestne povezave	23
5.5.3	Podvinska Struga	25
6	ANALIZA PROSTORNIN ZADRŽANE VODE ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER	26
6.1	Izračun volumnov zadržane vode	26
6.1.1	Prostornina zadrževalnika I	29
6.1.2	Prostornina zadrževalnika II	30
6.1.3	Prostornina zadrževalnika III	31
6.1.4	Prostornina zadrževalnika IV	31
7	ANALIZA PROSTORNIN NASIPOV	32
7.1.1	Nasip zadrževalnika I	34
7.1.2	Nasip zadrževalnika II	36
7.1.3	Nasip zadrževalnika III	37
7.1.4	Nasip zadrževalnika IV	38
8	HIDRAVLIČNA ANALIZA	39
8.1	Izbrani hidrološki podatki	39
8.2	Določitev pretočnega prereza v profilu jezovnih zgradb	40
8.2.1	Iztočni objekt A	41
8.2.2	Vtočno iztočni objekti B, C in D	45
8.2.2.1	Objekt B	45
8.2.2.2	Objekt C	45
8.2.2.3	Objekt D	46
8.2.2.4	Dimenzioniranje vtočno iztočnih objektov B, C in D	46
8.2.3	Dimenzioniranje povezovalnega kanala	47
8.3	Obratovalna shema	48
8.4	Polnitvene krivulje zadrževalnikov	49
8.4.1	Zadrževanje prostornine poplavnega vala	49
8.4.2	Vodostaj v zadrževalniku I in II	49
8.4.3	Vodostaj v zadrževalniku III in IV	50
9	RABA TAL NA OBMOČJU ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER	52
9.1	Zadrževalnik I	52
9.2	Zadrževalnik II	53
9.3	Zadrževalnik III	54
9.4	Zadrževalnik IV	55
10	PRIMERJAVA ŠTUDIJE ZAKLJUČNEGA DELA Z IDP	57
11	ZAKLJUČEK	59

VIRI	60
-------------	-----------

PRILOGE	62
----------------	-----------

KAZALO SLIK

Slika 1: Porečje Savinje	2
Slika 2: Poplave v Laškem	5
Slika 3: Prostorska umestitev	6
Slika 4: Zadrževalnik kot ukrep zagotavljanja poplavne varnosti	7
Slika 5: Predvideni ukrepi na območju Spodnje Savinjske doline	7
Slika 6: Opis zemeljske pregrade	8
Slika 7: Preoblikovanje hidrograma poplavnega vala	11
Slika 8: Situacija zadrževalnikov na Savinji in Bolski	12
Slika 9: Prerez nasipa in ureditve	13
Slika 10: Vtočni oziroma iztočni objekt na zadrževalniku	14
Slika 11: Vplivno območje zadrževalnika Šempeter	16
Slika 12: Postopek pridobivanja lidar podatkov	17
Slika 13: DMR območja Spodnje Savinjske doline z označenim robom predvidenega zadrževalnika	17
Slika 14: Zasnova razdelitve zadrževalnika Šempeter	19
Slika 15: DMR zadrževalnika I	20
Slika 16: DMR zadrževalnika II	21
Slika 17: DMR zadrževalnika III	21
Slika 18: DMR zadrževalnika IV	22
Slika 19: Gradbeni ukrepi in obstoječa infrastruktura	22
Slika 20: Športno rekreacijski objekt	23
Slika 21: Krajevna cesta Šešče - Zgornje Roje	24
Slika 22: Dostopna rampa	24
Slika 23: Stanovanjski objekt znotraj območja zadrževalnika Šempeter	25
Slika 24: Podvinska Struga. Lokacija označena na sliki 19	25
Slika 25: Postopno nadvišanje nasipa ob akumulaciji	26
Slika 26: Geometrijski podatki nasipa	32
Slika 27: Pregledna situacija nasipov	33
Slika 28: Situacija objektov zadrževalnika Šempeter	41
Slika 29: Prerez preliwa z oznakami uporabljenih v računih	42
Slika 30: Gladinsko stanje polnega zadrževalnika Šempeter	51
Slika 31: Raba tal Zadrževalnik I	53
Slika 32: Raba tal zadrževalnik II	54
Slika 33: Raba tal zadrževalnik III	55
Slika 34: Raba tal zadrževalnik IV	56

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prostornine zadrževalnikov glede na koto zajezebe	27
Grafikon 2: Prirast prostornine zadrževalnikov v odvisnosti največje globine zajezebe	29
Grafikon 3: Akumulacija zadrževalnika I	30
Grafikon 4: Akumulacija zadrževalnika II	30
Grafikon 5: Akumulacija zadrževalnika III	31
Grafikon 6: Akumulacija zadrževalnika IV	31
Grafikon 7: Prostornine nasipa glede na koto krone	34
Grafikon 8: Primerjava akumulacije in prostornin nasipa zadrževalnika I	35
Grafikon 9: Primerjava akumulacije in prostornin nasipa zadrževalnika II	36
Grafikon 10: Primerjava akumulacije in prostornin nasipov zadrževalnika III	37
Grafikon 11: Primerjava akumulacije in prostornin nasipov zadrževalnika IV	38
Grafikon 12: Obravnavani hidrogrami na analiziranem območju	40
Grafikon 13: Konzumpcijska krivulja pri prelivanju preko zaklopke na objektu A	44
Grafikon 14: Kapacitete zadrževalnikov glede na trajanje poplavnega vala	49
Grafikon 15: Vodostaj zadrževalnika I in II glede na poplavni val	50
Grafikon 16: Vodostaj zadrževalnika III in IV glede na poplavni val	51

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristična geološka sestava tal na območju predvidenih zadrževalnikov	3
Preglednica 2: Akumulacija glede na koto gladine	28
Preglednica 3: Vrednosti prostornin nasipov	33
Preglednica 4: Podatki o nasipu I	35
Preglednica 5: Podatki o nasipu II	36
Preglednica 6: Podatki o nasipu III	37
Preglednica 7: Podatki o nasipu IV	38
Preglednica 8: Koeficient potopljenosti σ_p za Creagerjev preliv (Agroskin, 1969)	42
Preglednica 9: Karakteristike prelivnih objektov B, C, in D	47
Preglednica 10: Raba tal Zadrževalnik I	52
Preglednica 11: Raba tal Zadrževalnik II	53
Preglednica 12: Raba tal Zadrževalnik III	54
Preglednica 13: Raba tal Zadrževalnik IV	55
Preglednica 14: Primerjava rezultatov študije zaključne naloge in IDP	57

SEZNAM PRILOG

Priloga A:	Situacija zadrževalnika Šempeter
Priloga B:	Prečni prerez objekta A
Priloga C:	Prečni prerez objekta B
Priloga D:	Prečni prerez objekta C
Priloga E:	Prečni prerez objekta D
Priloga F:	Vzdolžni prerez objekta A in B

OKRAJŠAVE

AB	Armirani beton
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
DMR	Digitalni model reliefa
DPN	Državni prostorski načrt
GIS	Geographic Information System
ICOLD	International Commission On Large Dams
IDP	Idejni projekt
LIDAR	Light Detection And Ranging
m n. v.	metrov nadmorske višine
MOP	Ministrstvo za okolje in prostor
Q_{100}	100-letni pretok
SAGA GIS	System for Automated Geoscientific Analyses
USCS	Unified Soil Classification System

1 UVOD

Poplavni dogodki v Savinjski dolini v zadnjih stoletjih, zaradi večanja števila prebivalstva in širjenja urbaniziranih ter industrijskih površin, velikokrat predstavljajo povečano tveganje za prebivalstvo in možnost nastanka gmotne škode na poseljenih območjih. S celovitim urejanjem vodnega režima na celotnem porečju, lahko učinkovito poskrbimo za izboljšanje poplavne varnosti. Zadnjega pol stoletja se je možnost neškodljivega razlivanja Savinje iz rečne struge z urbanizacijo poplavnih površin bistveno zmanjšala. Poplave leta 1990, 1998, 2007 in 2010, ki so prizadele celotno Spodnjo Savinjsko dolino, vključno z urbaniimi območji v Celju in Laškem so dokazale, da je prevodnost struge kljub kontroliranemu poplavljanju manjša od visokih vod s povratno dobo 50 let. Državni prostorski načrt za zagotovitev poplavne varnosti urbaniziranih naselij v Spodnji Savinjski dolini, obsega celovite ureditve na vplivnem območju Savinje, od Grobeljskega mostu pri Šempetru do izliva Ložnice v Savinjo v Celju, ter na območju Bolske, med Gomilskim izlivom in izlivom v Savinjo. Za zagotovitev poplavne varnosti naselij ob Savinji, je kot ključni ukrep predvideno zadrževanje dela visokih voda, na poplavnih površinah ob Savinji in Bolski. Ob Savinji je predviden sistem osmih zadrževalnikov, od tega sedem na severni strani Savinje na območju kmetijskih površin in zadrževalnik Latkova vas na desnem bregu Savinje (Hidrosvet, 2011).

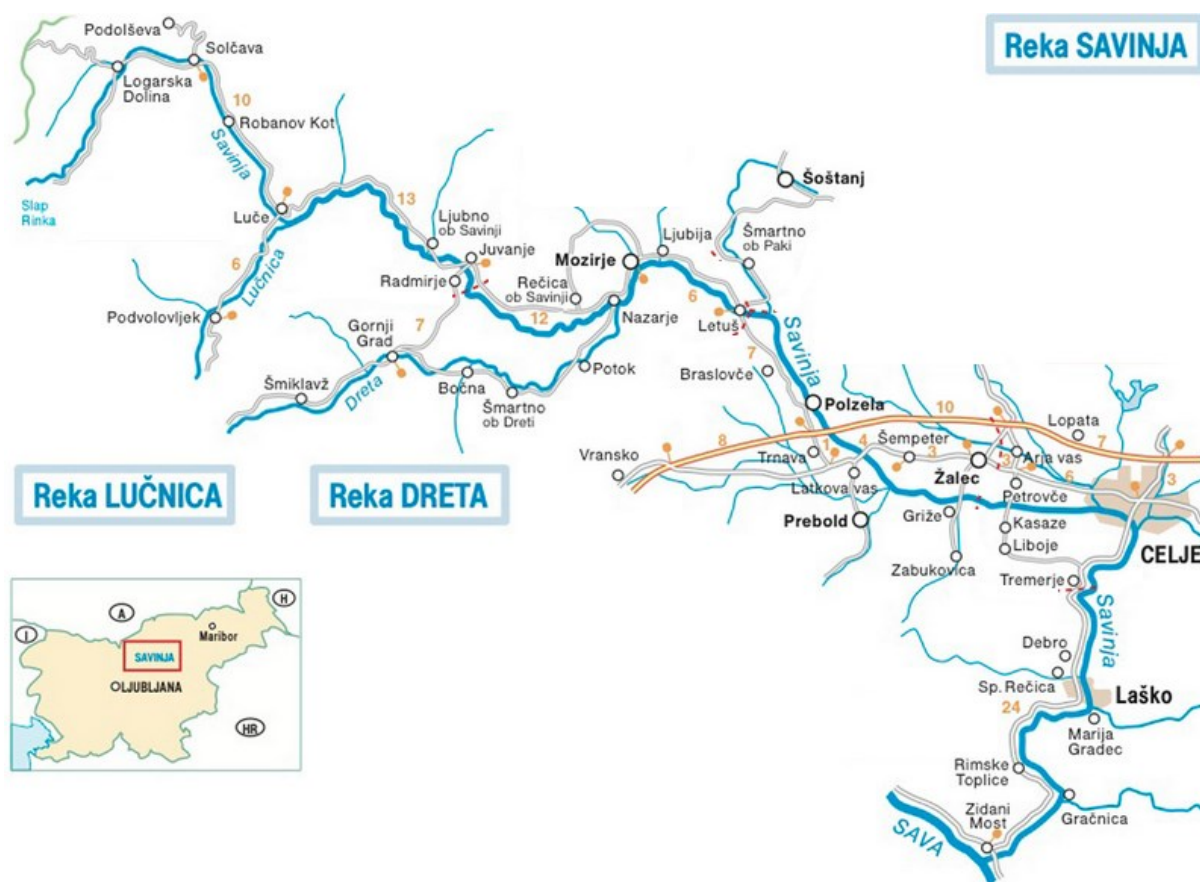
1.1 Namen in cilj naloge

Namen naloge je predstaviti novo zasnovo zadrževalnikov za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini. Pri snovanju Državnega prostorskega načrta, so se pojavile negotovosti pri operativnem delovanju sistema zadrževalnikov z upoštevanjem napovedi v realnem času. Za zadrževanje visokovodnih valov je potreben velik zadrževalni prostor, ki se ga lahko uporabi v druge namene. Glede na to, da je Spodnja Savinjska dolina pretežno ravninski svet z gosto poselitvijo in velikim deležem kmetijskih površin, je potrebno načrtovati čim bolj optimalne ukrepe v smislu posegov v prostor. V uvodu magistrske naloge so predstavljeni splošni podatki o porečju Savinje, poplavnih dogodkih in ureditvenih ukrepih. V nadaljevanju je obravnavana optimizacija sistema zadrževalnikov, ki so predvideni v sklopu Državnega prostorskega načrta za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini, predvidenega sistema zadrževalnikov. Namesto predvidenih osmih zadrževalnikov smo naredili študijo zasnove enega večjega zadrževalnika na območju Šempetra v Savinjski dolini. Z uporabo programa SAGA GIS za obdelavo prostorskih podatkov smo analizirali prostorske podatke: določitev velikosti volumnov glede na zasedbo prostora in opredelili zato potrebne količine materiala za gradnjo visokovodnih nasipov. Na podlagi hidroloških in hidravličnih analiz, je predstavljena ideja obratovanja zadrževalnika Šempeter v času visokih voda. Cilj naloge je predstaviti bilanco zadržane vode in količino nasipov, ki so potrebni pri čim manjšem posegu v prostor, da je zagotovljena varnost pri visokovodnih dogodkih, ter dokazati zadrževanje poplavnega vala v akumulacijskem prostoru s pomočjo pregradnih objektov.

2 POREČJE SAVINJE

2.1 Opis in oblikovanost porečja

Savinja spada v vodno območje Save in je del podonavskega povodja. Vode, ki napajajo njeno povirje pritekajo iz Kamniško – Savinjskih Alp, Karavank, Pohorja in dela Posavskega hribovja. Izvir reke Savinje je v Krnici Okrešelj 1.310 m n. v. v bližini slapa Rinka. Večji levi pritoki so Ljubnica pri Ljubnem, Paka pod Letušem, Ložnica in Voglajna v Celju ter Gračnica pod Rimskimi Toplicami. Glavni desni pritoki so Lučnica v Lučah, Dreta v Nazarjah, Bolska pod Preboldom ter Rečica v Laškem. V spodnjem toku Savinja teče po poplavni ravnici Celjske kotline in se pod Celjem preusmeri v globoko sotesko, ki poteka prečno čez Posavsko hribovje. Vodotok prečka Zgornjo Savinjsko dolino, Spodnjo Savinjsko dolino, ki zajema široko ravnino ob Savinji in dolino med Celjem in Zidanim Mostom, ki poteka v globoki zarezi prečno čez Posavsko hribovje. Celje z bližnjo okolico ima izredno neugodno hidrografske lego. Na razmeroma kratkem odseku se v Savinjo, ki dolvodno od mesta skoraj pravokotno zavije proti jugu, izliva kar pet glavnih pritokov vodotokov. Pri Zidanem Mostu se Savinja izliva v Savo. Porečje Savinje obsega 1.858 km² in ima izrazit hudourniški značaj. Dolžina vodotoka meri 102 km (Porečje Savinje, 2013).



Slika 1: Porečje Savinje (RD Mozirje, 2017)

2.2 Geološka sestava tal

Spodnja Savinjska dolina je nastala v geološkem obdobju pliocen. Zapolnjujejo jo pleistocenski in kvartarni sedimenti, ki so jih nanесли različni vodotoki (Hidrosvet, 2011). V zgornjem delu Savinje na območju vzhodnih Karavank in Savinjskih Alp, prevladujejo karbonatne kamnine iz zakraselega apnenca in dolomita. Zaradi zakraselih tal se pojavljajo ali ponikajo manjši izviri. V smeri toka se pod Lučami pričnejo pojavljati manj prepustni skrilavci, peščenjaki, tufi in gline, ki tvorijo tudi gričevnate obronke Celjske kotline. Na nižinskem delu med Levcem in Gomilskim osrednji del nižin sestavljajo pleistocenski in holocenski prodnato peščeni sedimenti zasipa Savinje (GC–GM). Debelina površinskega sloja se precej spreminja. Na površini prevladujejo rjave vezljive zemljine (glina in zaglinjen melj) v plasteh od 10 cm do 300 cm, ki predstavlja hidrološko zaporno plast (Hidrosvet, 2011). Debelina aluvialnih nanosov do lapornate podlage, v smeri od reke Savinje proti severu postopoma narašča. Lapornata podlaga se pojavi na globini 3 – 5 m na razdalji 100 m od struge in nato se spusti globlje (Hidrosvet, 2011). Na obrobem južnem delu doline se pojavijo starejše kamnine iz oligocena.

Podtalnica je odprtega tipa. Napaja se z infiltracijo meteornih vod. Pojavi se na globini med 2,0 – 3,5 m, mestoma tudi le 1,0 m globoko (Hidrosvet, 2011). Omenjena plast predstavlja pomemben vir podtalne vode. Smer toka podtalnice sovpada s tokom Savinje. Savinja ob nizkem vodostaju drenira okolico, v času visokih voda pa napaja prodnate sloje. Mestoma je opazen padec neprepustnega sloja, zato se na teh mestih, vodonosnik nahaja pretežno v kvartarnih sedimentih, ki jih predstavljajo dobro prepustni prodi in peski, ter srednje prepustni zaglinjeni in meljasti prodi.

Glede na geološko – geomehanske raziskave tal v okviru projektiranja suhih zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini, je sestava tal razdeljena na štiri tipične sloje, kot je prikazano v preglednici 1.

Preglednica 1: Karakteristična geološka sestava tal na območju predvidenih zadrževalnikov

Sloj	Debelina [cm]	USCS	Opis
1	20-50		Humus
2*	10-300	CL (CH)	Meljna glina (ponekod mastna)
3	100-200	GC do GM (GP)	Zaglinjen do zameljen prod in grušč (ponekod peščen prod)
4			Lapornata podlaga - sivica

*Sloj se na nekaterih mesti ne pojavlja.

2.3 Hidrološke situacije na porečju Savinje

2.3.1 Hudourniške poplave

Poplave v Sloveniji nastopijo zaradi intenzivnosti padavin, te pa v odvisnosti od vlažnosti zemljišča povzročijo večje ali manjše odtoke vode zbrane v strugah vodotokov. Povečanje pretoka privede do dviga gladine vodotoka in posledično povečanje možnosti razlivanja izven struge. Zbiranje in odtekanje vode spremljajo erozijski procesi. Spiranje in odlaganje materiala spremeni geometrijo dna struge, kar posledično vpliva na nivo gladine v njej. Do izrednih razmer prihaja predvsem zaradi izredno velikih in dolgotrajnih padavin, velike predhodne vlažnosti, padavin, ki so padle na snežno odejo, povzročile njeno tajanje in velik površinski odtok (Brilly in sod., 1999).

2.3.2 Hidrološko dogajanje

Za Savinjo so izrazita nihanja v pretokih in velike razlike med sušnimi in mokrimi obdobji. Prvi viški pretokov se pojavijo v jesenskih mesecih zaradi večje količine padavin in zmanjšane evapotranspiracije, drugi viški pa v spomladanskih mesecih zaradi taljenja snega. Na območju vodomerne postaje Laško, je največji karakteristični pretok v obdobju od leta 1971 do 2000, v mesecu novembru znašal $1.406 \text{ m}^3/\text{s}$, v mesecu marcu pa $831 \text{ m}^3/\text{s}$ (Frantar in sod., 2005). Za takšne situacije je značilno, da prihaja do povečanih pretokov na Savinji in njenih pritokih. Območja, ki so poplavno ogrožena se nahajajo na območjih padavinskih dogodkov in območjih dolvodno. Glavni nižek je v poletnih mesecih zaradi višjih temperatur in povečane evapotranspiracije, drugi nižek v zimskem času zaradi snežne retence. Na območju vodomerne postaje Laško, je najmanjši mali karakteristični pretok v obdobju od leta 1971 do 2000, v mesecu avgustu znašal $4,2 \text{ m}^3/\text{s}$, v mesecu januarju pa $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (Frantar in sod., 2005). V sušnem obdobju vode pogosto primanjkuje, saj se jo deloma porabi za namakalne potrebe na območju Spodnje Savinjske doline (Porečje Savinje, 2013).

Velika poplavna ogroženost Savinjske doline, ki na slovenskem območju sodi v sam vrh po poplavno kritičnih območjih, izhaja iz dejstva, da leži ob glavni strugi velik delež poplavnih površin v katere segajo urbana območja. V času Avstro - Ogrske monarhije, so s protipoplavnimi ukrepi na območju Savinje, dosegli kontrolirano prevajanje struge do povratne dobe 20 let (Hidrosvet, 2011). Višje vode so se prelivale preko struge in poplavljalale kmetijske površine. Predvsem v zadnjih 50 letih, pa se je možnost naravnega razlivanja Savinje iz rečne struge z urbanizacijo poplavnih območij bistveno zmanjšala. Po podatkih Inštituta za vode Republike Slovenije, je na porečju Savinje poplavno ogroženih 52 km^2 urbanih površin in s tem 21.400 prebivalcev (Porečje Savinje, 2013). Zaradi spremenjenih dinamičnih lastnosti reke, ki so posledica izravnave trase, relativno ozkega profila in omejenega pretakanja voda vzdolž reke, se je rečno dno poglobilo in poteka praktično na celotnem delu Spodnje Savinjske doline po lapornati podlagi. S tem se je prevodnost struge še povečala, zato je

možnost razlivanja v Spodnji Savinjski dolini manjša. Največji urbani središči Celje in Laško sta na ta način še bolj ogroženi, kot v preteklosti (Skutnik, 2005).



Slika 2: Poplave v Laškem (Vrabec, 2014)

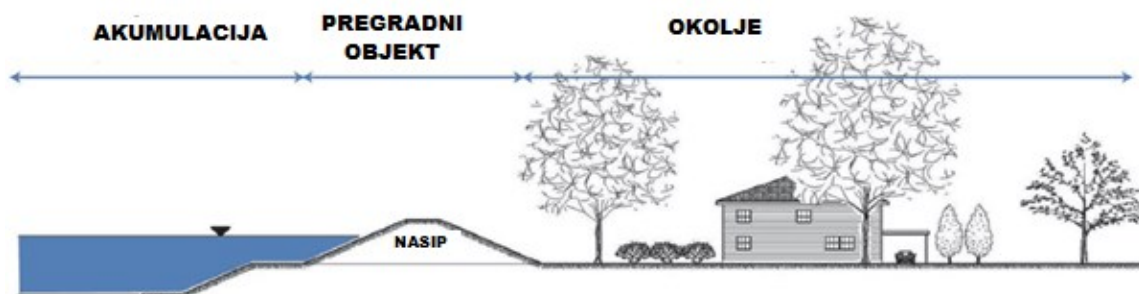
Novembra 1990, je na območju Spodnje Savinjske doline, zaradi dolgotrajnega deževja, prišlo do obsežnih poplav. Močno so narasli hudourniki in se sprožili številni zemeljski plazovi. Poplave leta 1990 so bile nekontrolirane v smislu, da je visoka voda Savinje pričela rušiti obstoječe nasipe, kar je povzročilo razlivanje reke po ravnini med Savinjo in naselji Šempeter, Žalec, Vrbje, Petrovče in Levec, oziroma železnico na levem bregu in na območju med Latkovo vasjo in Bolsko na desnem bregu. S tem, ko se je reka razlivala po omenjenih površinah se je poplavni val zmanjševal in na ta način, so bile posledice poplav v mestih Celje in Laško manjše, kot sicer. Po letu 1990 je bila večina nasipov saniranih (Skutnik, 2005). Tudi v novem tisočletju je prišlo do poplav na omenjenih območjih. 19. septembra 2007 je Savinja v Celju dosegla krono nasipa, največji pretok pa je znašal $1.254 \text{ m}^3/\text{s}$ v Laškem. (ARSO, 2007). Septembrski poplavni dogodek je najbolj prizadel območja na pritokih reke Savinje. V letih 2007 in 2009 se je pokazalo, da brez večjih protipoplavnih gradbenih ukrepov na območju Spodnje Savinjske doline, ni možno zagotoviti varnosti pred poplavami s povratno dobo nad 50 let.

3 GRADBENI UKREPI ZA VARSTVO PRED POPLAVAMI

3.1 Izbira ureditvenih ukrepov

Gradbeni ukrepi zajemajo graditev hidrotehničnih objektov, s katerimi vplivamo na verjetnost pojava, pretočno krivuljo ali krivuljo gladina - škoda (Brilly in sod., 1999).

Lokalno preusmerjanje visokih voda je alternativa reguliranju strug vodotokov za potrebe varstva pred visokimi vodami, če pri tem reguliranje vodotoka zahteva njegovo masivno obzidavo ter obenem obstajajo potrebni pogoji za lokalno preusmeritev visokih voda. Na temelju hidroloških ocen je potrebno določiti ureditev vodotoka, da prevaja izbrano visoko vodo brez škode za okoliška zemljišča.



Slika 3: Prostorska umestitev (prirejeno po Ciria, 2013)

Zadrževalnik visokih voda predstavlja enega izmed gradbenotehničnih ureditvenih ukrepov struge, ki prevaja izbrano visoko vodo (večinoma stoletno vodo Q_{100}). Z obnovitvijo ali nadomestitvijo izgubljenih naravnih visokovodnih retenzij lahko zmanjšamo načrtovani pretok v regulirani glavni strugi. Retenzije so poplavna območja, na katera se voda razlije ob poplavah in se v njih zadrži, vse dokler ne začne upadati gladina v glavni strugi (Brilly in sod., 1999). Delovanje takšnega ukrepa je podobno preusmerjanju visokih voda v posebej za te namene grajeni zadrževalnik visokih voda, ki ni nujno zgrajen na samem vodotoku. Z izgradnjo majhne dolinske pregrade lahko pridobimo novo zadrževalno prostornino. Izpust iz zadrževalnika zasnujemo tako, da ne vpliva na normalne pretoke in začne delovati šele pri visoki vodi. Če opremimo zadrževalnik visokih voda z regulacijskimi elementi, lahko na tak način izboljšamo delovanje zadrževalnika, obenem pa je potrebno paziti na nevarnost nepravilnega ravnanja na prelivnih delih. Pogosto zadrževalnik predvidimo ob glavni strugi, torej na poplavni ravnici. Dele prvotne poplavne ravnice ločimo od glavne struge in omogočimo njihovo preplavitev le v primeru izrednih visokih voda. Če je le mogoče je treba ohraniti naravno delitev vodotoka na aktivno strugo (glavna struga za prevajanje nizkih in srednjih voda) in poplavno ravnico (poplavno območje pri reguliranih vodotokih) (Mikoš, 2000).

Zadrževalniki se lahko uporabljajo za kritje potreb po vodi za različne dejavnosti: za preskrbo s pitno in industrijsko vodo, namakanje, (delno za) zadrževanje visokih voda, pridobivanje energije, redčenje

odpadne vode, izboljšanje plovnosti rek, ipd. v večini primerov služijo zadrževalniki kot večnamenski objekt. Primarni namen zadrževalnika je zadrževanje (upočasnitev) odtoka.



Slika 4: Zadrževalnik kot ukrep zagotavljanja poplavne varnosti (Ciria, 2013)

Posebno težavo pri zadrževalnikih predstavlja dotok materiala (plavin), ki zapolnjuje koristno prostornino. Tako zapolnjevanje zmanjšuje prostornina zadrževalnika namenjen za uporabnika (primarne rabe), hkrati pa ogroža tudi stabilnost objekta, saj lahko onemogoči delovanje talnih izpustov. Problematiko dotoka plavin je potrebno upoštevati že pri načrtovanju projekta (Steinman, Banovec, 2004). Predvideni ukrepi na območju Spodnje Savinjske doline veljajo za zemeljske pregrade in so omenjeni na sliki 5.



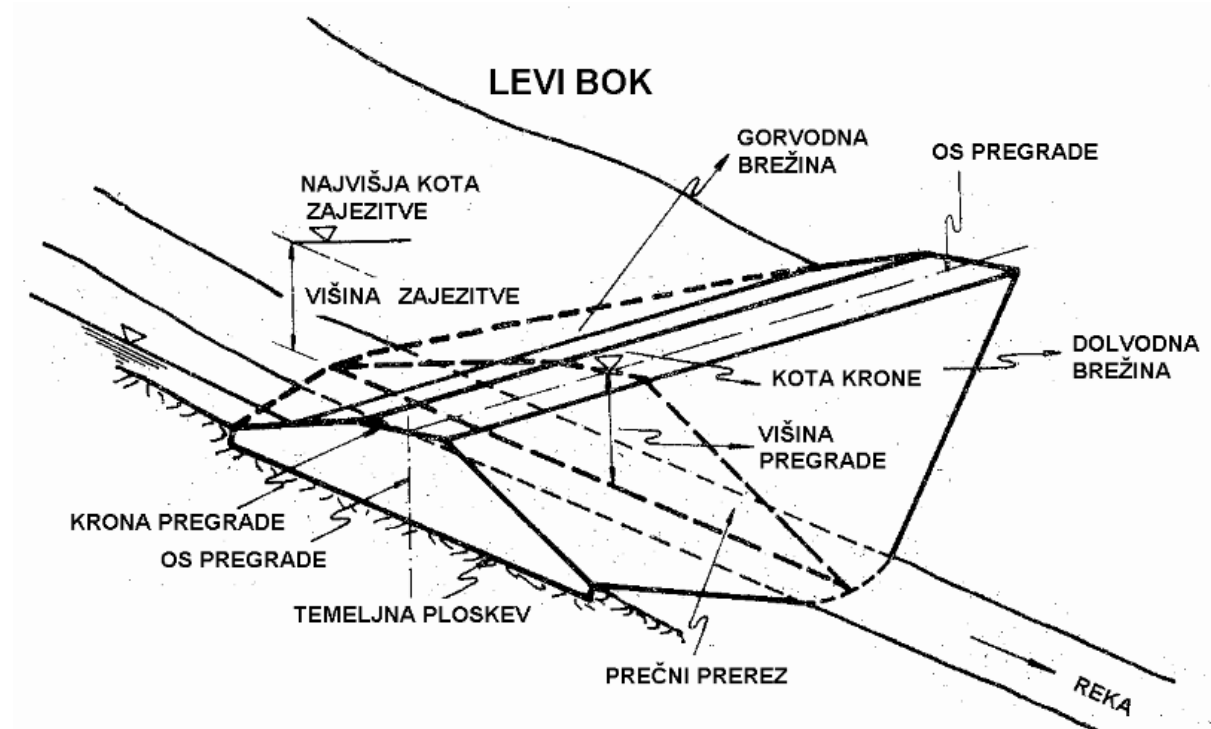
Slika 5: Predvideni ukrepi na območju Spodnje Savinjske doline (prirejeno po Room for the river, 2007)

3.2 Pregrade

Pregrade so objekti, ki so definirani kot stalen ali začasen objekt, ki deli vodno telo z namenom akumuliranja vode in izravnave nihanj pretokov, dviga hidravlične višine, reguliranja vodotoka ali omejuje neko snov od ostalega prostora (Kryžanowski, 2015). Pregrade so v tehničnem smislu razdeljene na različne načine. Za izbiro tipa pregrade, je potrebno upoštevati različne dejavnike in izbrati tehnično in ekonomsko najbolj upravičeno. V nadaljevanju je razložena izbira primerne tipa pregrade za zadrževanje poplavne vode.

3.2.1 Zemeljske pregrade

Nasipi so objekti, ki so večinoma grajeni iz zemljine. Ključni parameter za izbiro tipa pregrade je topografija. Vodne in seizmične sile so v geološki zgodovini izoblikovale različne oblike dolin. Na območju Spodnje Savinjske doline se je izoblikovala široka »U« dolina. Široke doline z večjimi količinami naplavin, so primerne za nasute pregrade vseh tipov. Najpogostejša je gradnja nasute pregrade s centralnim tesnilnim jedrom. Nasuta pregrada obremenitve zalednih pritiskov prenaša preko telesa pregrade v temeljna tla.



Slika 6: Opis zemeljske pregrade (Logar, 2008)

Geološki in geomehanski pogoji, ki jih narekujejo raziskave na terenu in v laboratoriju, imajo velik vpliv na izbiro tipa zemeljske pregrade in način tesnjenja. Homogene zemeljske pregrade so primerne za kvalitetno hribinsko podlago brez diskontinuitet. V nasprotnem primeru se izvede slojevita nasuta pregrada s centralnim tesnilnim jedrom. V primeru prepustne hribinske podlage je treba zagotoviti tesnitev z zobom do osnovne hribinske podlage. Pri suhih zadrževalnikih ali viskokovodnih nasipih popolno tesnjenje profila ni nujno potrebno izvesti. Zagotoviti je potrebno učinkovito dreniranje na dolvodnem delu pregrade, da ne pride do hidravličnega loma pete pregrade. Osnovne dimenzije pregrade so opredeljene na osnovi pogojev, ki opredeljujejo širino krone, maksimalne kote gladine v akumulaciji in naklon pobočij, ki je odvisen od vgrajenega materiala (Kryžanowski, 2015). V našem primeru smo se odločili za suhi zadrževalnik na območju Spodnje Savinjske doline. Ker gre za kratkotrajno zadrževanje visokih voda, gradnja tesnilnega jedra ni potrebna ob pogoju, da se za gradnjo homogene pregrade uporablja malo do srednje prepusten material. V primeru trajne ojezeritve,

bi bili nasipi, ki mejijo na ojezeritev, grajeni kot slojevita pregrada s centralnim tesnilnim jedrom. Iz geološkega profila, ki je opisan v preglednici 1 v poglavju 2.2, je razvidno, da se na celotnem območju pojavljajo zaglinjeni grušči ter ponekod celo mastne gline, pri katerih je koeficient prepustnosti manjši od 10^{-9} m/s. V tem primeru ni potrebe po dodatni izvedbi tesnilnih temeljnih tal. Če bi se pri zemeljskih delih pokazalo, da je debelina prepustnega sloja temeljnih tal majhna, se lahko material nadomesti z manj prepustnim materialom.

Zemljina je material, ki ga lahko dobimo v neposredni okolici lokacije objekta, zato v stroškovnem smislu predstavljajo prednost. Če je slabo prepustnega materiala in prostora za gradnjo dovolj, gradimo homogeno pregrado. Pri objektih velikih dimenzij je velik faktor izbire tipa pregrade tudi razpoložljivost materiala na lokaciji gradnje. Zadostna količina, ustrezna kvaliteta, dostopnost in ekonomičnost pridobivanja ter vgradnje so pogoji, ki morajo biti izpolnjeni, da je izbira tipa pregrade upravičena. V primeru nasute pregrade so ustrezni zemeljski in kamninski materiali. Če je na razpolago dovolj materiala podobnih lastnosti je prednostna gradnja homogene pregrade. V primeru velikih količin materiala z različnim koeficientom prepustnosti pa se gradi slojevita pregrada. Glede postavitve tesnitvenega pregradnega profila je za območje Spodnje Savinjske doline primeren profil s centralnim jedrom. Omenjeni profil je primeren za območja, kjer ni pričakovati večjih potresnih obremenitev. Projektni pospešek tal na območju gradnje zadrževalnika znaša 0,150 g. Pojav likvefakcije je izključen, saj temeljna tla sestavljajo debelo zrnati materiali, ki so deloma ali v celoti zaglinjeni.

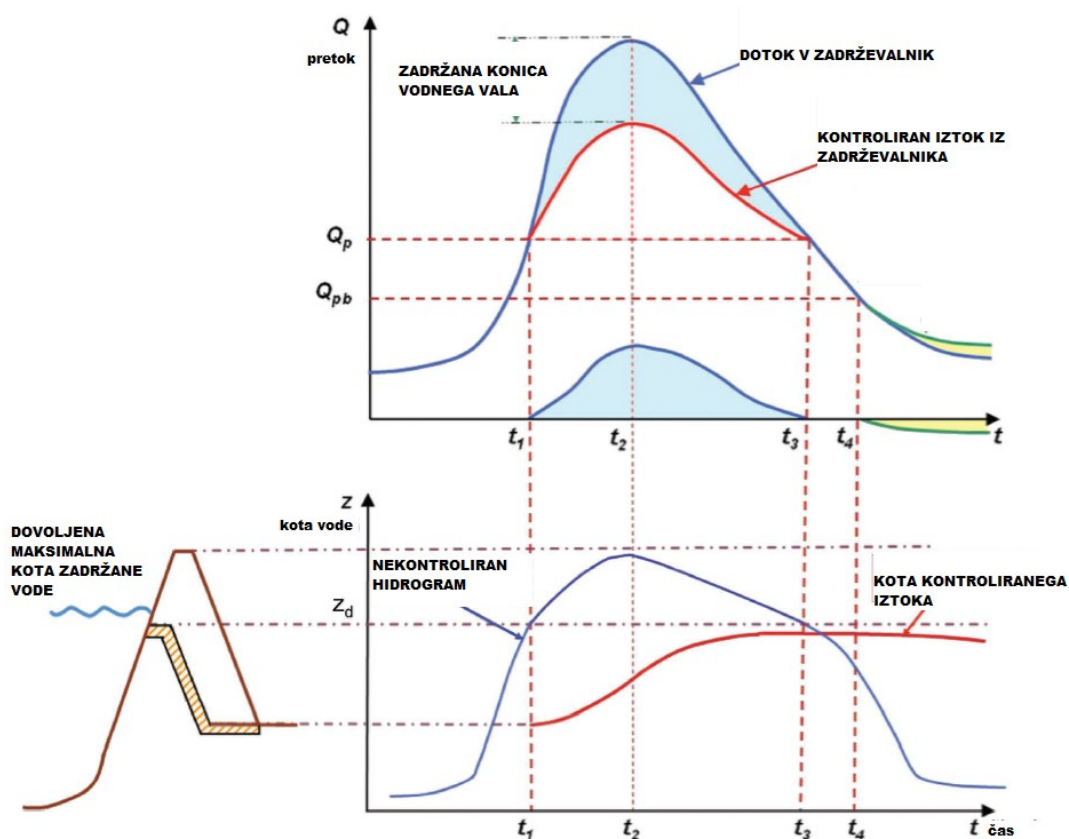
Pri zemeljskih pregradah lahko povzroči hitro nižanje vodne gladine velike strujne sile, zaradi zastajanja vode v telesu pregrade. Pri homogeni pregradi je potrebno gorvodno brežino narediti bolj položno. Rešitev za zmanjševanje strujnih sil je gradnja slojevite zemeljske pregrade.

Najpomembnejši deli pregrade za uravnavanje pretokov so evakuacijski objekti. Njihova velikost je odvisna od pretočnih količin. Pri zemeljskih pregradah prideta v poštev dva tipa evakuacijskih objektov. Prelivna drča je najpogostejši tip in je praviloma izvedena ob bokih pregrade ter temeljena v raščeno hribino. Drugi tip je tunelski evakuacijski objekt. V tem primeru je skozi pregrado narejen izpust z ustreznimi tesnilnimi elementi. V našem primeru smo za glavni objekt predvideli prelivne objekte, kot so grajeni na reki Savi npr. Vrhovo. Zapornice so segmentne z zaklopko. Za objekte, ki služijo polnjenju posameznih bazenov je predviden tunelski tip – prepust z nameščeno tablasto zapornico. Podrobni opis objektov je v poglavju 8.0.

3.3 Delovanje zadrževalnika

Zadrževalniki naj bi vsestransko pripomogli k optimalnemu gospodarjenju z razpoložljivo vodo in odpravljanju škodljivih vplivov poplav. Tu je potrebno omeniti še pomembno mesto za ustvaritev pogojev za razvoj turizma, športa in rekreacije. Zadrževalniki voda so lahko suhi, ki se napolnijo z vodo samo ob večjih poplavnih dogodkih ali mokri, ki služijo kot večnamenske akumulacije. Retenzije so poplavna območja, v katera se voda razlije in v njih zadrži, dokler ne odteče nazaj v strugo v času upadanja pretoka. Zmanjševanje pretoka in nižanje gladine je pri poplavnih vodah s povratno dobo 50 in več let relativno majhno. Območje retenzije ogradimo z nasipi, v katere so vključeni objekti s hidromehansko opremo, ki omogočajo kontrolirano polnjenje in praznjenje. Suhi ali mokri zadrževalniki vplivajo na zmanjševanje maksimalnih pretokov poplavnega vala in tako ob isti intenziteti spreminjajo verjetnost pojava dolvodno od zadrževalnika (Brilly in sod., 1999).

Uspešno obratovanje zadrževalnika temelji na natančni napovedi visokovodnih valov. Obratovalna navodila morajo izhajati iz napovedi prostornine visokovodnega vala, hitrosti naraščanja pretokov in najvišje konice vala. Natančne napovedi so pogoj za uspešno odpiranje in zapiranje zapornic. Rezanje konice visokovodnega vala, kot je prikazano na sliki 7, dosežemo s kontroliranim dotokom in iztokom v oziroma iz zadrževalnika. Reka Savinja ima izrazit hudourniški značaj, zato je v času poplavnih dogodkov pomembno zadržati konico vodnega vala. Z izgradnjo zadrževalnika ustreznih kapacitet in evakuacijskih objektov bi dosegli kontrolirani iztok iz zadrževalnika, kar na sliki 7 ponazarja rdeča krivulja.



Slika 7: Preoblikovanje hidrograma poplavnega vala (prirejeno po Ciria, 2013)

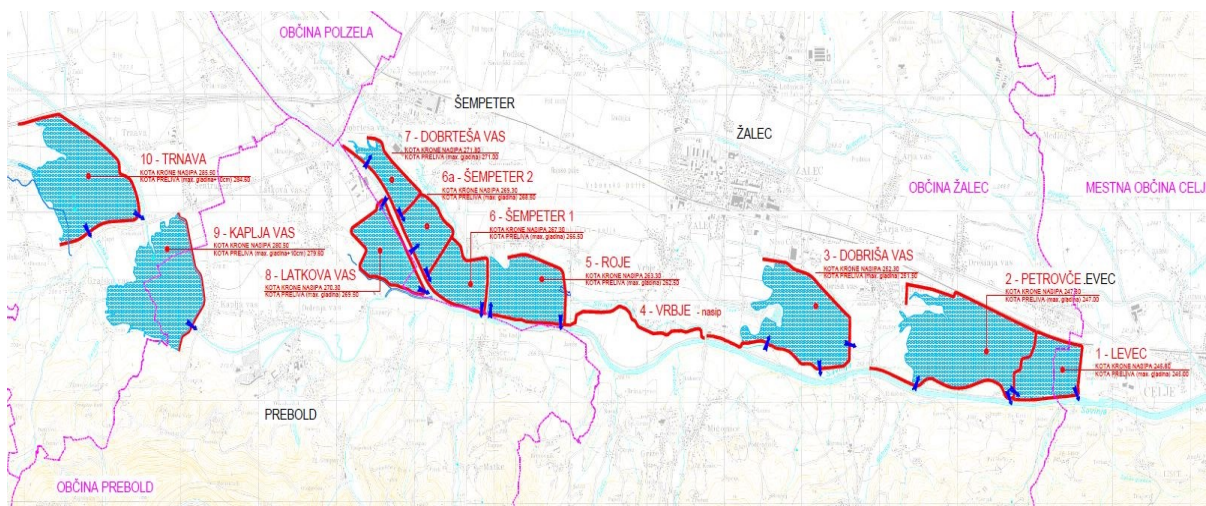
S kontroliranim polnjenjem akumulacijskega bazena lahko pri višjih pretokih zmanjšamo katastrofalne vplive dolvodno. Poplavni val preusmerimo ali zadržimo v zadrževalniku v primeru večjih poplav. Če gre za manjše poplave, poplavnega vala ne zadržimo. V primeru izredno velikega poplavnega vala tudi s popolnim izkoristkom zadrževalnika dosežemo minimalne učinke. Če imamo na porečju zgrajenih več zadrževalnikov, največjo učinkovitost dosežemo s sinhroniziranim delovanjem. (Brilly in sod., 1999).

Zaradi poplavnih dogodkov različnih intenzitet, smo predvideli zadrževalnik razdeljen na več delov – bazenov. Glavni del bo predstavljal trajno ojezeritev. Tako bo možno koriščenje zadržane vode preko celega leta. Prednosti in primeri uporabe so namakanje, rekreacija, biotop, energetski potencial,... Suhi deli bodo nemoteno uporabljeni v kmetijske namene.

4 DRŽAVNI PROSTORSKI NAČRT ZAGOTAVLJANJA POPLAVNE VARNOSTI V SPODNJI SAVINJSKI DOLINI

4.1 Zasnova objektov

V letu 2003 se je pričel postopek priprave Državnega prostorskega načrta za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini. Ureditve za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini so projektno obdelane na nivoju idejnega projekta - IDP, ki je tudi osnova za prostorsko umeščanje načrtovanih ukrepov. Na reki Savinji je od Levca do mostu na cesti Celje - Ljubljana pri Ločici predvidenih osem zadrževalnikov, na pritoku Bolski pa dva (slika 8).



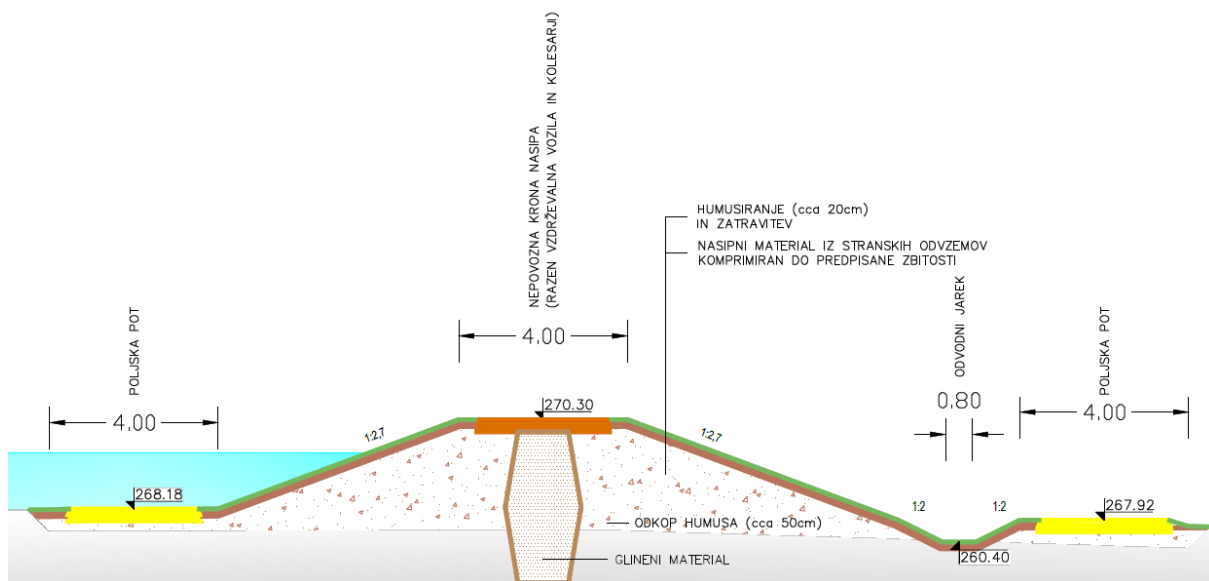
Slika 8: Situacija zadrževalnikov na Savinji in Bolski (Hidrosvet, 2011)

Idejni projekt predvideva različna območja zadrževanja poplavnega vala. Prva so območja, na katerih v preteklosti reka Savinja ni poplavljal. Druga pa območja, ki niso poseljena in so opredeljena kot poplavna območja. Zadrževanje visokih voda poteka z nasipi, ki mejijo prečno na strugo in se priključujejo na zaledni teren ter z nasipi, ki potekajo vzdolž struge. Cilj izvedbe zadrževalnikov je znižanje visokovodnega vala Savinje pred vstopom v Celje pri Q_{100} na vrednost $870 \text{ m}^3/\text{s}$ (Hidrosvet, 2011).

Zadrževalniki na Savinji so postavljeni na levi strani reke Savinje, z izjemo zadrževalnika Latkova vas, ki se nahaja na desnem bregu. Zgornji odsek zadrževalnikov Dobrteša vas, Šempeter 1 in 2 ter Roje, ima zasnovo povezanih zadrževalnikov. Razlog so prostorske omejitve, saj so v bližini okoliške vasi Šempetra in Žalca. Zaradi vzdolžnega padca terena imajo omenjeni zadrževalniki med seboj različno koto nasipa. Ta je z vsakim zadrževalnikom dolvodno manjša. Zadrževalnika Dobriša vas in Petrovče na gorvodni strani območja nista zaključena z nasipom. Zadržana voda se lahko prosto razlije po poplavni ravnici.

4.2 Izvedba zadrževalnikov in obstoječih nasipov

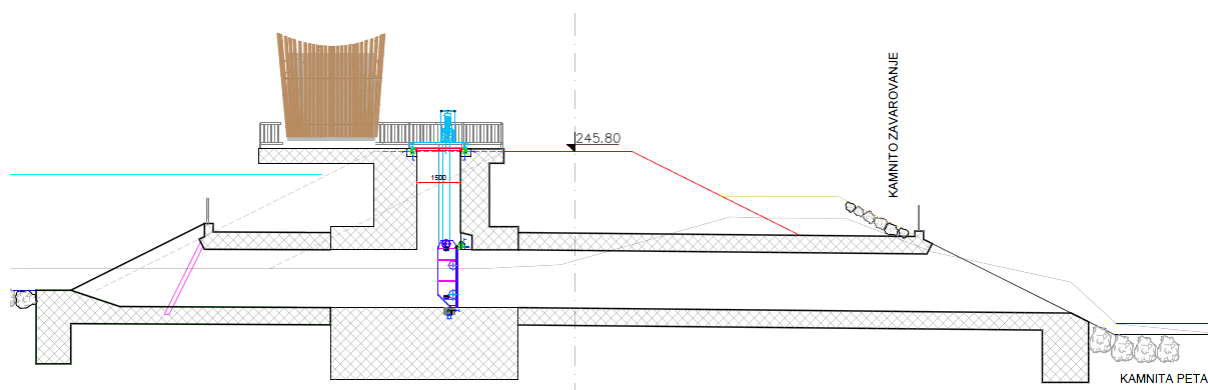
Gradnja nasipov je predvidena iz glinasto meljastega materiala, ki bi se ga odvezalo iz okolice. Tesnilno jedro je iz glinastega materiala, nakopanega iz zapuščenega glinokopa Ljubečna. Krona nasipa meri 4 m široko. Brežini imata naklon 1:2,7. Maksimalna višina nasipa znaša 4,6 m. Na notranji in zunanji strani je izveden odvodni jarek za meteorne vode (slika 9). Obstoječe nasipe se na posameznih odsekih nadviša in razširi.



Slika 9: Prerez nasipa in ureditve (Hidrosvet, 2011)

4.3 Vtočni in iztočni objekti

Razmere na vtoku in iztoku so urejene z izvedbo vtočnih in iztočnih objektov, ki omogočajo preusmeritev viška visokih voda v retenzijski prostor v času naraščanja poplavnega vala ter praznitev retenzijskega prostora v fazi upadanja poplavnega vala. Vtočni in iztočni objekti so armirano betonske konstrukcije, kjer so vgrajene kotalne tablaste zapornice, s katerimi je možno uravnavati pretoke skozi izpust. Dimenzije posameznih odprtin so določene na podlagi potreb pri uravnavanju vtoka v retenzijski prostor in praznitev zadrževalnikov po prehodu poplavnega vala. Zapornice so nameščene v osrednjem delu objekta. Dotok vode do zapornic poteka po zaprti AB kineti. Iztočni del je oblikovan s podslapjem in umirjevalnim bazenom. Dimenzije zapornic so glede na zadrževalnik različne. Osnovna dimenzija zapornice meri 8 m x 2 m in so izvedene paroma, za vsak prepust (slika 10). Zapornice se upravljajo preko daljinskega sistema iz centra vodenja, lahko pa tudi neposredno na objektu preko ročnega sistema. Namen objektov je zmanjševanje konice poplavnega vala na pretok, ki ga je rečna struga na kritičnih odsekih še sposobna prevajati. Z zadrževanjem poplavnega vala se zmanjša konica in podaljša čas trajanja poplavnega vala.



Slika 10: Vtočni oziroma iztočni objekt na zadrževalniku (Hidrosvet, 2011)

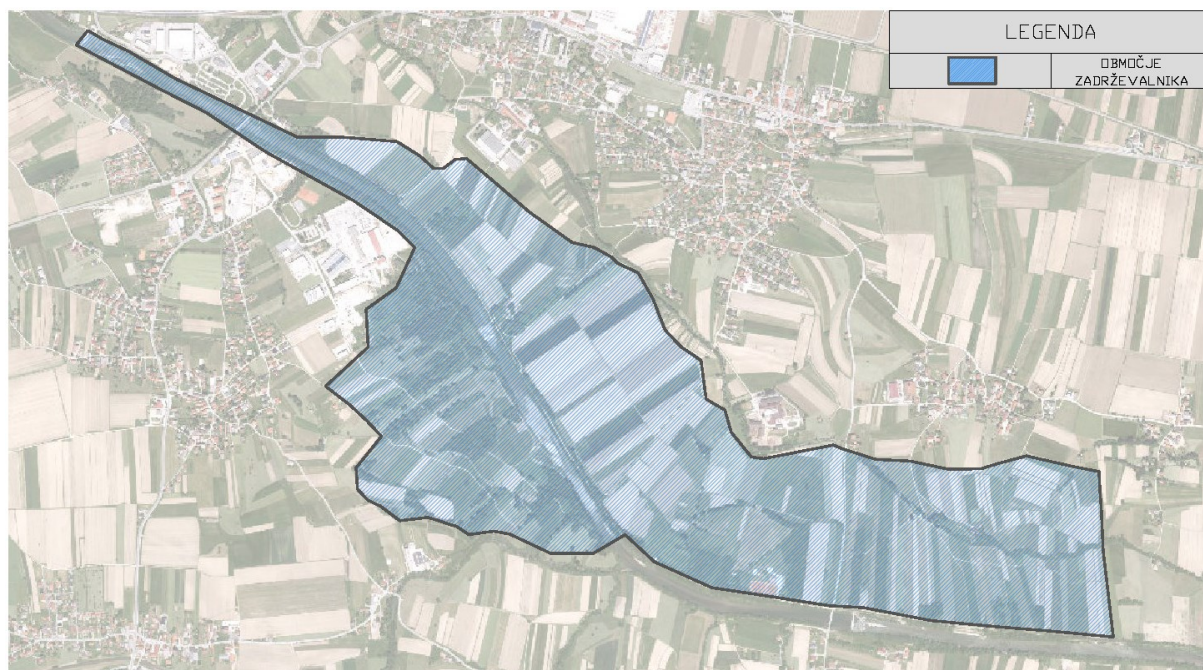
5 ZASNOVA ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER

V tem poglavju je predstavljena ideja združitve posameznih zadrževalnikov na območju Dobrteša vas, Latkova vas, Šempeter 1 in Šempeter 2, v en zadrževalnik pod imenom Šempeter. Cilj združitve je zmanjšanje števila zadrževalnikov ter posegov v prostor, povečanje skupnega prostornine zadržane vode in zmanjšanje števila vtočno – iztočnih objektov, kot je predvideno v fazi priprav Državnega prostorskega načrta. Z omenjenimi cilji bi dosegli učinkovito zmanjšanje poplavnega vala, kar je ključno za delovanje zadrževalnika. Na prelivnih objektih bi na osnovi hidrološke napovedi uravnavali pretoke in skrbeli za polnjenje ali praznjenje zadrževalnika. Z izvedbo skupnega zadrževalnika bi dosegli racionalnejšo in učinkovitejšo rešitev poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini.

5.1 Umestitev v prostor

Namesto posameznih zadrževalnikov Dobrteša vas, Latkova vas, Šempeter 1 in Šempeter 2 je umeščen en zadrževalnik pod imenom Šempeter. Površina in lokacija zadrževalnika Šempeter predstavlja združitev posameznih predvidenih zadrževalnikov. Umestitev zadrževalnika Šempeter v prostor je določena na podlagi projektne dokumentacije IDP, ki je bil izdelan kot projektna osnova za Državni prostorski načrt. Zaradi poplavnih dogodkov različnih intenzitet, smo predvideli razdelitev znotraj zadrževalnika Šempeter na posamezne manjše zadrževalnike, tri stopenjske in en zadrževalnik s trajno ojezeritvijo. Podroben opis sledi v poglavju 5.3.

Meja območja zadrževalnega prostora je opredeljena z linijo pete nasipa na zračni strani. Zunanji rob nasipov in vplivno območje gradnje smo načrtovali po obstoječih poljskih poteh in parcelnih mejah, ki v večini potekajo kar po robovih njivskih površin in poteh. Obstoječe poti delujejo kot ugodna temeljna tla za gradnjo nasipa, saj so primerno zgoščena. Pri določanju območja zadrževalnika Šempeter, nismo po nepotrebnem posegali v pozidana zemljišča. V grobem, je oblika in velikost zadrževalnika povzeta po Državnem lokacijskem načrtu. Območje zadrževalnika Šempeter pokriva 2,0 km² območja. V dolžino meri približno 3,0 km, v širino pa od 350 m do 1.100 m (slika 11).



Slika 11: Vplivno območje zadrževalnika Šempeter

5.2 Priprava podatkov in podlog

5.2.1 Izdelava DMR modela

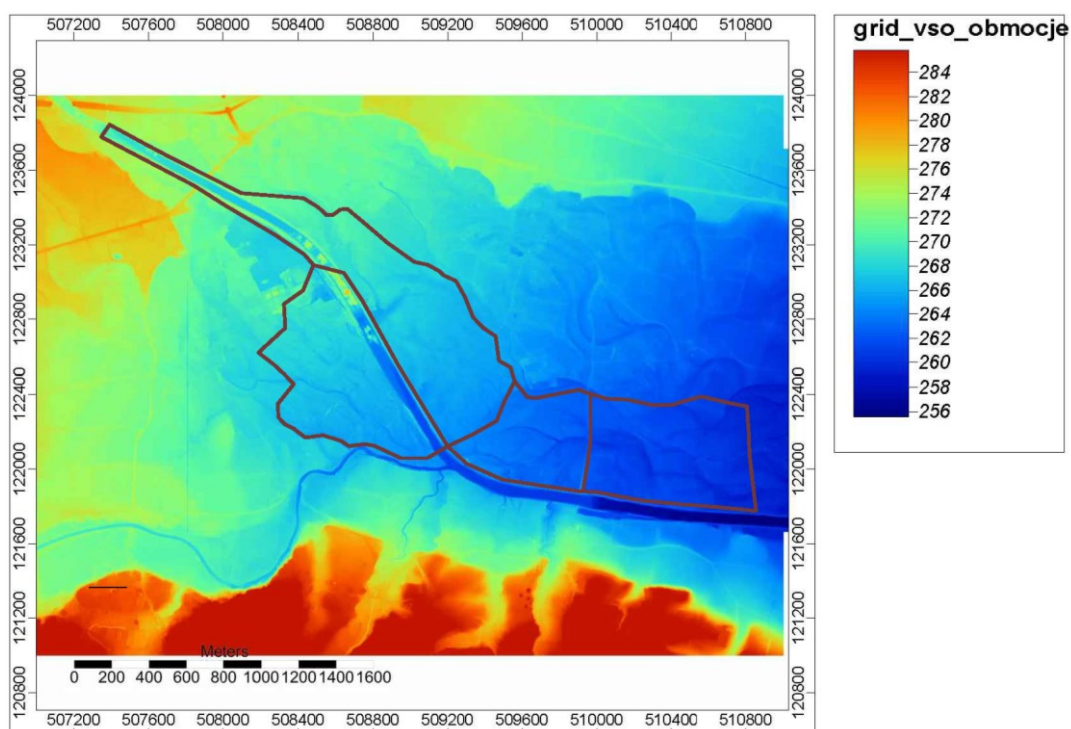
Odpotokodni program SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses), je namenjen uporabi in obdelavi podatkov geografskega informacijskega sistema. Program vsebuje veliko orodij za analiziranje in izdelovanje novih podatkovnih slojev. Na voljo so različni statistični podatki slojev, ki so v uporabi. Uporabnik lahko obdeluje vektorske ali rastrske podatkovne sloje. S pomočjo programa SAGA GIS smo določili odnos med prostornine in višinskimi kotami zadržane vode, zato smo najprej pripravili digitalni model reliefa (DMR) območja zadrževalnika Šempeter.

V program SAGA GIS smo uvozili DMR, izdelan na podlagi laserskega snemanja ali LIDAR posnetka (Light Detection And Ranging). Lidar posnetki na območju Slovenije, so prvenstveno nastali prav zaradi zagotavljanja sistemskih podatkovnih podlag in informacijske infrastrukture za upravljanje z vodami. Podatki so brezplačno dostopni za celotno območje Slovenije na portalu eVode. Območje Slovenije je razdeljeno na bloke velikosti 1 km². Vsak blok vsebuje 10⁶ celic. Velikost posamezne celice je 1 x 1 m, kar pomeni, da imamo za vsak m² ozemlja na voljo točko višine. Zahtevana horizontalna natančnost LIDAR posnetka je 30 cm, po višini pa 15 cm (Lidar MOP). Podatki so pripravljeni v horizontalnem državnem koordinatnem sistemu z oznako D48/GK. Modul za vnos podatkovnih slojev v program SAGA GIS se imenuje »Import ESRI Arc/Info Grid«.



Slika 12: Postopek pridobivanja lidar podatkov (eVode, 2017)

Posamezne bloke smo združili v enoten blok, ki zajema obravnavano območje. V programu SAGA GIS to storimo z modulom »Mosaicking«. Z modelom DMR, dobimo prikaz oblikovanosti zemeljskega površja. Različne višine so predstavljene z različnimi barvnimi odtenki. Na ta način so lepo vidne struge, depresije in grbine. Na sliki 13 je zajeta Spodnja Savinjska dolina med avtocesto Ljubljana – Maribor in naseljem Vrbje. Nadmorska višina na tem območju sega od 256 m do 284 m.



Slika 13: DMR območja Spodnje Savinjske doline z označenim robom predvidenega zadrževalnika

Na sliki 13 je v prvi tretjini struge Savinje znotraj območja zadrževalnika moč opaziti nerazumljive višine, ki so obarvane z rumeno oranžnimi odtenki. Razlago je moč najti v slabši penetraciji signala skozi vegetacijo, ki je v času snemanja prekrivala del struge. Podatkov za nadaljnjo analizo nismo spreminjali.

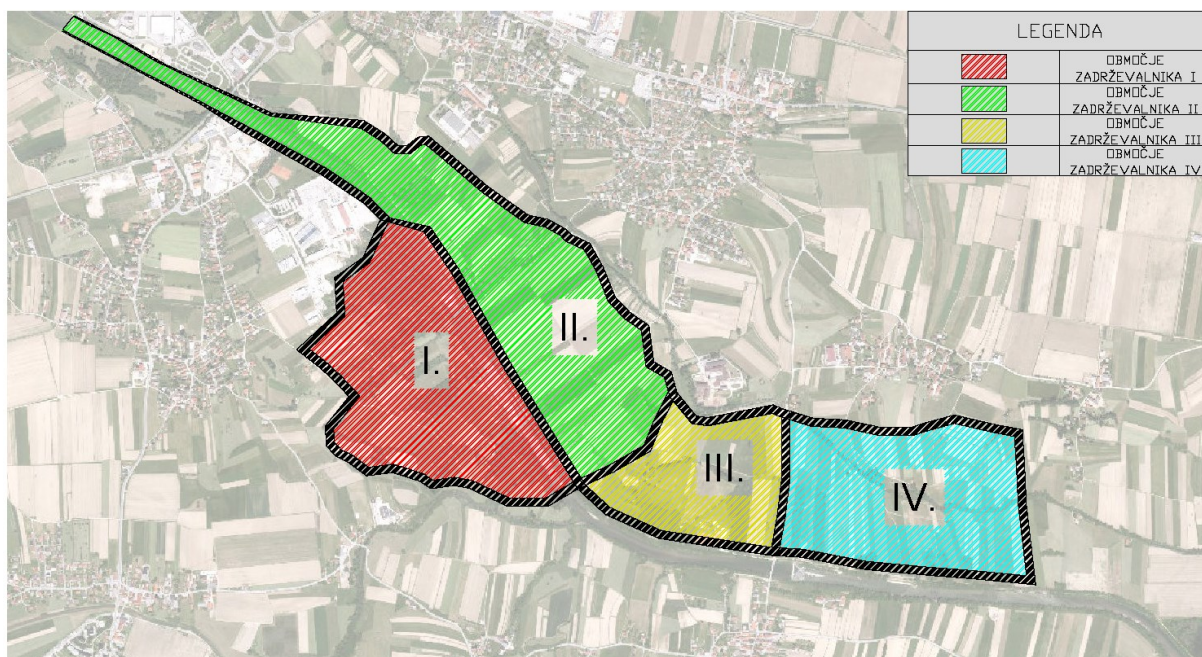
Situacijo vzdolžne osi nasipa smo prenesli v SAGO GIS in kreirali poligone. Z ukazom »*Clip Grid with Polygon*«, smo posamezni poligon smo spremenili v DMR model. Pripravili smo še poligon za vsak zadrževalnik, ki je predstavljal gladino vode. S pomočjo modula »*Grid Calculator*«, smo izračunali razliko med koto vode na območju zadrževalnika in višinskimi kotami DMR modela za obravnavani zadrževalnik. V vsaki celici je program po enačbi (1) izračunal razliko med točko »z« v DMR sloju zadrževalnika in predpostavljeno koto zajezebe. V enačbi (1) »KZ« predstavlja koto zajezebe, »g1« predstavlja podatek o višini v sloju DMR zadrževalnika in »g2«, ki predstavlja podatek poligona kote zajezebe. Modul »*Grid Volume*« nam je izpisal podatek o prostornini vode v računu za različne kote zajezebe.

$$ifelse \left(gt \left(KZ - (g1 \cdot g2), 0 \right), KZ - (g1 \cdot g2), -99999 \right) \quad (1)$$

Poleg numeričnih rezultatov, program grafično prikaže višino vode v posamezni celici zadrževalnika. To je uporabno predvsem pri grafičnih prikazih začetnih gladin vode, ko začnejo suha območja poplavljeni vode. Potrebno je poudariti, da se lokalne depresije zapolnijo prej, kar pa v realnem okolju ni mogoče, saj se poplavljanje širi kontinuirano od najnižje lokacije do višjih delov. Na omenjeno je potrebno biti pozoren, ker lahko na območjih z velikimi depresijami, dobimo povsem neustrezne rezultate.

5.3 Razdelitev zadrževalnika Šempeter

Poplave se pojavljajo z različno intenziteto in različno pogosto. Znano je, da se bolj intenzivne poplave pojavijo manj pogosto. V ta namen, so na podlagi statističnih analiz dosedanjih dogodkov, določene povratne dobe n-letne vode. Zaradi različnih vrednosti verjetnosti pojava poplavnega dogodka določene povratne dobe, smo območje zadrževalnika Šempeter razdelili na štiri zadrževalnike, ki so sposobni zadržati volumne za različne intenzitete poplavnih dogodkov. Polnjenje posameznega zadrževalnika poteka kontrolirano, saj so zadrževalniki med seboj povezani z ustreznimi objekti in hidromehansko opremo. Na ta način lahko določene površine uporabniki kmetijskih zemljišč neovirano obdelujejo vse dokler ne pride do ekstremnih poplavnih dogodkov (50, 100 in več letne poplavne vode). Razdelitev zadrževalnika Šempeter je prikazana na sliki 14. Območje zadrževalnika Šempeter smo kreirali v programu AutoCAD. Posamezni zadrževalniki so med seboj funkcionalno povezani. Z izgradnjo zemeljskih nasipov se pridobi ustrezne prostornine za zadrževanje vode.

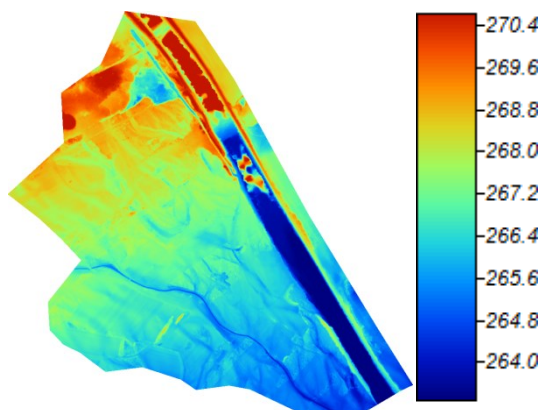


Slika 14: Zasnova razdelitve zadrževalnika Šempeter

5.4 Osnovni podatki o zadrževalnikih

5.4.1 Zadrževalnik I

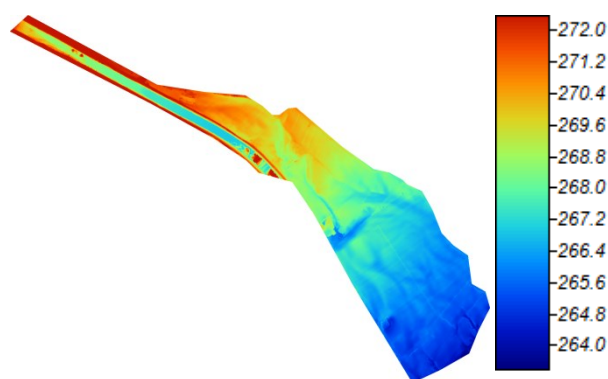
Zadrževalnik I leži na desnem bregu reke Savinje in sega od industrijske cone do izliva Bolske v Savinjo. Na desni strani sega v bližino stanovanjskih objektov. Njegov obseg meri 3,386 km in pokriva 60,25 ha površine. Maksimalna kota terena znotraj zadrževalnika I znaša 271,10 m n. v., minimalna pa 261,40 m n. v. Z izgradnjo zemeljskih nasipov se pridobi potrebna prostornina za zadrževanje vode. Osnovna ideja je, da bi v zadrževalniku I vzpostavili trajno ojezeritev, ki bi bila regulirana na iztočnem objektu dolvodno z nameščenimi segmentnimi zapornicami. Omenjeni regulacijski objekt bi se nahajal na reki Savinji pred vtokom Bolske in bi skrbel za ustrezne pretoke v času poplavnega vala. Z zadrževanjem konice poplavnega vala bi polnili ostale zadrževalnike. Praznjenje zadrževalnika I bi potekalo direktno v strugo Savinje. Ko bi pretoki Savinje začeli naraščati do te mere, da zadrževalnik I in izpust iz zadrževalnika I ne bi zadoščali volumnom, bi preko prelivnega polja med zadrževalnikoma I in II ter z naravnim razlivanjem na začetku zadrževalnika I pričeli polniti zadrževalnik II.



Slika 15: DMR zadrževalnika I

5.4.2 Zadrževalnik II

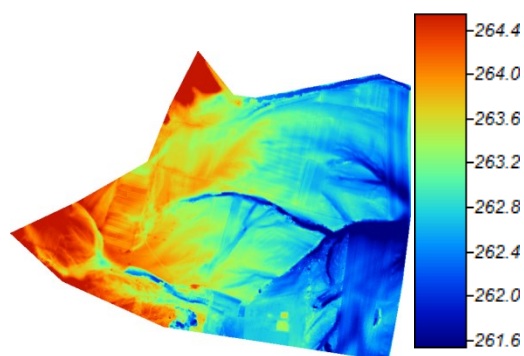
Zadrževalnik II leži na levem bregu reke Savinje južno od naselja Šempeter in večinoma obsega kmetijska območja. Njegov obseg meri 5,996 km in pokriva 76,29 ha površine. Maksimalna kota terena znotraj zadrževalnika II znaša 276,60 m n. v., minimalna pa 263,40 m n. v. Funkcija zadrževalnika II je pridobitev dodatnih poplavnih prostornin. Kota prelivanja poplavne vode iz zadrževalnika I bi znašala 269,00 m n. v. Zadrževalnik II bi se pričel polniti na dolvodni strani preko bočnega preliva na nasipu, ki ločuje zadrževalnik I in II. Polnjenje bi potekalo tudi naravno z razlivanjem na gorvodni strani ob zadrževalniku I. Polnjenje zadrževalnika II bi potekalo hkratno na obeh delih prelivanja. Praznjenje zadrževalnika II je predvideno preko prelivnega objekta v zadrževalnik III. V zadrževalniku I in II bi skupno gladino vode lahko dvignili maksimalno do 272,00 m n. v.



Slika 16: DMR zadrževalnika II

5.4.3 Zadrževalnik III

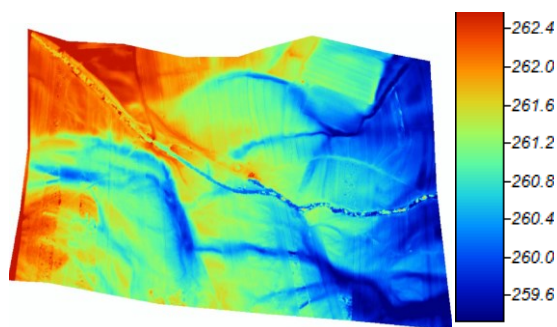
Zadrževalnik III obsega območje med cestno povezavo Šešče pri Preboldu - Zgornje Roje na dolvodni strani, ter meji na nasip zadrževalnika II na gorvodni strani. Njegov obseg meri 2,315 km in pokriva 28,84 ha površine. Maksimalna kota terena znotraj zadrževalnika III znaša 266,60 m n. v., minimalna pa 260,20 m n. v. Na levi strani nasip poteka ob Podvinski Strugi, na desni pa sega v bližino reke Savinje. Polnjenje bi potekalo preko tunnelskega objekta - prepusta, ki ločuje zadrževalnik II in III. Praznjenje je predvideno preko prepusta na dolvodni strani, ki povezuje zadrževalnik III in IV. Med vtočnim in iztočnim objektom se naredi kadunjasti jarek, ki služi vodenju prelivnih voda v zadrževalnik IV.



Slika 17: DMR zadrževalnika III

5.4.4 Zadrževalnik IV

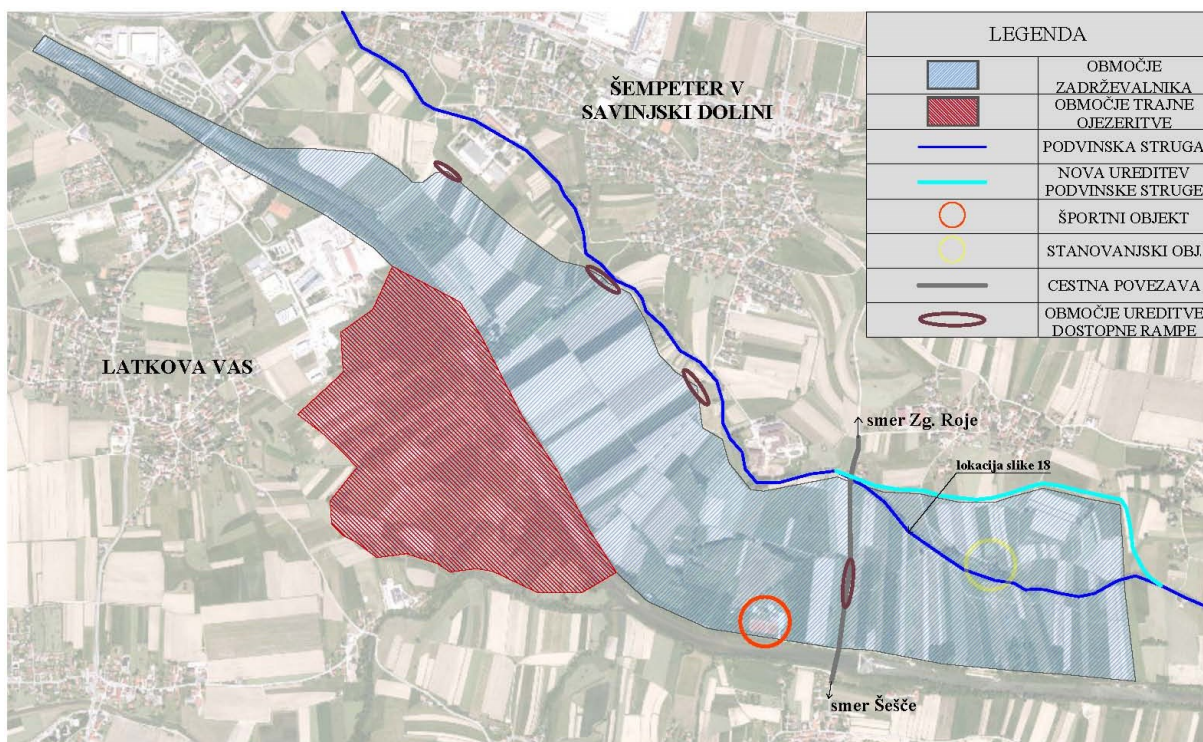
Območje zadrževalnika IV na levi strani sega do poseljenih območij Zgornjih Roj. Na dolvodni strani nasip poteka preko kmetijskih površin v Spodnjih Rojah in se zaključuje pravokotno na strugo Savinje. Na desni strani je zadrževalnik IV omejen z reko Savinjo. Njegov obseg meri 2,907 km in pokriva 47,92 ha površine. Maksimalna kota terena znotraj zadrževalnika IV znaša 265,30 m n. v., minimalna pa 258,60 m n. v. Polnjenje bi potekalo preko prepusta na nasipu, ki ločuje zadrževalnik III in IV. Praznjenje je predvideno direktno v strugo Savinje na dolvodni strani.



Slika 18: DMR zadrževalnika IV

5.5 Obstoječa infrastruktura in načrtovane ureditve

Na izbranem območju prevladujejo kmetijska zemljišča. Njivske površine predstavljajo nasadi hmelja in žitaric. Na vzhodnem delu predvidenega zadrževalnika so površine z nizko zarastjo, grmovjem in posameznimi drevesi. Na podlagi zaježitvenih vplivov so v nadaljevanju opisani predvideni ukrepi na obstoječi cestni infrastrukturi in objektih znotraj zadrževalnikov. Glede na različne zaježitvene scenarije zadrževalnikov so predstavljena zemeljska dela. Zadrževalnik prečkajo številne poljske poti in ena pomembnejša prometna povezava med Šeščami pri Preboldu in Zgornjimi Rojami. Znotraj območja se nahaja stanovanjski in rekreacijski objekt. Na sliki 19 je označena infrastruktura in zemljišča, na katerih bodo potrebni večji posegi. Natančnejša raba tal je predstavljena v poglavju 9.



Slika 19: Gradbeni ukrepi in obstoječa infrastruktura

5.5.1 Zemeljska dela krovnih površin

Večji del območja trajne ojezeritve pokrivajo gozdnote in zaraščene površine ter travniki. Okrog 17,0 ha površin poraščenih z drevesi in grmovjem bo potrebno odstraniti. Med zemeljskimi deli se bo odstranilo tudi panje. Rodovitne prsti se odrinejo in uporabijo pri humusiranju brežin nasipov. Pri zemeljskih delih se lokalne grbine odstranijo in se s tem materialom zapolnijo depresije. Na mestih, kjer bi z zemeljskimi deli posegali v prepustni sloj tal, je potrebno preprečiti povezavo med akumulirano vodo in vodonosnimi plastmi, z ustreznim slojem malo prepustnega materiala. S tem se izognemo nekontroliranemu dvigu podtalnice na drugih mestih. Pri delih se uporablja ustrezna komprimatorska sredstva. Na ta način je narejena sanacija krovne plasti in omogočeno nemoteno odtekanje padavinskih voda.

5.5.2 Objekti in cestne povezave

Znotraj območja se nahaja objekt. Športno – rekreacijski objekt bo ob visokih vodah nefunkcionalen, zato se jih zaradi potreb poplavnih ukrepov poruši in lastnikom ustrezno povrne škodo v denarni odškodnini ali nadomestni gradnji. Na sliki 19 je označen z rdečim krogom.



Slika 20: Športno rekreacijski objekt (Hidrosvet, 2011)

Krajevna cesta, ki povezuje Šešče pri Preboldu in Zgornje Roje bo potekala po kroni nasipa. Cesta bo ustrezno nadvišana in normalno prevozna. Dostopanje na koto nasipa se izvede na ustrezni dolžini z ustreznim vzdolžnim naklonom ceste. Na tem odseku je predviden širši nasip s povozno bermo, ki bo ustrezala cestnim tehničnim normativom določene kategorije.

Izbrani normalni prečni profil:

- Banket in povozna mulda	2 x 0,75 m
- Vozišče	2 x 2,50 m
- Skupaj	6,50 m

Izbrani normalni prečni profil je izbran na podlagi vrste ceste (LC, dostopna cesta) in projektne hitrosti (40 km/h). Odvodnjavanje se uredi preko prečnih nagibov vozišča do robov ceste, kjer se izvedejo elementi vzdolžnega odvodnjavanja, kot so koritnice in mulde. Od tam se vode zbirajo v kanalizacijske jaške in naprej do odvodnih jarkov ob vznožju nasipa.



Slika 21: Krajevna cesta Šešče - Zgornje Roje (Google Maps, 2017)

Območje zadrževalnika prečkajo poljske poti, na katerih niso potrebni posegi. Dostopanje do kmetijskih površin znotraj suhih delov zadrževalnika, bo omogočeno z dostopnimi rampami, ki bodo grajene vzdolž nasipa v vzdolžnem naklonu do 8 %. Poti se izvedejo s tamponskim nasutjem v debelini 30 cm in ustrezne zbitosti. Lokacije dostopanja na kmetijske površine so označene na sliki 19.



Slika 22: Dostopna rampa (Ciria, 2013)

Znotraj območja se nahaja stanovanjski objekt z gospodarskim poslopjem (slika 23). Objekt bo ob visokih vodah nefunkcionalen, zato se jih zaradi potreb poplavnih ukrepov poruši in lastnikom ustrezno povrne škodo. Na sliki 13 je označen z rumenim krogom.



Slika 23: Stanovanjski objekt znotraj območja zadrževalnika Šempeter (Google Maps, 2017)

5.5.3 Podvinska Struga

Preko zadrževalnika Šempeter poteka Podvinska struga. Sedanja struga je naravno korito, poraslo s travo, grmovnicami in posameznimi drevesi (Hidrosvet, 2011). Podvinsko strugo bo potrebno kanalizirati in speljati ob robu nasipa na zunanji strani. Dolžina novega odseka Podvinske struge meri 1,26 km. Ko zapusti območje zadrževalnika, se jo spelje v obstoječo strugo. Velikost kanala reke se prilagodi na pretoke povratne dobe 100 let. Dno in brežine struge se utrdi s kamnitimi zrni ustreznih velikosti, da bo preprečeno erodiranje tal. Kanal nove ureditve mora biti odmaknjen vsaj 5 m od pete nasipa na zračni strani zadrževalnika. Na ta način bo poskrbljeno za varnost nasipov zadrževalnika Šempeter, da jih Podvinska struga ne bi pričela erodirati. Strugo se uredi na sonaraven način. Hidravlična analiza novega kanala ni predmet magistrske naloge, zato je podana zgolj opisna rešitev.

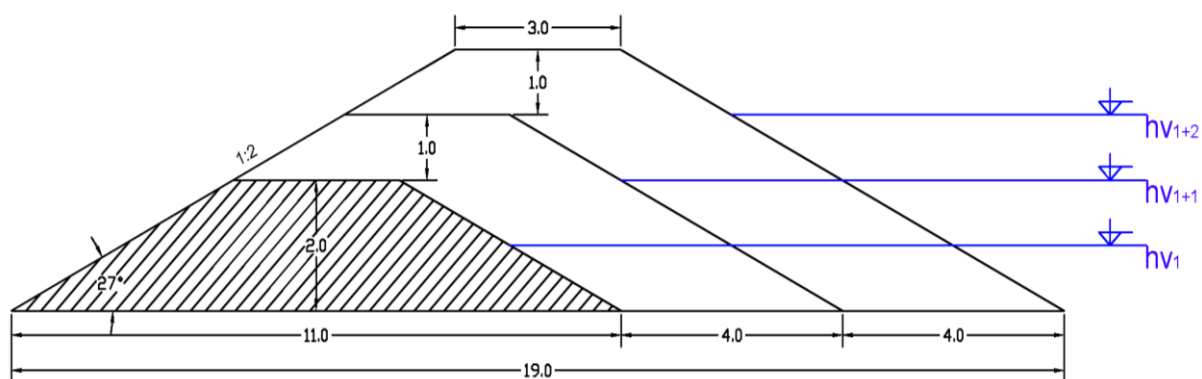


Slika 24: Podvinska Struga. Lokacija označena na sliki 19 (Hidrosvet, 2011)

6 ANALIZA PROSTORNIN ZADRŽANE VODE ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER

6.1 Izračun volumnov zadržane vode

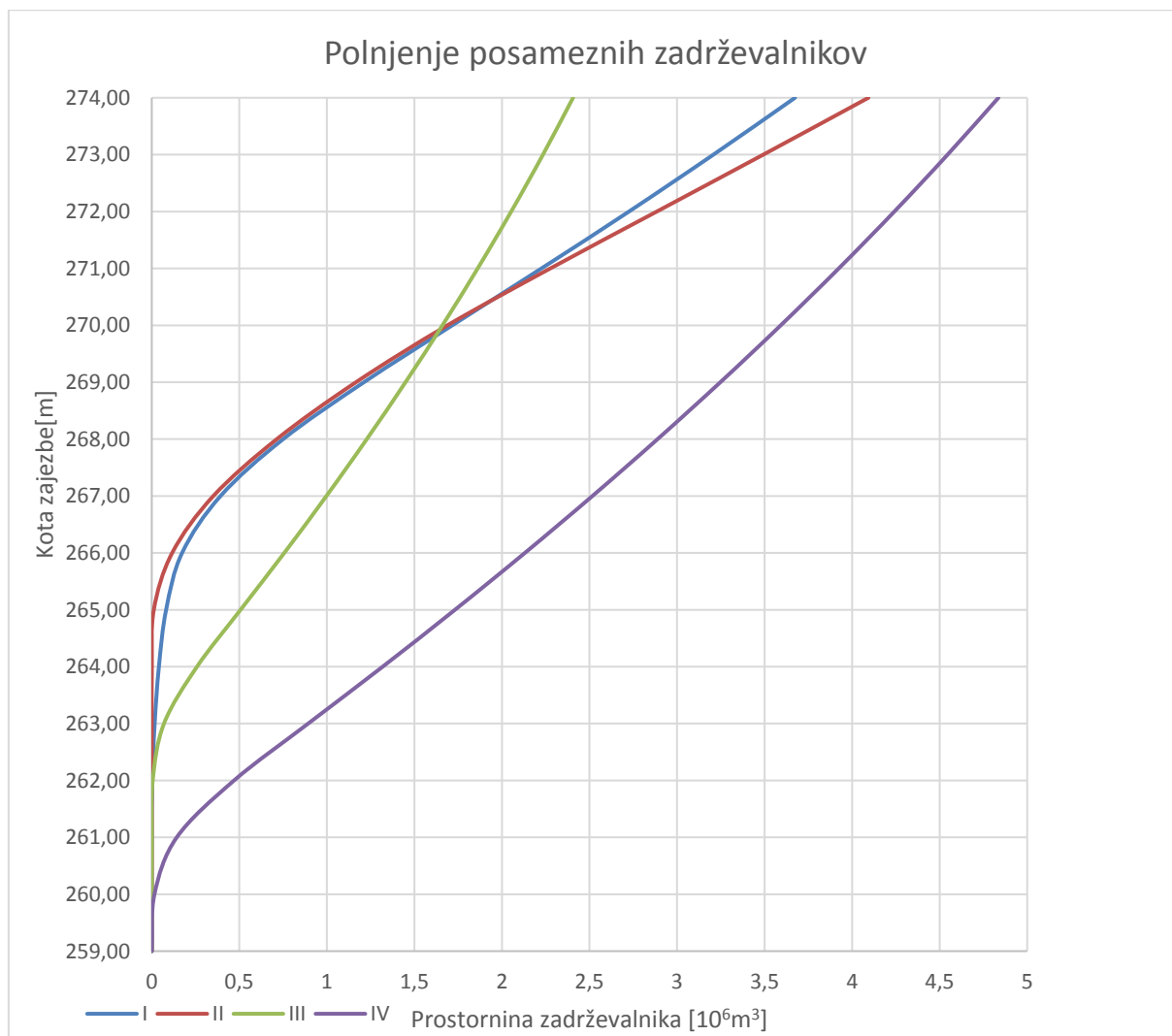
Najvišjo koto zadržane vode smo določili glede na obstoječo mostno konstrukcijo, ki ima koto vozišča 276,53 m in povezuje Šempeter v Savinjski dolini ter Latkovo vas. Z upoštevanjem spodnje kote nosilcev mostne konstrukcije in nezanesljivost modela, je dovoljena najvišja kota gladine v zadrževalniku 274,00 m n. v. Analizo volumnov zadrževalnika smo naredili stopenjsko za različna gladinska stanja, ki smo jih povečevali za korak 1 m. Pri tem smo upoštevali, da je zunanja meja zadrževalnika, ki ga predstavlja peta nasipa na zračni strani, v vseh primerih enaka. Z višanjem nasipa se telo nasipa pomika v območje zadrževalnika, kar pomeni, da se zmanjšuje tudi prirast razpoložljivega prostornine v zadrževalniku (slika 25).



Slika 25: Postopno nadvišanje nasipa ob akumulaciji

V grafikonu 1 so prikazane konzumpcijske krivulje polnjenja posameznega zadrževalnika. Podatki so dobljeni z analizo v programu SAGA GIS. Iz grafikona 1 je razvidno, da največjo prostornino glede na koto zajezbe pri 274,00 m n. v. doseže zadrževalnik IV, kar je razumljivo, saj leži najbolj dolvodno, tam pa je naklon struge manjši in je potrebna manjša globina, da napolnimo ves retenzijski prostor. Zadrževalnik III in IV imata najbolj strmi krivulji, kar pomeni, da imata počasnejši prirast prostornine glede na enakomerno dviganje gladine. Podobno obnašanje bi imela tudi zadrževalnik I in II, če bi dovolili zajezbo višjo od kote 274,00 m n. v. S primerjavo naklonov krivulj, je moč spoznati, kateri zadrževalnik ima največjo, oziroma najmanjšo ojezereno površino. Vsak zadrževalnik ima od začetka izrazito nelinearen potek polnjenja. Izrazita nelinearnost je pogojena z naklonom osnovne struge oziroma naklona retenzijske površine. Ta pa je v primeru zadrževalnika I in II bolj strma. V naravi to predstavlja naklon terena oziroma razdaljo od najbolj dolvodne in gorvodne točke v zadrževalniku. Gledano absolutno razliko maksimalne in minimalne nadmorske višine, je ta največja prav na območju zadrževalnika I in II. V primeru zadrževalnikov III in IV je absolutna razlika maksimalne in minimalne razlike nadmorskih višin precej manjša kot v prvem primeru. Ko je celotna površina zaplavljen, se prične približno linearno polnjenje. Približek linearnega polnjenja je pogojen z

dejstvom, da je za vsak meter dviga vodne gladine, potreben meter višji nasip. Z izgradnjo višjega nasipa, pa zmanjšujemo koristno prostornino znotraj zadrževalnikov.



Grafikon 1: Prostornine zadrževalnikov glede na koto zajezbe

V preglednici 2 so prikazane vrednosti za posamezne zadrževalnike glede na koto zajezbe. Največja količina je 14,72 milijona m^3 zadržane vode ob koti zajezbe 274,00 m n. v. Omenjena koto je pogojena s premostitvenim objektom, ki povezuje Šempeter in Latkovo vas. Potrebno je opozoriti, da koto zajezbe pri 274,00 m n. v. povzroči gorvodni vpliv zajezbe do avtocestne povezave Ljubljana – Maribor. Analiza zadrževalnika Šempeter temelji na vrednostih, ki so podane v preglednici 2. Za zagotavljanje poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini, smo izbrali ustrezno kombinacijo kot gladin za posamezni zadrževalnik, da je ta prostorsko sprejemljiva in učinkovita.

Pri določitvi velikosti skupnega zadrževalnika, smo najprej iz analize hidrograma poplavnega dogodka iz leta 1990 določili potrebno količino zadržane vode, da bomo dosegli izboljšanje poplavne situacije dolvodno. Zaradi vzdolžnega padca terena smo se odločili za stopenjsko nižanje gadin v

zadrževalnikih, ki si sledijo dolvodno. Situacija zadrževalnika bo z manjšanjem kot nasipa posameznih zadrževalnikov za prostor bolj sprejemljiva. Zaradi velikih količin nasipnega materiala je pomemben faktor tudi razmerje med prostornino zadrževalnika in prostornino nasipnega materiala. Omenjena izhodišča so podrobneje obravnavana v naslednjih poglavjih.

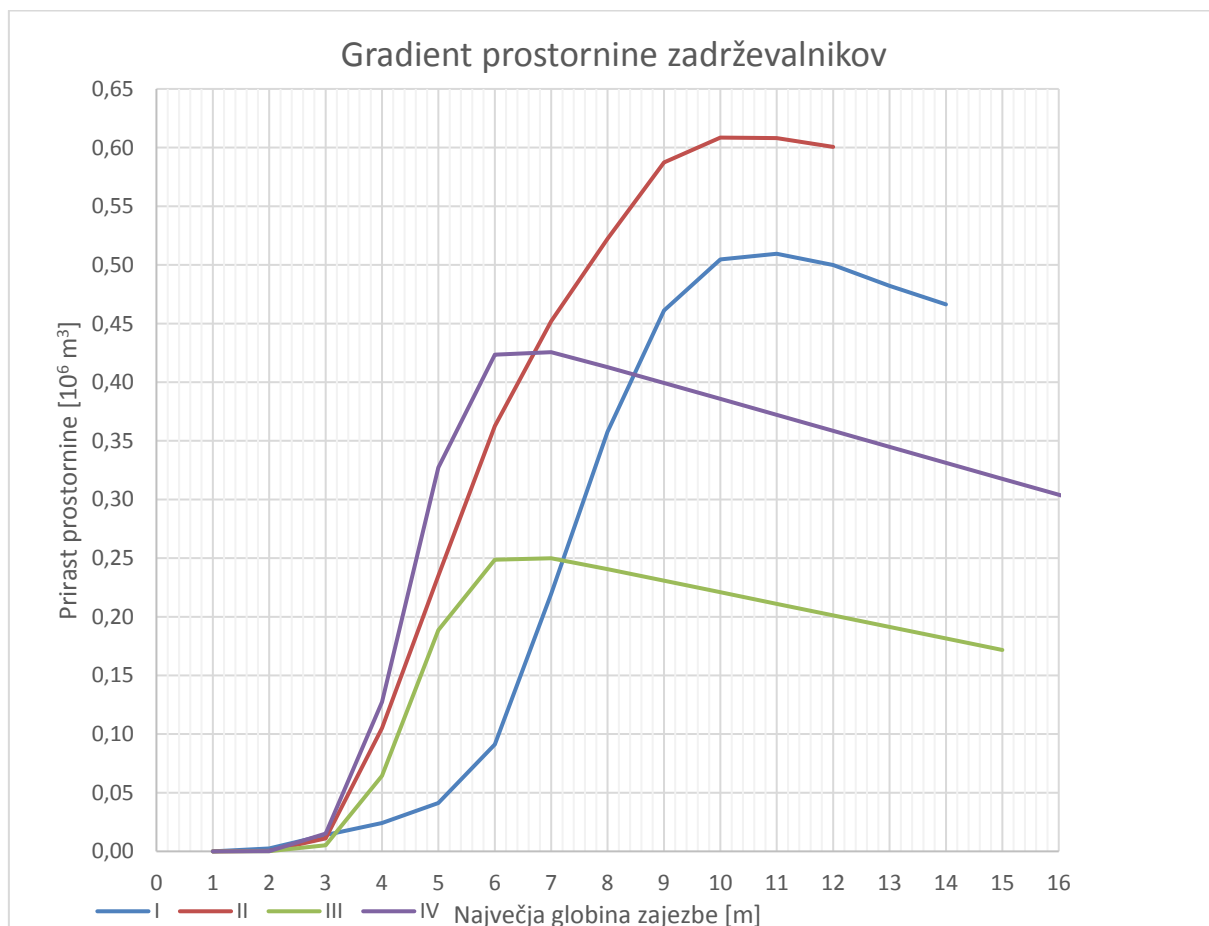
Preglednica 2: Akumulacija glede na koto gladine

Kota gladine [m n. v.]	Zadrževalnik [10^6 m^3]				Skupaj [10^6 m^3]
	I	II	III	IV	
260	Nižje od kote terena	Nižje od kote terena	Nižje od kote terena	0,015	0,015
261			Nižje od kote terena	0,140	0,140
262	0,003		0,005	0,450	0,458
263	0,017		0,070	0,851	0,938
264	0,041	0,012	0,258	1,254	1,554
265	0,082		0,507	1,644	2,245
266	0,173	0,117	0,757	2,021	3,068
267	0,393	0,352	0,997	2,384	4,126
268	0,750	0,714	1,228	2,734	5,427
269	1,212	1,166	1,449	3,070	6,897
270	1,716	1,689	1,660	3,392	8,457
271	2,226	2,276	1,861	3,701	10,064
272	2,725	2,884	2,053	3,996	11,659
273	3,208	3,493	2,234	4,278	13,212
274	3,674	4,093	2,406	4,546	14,719

Grafikon 2 gradient prostornine zadrževalnikov prikazuje prirast prostornine pri polnjenju zadrževalnika s postopnim višanjem gladine. Krivulje gradientov smo določili z odvodom osnovnih krivulj - prostornina glede na koto zajezebe. Gradienti se pri vsakem zadrževalniku vseskozi povečujejo, dokler ne dosežejo nekega maksimuma. Spremembe se dogajajo na odsekih, kjer se akumulacijski prostor polni postopoma in z maksimumom doseže svoj vrh. V tej točki je akumulacijski prostor v celoti napolnjen in je zato prirast konstanta. Ker pa v našem primeru z postopnim višanjem kote nasipa zmanjšujemo koristno prostornino znotraj zadrževalnika, krivulja gradientov prostornine prične upadati. V tem padajočem delu se sposobnost akumuliranja glede na relativni mali upad prirasta prostornine še vedno ohranja.

Krivulja zadrževalnika I doseže maksimalno vrednost pri višini nasipa 10 m. Med 10. in 12 m je gradient približno enak. To v primeru višanja gladine pomeni, da so prirasti prostornin do višine 10 m največji. Prostornine se vseskozi povečujejo. Zadrževalnik II ima pri višini nasipa 9 m najbolj izkoriščene kapacitete. Zadrževalnika III in IV imata med seboj podobno obnašanje. Pri višini nasipa 6 m dosežeta maksimalno vrednost. Zadrževalnik IV ima večjo zmogljivost polnjenja, saj je površina tega zadrževalnika večja kot zadrževalnika III. Vse krivulje imajo zelo podoben naklon, kar v naravi

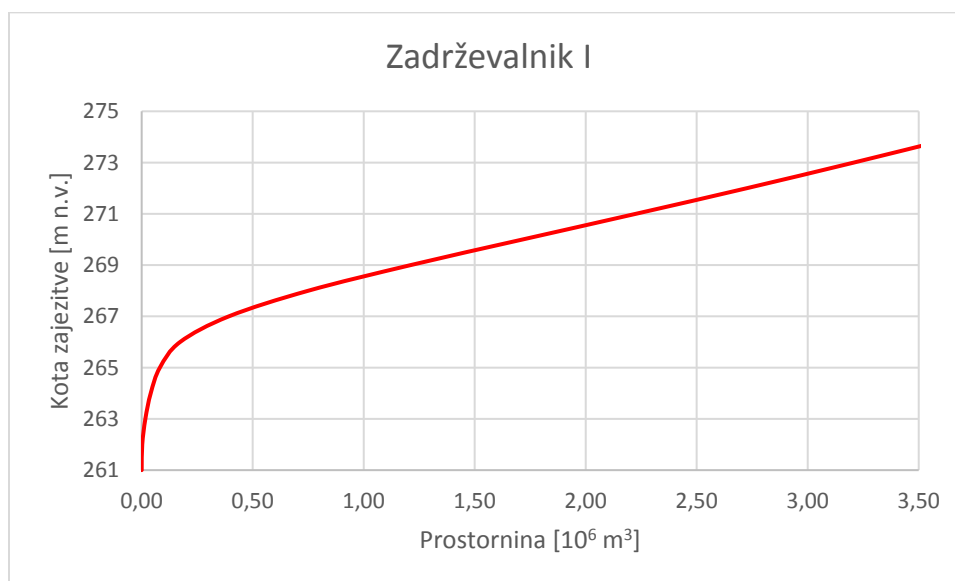
predstavlja vzdolžni naklon terena znotraj zadrževalnika. Največji prirast ima zadrževalnik II med devetim in desetim metrom največje globine in znaša 609 tisoč m³. Hitrosti sprememb prostornin pa so največje v zadrževalniku IV med 4. in 5. m. Grafikon 2 uporabimo za osnovo pri določanju obratovalne sheme, da izberemo polnjenje optimalnega zadrževalnika v času največjih pretokov.



Grafikon 2: Prirast prostornine zadrževalnikov v odvisnosti največje globine zajezbe

6.1.1 Prostornina zadrževalnika I

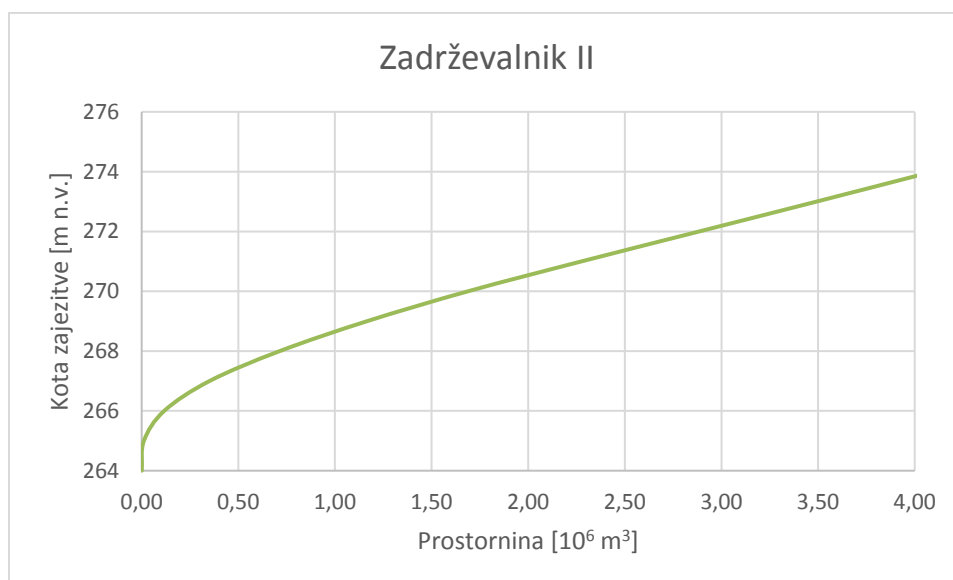
Kota polnjenja zadrževalnika I se hitro strmo dvigne, nato sledi linearno območje. Razlog takšnemu obnašanju sta del struge, ki je zajet v območju zadrževalnika I in ravninski teren. Zadrževalnik I je sposoben zadrževati večje volumne od kote 266,00 m n. v. naprej. Na grafikonu 3 je potrebno upoštevati, da krivulja do kote 263,50 m n. v. prikazuje polnjenje struge. Območje zadrževalnika I bi bilo trajno ojezereno do kote 269,00 m n. v. Pri tej koti zadrževalnik I vsebuje 1,212 milijona m³ vode. Ob poplavnih situacijah bi voda dosegla maksimalno koto 272,00 m n. v. Takrat bi prostornina zadržane vode znašala 2,725 milijona m³ vode.



Grafikon 3: Akumulacija zadrževalnika I

6.1.2 Prostornina zadrževalnika II

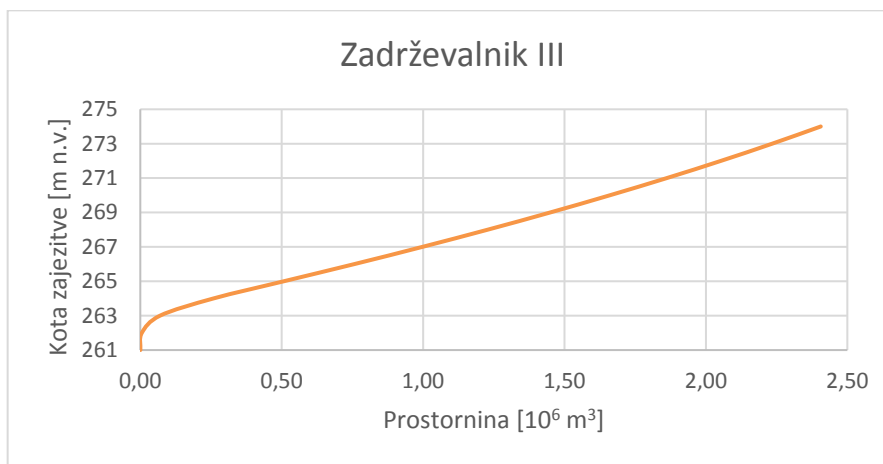
Zadrževalnik II ima podobno obnašanje kot zadrževalnik I. Razlika je v začetnem delu krivulje, saj zadrževalnik II leži izključno na ravninskem območju brez večjih depresij. Maksimalna količina zadržane vode pri koti zajezbe 272,00 m n. v. je 2,884 milijona m^3 vode. Kota pri kateri bi vzpostavili ravnovesje z zadrževalnikom I je 269,00 m n. v. Pri tej koti znaša prostornina 1,166 milijona m^3 vode.



Grafikon 4: Akumulacija zadrževalnika II

6.1.3 Prostornina zadrževalnika III

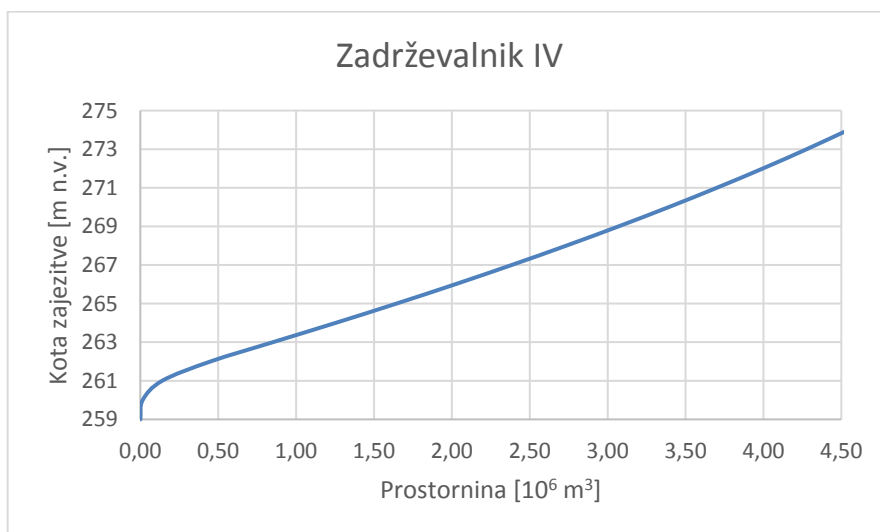
Začetni del krivulje ima podobno obnašanje kot zadrževalnik II. Izrazito ravninski svet in majhna povprečna razlika v absolutni nadmorski višini, ki znaša približno 2,50 m poskrbita, da je območje zadrževalnika III hitro v celoti poplavljeno. Krivulja zadrževalnika III od kote 268,00 m n. v. naprej, spremeni smer. Prirast prostornine zadržane vode se od te kote dalje zmanjšuje. Območje zadrževalnika III je iz vseh strani omejeno z nasipom, zato je prirast prostornine z vsakim dvigom kote zaježitve manjše, saj se zmanjšuje koristna prostornina znotraj zadrževalnika.



Grafikon 5: Akumulacija zadrževalnika III

6.1.4 Prostornina zadrževalnika IV

Obnašanje je podobno kakor v zadrževalniku III. Razlika so samo večji prirasti prostornine, saj ima zadrževalnik IV večjo površino v primerjavi z zadrževalnikom III.



Grafikon 6: Akumulacija zadrževalnika IV

7 ANALIZA PROSTORNIN NASIPOV

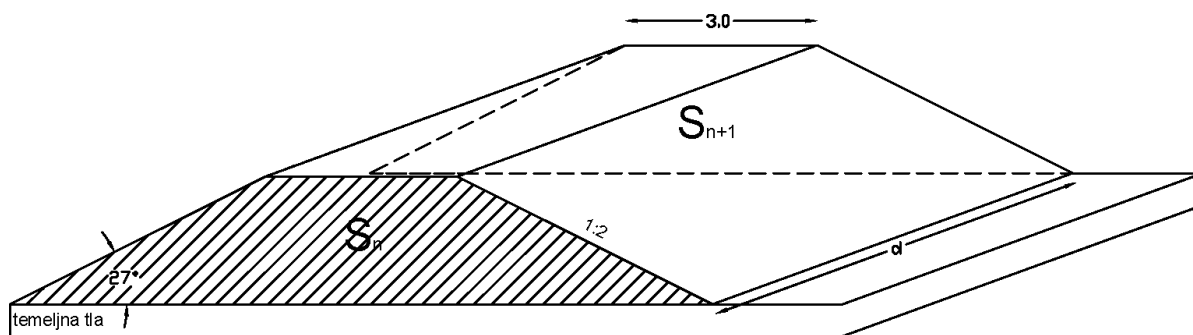
S pomočjo SAGA GIS programa smo izvozili podatke o koordinatah na mestih, kjer stoji nasip zadrževalnika Šempeter. Vrednosti točk v izbranem profilu nasipa so določene z x, y in z koordinatami. S programskim orodjem Excel smo določili skupne prostornine nasipov v odvisnosti od kote krone nasipa.

Geometrijski podatki nasipa:

Širina krone: 3 m

Naklon brežin: 1:2

Varnostno nadvišanje: 1 m



Slika 26: Geometrijski podatki nasipa

Nasipi zadrževalnika so predvideni na ravninskem delu Spodnje Savinjske doline. Najnižja kota obstoječega terena na mestu predvidenega nasipa znaša 259,10 m n. v., najvišja pa 271,90 m n. v. Medsebojna razdalja teh dveh točk znaša 2.990 m, kar pomeni 0,43 % naklon terena. Iz literature je zaslediti podatek o povprečnem padcu dna struge v Spodnji Savinjski dolini 0,32 % (Pristovšek, 1934).

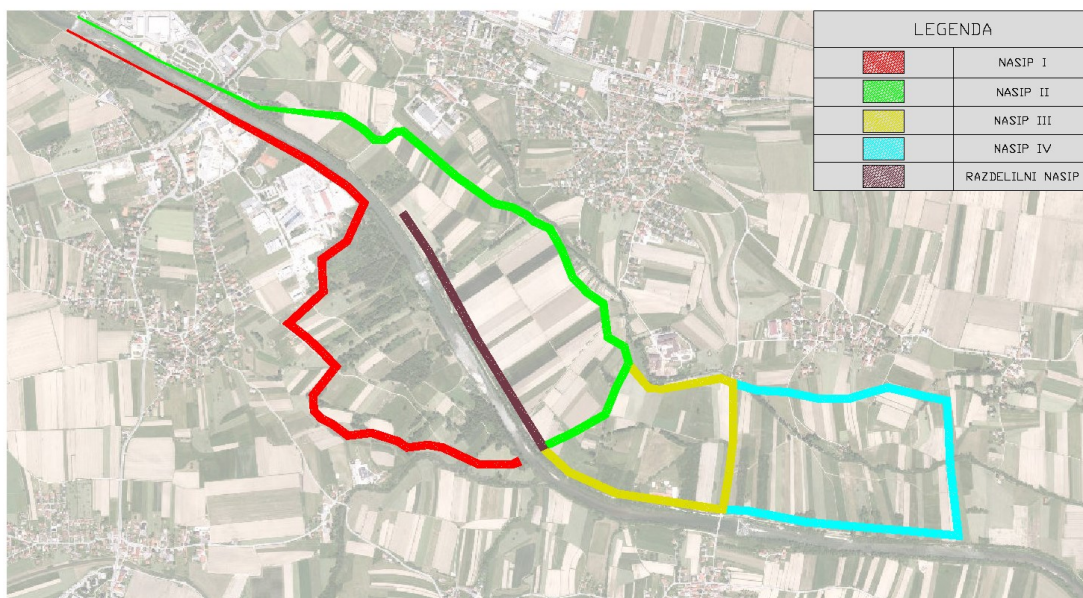
Prostornino nasipa v primeru večjih razlik medsebojnih prečnih prereзов izračunamo po enačbi (2). Enačba (2) predstavlja prostornino prisekane piramide. V našem primeru nasipi potekajo po ravninskem terenu, zato so razlike med prečnimi prerezi na medsebojni razdalji 40 m majhne. Glede na navedeno, lahko volumne nasipa računamo iz povprečnih vrednosti prečnih prereзов po enačbi (3).

$$V = \frac{d}{3} (S_n + S_{n+1} + \sqrt{S_n S_{n+1}}) \quad (2)$$

$$V = d \frac{S_n + S_{n+1}}{2} \quad (3)$$

d	Razdalja med profili
S_n	Površina n-tega profila
V	Prostornina nasipa

Na sliki 27 so prikazani situacijski poteki nasipov za zadrževanje visokih voda reke Savinje. Zunanji rob nasipa, oziroma rob na zračni strani zadrževalnika, poteka po točno določeni liniji. To linijo smo določili uvodoma, oziraje se na nasipe iz Državnega prostorskega načrta, parcelne meje in obstoječe poti.



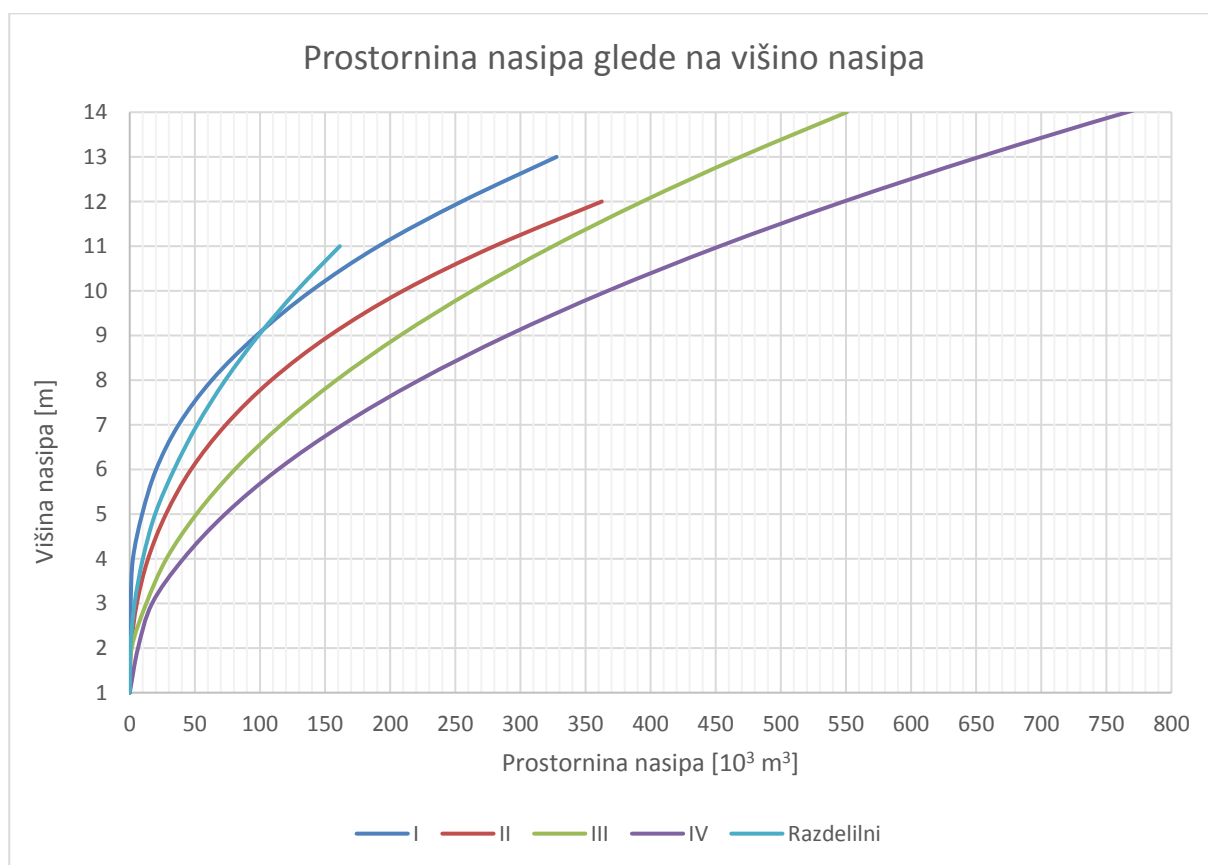
Slika 27: Pregledna situacija nasipov

Prostornine nasipov so dobljeni iz profilov, ki si sledijo na razdalji 40 m. Vrednosti so poračunane do kote zajezbe 274,00 m n. v. oziroma krone nasipa na 275,00 m n. v. V preglednici 3 so prikazane vrednosti prostornin posameznega nasipa glede na maksimalno višino nasipa.

Preglednica 3: Vrednosti prostornin nasipov

Višina nasipa [m]	Nasip [10^3 m^3]					Skupaj [10^3 m^3]
	I	II	III	IV	Razdelilni	
2	0,404	0,868	1,478	6,362	0,491	9,602
3	0,706	5,469	12,738	17,174	3,739	39,827
4	2,455	14,093	28,199	41,161	10,069	95,976
5	9,539	27,839	51,279	73,280	19,514	181,452
6	20,264	47,075	80,674	113,856	34,075	295,944
7	37,546	73,812	116,397	163,525	51,812	443,092
8	63,044	108,729	158,702	222,288	73,406	626,170
9	97,328	153,506	207,588	290,144	98,858	847,424
10	139,353	209,848	263,054	367,094	128,168	1107,517
11	191,045	279,963	325,102	453,138	161,334	1410,582
12	254,923	362,508	393,730	548,276	Nad koto 275 m n. v.	1559,437
13	327,796	Nad koto 275 m n. v.	468,939	652,507		1449,242
14	Nad koto 275 m n. v.		550,729	765,831		1316,560
15			Nad koto 275 m n. v.	888,250		888,250
16				1019,762		1019,762

Iz grafikona 7 in preglednice 3 je razvidno, da je z vsakim metrom nadvišanja nasipa, poraba nasipnega materiala večja. Prostornine nasipnega materiala so poračunane do zajeze pri koti 274,00 m n. v. Krivulje, ki prikazujejo odnos prostornina nasipa glede na višino nasipa, imajo eksponentno obliko. Količina nasipnega materiala, je pogojena s koto zajeze, kar bo merodajni podatek za dimenzioniranje zadrževalnikov. V nadaljni analizi je predstavljen primer z različno kombinacijo vrednosti iz preglednice 3. Primarna izbira je potrebna količina zadržane vode oziroma prostornina zadrževalnika. Na podlagi tega se določi še potrebne količine prostornin nasipov. Grafikon 7 služi za medsebojno primerjavo zadrževalnikov.



Grafikon 7: Prostornine nasipa glede na koto krone

7.1.1 Nasip zadrževalnika I

Za zagotavljanje poplavne varnosti se zgradi nasip na desni strani zadrževalnika I. Dolvodno se bo na nasip vezal objekt, na katerem bodo nameščene zapornice za upravljanje z zadrževalnikom I in II. Zaradi prostorske omejitve, bo na gorvodni strani v bližini industrijske cone potrebno zgraditi armirano betonski zid do nadmorske kote 273,00 m, ki pa ni predmet naloge. Na levi strani zadrževalnika, kot tudi reke Savinje, bo potekal nasip, ki bo obenem razdelil območje med zadrževalnikoma I in II. Del razdelilnega nasipa bo zgrajen iz valjanega betona, ki bo imel koto krone pri 269,00 m n. v. Na tem delu, bo prišlo do prelivanja poplavne vode iz zadrževalnika I v zadrževalnik II. Razdelilni nasip bo na gorvodni strani potrebno utrditi s skalometom, da ne bo prišlo

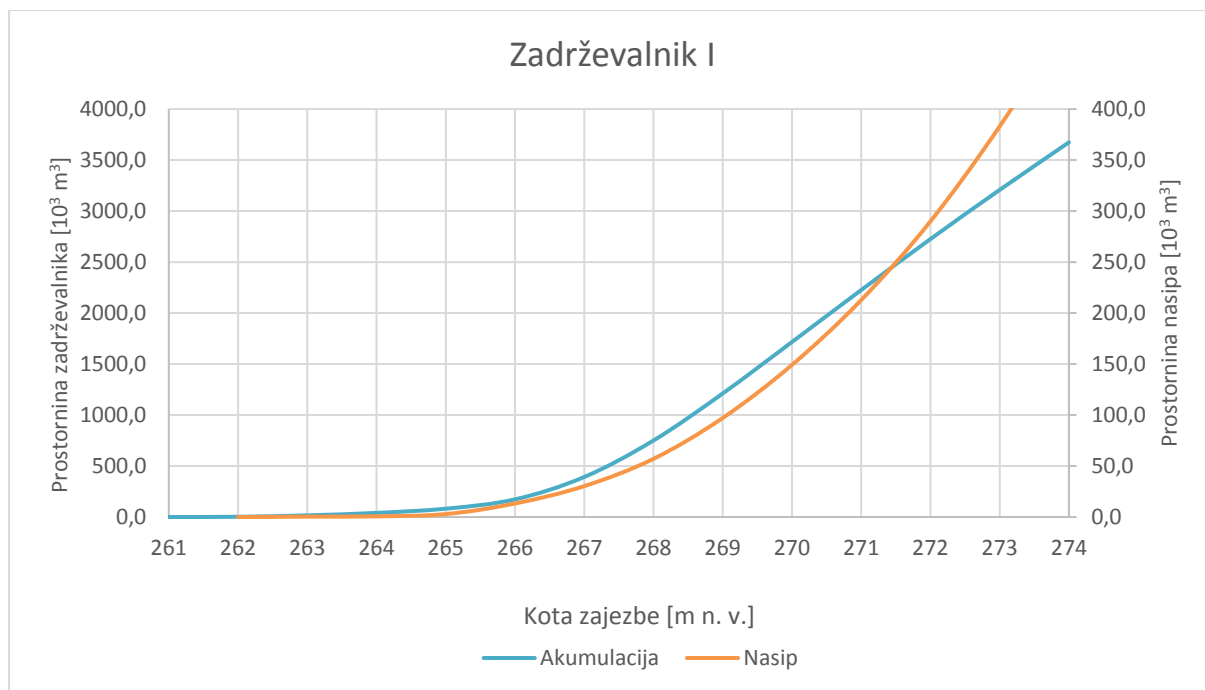
do erozije pregradnega telesa, saj se bo v primeru gladine nad 269,00 m n. v. voda naravno razlivala na območje zadrževalnika II.

Preglednica 4: Podatki o nasipu I

	Dolžina [m]	Maksimalna višina [m]	Prostornina [m ³]
Nasip I	2.632	8,90 (11,50*)	191.004
Razdelilni nasip	964	8,45	98.858

*Na iztočnem objektu

Na grafikonu 8 je prikazana primerjava med prostornino zadržane vode in prostornino nasipa. Leva vertikalna os predstavlja prostornino akumulacije in je za faktor 10 večja od prostornin nasipa, ki so prikazane na desni vertikalni osi. Za potrebe projektiranja je ta primerjava koristen podatek, saj lahko izberemo najbolj ugodno razmerje med količino zadržane vode in potrebnim materialom za nasipe. V primeru zadrževalnika I je razmerje najbolj ugodno do kote 271,50 m n. v. Prostornina nasipa do te kote predstavlja največ 10 % akumulacije. Poplavno varnost Spodnje Savinjske doline lahko zagotavljamo pri koti zajeze 272,00 m n. v. Od kote 269,50 m n. v. naprej, je dinamika prirasta prostornine nasipa večja od dinamike prirasta prostornine zadrževalnika. V idealnem primeru bi morali zadrževalnik dimenzionirati do prevojne točke krivulje nasipa, pri približno 269,50 m n. v., vendar moramo zagotoviti dovolj veliko prostornino zadržane vode.



Grafikon 8: Primerjava akumulacije in prostornin nasipa zadrževalnika I

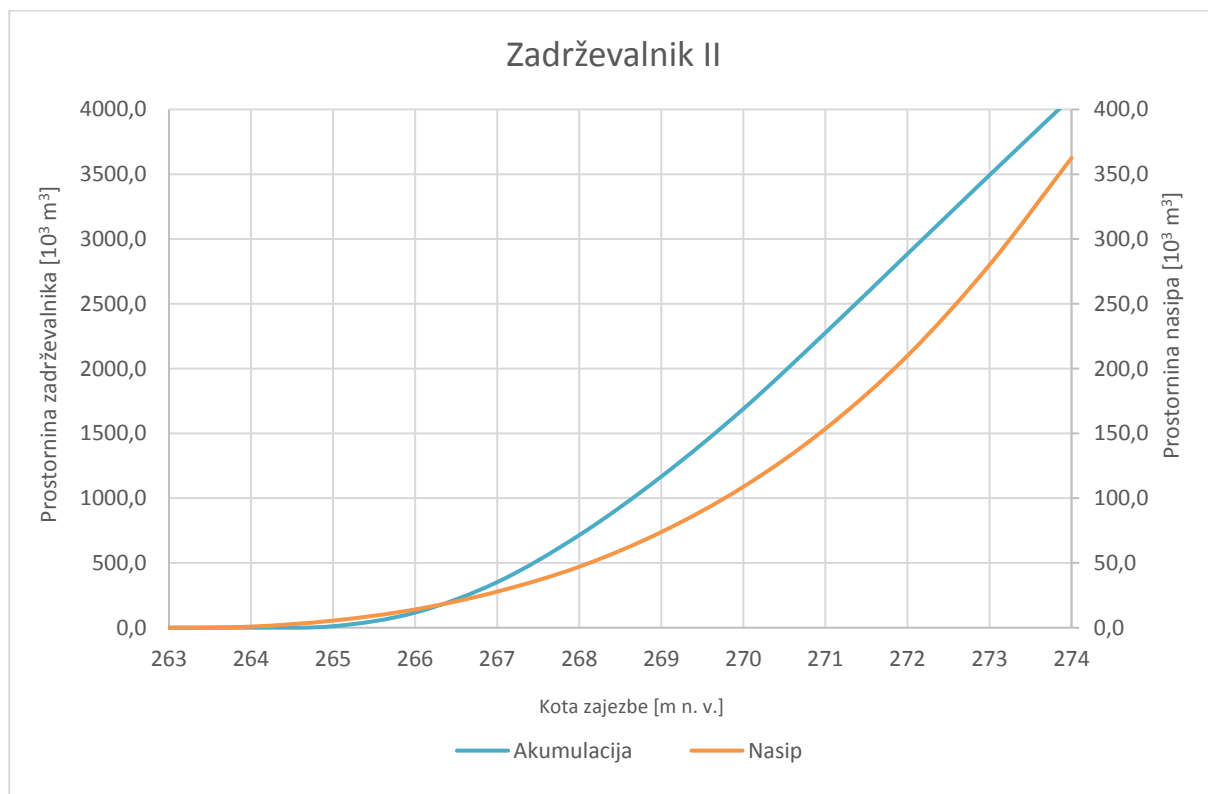
7.1.2 Nasip zadrževalnika II

Za zagotavljanje poplavne varnosti se zgradi nasip na levi strani zadrževalnika II. Dolvodno se bo na nasip vezal na regulacijski objekt. Na gorvodni strani so že zgrajeni nasipi ob reki Savinji, zato ne bodo potrebni večji posegi. Na levi strani bo zadrževalnik II zaključen z nasipom, ki bo delil zadrževalnik I in II, ki je na sliki 27 označen kot razdelilni nasip.

Preglednica 5: Podatki o nasipu II

	Dolžina [m]	Maksimalna višina [m]	Prostornina [m ³]
Nasip II	3.183	9,70	209.848

Na grafikonu 9 je razvidno ugodnejše razmerje med akumulacijo in prostornino nasipa. Opozoriti je potrebno, da za funkcioniranje zadrževalnika II potrebujemo tudi razdelilni nasip in del nasipa zadrževalnika I, katere količine prostornin nasipov so upoštevane pri obravnavi nasipi zadrževalnika I. Vseeno prostornina nasipa zadrževalnika II pri koti zajeze 272,00 m n. v. predstavlja približno 7 % akumulacije. Dinamika prirasta prostornine nasipa je do kote 272,50 m n. v. manjša, od dinamike prirasta prostornine zadrževalnika.



Grafikon 9: Primerjava akumulacije in prostornin nasipa zadrževalnika II

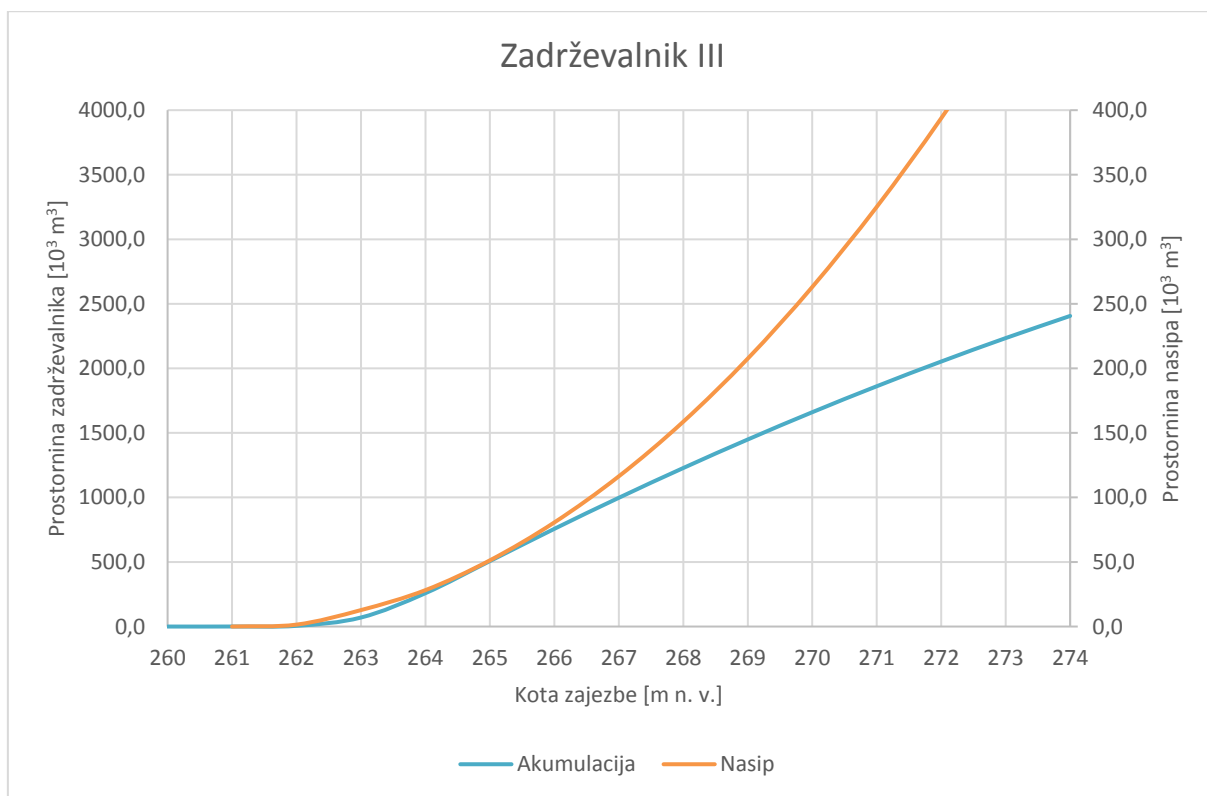
7.1.3 Nasip zadrževalnika III

Za zagotavljanje poplavne varnosti se zgradi nasip na levi strani zadrževalnika III, ki se nadaljuje prečno na strugo Savinje. Dolvodno se bo nasip vezal na regulacijski objekt. Na dolvodni strani je preko nasipa predvidena cestna povezava. Na tem delu znaša širina povozne berme 6,50 m. Na desni strani nasip sega največ 5 m v bližino reke Savinje. Na gorvodni strani bo nasip zadrževalnika III mejil na nasip zadrževalnika II.

Preglednica 6: Podatki o nasipu III

	Dolžina [m]	Maksimalna višina [m]	Prostornina [m ³]
Nasip III	1.645	6,60	158.702

Zadrževalnik III ima izmed vseh zadrževalnikov najmanjšo površino. Do kote zajeze 266,00 m n. v. je razmerje med akumulacijo in prostornino nasipa približno 10. Od te kote naprej se prične razmerje spreminjati na način, da je v primeru dviga gladine potrebno več nasipa, zaplavni prostor pa se zmanjšuje. Pri koti zajeze 267,00 m n. v. predstavlja prostornina nasipa že 11,6 % prostornine akumulacije.



Grafikon 10: Primerjava akumulacije in prostornin nasipov zadrževalnika III

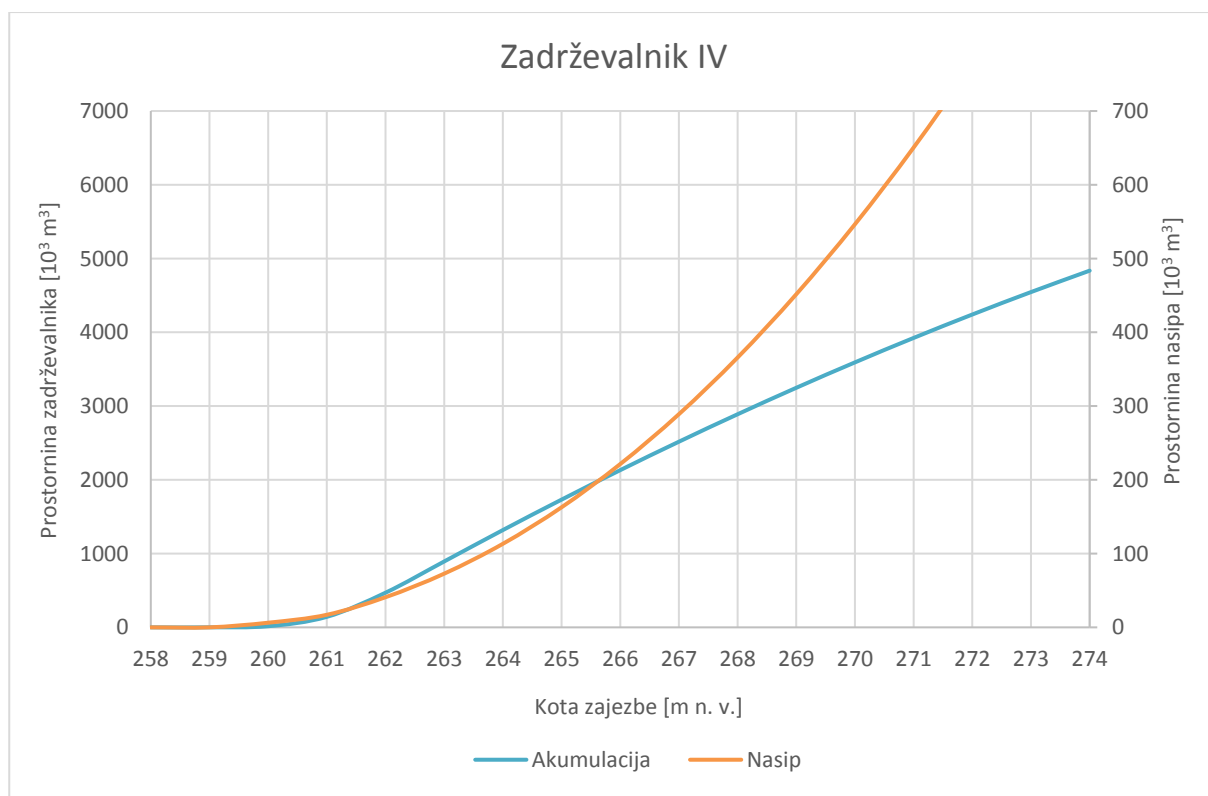
7.1.4 Nasip zadrževalnika IV

Za zagotavljanje poplavne varnosti se zgradi nasip na levi strani zadrževalnika IV, ki se nadaljuje prečno na strugo Savinje. Dolvodno se bo nasip vezal na regulacijski objekt. Na desni strani nasip sega največ 5 m v bližino reke Savinje. Na gorvodni strani bo zadrževalnik IV mejil na nasip zadrževalnika III.

Preglednica 7: Podatki o nasipu IV

	Dolžina [m]	Maksimalna višina [m]	Prostornina [m ³]
Nasip IV	2.270	6,90	221.350

Zadrževalnik IV bo imel maksimalno koto zajeze pri 265,00 m n. v. V tem primeru znaša razmerje med porabo nasipnega materiala in akumulacije 9,4 %. Od kote na približno 264,00 m n. v. naprej, se dinamika prirasta prostornine nasipa povečuje hitreje od dinamike prirasta prostornine zadržane vode. Za projektiranje nasipov je potrebno koto zajeze predvideti do maksimalno 266,00 m n. v.



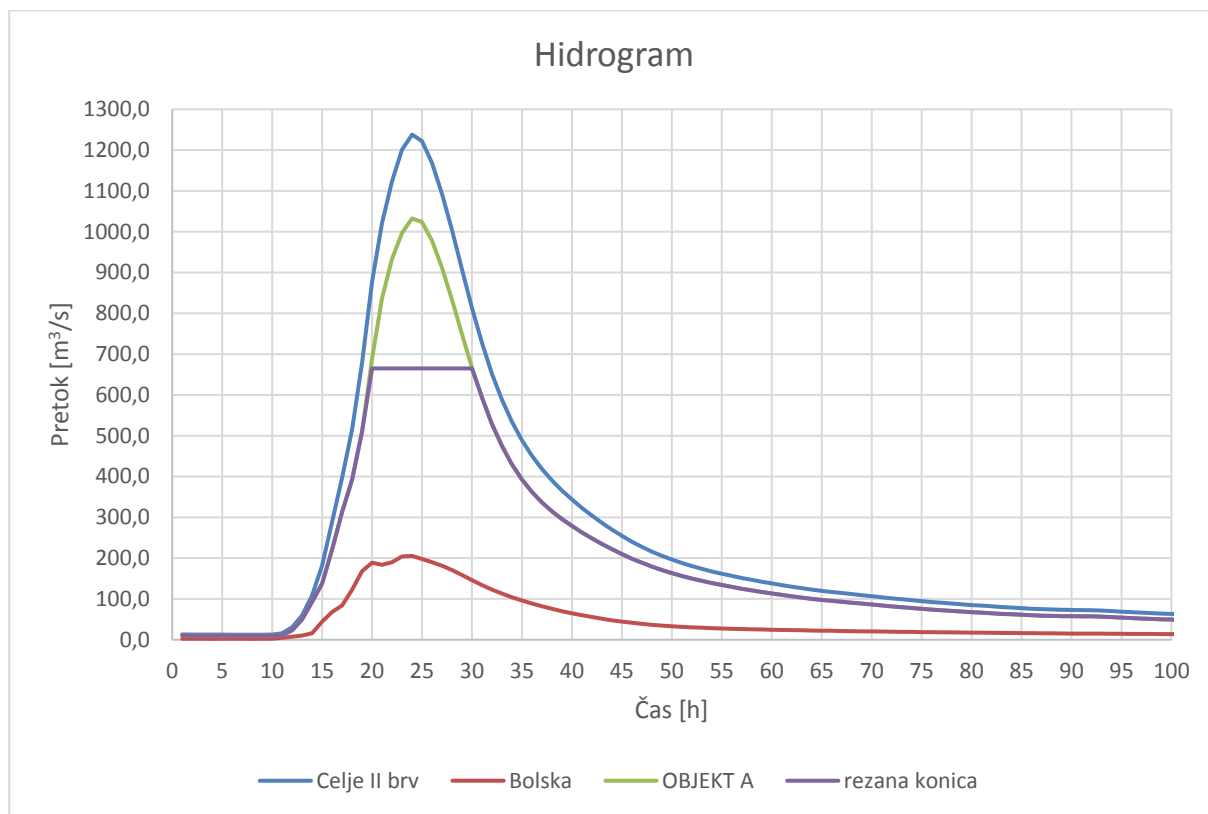
Grafikon 11: Primerjava akumulacije in prostornin nasipov zadrževalnika IV

8 HIDRAVLIČNA ANALIZA

Zasnova sistema zadrževalnikov temelji na hidravličnem preračunu vtočnih in iztočnih objektov ter gladinskemu stanju v odvisnosti od časovne komponente za visokovodni val s konico Q_{100} . Obtežni primer je določen na osnovi hidrograma merjenega na vodomerni postaji Celje II iz leta 1990. Del prostornine visokovodnega vala bo preko vtočnih objektov preusmerjen v zadrževalnik Šempeter in zadržan do ustreznih znižanj pretokov v glavni strugi. Funkcija zadrževalnika Šempeter je sploščitev in zadrževanje vodnega vala in naknadna počasna evakuacija vode po strugi Savinje, ki dopušča maksimalni pretok $870 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.1 Izbrani hidrološki podatki

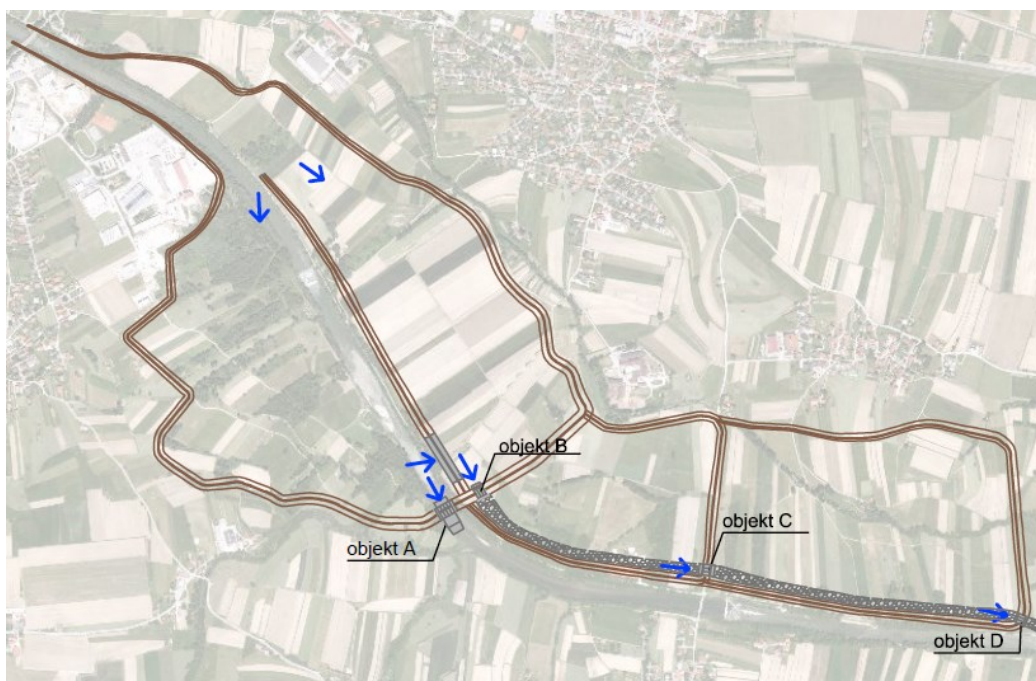
Na osnovi 48 urnega hidrograma 100 letne povratne dobe reke Savinje, merjenega na vodomerni postaji Celje II iz leta 1990, je določena kapaciteta zadrževalnika Šempeter. Pretočna zmogljivost vtočnih in iztočnih objektov zadrževalnika Šempeter, pa je določena na osnovi hidrograma Svinje pred vtokom Bolske. Največji pretok pri 100 letni vodi na mestu Celje II brv je znašal $1.210 \text{ m}^3/\text{s}$. Z rezanjem konice visokovodnega vala, dosežemo ustrezne pretoke v strugi Savinje. Pretok, ki ne ogroža naselij dolvodno od pritoka Bolske, znaša $870 \text{ m}^3/\text{s}$. Vrednost je privzeta iz predhodne študije, ki jo je naredilo podjetje Hidrosvet d.o.o. leta 2011. Savinja s pretoki nad to vrednostjo prestopi strugo in poplavlja kmetijske ter naseljene površine Celjske kotline. Od hidrograma Celje II iz leta 1990 smo odšteli vrednosti pretokov reke Bolske, da smo dobili pretoke, ki so ustrezni za dimenzioniranje prelivnih objektov na zadrževalniku Šempeter. Upoštevali smo omejitev, da skupni pretok na območju Celja ne presega $870 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta količina bo kontrolirana na glavnem iztočnem objektu A zadrževalnika Šempeter. Določili smo jo tako, da smo od vrednosti $870 \text{ m}^3/\text{s}$ odšteli konico pretoka na reki Bolški. Posledično je določen največji dovoljeni pretok na regulacijskem objektu A zadrževalnika Šempeter, ki znaša $665 \text{ m}^3/\text{s}$. Ob upoštevanju omenjenih robnih pogojev, moramo na podlagi hidrograma 100 letne povratne dobe reke Savinje, merjenega na vodomerni postaji Celje II iz leta 1990, v zadrževalniku Šempeter zadržati 8,40 milijona m^3 vode. Vsota kapacitet posameznih zadrževalnikov na podlagi hidrograma rezane konice znaša 8,38 milijona m^3 vode in je dosežena v desetih urah. Največji pretok, ki je ustrezen za dimenzioniranje objektov znotraj zadrževalnika Šempeter smo določili tako, da smo od konice rezanega hidrograma odšteli največji dovoljeni pretok, ki ga lahko prevajamo preko glavnega objekta na reki Savinji. Ta znaša $360 \text{ m}^3/\text{s}$ in bo uporabljen na objektih, ki so dimenzionirani kot talni izpusti – prepusti.



Grafikon 12: Obravnavani hidrogrami na analiziranem območju

8.2 Določitev pretočnega prereza v profilu jezovnih zgradb

Vsi objekti zadrževalnika Šempeter so dimenzionirani na 100 letne vode po kriteriju n-1 (eno polje je blokirano). V primeru ekstremnih dogodkov, kot je 500 letna voda, so aktivna vsa prelivna polja. Prelivni objekt obravnavamo kot gibljivi jez s spremenljivo koto zgornje vode. Na dnu objekta se nahaja fiksni prelivni prag. Gladina vode v akumulaciji se uravnava z gibljivimi zapornicami. Ob popolnem odprtju zapornic bo omogočena največja pretočnost, ki jo je dolvodno struga Savinje sposobna prevajati. Za izračune prelivne sposobnosti pravokotnega prelivnega polja smo uporabili različne enačbe. Pri znanih pretokih visokovodnega vala smo določili prelivne višine. Število polj smo določili glede na velikost pretoka in širino obstoječe struge. V času visokovodnega vala bo potrebno aktivno regulirati dotoke v posamezne zadrževalnike.



Slika 28: Situacija objektov zadrževalnika Šempeter

8.2.1 Iztočni objekt A

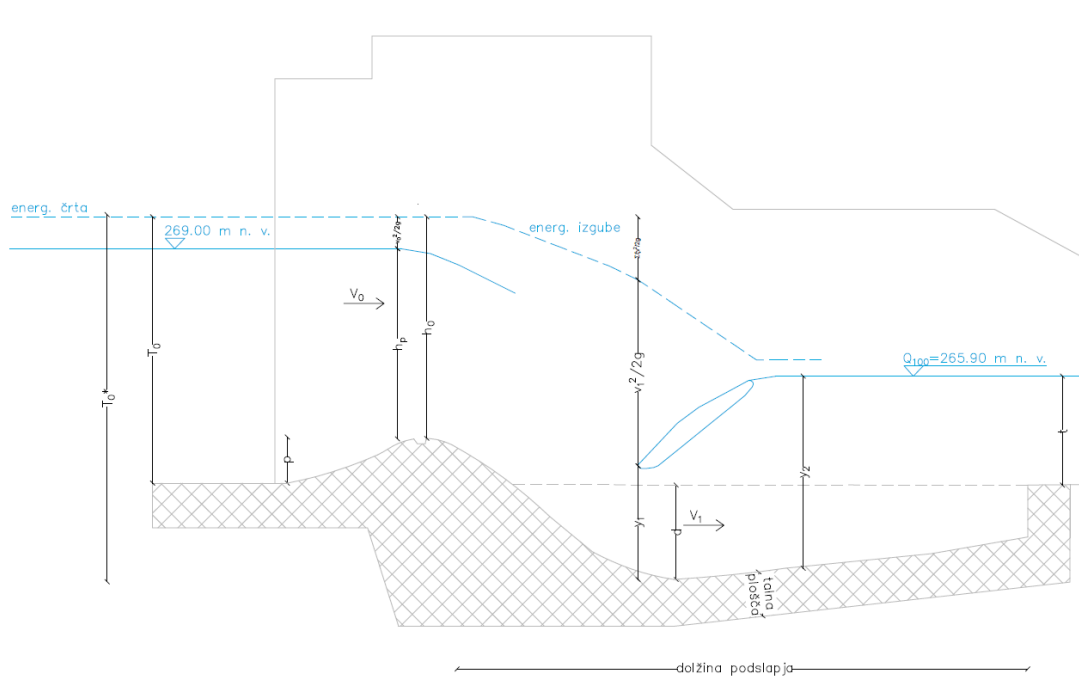
Lokacija prelivnega objekta se nahaja na obstoječi strugi Savinje, preden se Bolska izliva v Savinjo. Povprečna širina naravne struje na predvideni lokaciji objekta A znaša 48 m. Glede na dane pogoje, smo se odločili za objekt s tremi aktivnimi in enim varnostnim poljem. Širina posameznega polja znaša 10 m. Konzumpcijsko krivuljo smo določili z enačbo za brezvakuumski preliv. Prelivno polje je del hidrotehničnega objekta, na katerih s pomočjo zapornic zaježimo vodni tok ali ga kontrolirano prevajamo dolvodno. Predvidene so segmentne zapornice z zaklopko. Kota preliva je nad gladino spodnje vode. Ta se preko prelivnega hrbta zaključuje v podslapju, kjer se zagotovi, da deroči tok, ki je nastal preko prelivnega hrbta preide v mirni tok. Učinkovito disipacijo energije lahko dosežemo z dobro razvitim vodnim skokom. Gradbeni ukrepi za učinkovito dosego tega cilja so poglobljeno podslapje, zaključni prag ali razbijači. Vzдолžni prerez objekta A je prikazan v prilogi B.

Račun preliva

Preliv dimenzioniramo pri pogoju, da je prelivanje prosto, brez upoštevanja vpliva zapornic. Razmerje H/H_p določuje, ali je potrebno upoštevati vpliv hitrosti gorvodno od jezovne zgradbe. Pogoju, da moramo upoštevati tudi hitrosti dotelejajoče vode na objekt v_0 se glasi $H/H_p < 1,33$, kar pomeni, da upoštevamo tudi hitrost v_0 . Na profilu pred prelivnim pragom (4) in na mestu praga (5) smo zapisali Bernoullijevo enačbo. ΔH_{pr} predstavlja energijske izgube na pragu.

$$H_0 = H_p + \frac{v_0^2}{2g} \quad (4)$$

$$H_0 = H_{pr} + \frac{v_{pr}^2}{2g} + \Delta H_{pr} \quad (5)$$



Slika 29: Prerez preliva z oznakami uporabljenih v računih

Ker v našem primeru gladina spodnje vode vpliva na prelivanje, moramo za izračun prelivne višine uporabiti enačbo (6), ki nam da manjše pretoke. Velikost pretokov zavisi od stopnje potopljenosti preliva.

$$Q = \sigma_p m B \varepsilon \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (6)$$

Izbrana zasnova brezvakumskega profila krivočrtnega obrisa se zelo uporablja pri gradnji pregrad. Pretočni trakt sestoji iz preliva, prelivne drče in podslapja. Krona predstavlja krožni del preliva, ki se preko prehodnice nadaljuje v horizontalni del. Za prelivni prag smo vzeli brezvakumski profil po predlogi Creagerja. Za krivočrtno obliko preliva velja koeficient pretoka m enak 0,4956. V našem primeru je za izračun prelivne višine pri potopljenem prelivanju potrebno upoštevati koeficient potopljenosti σ_p . Δ v preglednici 8 predstavlja razliko med koto spodnje vode in koto praga. Glede na izračunan H_0 in konstanten Δ , smo v zadnji iteraciji določili σ_p z vrednostjo 0,972.

Preglednica 8: Koeficient potopljenosti σ_p za Creagerjev preliv (Agroskin, 1969)

Δ/H_0	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
σ_p	1	0,998	0,996	0,991	0,983	0,972	0,957	0,947	0,933	0,850	0,760	0,700	0,590	0,410	0

Kontrakcija vodnega curka zaradi zožitve

Stebri, ki delijo prelivna polja zmanjšujejo pretočno sposobnost preliva, ker pride do izgub pri obtekanju stebra. Posledično pride do kontrakcije vodnega curka na dolvodni strani preliva. Za

simetrični steber preko vzdolžne osi, katerega vzdolžni prerez na gorvodni strani se iz radija zaključi v konusno obliko, velja koeficient $a=0,06$. Izračunan koeficient izgub določa enačba (7), kjer b predstavlja širino prelivnega polja, H_0 pa energijsko višino. V zadnji iteraciji koeficient ε znaša 0,980.

$$\varepsilon = 1 - a \frac{H_0}{b + H_0} \quad (7)$$

Najprej smo iz enačbe (7) izračunali H_0 . Nato smo iz zgornjih enačb izrazili H_p in z iteracijami določili $H_{p\text{ dej}}$. Računska vrednost $H_{p\text{ dej}}$ znaša 4,69 m, $H_{0\text{ dej}}$ 5,83 m in hitrost dotoka $v_{0\text{ dej}}$ 4,73 m/s.

Račun podslapja

Prepadajoči curek preko preliva prehaja najprej v deroči tok, ko pa se del energije porabi preide tok preko vodnega skoka v ustrežni režim, kot ga narekujejo razmere dolvodno (Steinman, 1999). S tehničnimi ukrepi, kot sta prag in (poglobljeno) podslapje dosežemo, da se disipacija energije zgodi čim bližje objektu.

Prva konjugirana globina y_1 se nahaja za doskokom v podslapje in se izračuna z iteracijami po enačbi (8). T_0 je energijska višina glede na primerjalno ravnino na nivoju osnovne struge in predstavlja višino prelivnega praga p , katera v našem primeru znaša 1,80 m ter energijsko višino $H_{0\text{ dej}}$. Hitrostni koeficient ρ ima vrednost 0,98.

$$y_1 = \frac{q}{\rho \sqrt{2g(T_0 - y_1)}} \quad (8)$$

$$T_0 = p + h_p + \frac{v_0^2}{2g} \quad (9)$$

Učinkovito disipacijo dosežemo z dobro razvitim vodnim skokom. Rezultat ocenimo na podlagi Froudovega števila, ki se izračuna po enačbi (10). Froudovo število znaša 2,18, kar predstavlja slaboten vodni skok (Steinman, 1999).

$$Fr = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} \quad (10)$$

Drugo konjugirano globino smo določili na podlagi enačbe vodnega skoka (11).

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1 \right) \quad (11)$$

$$y_2 \sigma \leq t \quad (12)$$

Pogoj (12) narekuje, da mora biti globina spodnje vode t večja od druge konjugirane višine povečane za varnostni koeficient $\sigma=1,05$. V našem primeru pogoj ni izpolnjen, ker je vrednost druge

konjugirane višine ($y_2=5,75 \text{ m}$) večja od višine spodnje vode ($t=3,75 \text{ m}$), zato izvedemo poglobitev podslapja.

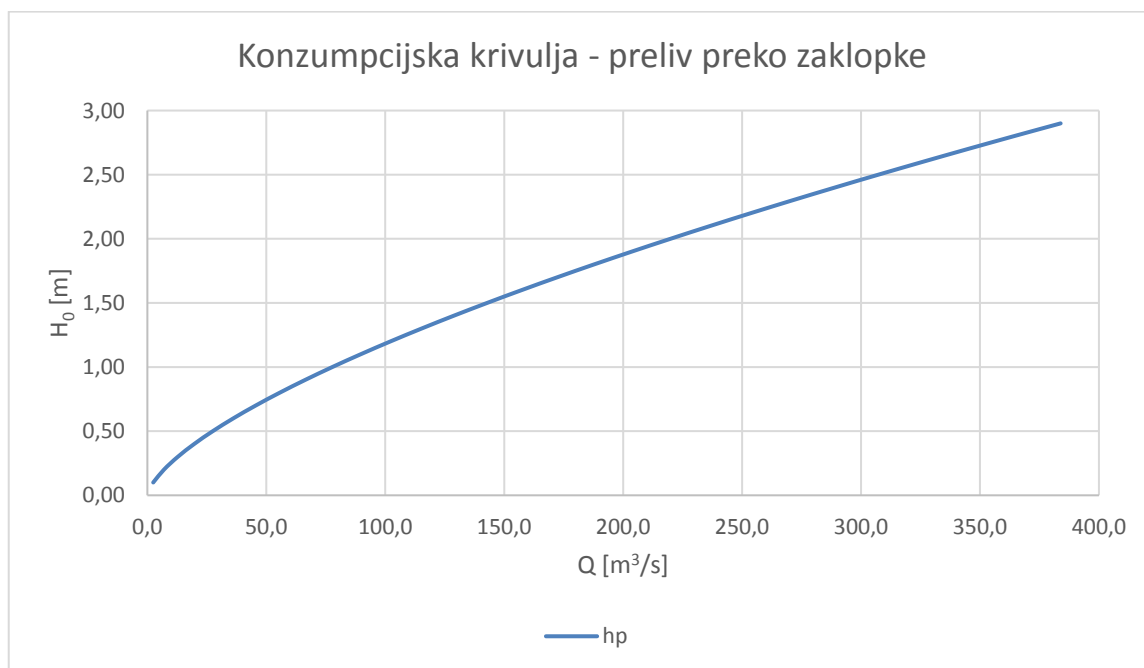
Poglobljeno podslapje

Ker pogoj (12) ni izpolnjen, moramo za dosego učinkovitega vodnega skoka poglobiti podslapje. Korigirana energijska višina glede na dno podslapja T_0^* je povečana za globino podslapja d , katera znaša 3,60 m. Ponovljeni račun po enačbah (8-12) z uporabo T_0^* in kontrolo pogoja (12) dobimo ustrezno dimenzionirano podslapje. Pogoj (12) narekuje, da mora biti globina spodnje vode t in poglobitev podslapja d večja od druge konjugirane višine ($y_2=7,02 \text{ m}$) povečane za varnostni koeficient. Pogoj je izpolnjen. Dolžina podslapja meri 23,0 m. Prečni prerez objekta je prikazan v prilogi B.

Preliv preko zaklopke

V času nizkih vodostajev bo na objektu A, ki se nahaja na strugi Savinje zagotovljen stalni pretok preko zaklopke. Pretok preko zaklopke smo računali kot prosto prelivanje po enačbi (13). Največja dovoljena višina prelivanja, da ne vpliva na največjo koto zajezbe gorvodno je 2,90 m. Ker je izpolnjen pogoj $H/H_p > 1,33$, dotekajočo hitrost zanemarimo in privzamemo $H_0=H_p$. Pri tej prelivni višini znaša največji pretok $384 \text{ m}^3/\text{s}$. Širina prelivanja je manjša od širine polja, saj je potrebno upoštevati zožitev odprtine zaradi bočnih ščitov. Dejanska širina prelivnega polja znaša 9,00 m. Vrednost prelivnega koeficienta m pri odprti zaklopki znaša 0,65 (Steinman, 1999).

$$Q = mB\sqrt{2g}H_0^{3/2} \quad (13)$$



Grafikon 13: Konzumpcijska krivulja pri prelivanju preko zaklopke na objektu A

Debelina talne plošče

Zaradi razlike vodnih potencialov, ki nastanejo v primeru različnih gladinskih stanj na gorvodni in dolvodni strani zapornice, na temeljno ploščo delujejo vzgonske sile. Merodajno stanje za dimenzioniranje debeline talne plošče je stanje v času zaprtih zapornic in največjo koto zaježitve na gorvodni strani. V praksi se taka situacija pojavi v času remonta zapornic ali podslapja, ko mora biti dolvodna stran suha. V našem primeru je višina vode na gorvodni strani 10,50 m. Da objekt kljubuje vzgonskim tlakom, moramo izvesti ploščo debeline 1,50 – 2,50 m. Vrednost je dobljena iz ravnovesnih enačb, pri čemer smo uporabili prostorninsko težo nearmiranega betona 24 kN/m^3 in težo vode 10 kN/m^3 . Največjo debelino izvedemo na prelivnem delu pod segmentno zapornico, nato proti koncu podslapja zmanjšujemo debelino. Zaradi rezultante pritiska vzgona, ki ne deluje vertikalno, je potrebno preveriti tudi pogoj proti prevrnitvi.

8.2.2 Vtočno iztočni objekti B, C in D

Za prelivne objekte B, C in D smo izbrali prepust pravokotne oblike z nameščenimi zapornicami v osrednjem delu. Objekti so dimenzionirani na 100 letne vode po kriteriju, da obratujejo vsa polja. Za razliko od regulacijskega objekta A, smo se odločili, da zaradi manjše pogostnosti pojava ekstremnih voda, ne predvidimo dodatnega polja, ki bi bilo aktivno le v primeru 500 letnih poplavnih dogodkov. Hidravlični račun je sestavljen iz kombinacij delno/polno nepotopljenega in potopljenega vtočnega/iztočnega dela. V različnih primerih je potrebno upoštevati lokalne izgube na vtoku ali iztoku. V našem primeru prelivanja preko nasipa nismo dovolili, saj lahko pride do poškodb pregradnega objekta. Dimenzije vtočne odprtine morajo prevajati konico, ki bo zadržana v zadrževalniku Šempeter.

8.2.2.1 Objekt B

Prelivni objekt B ima dve aktivni polji. Objekt B je del nasipa II na dolvodni strani (slika 28). Navezuje se na nasip na levi in desni strani. Dolžina AB dela objekta B, predstavlja širino pete nasipa. Ta meri 26,40 m. Na sredini prepusta so predvidene kotalne tablaste zapornice dimenzij B/H je 8,50/3,00 m. Na vtoku in iztoku je izvedena utrjena struga iz kamna v betonu. Na gorvodni strani so predvideni krilni zidovi, ki imajo funkcijo usmerjanja toka v prepust in preprečevanja erozije nasipa na stiku objekt – nasip. Vzdolžni prerez objekta je prikazan v prilogi C.

8.2.2.2 Objekt C

Prelivni objekt C ima dve aktivni polji. Objekt C je del nasipa III na dolvodni strani in povezuje zadrževalnika III in IV (slika 28). Navezuje se na nasip na levi in desni strani. Preko nasipa bo speljana krajevna cesta v skupni širini 6,50 m. Dolžina AB dela objekta C, predstavlja širino pete nasipa. Ta meri 22,40 m. Na sredini prepusta so predvidene kotalne tablaste zapornice dimenzij B/H je 11,00/3,40 m. Na vtoku in iztoku je izvedena utrjena struga iz kamna v betonu. Na gorvodni strani so predvideni krilni zidovi, ki imajo funkcijo usmerjanja toka v prepust in preprečevanja erozije nasipa na stiku objekt – nasip. Vzdolžni prerez objekta je prikazan v prilogi D.

8.2.2.3 Objekt D

Prelivni objekt D ima dve aktivni polji. Navezuje se na nasip IV na levi in desni strani (slika 28). Funkcija iztočnega objekta D je zagotavljanje kontroliranega izpusta zadržane vode nazaj v reko Savinjo. Dolžina AB dela objekta D, predstavlja širino pete nasipa. Ta meri 20,10 m. Na sredini prepusta so predvidene kotalne tablaste zapornice dimenzij B/H je 8,50/3,00 m. Na vtoku in iztoku je izvedena utrjena struga iz kamna v betonu. Na gorvodni strani so predvideni krilni zidovi, ki imajo funkcijo usmerjanja toka v prepust in preprečevanja erozije nasipa na stiku objekt – nasip. Vzdolžni prerez objekta je prikazan v prilogi E.

8.2.2.4 Dimenzioniranje vtočno iztočnih objektov B, C in D

Za potrebe prevajanja pretoka določenega s hidrogramom, smo dimenzionirali škatlasti prepust na objektu B, C in D. Konica pretoka Q_{100} znaša 365 m³/s. Dolžino prepusta smo določili glede na širino nasipa, ki deli zadrževalnike. Padec dna prepusta znaša 0,5 %. Koeficient izgub na vtoku znaša 0,85, na iztoku pa 0,92. Manningov koeficient hrapavosti je enak 0,02. Gladine spodnje in zgornje vode so določene iz obratovalne sheme zadrževalnika Šempeter. Dotočno hitrost smo zaradi poenostavitve zanemarili. Prečni prerezi objektov so prikazani v prilogah C, D in E,

Najprej smo izračunali pretok pri toku s prosto gladino po enačbi (14). Rezultat je pokazal, da pri največjem pretoku na objektih ob izbrani osnovni dimenziji enega polja B/H je 8,50/3,00 m, ne pride do toka s prosto gladino, saj znaša izračunan največji dovoljen pretok 306,6 m³/s, kar je manj od Q_{100} .

$$Q = \frac{1}{n} \sqrt{I} R^{2/3} \quad (14)$$

Največji dovoljeni pretok pri izbranih dimenzijah in koti zajeze, ki ga pogojuje vtočna odprtina znaša 403,40 m³/s. Rezultat je dobljen z enačbo (15), pri kateri smo upoštevali koeficient izgub na vtoku $\mu_{vt}=0,74$ in višino h_v , ki meri od polovice višine prepusta do kote zajeze na gorvodni strani.

$$Q = \mu_{vt} S \sqrt{2gh_v} \quad (15)$$

Ker se vzdolž prepusta tok vode analizira kot tok pod tlakom in na dolvodni strani na pretok vpliva višina spodnje vode, za izračun hitrosti uporabimo enačbo (16). V enačbi (16) upoštevamo koeficient izgub na vtoku $\xi_{vt}=0,85$ in iztoku $\xi_{izt}=0,92$. Hitrost skozi prepust znaša 7,18 m/s. Ob taki hitrosti je največji dejanski prepust 366,20 m³/s.

$$H + H_{zg} + IL = \xi_{vt} \frac{v^2}{2g} + \xi_{izt} \frac{v^2}{2g} + I_E L \quad (16)$$

$$I_E = \frac{(vn)^2}{R^{3/4}} \quad (17)$$

Preglednica 9: Karakteristike prelivnih objektov B, C, in D

		Objekt		
		B	C	D
Kota zgornje vode	m n. v.	272,00	267,00	265,00
Kota spodnje vode	m n. v.	267,00	265,00	259,80*
Kota terena gorvodno	m n. v.	264,50	262,50	259,90
Kota terena dolvodno	m n. v.	264,30	262,20	259,80
Dolžina izpusta (prepusta)	m	26,40	22,40	20,10
Višina prepusta	m	3,00	3,40	3,00
Širina polja	m	8,50	11,00	8,50
Število polj		2	2	2
Največja hitrost toka	m/s	7,17	4,89	7,33
Dej. maks. pretok skozi prepust	m ³ /s	365,70	365,50	373,70
Maks. pretok s prosto gladino	m ³ /s	306,60	499,70	306,60
*Kota Savinje pri pretoku 490 m ³ /s. Pri Q ₁₀₀ je 261,90 m n. v.				

8.2.3 Dimenzioniranje povezovalnega kanala

Med objektoma B in C ter C in D smo predvideli trapezni kanal, ki bo služil urejenemu dotoku in iztoku vode v zadrževalniku. Kanal se nahaja ob nasipu na mokri strani zadrževalnika. Kanal smo dimenzionirali na pretok $Q_{\max}=360 \text{ m}^3/\text{s}$ in hitrost $3,0 \text{ m/s}$, ki ob upoštevanju varnosti ustreza hitrostim na prelivnih objektih. Nagib brežin trapeznega kanala znaša 1:2. Manningov koeficient hrapavosti je 0,025, naklon struge pa 1,0 %. Kritična berzdimenzijska strižna napetost θ_{kr} pri računih, ko uporabljamo $Q_{\max}$, znaša 0,05. S pomočjo enačb (18-21) smo določili potrebni prerez struge. Globina struge z varnostnim nadvišanjem 0,50 m znaša 2,40 m, širina pa 23,40 m.

$$Q = v_{\max} S \quad (18)$$

$$v_{\max} = \frac{1}{n} \sqrt{I} R^{2/3} \quad (19)$$

$$S = PR \quad (20)$$

$$P = bh + mh^2 \quad (21)$$

Dno struge bo grajeno iz nasutega materiala. V bližini prelivnih objektov bo potrebno izvesti kamen v betonu, da bo preprečena erozija v okolici temeljne plošče objekta. Parametra zrnastostne krivulje d_m in d_{90} smo izračunali po enačbah (22-23). Enačba (22) se imenuje Meyer - Peter - Müllerjeva enačba in temelji na poizkusih premeščanja rinjenih plavin (Mikoš, 2000). Ustreza padcem dna struge med 0,04 % in 2,00 %. Zahteva je, da ne pride do premeščanja materiala, zato je potrebo izvesti umetno

posteljico iz skalometa. Z uporabo enačb smo določili srednji premer zrna d_m , ki znaša 223 mm in premer zrna d_{90} , ki ustreza 90 % presejku, to je 75 mm.

$$\theta_{kr} = \frac{RI}{(S-1)d_m} \quad (22)$$

$$n = \frac{d_{90}^{1/6}}{26} \quad (23)$$

Iztočni kanal od objekta D do struge Savinje je načrtovan vzporedno s strugo Savinje. Širino kanala smo določili iz razmerja pretokov in širine glavne struge Savinje $Q_{iztoka} : Q_{struge} = B_{iztoka} : B_{struge}$. V času odprtih zapornic na objektu D pretoki v strugi Savinje ne bodo večji od 490 m³/s. Kota gladine v strugi Savinje pri pretoku 490 m³/s znaša 259,80 m n. v. Največji možen pretok na objektu D je 360 m³/s. Širina naravne struge Savinje na območju objekta D dolvodno je približno 50 m. Potrebna širina natočnega kanala znaša 35 m. Sodelujoča širina natoka in struge Savinje dolvodno od objekta D meri 85 m in se jo izvede v dolžini približno 155 m oziroma do prvega radija reke Savinje, kot je označeno na prilogi A.

8.3 Obratovalna shema

Za doseg učinkovitega upravljanje zadrževalnika bo potrebna natančna hidrološka napoved, ki bo podala ustrezne ukrepe na prelivnih objektih. Z neustreznimi manevri na prelivnih objektih lahko ogrozimo stanje dolvodno. Zadrževalnik Šempeter smo dimenzionirali na podlagi referenčnega hidrograma, ki je opisan v poglavju 8.1. V tem primeru smo predvideli naslednji potek polnjenja.

Normalno stanje

- Zadrževalnik I trajno ojezeren do kote 269,00 m n. v. Preko zaklopk zagotavljamo naravni pretok reke Savinje oziroma vsaj pretoke, ki so potrebni za biološki minimum dolvodno.

Hidrološka napoved na podlagi hidrograma v poglavju 8.1

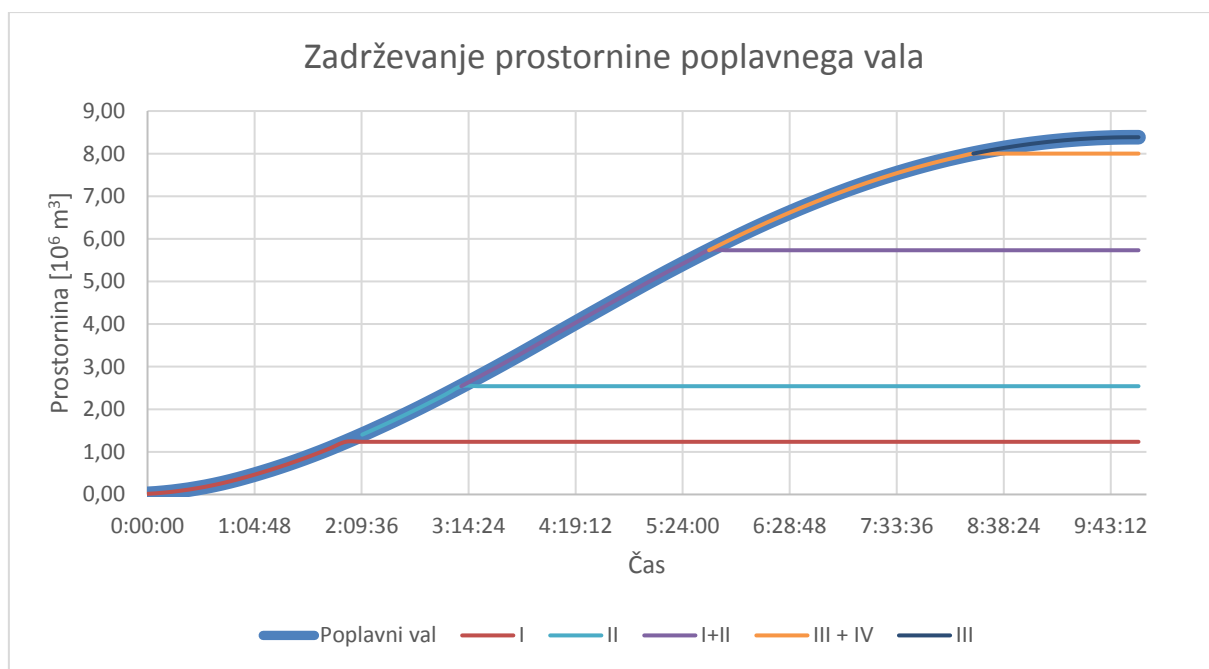
- Pretoke do vrednosti 384 m³/s prelivamo preko zaklopke, nato pričnemo z odpiranjem segmentne zapornice, da zagotovimo največji dovoljeni pretok 665 m³/s. Vrednost je določena ob predpostavki, da je dinamika naraščanja pretokov podobna tudi na reki Bolski.
- Pri pretoku večjem od 665 m³/s pričnemo polniti zadrževalnik II preko bočnega preliva in naravnega razlivanja na gorvodni strani razdelilnega nasipa med zadrževalnikom I in II. Ko je vzpostavljeno gladinsko stanje zadrževalnikov I in II na koti 269,00 m n. v. pričnemo s polnjenjem do kote 272,00 m n. v.
- Pri polni izkoriščenosti zadrževalnika I in II preko prelivnega objekta B prelivamo vodo dolvodno v zadrževalnik III in naprej preko objekta C v zadrževalnik IV. Zadrževalnika napolnimo do kote 265,00 m n. v. Z zapiranjem zapornic na objektu C zagotovimo polnjenje zadrževalnika III do kote 267,00 m n. v.

- Poplavni val smo zadržali znotraj kapacitet zadrževalnika Šempeter.
- Po upadu gladin v strugi Savinje se prične s kontroliranim izpustom akumulacije na objektu D, da skupni pretok v strugi Savinje dolvodno od objekta D ne preseže $870 \text{ m}^3/\text{s}$.

8.4 Polnitvene krivulje zadrževalnikov

8.4.1 Zadrževanje prostornine poplavnega vala

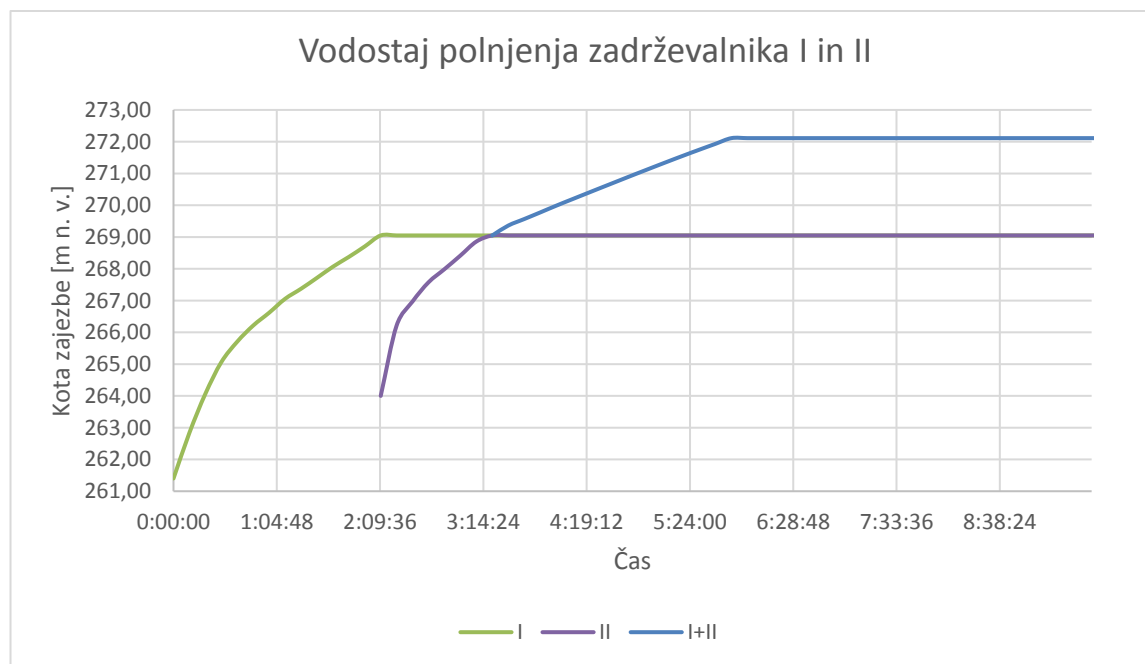
Poplavni val, ki smo ga določili z rezanjem konice traja deset ur. Na grafikonu 15 so vidni posamezni deleži zadrževalnikov, da je akumuliran celoten poplavni val. Postopek polnjenja smo določili v obratovalni shemi. Obdobje naraščanja pretokov smo zadržali v zadrževalniku I in II do kote 269,00 m n. v. Največ prostornine dobimo s hkratnim polnjenjem zadrževalnikov I in II. Kar je še bolj pomembno je to, da se zgodi v času, ko so pretoki razmeroma visoki. Nadalje sledi počasno upadanje pretokov, katere zadržujemo v zadrževalniku III in IV. Končno se zapolni še del prostega zadrževalnika III. Takrat so pretoki že v normalnem stanju.



Grafikon 14: Kapacitete zadrževalnikov glede na trajanje poplavnega vala

8.4.2 Vodostaj v zadrževalniku I in II

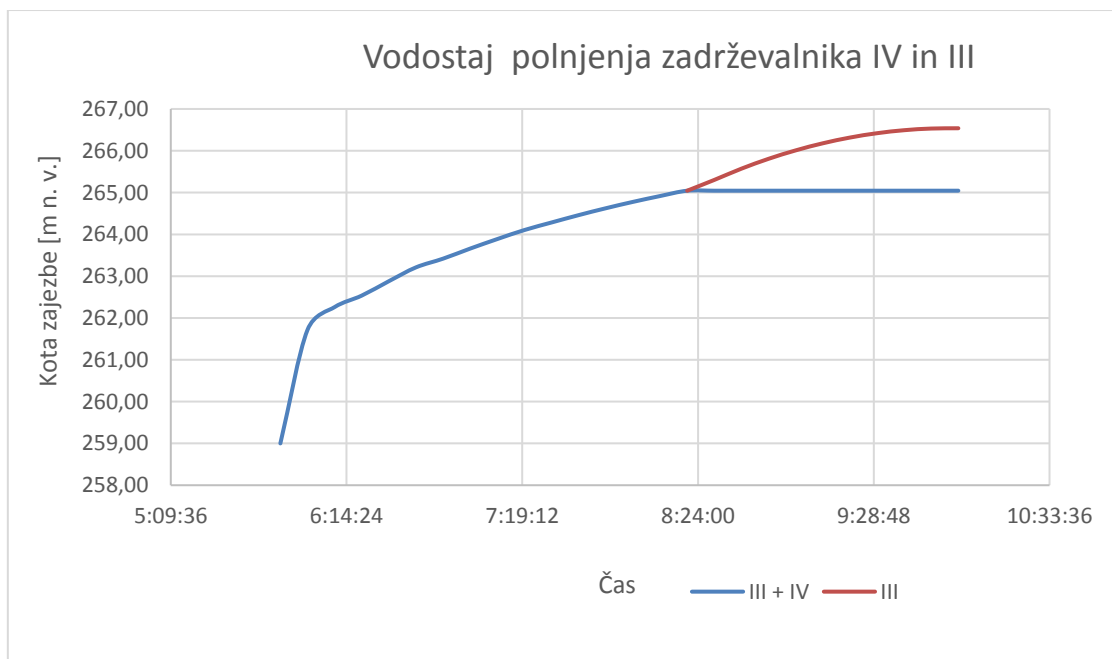
V času 0:00:00 se prične polniti zadrževalnik I. Kapaciteta do kote 269,00 m n. v. je dosežena v 2 uri in 10 minut. Nato sledi polnjenje zadrževalnika II do kote 269,00 m n. v. oziroma, da je doseženo uravnano gladinsko stanje z zadrževalnikom I. Kapaciteta zadrževalnika 2 je dosežena v eni uri. Do polne izkoriščenosti zadrževalnikov I in II imamo na voljo še 3 m višine. Da dosežemo koto 272,00 m n. v. potrebujemo skupno 5 ur 50 minut ali 2 uri 30 minut od kote 269,00 m n. v.



Grafikon 15: Vodostaj zadrževalnika I in II glede na poplavni val

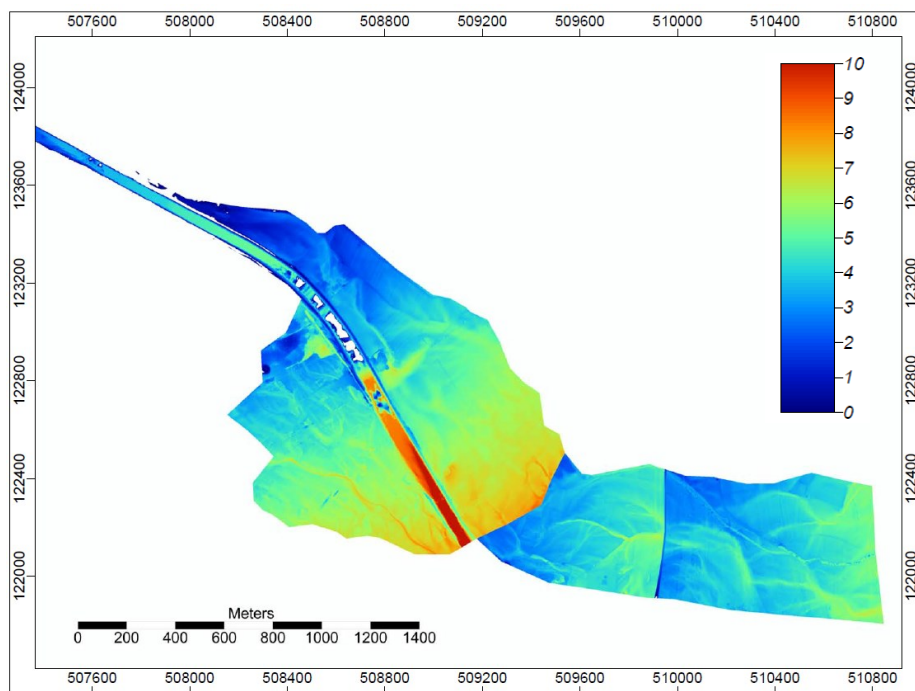
8.4.3 Vodostaj v zadrževalniku III in IV

Ko dosežemo polno kapaciteto zadrževalnikov I in II pričnemo preko prelivnega objekta B polniti dolvodna zadrževalnika. V 5. uri in 50 minut tok spuščamo preko zadrževalnika III do zadrževalnika IV. Gladinsko stanje na koti 265,00 m n. v. dosežemo v dveh urah in tridesetih minutah. V tem času je zadrževalnik IV polno izkoriščen, zadrževalnik III pa ima še dva metra višine prostora. Z zapornicami omogočimo, da se zadrževalnik III napolni do kraja. To se zgodi v uri in tridesetih minutah. Skupni čas polnjenja torej znaša deset ur.



Grafikon 16: Vodostaj zadrževalnika III in IV glede na poplavni val

Različne kote zajezb ustvarijo stopničasto obliko vzdolžnega prereza zadrževalnika. Območja na dolvodni strani posameznega zadrževalnika imajo največje globine. Slika 30 prikazuje gladinsko stanje polnega zadrževalnika Šempeter. Sliko smo pripravili v programu SAGA GIS, na osnovi DMR posnetka obstoječega terena. Največje globine so na dolvodni strani zadrževalnikov I in II in dosežejo med 8 in 9 m. Iz stopnjevanja barv znotraj posameznega zadrževalnika je lepo opaziti vzdolžni padec terena, ki je največji v zadrževalnikih I in II, v zadrževalnikih III in IV pa je teren bolj položen.



Slika 30: Gladinsko stanje polnega zadrževalnika Šempeter

9 RABA TAL NA OBMOČJU ZADRŽEVALNIKA ŠEMPETER

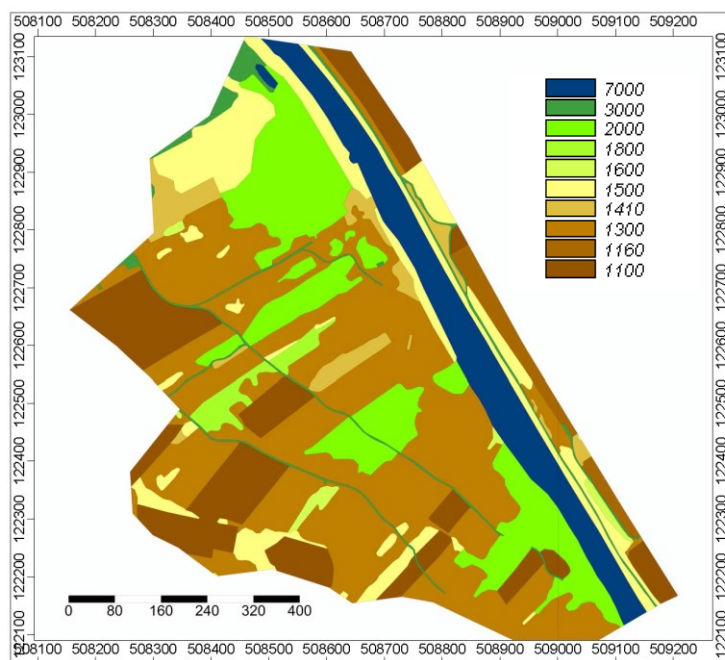
V tem poglavju je narejena analiza stanja rabe tal znotraj zadrževalnika Šempeter. Za Celjsko kotlino je značilen izrazito ravninski svet, zato se je na tem območju zelo razvilo kmetijstvo ter posamezna večja in manjša urbana območja. Za zadrževanje visokih voda so predvidena neposeljena kmetijska in gozdna območja. V bazi podatkov Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano smo dobili javno dostopne podatke za analizo dejanske rabe tal. S pomočjo programa SAGA GIS smo uvozili knjižnico podatkov in jo omejili na poligon zadrževalnika Šempeter.

9.1 Zadrževalnik I

Na območju zadrževalnika I prevladujejo travniki (38 %) in površine zaraščene z grmičevjem in drevjem (11,6 %). Najbolj uporabne površine, ki bodo v primeru trajne zaježitve opuščene so njivske površine (13,9 %) in hmeljišča (2 %). Pozidana zemljišča (2,9 %) mejijo na severni strani zadrževalnika na industrijsko cono. Celotno površino 60,25 ha bo potrebno očistiti zarasti in teren ustrezno preoblikovati, kot je opisano v poglavju 5.5.

Preglednica 10: Raba tal Zadrževalnik I

Šifra	Vrsta dejanske rabe	Površina [ha]	Delež [%]
1100	Njiva	8,39	13,9
1160	Hmeljišče	1,22	2,0
1300	Trajni travnik	23,22	38,5
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	2,01	3,3
1500	Drevesa in grmičevje	6,98	11,6
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče	0,46	0,8
1800	Kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem	0,85	1,4
2000	Gozd	9,70	16,1
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	1,75	2,9
7000	Voda	5,67	9,4
	Skupaj	60,25	100,0



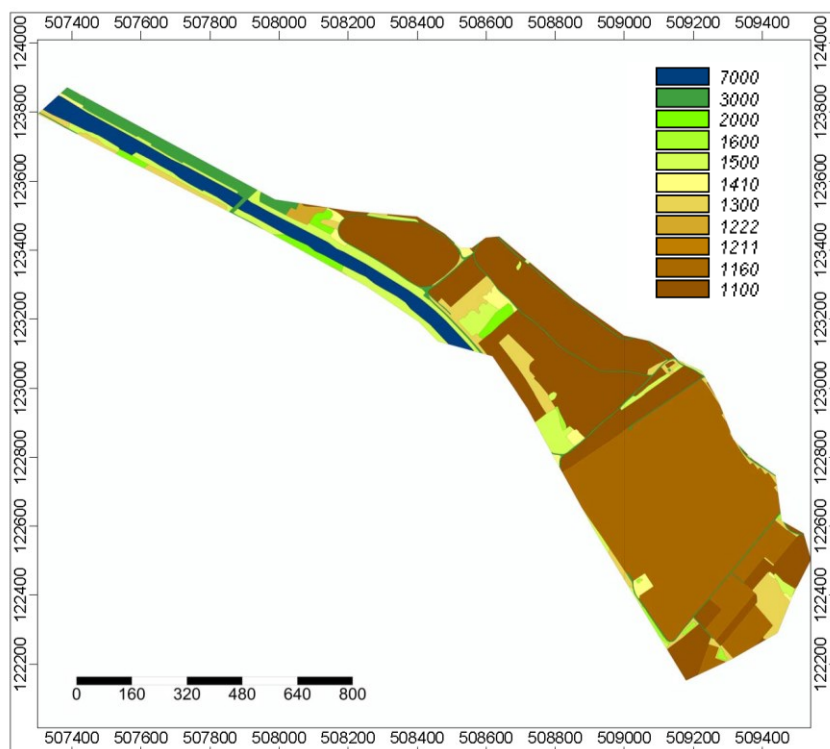
Slika 31: Raba tal Zadrževalnik I

9.2 Zadrževalnik II

Na območju zadrževalnika II se v večini razprostirajo kmetijska zemljišča. Največ je njivski površin (33,3 %) in hmeljišč (37,8 %). Slednja imajo največjo dodano vrednost kmetijstvu na območju Celjske kotline. Hmeljske površine bo potrebno prilagoditi na območje zadrževalnika II, da bo še naprej mogoča nemotena obdelava površin. Iz podatkov dejanske rabe tal je zaslediti tudi pozidana zemljišča (4,85 %). Iz letalskega posnetka ni opaziti večjih in pomembnejših objektov, ki bi kazali na poseljeno območje zato sklepamo, da gre za neposeljeno zazidljivo zemljišče.

Preglednica 11: Raba tal Zadrževalnik II

Šifra	Vrsta dejanske rabe	Površina [ha]	Delež [%]
1100	Njiva	25,37	33,25
1160	Hmeljišče	28,84	37,80
1211	Vinograd	0,00	0,01
1222	Hmeljišče	0,37	0,48
1300	Trajni travnik	4,59	6,01
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	1,13	1,48
1500	Drevesa in grmičevje	5,46	7,16
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče	0,31	0,40
2000	Gozd	1,15	1,51
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	3,70	4,85
7000	Voda	5,38	7,05
	Skupaj:	76,29	100,0



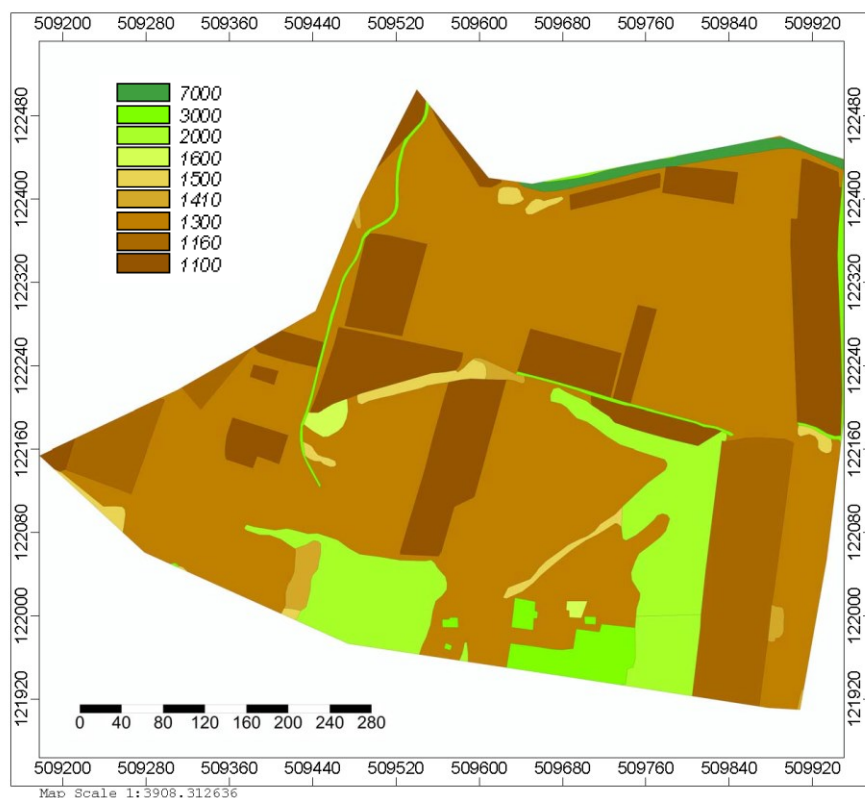
Slika 32: Raba tal zadrževalnik II

9.3 Zadrževalnik III

Na območju zadrževalnika III največji delež predstavljajo trajni travniki (59,3 %) in njivske površine (16,3 %). Iz podatkov dejanske rabe tal je zaslediti tudi pozidana zemljišča. Znotraj območja zadrževalnika III se nahaja športno rekreacijski objekt, ki ga bo potrebno odstraniti. Območje zadrževalnika III bo poplavljen le v primerih visokih voda s povratno dobo 50 do 100 let, zato bo obdelava zemljišč v kmetijske namene potekala nemoteno.

Preglednica 12: Raba tal Zadrževalnik III

Šifra	Vrsta dejanske rabe	Površina [ha]	Delež [%]
1100	Njiva	4,71	16,32
1160	Hmeljišče	2,24	7,78
1300	Trajni travnik	17,12	59,34
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	0,24	0,84
1500	Drevesa in grmičevje	0,43	1,48
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče	0,12	0,41
2000	Gozd	2,88	9,99
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	0,83	2,89
7000	Voda	0,27	0,95
	Skupaj:	28,84	100,00



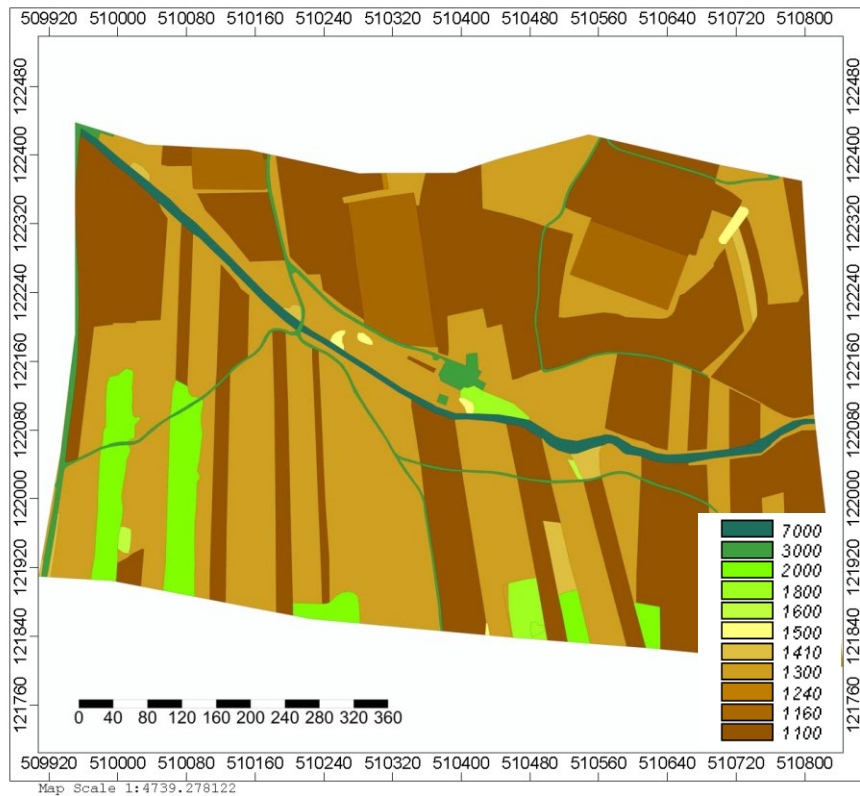
Slika 33: Raba tal zadrževalnik III

9.4 Zadrževalnik IV

Na območju zadrževalnika IV prevladujejo trajni travniki (43,1 %) in njive (41,1 %). Kmetijske površine bodo nemoteno v obdelavi, izjemoma v času visokih poplavnih voda. Območje prečka Podvinska Struga, katero bo potrebno kanalizirati in speljati ob robu zadrževalnika na suhi strani. Znotraj območja se nahaja pozidano zemljišče, na katerem bo potrebno objekt odstraniti.

Preglednica 13: Raba tal Zadrževalnik IV

Šifra	Vrsta dejanske rabe	Površina [ha]	Delež [%]
1100	Njiva	19,71	41,13
1160	Hmeljišče	2,54	5,30
1240	Ostali trajni nasadi	0,01	0,02
1300	Trajni travnik	20,64	43,08
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	0,45	0,94
1500	Drevesa in grmičevje	0,13	0,26
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče	0,06	0,12
1800	Kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem	0,40	0,84
2000	Gozd	1,99	4,16
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	1,09	2,27
7000	Voda	0,90	1,88
Skupaj		47,92	100,0



Slika 34: Raba tal zadrževalnik IV

10 PRIMERJAVA ŠTUDIJE ZAKLJUČNEGA DELA Z IDP

Prostorska zasnova objektov v IDP in študiji zaključnega dela, je v primeru zadrževalnikov Šempeter 1, Šempeter 2, Latkova vas, Dobrteša vas in del zadrževalnika Roje zelo podobna. V obeh primerih zadrževalniki ležijo na območjih, ki so bile v preteklosti že poplavljenе, zato je prednost v gradnji zadrževalnikov pridobitev prostornin. Posebnost zadrževalnikov v IDP je, da bi polnjenje potekalo preko bočnega preliva na gorvodni strani, z izjemo zadrževalnika Levec, Šempeter I in Šempeter II, ki bi se polnil preko vtočnega objekta iz gorvodnega zadrževalnika. Na vtočnih objektih, ki funkcionirajo preko bočnega prelivanja, so predvidene kotalne tablaste zapornice. Vtok v zadrževalnike je pogojen z gladino vode v strugi Savinje, kar pa ni stacionaren podatek, saj lahko pride do poglobljanja ali nanašanja materiala rečnega dna. V našem primeru, bi se zadrževalniki polnili direktno v smeri toka reke Savinje, torej preko prečnih objektov gledano na strugo, kar pomeni boljše upravljanje deroče vode. Na glavnem objektu bi kontrolirano uravnavali pretoke in gladinsko stanje s segmentnimi zapornicami, na katerih bi bila nameščena tudi zaklopka za uravnavanje normalnih pretokov. Na ostalih treh prelivnih objektih so predvideni podobni objekti kot jih predvideva IDP, v obliki škatlastega prepusta z nameščenimi kotalnimi tablastimi zapornicami.

Preglednica 14: Primerjava rezultatov študije zaključne naloge in IDP

	Prostornina zadrževalnika [10 ⁶ m ³]	Prostornina nasipa [10 ³ m ³]	Največja višina nasipa [m]	Dolžina nasipov [m]	Površina zaježitve [ha]	Število objektov (vtočni in iztočni)
Šempeter	8,390	902,00	11,50	10.694	213,30	4
IDP (Zadrževalniki na Savinji)	7,220	706,00	6,20	20.108	407,72	13

Po kategorizaciji ICOLD zadrževalnik Šempeter prištevamo med velike pregrade, saj gre za objekt, kjer gradbena višina presega 5 m in prostornina zadrževalnika presega 3 milijone m³. 7,22 milijona m³ vode je vsota prostornin zadrževalnikov Levec, Petrovče, Dobriša vas, Roje, Šempeter 1, Šempeter 2, Dobrteša vas in Latkova vas. Omenjeni zadrževalniki so predvideni ob Savinji. Z izgradnjo skupnega zadrževalnika Šempeter bi prostornino zadržane vode povečali na 8,39 milijona m³. Količina nasipnega materiala, je v primeru zadrževalnika Šempeter večja. Za izgradnjo skupnega zadrževalnika Šempeter bi potrebovali 240,5 tisoč m³ več materiala, kot v primeru posameznih zadrževalnikov, ki so predvideni v okviru Državnega prostorskega načrta za zagotovitev poplavne varnosti Spodnje Savinjske doline. Iz tega izhaja tudi maksimalna višina nasipa, ki bi v našem primeru dosegla 11,50 m. Ključna primerjava pa kaže na dejstvo, da je v primeru IDP za skoraj isto količino zadržane vode, potrebno poseči v 194,42 ha več različnih površin. Površine, ki jih pokrivajo zadrževalniki Levec, Petrovče, Dobriša vas in del zadrževalnika Roje bi v primeru gradnje enotnega zadrževalnika

Šempeter ostale izven kakršnega koli posega. Povečana bi bila celo poplavna varnost, saj so ta območja v sedanjem stanju poplavljena že ob 20 letnih dogodkih visokih voda, kar se z izgradnjo zadrževalnika Šempeter ne bi dogajalo, razen v ekstremnih razmerah ($Q_{500, 1000}$) bi omenjene površine delovale kot naravne retenzije.

Vodo lahko zadržujemo ne glede na trajanje poplavnega vala. Z uporabo ustrezne hidromehanske opreme na iztočnih objektih poteka kontrolirano praznjenje v času, ko so pretoki v strugi Savinje veliko nižji, da ne povzročamo poplavnih valov dolvodno. Za razliko od IDP sistem zadrževalnika Šempeter funkcioniira pri različnih gladinskih stanjih, saj jih lahko kontroliramo na prelivnih objektih. V IDP pa sistem funkcioniira zgolj pri določenih pretokih in posledično gladinah Savinje, da je omogočena polnitev akumulacij. Ker bi del zadrževalnika Šempeter predstavljala trajna ojezeritev, bi objekt A in pripadajoča hidromehanska oprema obratovala neprekinjeno tekom življenjske dobe opreme. Za razliko od IDP, kjer se pojavlja dvom v pravilno obratovanje hidromehanske opreme, ki bi se uporabljala zgolj ob poplavnih dogodkih, ki se statistično pojavijo enkrat na dvajset let. V sušnih obdobjih bi kmetici iz zadrževalnika Šempeter izkoriščali akumulirano vodo za namakanje kmetijskih površin.

Z izgradnjo predvidenih ukrepov na pritokih Savinje, bi v kombinaciji z zadrževalnikom Šempeter bistveno pripomogli k zmanjšanju poplavne nevarnosti v Celju in Laškem. Omenjeno kombinacijo bi bilo potrebno analizirati celovito.

Za pravilno delovanje sistema povezanih zadrževalnikov je najbolj pomemben podatek o hidrološki napovedi. Na podlagi tega podatka, lahko pričakovane pretoke uspešno reguliramo s pomočjo hidromehanske opreme in zadrževalnih prostorov. Brez ustreznih napovedi tudi zadostne kapacitete v zadrževalnikih in objekti s pretočnimi zmogljivostmi, ne bodo funkcionirali v polni zmogljivost, kar bi dolvodno še vedno lahko povzročalo poplave.

11 ZAKLJUČEK

Z umestitvijo nove zasnove zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini v prostor, smo dosegli manjši vpliv na okolje, izboljšane ter izkoriščene kapacitete prostornin in natančnejši obratovalni režim v primerjavi z zadrževalniki v IDP. Kapacitete novega zadrževalnika Šempeter so določene na hidravlični analizi, ki temelji na preteklih poplavnih dogodkih. Z razdelitvijo zadrževalnika na posamezne bazene, smo lahko zadrževalnik izvedli v stopnjah in tako poskrbeli za ugodnejše razmerje med prostornino zadrževalnika in prostornino nasipnega materiala. Ker vemo, da poplavni dogodki nastopajo različno pogosto in intenzivno, smo del zadrževalnika Šempeter namenili trajni ojezeritvi, ostali deli pa bodo v času normalnih pretokov nemoteno v kmetijski obdelavi. Trajna ojezeritev ima na lokalno prebivalstvo veliko pozitivnega učinka. Območje se lahko izkoristi v rekreacijske namene, namakanje kmetijskih površin, biotop in izkoriščanje energetskega potenciala. Pri projektih z večjimi posegi v prostor, so lahko omenjene aktivnosti ključne pri pridobivanju zaupanja v projekt s strani okoliških prebivalcev. Prelivni objekti so dimenzionirani na podlagi hidravlične študije. Glavni regulacijski objekt na reki Savinji je zasnovan kot preliv s segmentno zapornico z zaklopko in bo nemoteno obratoval tekom življenjske dobe, kar je velika prednost pri funkcionalnosti hidromehanske opreme. Ostali objekti, ki služijo prelivanju znotraj zadrževalnika, so zasnovani kot tunelski tip – prepust in bodo v funkciji, ko bo nastopil poplavni val večjih intenzitet. Zato bodo na teh objektih potrebna občasna testiranja opreme. Učinkovito obratovanje zadrževalnika Šempeter, bo doseženo le z natančno napovedjo hidrološke situacije, ustreznim hidravličnim obratovalnim modelom ter kvalitetnim, odzivnim in povezanim sistemom upravljanja zapornic na vseh objektih.

VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2017. Spletni pregledovalnik Lidar. Ljubljana, ARSO.

http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso. (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2007. Poročilo o vremenski in hidrološki situaciji 18. septembra 2007. Ljubljana, ARSO: str. 27.

http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke_vode-20070918.pdf.

(Pridobljeno 22. 3. 2017.)

Agroskin, I. I., Dimitrijević G. T., Pikalov, F. I. 1969. Hidraulika. Zagreb, Univerza v Zagrebu, Tehniška fakulteta: str. 222, 234.

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M. 1999. Vodne ujme: varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi.

Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 74, 79, 84.

Hemert, H., Igigabel, M., Pohl, R. et al. 2013. The International Levee Handbook. London, Ciria: str. 6, 62, 1137.

Frantar, P., Dolinar, M. 2005. Pregled elementov vodne bilance za območje Savinje v obdobju 1971-2000. <http://www.mvd20.com/LETO2005/R21.pdf>. (Pridobljeno 22. 5. 2017.)

Geodetska uprava Republike Slovenije. 2011. Projekt 'Lasersko skeniranje in aerofotografiranje.

http://www.gu.gov.si/fileadmin/gu.gov.si/pageuploads/novice/Teksti_novic/LIDAR_opis.pdf

(Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Google Maps. 2017. <https://www.google.si/maps?source=tldso>. (Pridobljeno 20. 5. 2017.)

Hidrosvet. 2011. Idejni projekt poplavne varnosti Spodnje Savinjske doline. Interno gradivo.

Kryžanowski, A. 2015. Skripta Hidrotehnični objekti. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: str. 55,75,103.

Logar, J. 2008. Skripta zemeljske pregrade: str. 4, 7. <http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/zemeljske%20pregrade.pdf>. (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: str. 25.

Porečje Savinje. 2013. http://www.porecje-savinje.si/Reka_Savinja/O_Savinji/ (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Pristovšek, B. 1934. Regulacijski problem Savinje. Kronika slovenskih mest 1/3: str. 217-221.
<https://www.dlib.si/preview/URN:NBN:SI:DOC-OB065ONG/3521d593-a306-4242-8c57-88f206c2f3bf> (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

RD Mozirje. 2017. Zemljevid Savinje. <http://rd-mozirje.si/page/ribolov-in-revirji/> (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Room for the river. 2007. <http://hwc2015.nvo.or.id/394-room-for-the-river-bukti-lain-dari-kejeniusan-belanda-dalam-hal-manajemen-sumber-daya-air/> (Pridobljeno 30. 5. 2017.)

Skutnik, B. 2005. Varovanje naselij pred poplavam. Idejna zasnova suhih zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini. <http://mvd20.com/LETO2005/R5.pdf>. (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

Steinman F., Banovec, P. 2004. Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: str. 18.

Steniman, F. 1999. Hidravlika . Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 107, 199.

Vrabec, B. 2014. 24ur: Laško pod vodo. <http://www.24ur.com/novice/slovenija/dostop-do-laskega-onemogocen.html>. (Pridobljeno 1. 3. 2017.)

PRILOGE