

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Hidrotehniška smer

Kandidat:

**Rok Duhovnik**

# **Ureditev suhega zadrževalnika ob reki Savinji pri Malih Braslovčah**

**Diplomska naloga št.: 2983**

**Mentor:**

prof. dr. Matjaž Mikoš

**Somentor:**

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 3. 12. 2007



## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **ROK DUHOVNIK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

**»UREDITEV SUHEGA ZADRŽEVALNIKA OB REKI SAVINJI PRI MALIH  
BRASLOVČAH«**

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

Vaše, 13.11.2007

---

(podpis)

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

- UDK:** 556.166:627.51(043.2)
- Avtor:** Rok Duhovnik
- Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš
- Somentor:** viš. pred. mag. Rok Fazarinc
- Naslov:** Ureditev suhega zadrževalnika ob reki Savinji pri Malih Braslovčah
- Obseg in oprema:** 59 str., 36 sl., 6 pregl., 1 en.
- Ključne besede:** poplave, suhi zadrževalnik, Savinja, Letuš, Male Braslovče, hidravlični model, Mike Flood, poplavna varnost, urejanje vodotokov

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi smo preučili možnost izrabe območja ob Savinji nad Malimi Braslovčami za gradnjo suhega zadrževalnika. Reka Savinja je v bližnji preteklosti zaradi širjenja naselij v poplavna območja večkrat katastrofalno poplavila. Najbolj uničujoči sta bili leta 1990 in 1998. Ker razlivanje po naravnih poplavnih ravninah ni več možno, je potrebno preučiti možnost gradnje suhih zadrževalnikov. V začetnem delu je opisano povodje Savinje z njenimi značilnostmi. Sledi podrobnejši opis odseka reke od Letuša do Malih Braslovč. V računskem delu naloge smo obravnavali tri variante izrabe prostora, ki predvidevajo različne višine in dolžine prečnih nasipov. Računski hidravlični model smo naredili s programom Mike Flood, ki ga je izdelal Danski hidravlični inštitut. Del modela, ki se nanaša na strugo reke, je enodimenzijski, del modela, ki se nanaša na območje zadrževalnika, pa je dvodimenzijski. Uporabljeni vhodni podatki se nanašajo na stoletno povratno dobo pretokov na odseku Savinje pod sotočjem s Pako. Kot rezultat smo dobili gladine vode v zadrževalniku, volumen zadržane vode in zmanjšanje pretoka na dolvodnem odseku modela. Ugotovili smo, da zadrževalnik pozitivno vpliva na zmanjšanje konice poplavnega vala ter s tem prispeva k zmanjšanju poplavne ogroženosti Spodnje Savinjske doline.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 556.166:627.51(043.2)  
**Author:** Rok Duhovnik  
**Supervisor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Cosupervisor:** msc. Rok Fazarinc  
**Title:** Regulation of flood-control reservoir on Savinja river near Male Braslovče  
**Notes:** 59 p., 36 fig., 6 tab., 1 eq.  
**Key words:** floods, flood-control reservoir, Savinja, Letuš, Male Braslovče, hydraulic model, Mike Flood, flood-control projects, river engineering

### **Abstract:**

In this diploma work, we studied the usage possibilities of the area at the river Savinja above the Male Braslovče for a flood control reservoir. Because of the urbanisation of the flooding areas, Savinja river caused in the past many catastrophic floods. Two of the most devastating were in 1990 and 1998. Chances of the flooding of the natural flooding areas are poor, that is why the building of flood control reservoir must be studied. Savinja river basin with its characteristics is described in the first part. Detailed description of the river branch between Letuš and Male Braslovče follows. In calculating part, three variants of the levees considering their height and length are presented. The hydraulic model was made using Mike Flood computer software, developed by Danish Hydraulic Institute. The river model is one dimensional and the flood control reservoir model is two dimensional. The input data refers to 100-years flood waters under the confluence with the Paka river. The results of the modeling are water surface elevations in the reservoir, volume of the retained water and the reduction of downstream discharge. We established, that the flood control reservoir has positive influence on the flood waters of Savinja, that means Lower Savinja Valley in less endangered by floods.

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju viš. pred. mag. Roku Fazarincu. Hvala tudi Inženiringu za vode, kjer sem pridobil potrebne podatke za izdelavo naloge in Mihu Zidariču za pomoč pri uporabi računalniškega programa Mike Flood.

Zahvaljujem se vsem domačim, ki so me v času študija spodbujali in podpirali.

<b>KAZALO:</b>		<b>stran</b>
<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OPIS POVODJA REKE SAVINJE</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Osnovne značilnosti povodja</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Topografske in hidrografske značilnosti povodja Savinje</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>Značilne padavinske situacije</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PODROBNEJŠI OPIS ODSEKA SAVINJE OD LETUŠA DO PARIŽELJ</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Osnovne značilnosti odseka</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Geološka sestava in raba prostora</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>Območje suhega zadrževalnika</b>	<b>9</b>
<b>3.4</b>	<b>Namen suhega zadrževalnika</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>HIDRAVLICNI RAČUNSKI MODEL OBRAVNAVANEGA ODSEKA</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Splošno</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>1 D model struge Savinje v programu Mike 11</b>	<b>14</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Izbira modela in vnos vhodnih podatkov</b>	<b>14</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Tlorisni potek struge</b>	<b>15</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Prečni prerezi</b>	<b>16</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Robni pogoji</b>	<b>16</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Hidrodinamični parametri</b>	<b>18</b>
<b>4.2.6</b>	<b>Hidravlične izgube in umeritev modela</b>	<b>19</b>
<b>4.2.7</b>	<b>Časovni korak in interval</b>	<b>25</b>
<b>4.3</b>	<b>2D model suhega zadrževalnika v programu Mike 21</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Kombinirani model v programu Mike Flood</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>REZULTATI HIDRAVLICNIH IZRAČUNOV</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Obstoječe stanje</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>36</b>

<b>5.4</b>	<b>Varianta 3</b>	<b>42</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Teoretična maksimalna prostornina zadrževalnika</b>	<b>49</b>
<b>5.5</b>	<b>Velikosti prečnih nasipov pri posamezni varianti</b>	<b>51</b>
<b>5.6</b>	<b>Izbira najprimernejše variante</b>	<b>52</b>
<b>5.7</b>	<b>Komentar rezultatov</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>SKLEPI</b>	<b>56</b>
	<b>VIRI</b>	<b>58</b>
	<b>PRILOGE</b>	<b>60</b>



<b>Seznam slik:</b>	<b>stran</b>
Slika 2.1: Lega povodja Savinje (Rejc 2005)	2
Slika 3.1: Topografija širšega območja Letuša in Malih Braslovč	8
Slika 3.2: Z gozdom porasli del območja (Foto: Avtor, 15.8.2007)	9
Slika 3.3: Travnik med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami (Foto: Avtor, 15.8.2007)	10
Slika 4.1: Primer okna programa Mike 11	15
Slika 4.2: Hidrogram $Q_{100}$ na odseku Savinje do Bolske	17
Slika 4.3: $Q-H$ krivulja na dolvodnem robnem pogoju	18
Slika 4.4: Savinja na pododseku 1 (Foto: Avtor, 15.8.2007)	20
Slika 4.5: Savinja na pododseku 2 (Foto: Avtor, 15.8.2007)	21
Slika 4.6: Savinja na pododseku 3 (Foto: Avtor, 15.8.2007)	22
Slika 4.7: Savinja na pododseku 4 (Foto: Avtor, 15.8.2007)	23
Slika 4.8: Savinja na pododseku 5 (Foto: Avtor, 15.8.2007)	24
Slika 4.9: Batimetrija 2D modela	26
Slika 4.10: Primer okna programa Mike 21 z določitvijo časovnega koraka	26
Slika 4.11: Uporabniški vmesnik programa Mike Flood	27
Slika 5.1: Primerjava hidrogramov v prvem in zadnjem prerezu	29
Slika 5.2: Največja globina vode, varianta 1	31
Slika 5.3: Najvišja gladina vode, varianta 1	31
Slika 5.4: Primerjava variante 1 in začetnega stanja	34
Slika 5.5: Pretoki v času konice	34
Slika 5.6: Primerjava pretokov na vtoku in iztoku za varianto 1	35
Slika 5.7: Znižanje gladine na prečnem prerezu 169	35
Slika 5.8: Največja globina vode, varianta 2	37
Slika 5.9: Najvišje gladine vode, varianta 2	38
Slika 5.10: Primerjava pretokov	39
Slika 5.11: Primerjava viška pretoka	40
Slika 5.12: Pretok iz struge na poplavno območje in nazaj	40
Slika 5.13: Znižanje gladine na prerezu 169, varianta 2	41
Slika 5.14: Diagram vtoka v zadrževalnik	44
Slika 5.15: Najvišja gladina vode v zadrževalniku, varianta 3	44
Slika 5.16: Največje globine vode v zadrževalniku, varianta 3	45
Slika 5.17: Hidrogram iztoka iz zadrževalnika	46
Slika 5.18: Potek gladin v PP 152	48
Slika 5.19: Pretok v zadnjem prerezu, varianta 3	48
Slika 5.20: Pretok v času konice varianta 3	49
Slika 5.21: Teoretični hidrogram	50

<b>Seznam preglednic:</b>	<b>stran</b>
Preglednica 4.1: Hidrološki profil Savinje	17
Preglednica 4.2: Vrednost Manningovega koeficienta $n$ po pododsekih	20
Preglednica 5.1: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 1	32
Preglednica 5.2: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 2	38
Preglednica 5.3: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 3	46
Preglednica 5.4: Volumni nasipov in potrebna površina zemljišč	51

## 1 UVOD

Poplave iz leta v leto ogrožajo večje število človeških življenj in objektov tako v Sloveniji kot po celem svetu. Poplave so visoke vode, ki prestopijo bregove osnovne struge in se razlivajo po poplavnih območjih (Mikoš, 2007a). Do poplav prihaja zaradi povečanega odtoka, ki je običajno posledica vremenskega dogajanja kot so dolgotrajne in obilne padavine ali kratkotrajni intenzivni nalivi (Kobold, 2007). Savinja s svojimi pritoki je reka, ki pogosto poplavlja. Tako je v bližnji preteklosti leta 1990 in 1998 prizadejala ogromno škodo na svojih poplavnih območjih, ki so večinoma urbanizirana. Med najbolj ogrožena mesta vzdolž toka Savinje sodi Celje, ki se je ob nedavni ujmi septembra 2007 za las izognilo vnovičnemu poplavljenju, medtem ko je bil del Laškega že poplavljen. Zato je ena izmed temeljnih nalog slovenskega vodnega gospodarstva zagotoviti večjo poplavno varnost Spodnje Savinjske doline.

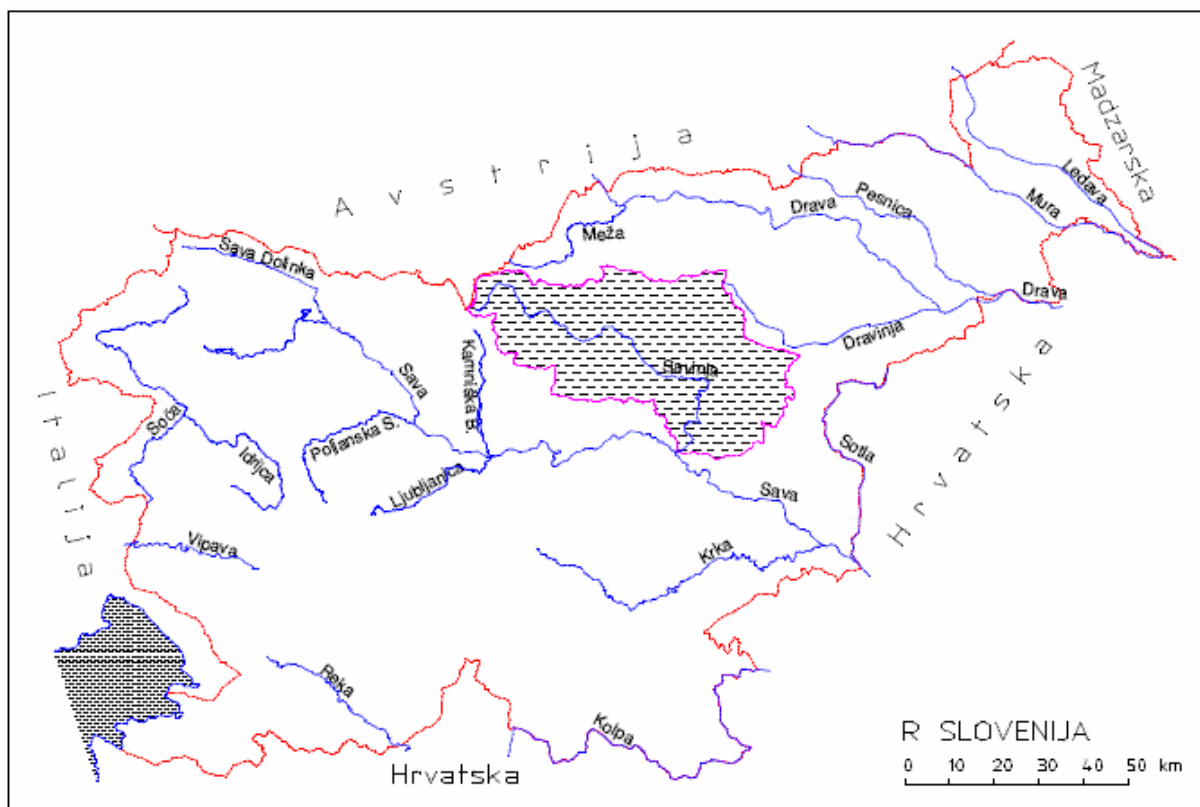
Med aktivne ukrepe za zaščito pred poplavami sodi izgradnja skupine ali posameznih varovalnih objektov (Mikoš, 2007b). Mednje sodijo tudi zadrževalniki. Ti prestrežejo del prostornine visokovodne konice in jo po določenem času vrnejo nazaj v vodotok.

Z uporabo računalniškega programa, razvitega na Danskem hidravličnem inštitutu, smo izdelali dvodimenzijski model izrabe območja med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami za namen varovanja pred škodljivim delovanjem voda. Območje je eno izmed primernih območij vzdolž Savinje za umestitev zadrževalnika. Analizirane so bile različne variante izrabe prostora. Kot projektna vrednost so se upoštevale stoletne poplavne vode ( $Q_{100}$ ).

## 2 OPIS POVODJA REKE SAVINJE

### 2.1 Osnovne značilnosti povodja

Reka Savinja je levi pritok reke Save. Z dolžino vodotoka 102 km se uvršča za Savo, Dravo in Kolpo na četrto mesto najdaljših rek v Sloveniji (Atlas Slovenije, 2005). Površina njenega povodja znaša 1850 km<sup>2</sup>. S svojim tokom preči Savinja tri pokrajinske enote: Zgornjo Savinjsko dolino, ki se širi od Soteste navzgor, Spodnjo Savinjsko dolino, ki zajema široko ravnino ob Savinji med Sotesko in Celjem in dolino med Celjem in Zidanim Mostom, ki poteka v globoki zarezi prečno čez Posavsko hribovje. Od Sester Logar, kjer Savinja dobi ime, do izliva v Savo v Zidanem Mostu, se spusti za 550 m. Celotna višinska razlika znaša, ob upoštevanju povirnih krakov vključno s slapom Rinka, okoli 1000 m.



Slika 2.1: Lega povodja Savinje (Rejc, 2005)

Vode, ki napajajo povirje Savinje, pritekajo iz Kamniško-Savinjskih Alp, Karavank, JZ obronkov Pohorja in severnega dela Posavskega hribovja. Značilna so velika nihanja v pretokih, razmerje med sušnim pretokom in visokimi vodami je lahko več kot 100 kratno, kar pomeni, da ima reka Savinja izrazit hudourniški značaj. V sušnem obdobju vode često primankuje, takrat se je tudi do 20 odstotkov porabi za namakanje obdelovalnih površin na območju Spodnje Savinjske doline (RRA, 2001).

Reliefne lastnosti doline ob Savinji so drugačne kot ob ostalih slovenskih hudourniških rekah, npr. Savi in Soči, saj se tu glacialne prodne terase niso razvile v tolikšni meri, predvsem so plitvejše in manj izrazite. Zaradi opuščanja mlinov in žag v petdesetih letih 20. stoletja se je poplavna varnost območja ob Savinji precej zmanjšala, zaradi manjšega števila pojavov visokih voda pa se je po letu 1950 tudi močno širila poselitev v neposredno bližino reke.

Savinja je tista reka v Sloveniji, ki ima največ poplavnih površin, ki segajo v urbana območja. Celje in Laško pa sta izmed večjih mest tisti, ki sta največkrat ogroženi in zato tudi prizadeti zaradi visokih voda Savinje. Poplavne površine v primeru katastrofalnih poplav znašajo 2500 ha, od tega 560 ha na urbanih zemljiščih (stanovanjski in poslovni objekti, ceste, infrastrukturni objekti) in 1940 ha na ostalih zemljiščih, ki predstavljajo polja, travnike, ipd. (MOP – RSVN, 1998). Od vseh poplavnih površin v povodju Savinje je pozidanih že 15 %, od 35 % do 95 % površin večjih naselij pa je poplavno ogroženih (RRA, 2001).

## **2.2 Topografske in hidrografske značilnosti povodja Savinje**

Slap Rinka zaradi svoje znamenitosti velja za izvir reke Savinje. Vendar vode pod slapom hitro poniknejo v prodnato podlago, le ob obilnejšem deževju tečejo po površju in se imenujejo potok Kotovec. Kot stalni tok se zopet pojavi pri izviru Črne pri nekdanjem ledeniškem jezeru na dnu Logarske doline. Črna ima dva izvira, levega in desnega. Desni priteka izpod fluvio-glacialnega proda, levi pa iz pobočnih skal pod Orlovcem. Črna se pri Sestrah Logar združi z drugim (levim), povirnim krakom, imenovanim Jezera, od tu naprej teče pod imenom Savinja. Jezera izvira v fluvio-glacialnemrodu v Matkovem kotu. Jezeri se pred združitvijo s Črno izpod Karavank pridružita dva močnejša pritoka: Ručnik, ki izvira pod

Pavličevim sedlom, in Ložekarjev graben. Navzdol po toku se nato v Savinjo izlivajo Lašek, Jurčef in Klobaša, ki odvajajo vode izpod južnih pobočij Olševe. V povodju potoka Jurčef se nahaja eden večjih aktivnih zemeljskih plazov v Sloveniji, Macesnikov plaz. Z desne pritekata Suhelj in Bela, ki izvira v Robanovem kotu. Naslednji pritok je šele v Lučah (Lučnica), saj se vode z Dleskovške planote preko kraških izvirov zlivajo neposredno v Savinjo.

Med Lučami in Ljubnim se izpod Rogatca Savinji pridružijo Rogačnik, Rjavčev, Trbiški in Fluderski graben ter nekaj manjših in krajših potokov, ki predstavljajo desne pritoke Savinje. Lakovnikov potok, Duplenik in Resov graben izvirajo pod vrhovi Raduhe in se v Savinjo izlivajo s severa oziroma z leve strani. V Ljubnem s severa priteče Ljubnica, z močnim tokom in porečjem, ki obsega celotno južno pobočje Smrekovškega pogorja.

V Ljubnem vstopa Savinja v Gornjegrajsko kotlino. Tu teče po nanosih proda, pojavi se blažje meandriranje struge, saj do tu Savinja premaga že večino višinske razlike. Pod Goltemi izvirajo Ivanjski potok, Gračnica in Rečica, ki v Savinjo pritečejo s severa. Z desne se v Nazarjah pridruži Dreta, ki je največji pritok v Zgornji Savinjski dolini in odmaka 126 km<sup>2</sup> veliko območje med Črničcem na zahodu, Velikim Rogatcem na severu in Menino planino in Dobrovljami na jugu.

Za Nazarjami vstopa Savinja v naslednjo manjšo kotlino, Mozirsko kotlino. V njej se z leve izlivajo Mozirnica, Trnava in Ljubija, ki je najmočnejša in ima kraški izvir na vzhodnem pobočju Smrekovškega pogorja. Zadnji pritok Savinje v Zgornji Savinjski dolini je Škubov potok, ki se ji pridruži v Soteski. Celotno povodje Savinje v Zgornji Savinjski dolini meri 536 km<sup>2</sup>.

Dolvodno od Soteske vstopa Savinja v Spodnjo Savinjsko dolino (Celjsko kotlino). Prvi manjši pritok je Trebnica, nato se pod Letušem pridruži močna Paka, ki priteče iz Velenjske kotline. Savinja nato teče v premi in nima večjih pritokov vse do Latkove vasi, kjer se združi z močno Bolsko, ki priteče z zahoda in izvira nad Trojanami. Njeno povodje meri 192 km<sup>2</sup>. Naslednji pritoki so v Celju in pritečejo s severa: Ložnica, Hudinja in Voglajna. Najmanjša med njimi, Ložnica izvira južno od Velenja, njeno povodje pa obsega 147 km<sup>2</sup> veliko območje. Hudinja se združi z Voglajno tik pred izlitem v Savinjo, njuno povodje je veliko

413 km<sup>2</sup>. Voglajna je največji pritok Savinje na njenem celotnem toku. V Celjski kotlini je še nekaj manjših pritokov (Lagvaj, Artišnica, Kolja, Zibika, Bistrica, Brniški potok, Lava, ...), ki se stekajo bodisi neposredno v Savinjo bodisi v opuščene mlinščice, ki tečejo vzporedno z glavnim tokom.

Od Celja mimo Laškega do Zidanega Mosta, kjer se izliva v Savo, teče Savinja po ozki dolini, urezani v Posavske gube. Tu nima večjih pritokov, ki bi bistveno prispevali k povečanju njenega toka. Edina omembe vredna sta Rečica, ki priteka z zahoda in Gračnica, ki teče z vzhoda. Povodje Savinje med Celjem in Zidanim Mostom znaša 247 km<sup>2</sup>.

Prispevne površine povodja reke Savinje (Udovč, 2001)

<b>Savinja – Zgornja Savinjska dolina</b>	<b>536,1 km<sup>2</sup></b>	
Dreta		126,0 km <sup>2</sup>
<b>Savinja – Spodnja Savinjska dolina</b>	<b>1069,5 km<sup>2</sup></b>	
Paka do Bolske		211,2 km <sup>2</sup>
Savinja od Pake do Bolske		27,9 km <sup>2</sup>
Bolska		191,7 km <sup>2</sup>
Savinja od Bolske do Ložnice		75,2 km <sup>2</sup>
Ložnica		147,2 km <sup>2</sup>
Savinja od Ložnice do Voglajne		2,9 km <sup>2</sup>
Voglajna		413,4 km <sup>2</sup>
<b>Savinja od Voglajne do Save</b>	<b>264,7 km<sup>2</sup></b>	
<b>SAVINJA</b>	<b>1852,3 km<sup>2</sup></b>	

### 2.3 Značilne padavinske situacije

Za povodje Savinje sta značilna dva tipa kritičnih padavinskih situacij, ki povzročata poplave: jesensko-zimski tip in poletni tip (Marinček, 1992).

Za jesensko-zimski tip padavinske situacije so značilne orografske padavine, ki nastajajo ob gorskih pregradah. Na goratih predelih Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank se atlantske fronte zadnjikrat razbremenijo, zato lahko tam letna količina padavin doseže tudi 2100 mm. Podoben značaj imajo tudi Posavske gube v spodnjem delu povodja Savinje, kjer pade 1300

mm padavin. Jesensko-zimski tip padavinske situacije nastopi predvsem konec jeseni in v začetku zime, še posebno, če so temperature za ta letni čas visoke in v višjih predelih še ne sneži. Za ta tip padavin je značilno relativno široko padavinsko območje in obilne, lahko tudi večdnevne padavine, ki povzročijo visokovodne situacije, ki ob intenzivnejših padavinah proti koncu dogodka lahko povzročijo tudi poplave. Za takšne padavinske situacije je značilno, da prihaja do poplav vzdolž celotnega toka Savinje. Prav tako narastejo tudi njeni pritoki. Pri tem niso ogrožena le območja z največjo količino padavin, temveč tudi dolvodna območja.

Za poletne padavinske situacije so značilne konvektivne padavine, katerih intenziteta je precej neenakomerno porazdeljena. Prav tako se intenziteta padavin lahko močno razlikuje od primera do primera. Takšne situacije lahko povzročijo katastrofalne visoke vode, vendar pa so padavine tega tipa lokalnega značaja, trajajo krajši čas, intenziteta pa je dosti večja. Značilne so predvsem za obrobje Celjske kotline. Pri takem tipu padavin so območja, prizadeta s poplavami, manjša in omejena na določene dele podpovodja Savinje ali njenih pritokov, ki se nahajajo znotraj območja z visoko intenziteto padavin. Za nastop stoletnih voda je na večjem delu povodja Savinje odločilen jesensko-zimski tip padavinske situacije.

V zadnjem obdobju izstopata dve katastrofalni poplavi, 1. novembra leta 1990 in 5. novembra 1998. Povzročili sta ogromno materialno škodo, predvsem na območjih Celja in Laškega. V nedavni ujmi 18. septembra 2007 Savinja v Savinjski dolini ni poplavljala, poplavljali pa so njeni pritoki.



### **3      PODROBNEJŠI OPIS ODSEKA SAVINJE OD LETUŠA DO PARIŽELJ**

#### **3.1     Osnovne značilnosti odseka**

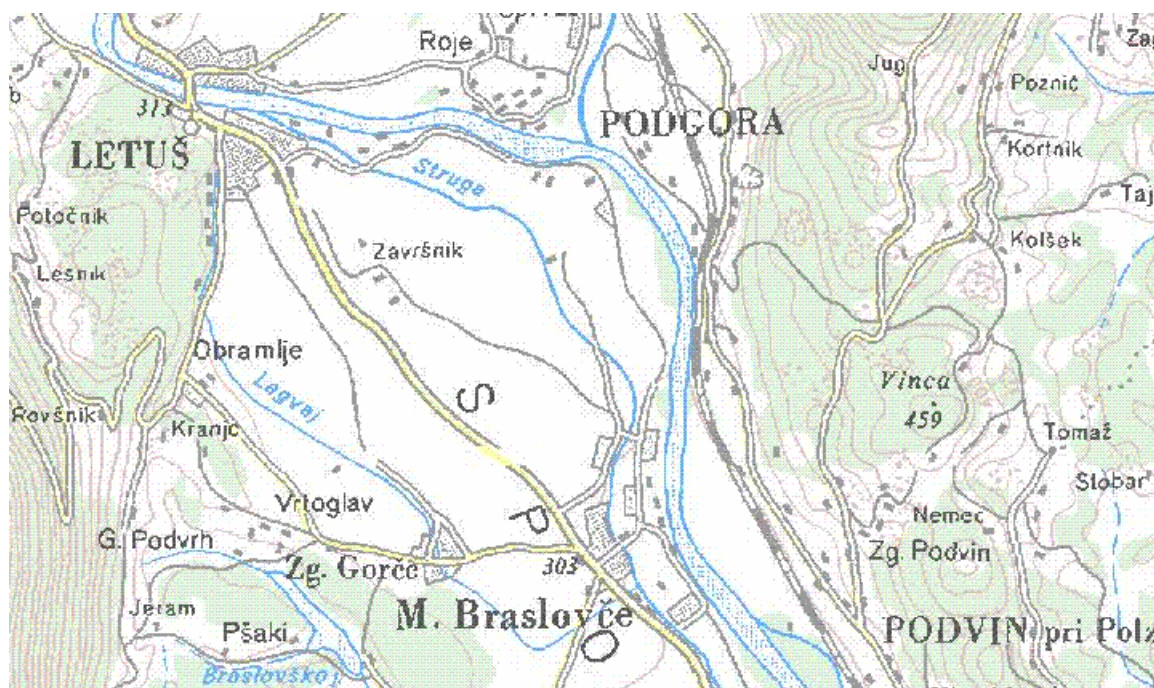
Obravnani odsek predstavlja zgornji del toka Savinje po Spodnji Savinjski dolini. Tok je tipični dolinski, z uravnano traso, ki je orientirana SZ – JV. Trasa je bila določena z regulacijo v 2. polovici 19. stoletja in poteka po najnižjih nižinskih točkah med ježami, ki so jih ustvarile ledeniške vode in so na posameznih mestih relativno slabo izražene. Regulacija Savinje je bila izvedena tako, da so se poleg glavne struge, ki je bila obdana z nasipi, ohranjala tudi poplavna območja ob strugi, ki so se polnila skozi prelivna polja. Zaradi zožanja struge je bilo dno Savinje dodatno utrjeno s sistemov jezov, ki so bili izdelani kot kaštni objekti. Vzporedno z glavno strugo so potekale mlinščice, ki so poganjale mline in žage. Po drugi svetovni vojni se je zaradi opuščanja mlinov in spremenjenega načina življenja začela gradnja na poplavnih območjih ob strugi. Vasi so se širile (Braslovče, Parižlje), ali pa so se na teh območjih gradili pomožni objekti za spravilo orodja, ki so prerasli v počitniške hišice in kasneje v stalne bivalne objekte.

Da je urbanizacija poplavnih območij neprimerna, so pokazale poplave leta 1990 (IzVRS, 2005). Poplavljen je bila večina od novo nastalih naselij. Ker je prišlo ob poplavah do porušitve treh jezov (pod mostom na glavni cesti Celje – Ljubljana pri Ločici ter predvsem jezu pri Polzeli in spodnjega jezu v Letušu) se je dno Savinje znižalo. S tem se je povečala prevodnost struge, zmanjšale so se tudi poplavljene površine. Po letu 1990 je bila večina nasipov obnovljenih, obnovljena je bila drča pri Ločici in podvinski jez, znižan je bil spodnji letuški jez. Zaradi niza visokih vod se je dno Savinje še dodatno poglabljalo, kar je še dodatno povečalo prevodnost struge. Leta 1998, ko so bile visoke vode podobne tistim iz leta 1990, Savinja na območju Spodnje Savinjske doline skoraj ni poplavljala. Močno se je pa poglobila struga. Rečno dno na večini trase poteka po plasti erodibilnega laporja, ki prepereva in ga voda sproti odplavlja. Proces erozije je najizrazitejši na mestih, kjer ni prečnih objektov (jezov), tam je pogosto struga že brez obrežnih zavarovanj. Ker zaradi letuških jezov dotoka proda iz Zgornje Savinjske doline ni, erozija pa se odvija v spodnjem delu pretočnega prereza z lapornato podlago, se struga poglablja in stara (IzVRS, 2005).

Dve veliki poplavi v bližnji preteklosti (1990 in 1998 leta) sta pokazali, da je prevodnost struge Savinje kljub poplavljanju v srednjem toku in na pritokih v spodnjem toku manjša od visokih vod s povratno dobo 50 let in več. Ker z neposrednimi ureditvami prizadetih območij ni možno zagotoviti dovolj velike poplavne varnosti naselij v Spodnji Savinjski dolini, mesta Celja in predvsem Laškega, je edina možna rešitev zadrževanje visokih vod v srednjem toku Savinje (Uradni list RS, 2005a).

### 3.2 Geološka sestava in raba prostora

Geološka podlaga Spodnje Savinjske doline je sestavljena iz hribinske podlage glinavcev in peščenjakov, na katere je odloženo do 10 m aluvialnih naplavin. Na njih so večinoma kmetijske površine. Gozdnate površine se nahajajo v manjši meri med Letušem in Malimi Braslovčami na desnem bregu. Območje Polzele in Pariželj je gosto poseljeno, levi breg od izliva Pake do Pariželj pa praktično ni poseljen. V območju izliva Pake je na desnem bregu zaselek počitniških hiš, ki se s časom spreminja v naselje stalnih bivalnih enot.



Slika 3.1: Topografija širšega območja Letuša in Malih Braslovč

### 3.3 Območje suhega zadrževalnika

Edina možnost za umestitev suhega zadrževalnika v okolje med Letušem in Braslovčami je na desnem bregu Savinje, na območju njivskih površin med zaselkom počitniških hiš v južnem delu Letuša (zemljepisno ime Gmajna) na severu in severnim delom Malih Braslovč na jugu. Zaradi pozidave je območje omejeno na ca. 40 ha. V celoti je varovano z nasipom, ki pa je na nekaterih mestih že dotrajan. Vz dolž nasipa se nahaja več črnih odlagališč najrazličnejših vrst odpadkov, med njimi tudi nevarnih (npr. azbestna kritina). Nekatera so opuščena, nekatera se še uporabljajo. Po celi dolžini je nasip močno zaraščen, večinoma z grmičevjem, ponekod pa tudi z drevesi, katerih premer debel presega 50 cm. Vzhodni del območja tik ob nasipu je večinoma porasel z gozdom z močno prisotnostjo grmičevja. Južni del tik nad hišami v Malih Braslovčah pokriva travnik. Preostali, večinski osrednji in zahodni del območja predstavljajo njive, na njih uspeva kot prevladujoča kultura koruza. Manjši del njivskih površin je namenjen pridobivanju hmelja na hmeljskih žičnicah.



Slika 3.2: Z gozdom porasli del območja (Foto: Avtor, 15.8.2007)

Relief je ravninski, z minimalnim naklonom se dviga proti zahodu, kjer je omejen z nižjo prodnato teraso (ježo) višine ca. 2 m. Preko območja teče v smeri SZ – JV Letuška struga, ki

se napaja z odvzemom vode iz zgornjega letuškega jezua in je po cevi speljana do struge, ki se začne pod spodnjim letuškim jezom. Teče preko celega Letuškega polja, skozi Male Braslovče in se izliva nazaj v Savinjo pod vasjo Preserje. Na delu vodotoka je podeljena koncesija za vzrejo salmonidnih vrst rib (Uradni list RS, 2005b).



Slika 3.3: Travnik med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami (Foto: Avtor, 15.8.2007)

### 3.4 Namen suhega zadrževalnika

Zadrževalniki se uporabljajo za kritje potreb po vodi za različne dejavnosti: za preskrbo s pitno vodo, industrijsko vodo, namakanje, zadrževanje visokih voda, pridobivanje energije, redčenje odpadne vode, izboljšanje plovnosti rek, ipd. V večini primerov služijo zadrževalna (akumulacijska) jezera kot večnamenski objekti (Steinman, 2003).

Suhi zadrževalnik se uporablja kot način preprečevanja posledic visokih voda. Tvori ga poplavna ravnica, obdana z nasipom. Namenjen je prestrezanju visokovodnih konic na vodotoku. Zadržana voda se po določenem času nadzorovano spušča nazaj v vodotok.



Pridevnik suhi pomeni, da je v času, ko ni visokih voda oz. nevarnosti poplav, območje zadrževalnika namenjeno drugim dejavnostim.

Količina vode, ki jo je treba zadržati, lahko presega več milijonov kubičnih metrov, za kar so potrebna obsežna območja. Najugodnejše je, če takšna površina leži tik ob vodotoku, kar zmanjša potrebne objekte za transport vode do zadrževalnika in iz njega. Območje ne sme vsebovati stavb in infrastrukturnih objektov (ceste, železnice, ...), saj bi v tem primeru nastala nepotrebna škoda. Zaradi vse gostejše pozidave in zanimivosti lokacij ob vodotokih za različne dejavnosti (šport in rekreacija, ribolov, vikendski turizem) je lokacij, primernih za graditev suhih zadrževalnikov, vse manj. Prihaja celo do absurda, da je zaradi poselitve na območjih naravnega razlivanja visokih voda treba te objekte ščititi z umetnimi zadrževalniki na za to manj primernih lokacijah.

Pri projektiranju moramo biti pazljivi pri izbiri oblike objektov na vtoku in iztoku, saj ti vplivajo na količino vode, predvsem pa na njeno časovno razporeditev v zadrževalniku. Če ne zajamemo dovolj vode iz struge, obstaja še vedno nevarnost poplav v nižjem toku. V primeru, da je čas zadrževanja vode v zadrževalniku predolg, lahko pride do dodatne škode na površini, namenjeni zadrževalnikom. Na njih so namreč pogosto poleg primarne dejavnosti varovanja pred poplavami prisotne tudi sekundarne dejavnosti kot so ekstenzivno kmetijstvo, pašniki in travniki ter območja, namenjena rekreaciji. Ta so pa v primeru daljšega preplavljenja lahko trajno neuporabna (problem zablattenja). Tudi če ni naštetih dejavnosti, so v obvodnem pasu številna gnezdišča najrazličnejših vrst živali, katerih varovanja tudi ne smemo zanemariti.

Glede na čas zadrževanja ločimo dva tipa zadrževalnikov. V prvem je čas zadrževanja krajši od 24 ur, služi pa količinski kontroli vode v vodotokih (kontrola poplavnih valov), omejitvi poplavljanja dolvodno ter za zaščito rečnega korita pred erozijo. V tem času še ne pride do številčnejšega usedanja delcev, zato je ta tip zadrževalnikov primernejši za sekundarne dejavnosti. Drugi tip so zadrževalniki, v katerih je voda več kot 24 ur, imenujejo se zadrževalniki s podaljšanim časom zadrževanja in služijo čiščenju oz. izboljšanju kakovosti vode. Ti za sekundarne dejavnosti niso primerni zaradi zablattene talne površine (Rejc, 2005).

Zadrževalniki so od preostalega območja ločeni z vzdolžnimi in prečnimi nasipi. Vzdolžni potekajo vzdolž vodotoka in preprečujejo nekontrolirano pretakanje med strugo in zadrževalnikom, prečni, ki stojijo ponavadi pravokotno na os vodotoka, pa preprečujejo razlivanje po širšem območju. Slednji so ponavadi navezani na zaledni teren. Nasipi so zgrajeni iz nepropustnega materiala in zatravljeni, s čimer je dosežena večja skladnost z okoljem.

Vtok v zadrževalnik na gorvodni strani je lahko zgrajen na več načinov. Najpreprostejši način je prelivanje preko bočnih prelivov. Bistvena prednost takšnega načina je ta, da ni potrebna nobena dodatna mehanska oprema (zapornica). Ob poplavih namreč često prihaja do izpada električne energije, ki poganja mehansko opremo, s tem pa ta postane neuporabna in zato tudi zadrževalnik ne deluje. Pomankljivost takšnega dotoka v zadrževalnik je, da se dotoka ne da kontrolirati. Kot posledica se pojavlja prepogosto (nepotrebno ob manjših visokovodnih dogodkih) preplavljanje površine. Kontroliran vtok zagotovimo z ustrežno hidromehansko opremo - zapornicami. Potreben je betonski prepust pod nasipom in ustrezna zapornica, pred katero se nahajajo grobe rešetke, ki preprečujejo vtok plavja in večjih plavin v območje zadrževalnika. Zaradi visokih hitrosti vode na vtoku lahko pride do erozije brežin nasipa, zato se za zapornico oziroma pod bočnim prelivom (v primeru nekontroliranega vtoka) zgradi ustrežno podslapje, ki zmanjšuje tudi talno erozijo po območju zadrževalnika.

Na dolvodni strani zadrževalnika je iztočni objekt opremljen z zapornico, ki je po zgradbi podoben vtočnemu objektu. Hidromehanska oprema na iztoku skrbi za nadzorovan izpus t vode nazaj v strugo vodotoka. Za pravilno delovanje vtočnega in iztočnega objekta se po potrebi izdelata načrt obratovanja, na podlagi katerega se nato izvaja avtomatično krmiljenje pretoka skozi objekte.

## 4 HIDRAVLIČNI RAČUNSKI MODEL OBRAVNAVANEGA ODSEKA

### 4.1 Splošno

Za hidravlični izračun na obravnavanem odseku smo uporabili računalniški program Mike, produkt Danskega hidravličnega inštituta (DHI). Mike sestavlja Mike Zero, ki predstavlja integrirani grafični vmesnik za okolje Windows in omogoča ustvarjanje simulacij, procesiranje podatkov ter izdelavo prezentacij in vizualizacij. Mike Zero delovno okolje omogoča dostop do naslednjih podprogramov (DHI, 2007a):

- Mike 11 – 1 dimenzijsko (1D) modeliranje rek in kanalov
- Mike 21 – 2 dimenzijsko (2D) modeliranje estuarjev, obalnih voda in morij
- Mike 3 – 3 dimenzijsko (3D) modeliranje globokih morij
- Mike 21/3 – integralno modeliranje 2D in 3D modelov
- Mike Flood – 1D in 2D modelni sistem za poplavne študije
- LITPACK – modeliranje priobalnih procesov
- Mike SHE – modeliranje podtalnice

Pri izdelavi hidravličnega modela smo uporabili Mike Flood. Ta se uporablja za poplavne študije, kjer 1D model ni več ustrezen. Mike Flood je kombinacija 1D (območje struge, Mike 11) in 2D (poplavno območje, Mike 21) modela.

Mike 11 omogoča računanje vseh vrst 1D toka (stalnega, nestalnega, enakomernega in neenakomernega). Uporaben je tudi za dinamičen račun velikega števila medsebojno povezanih kanalov. Program je sestavljen modularno, kar omogoča različnim uporabnikom številne konfiguracije. Osnovni modul je hidrodinamični modul (HD), na voljo so pa tudi moduli za ostale primere modeliranja rek. Za opis izgub zaradi hrapavosti dovoljuje uporabo Chezyjeve ali Manningove enačbe. Robni pogoji so potrebni na vseh mejah modela (na zgornji in spodnji strani toka). Za robne pogoje uporabljamo lahko različne parametre, kot sta

npr. gladina toka  $h$  ali pretok  $Q$ . Vsak parameter je lahko podan bodisi kot konstanta bodisi kot s časom spreminjajoč (time series) parameter (DHI, 2007b).

Mike 21 služi računanju 2D toka za primer poplavnih območij in obalnih morij. Osnovni modul je kot pri podprogramu Mike 11 hidrodinamični, dodatni moduli pa omogočajo račun transporta plavin in ekoloških parametrov (kakovost vode, vsebnost težkih kovin, ...). Možen je tudi račun vpliva vetra na valovanje gladine. Za pravilno delovanje je bistvenega pomena izdelava ustreznega računskega modela terena, batimetrije (bathymetry). Robni pogoji se vnašajo ročno, možna je tudi avtomatična prepoznavna. Robni pogoj predstavlja bodisi določeno koto terena bodisi pretok na robu modela.

Vhodni podatek modela Mike Flood predstavljata datoteki modelov Mike 11 in Mike 21. Uporabnikova naloga je le določitev skupnih točk oz. povezave med modeloma (link). Dane so različne možnosti povezav, npr. vzdolžna, povezava preko objekta, ... Odločilnega pomena za delovanje programa je pravilna in natančna izdelava 1D in 2D modela.

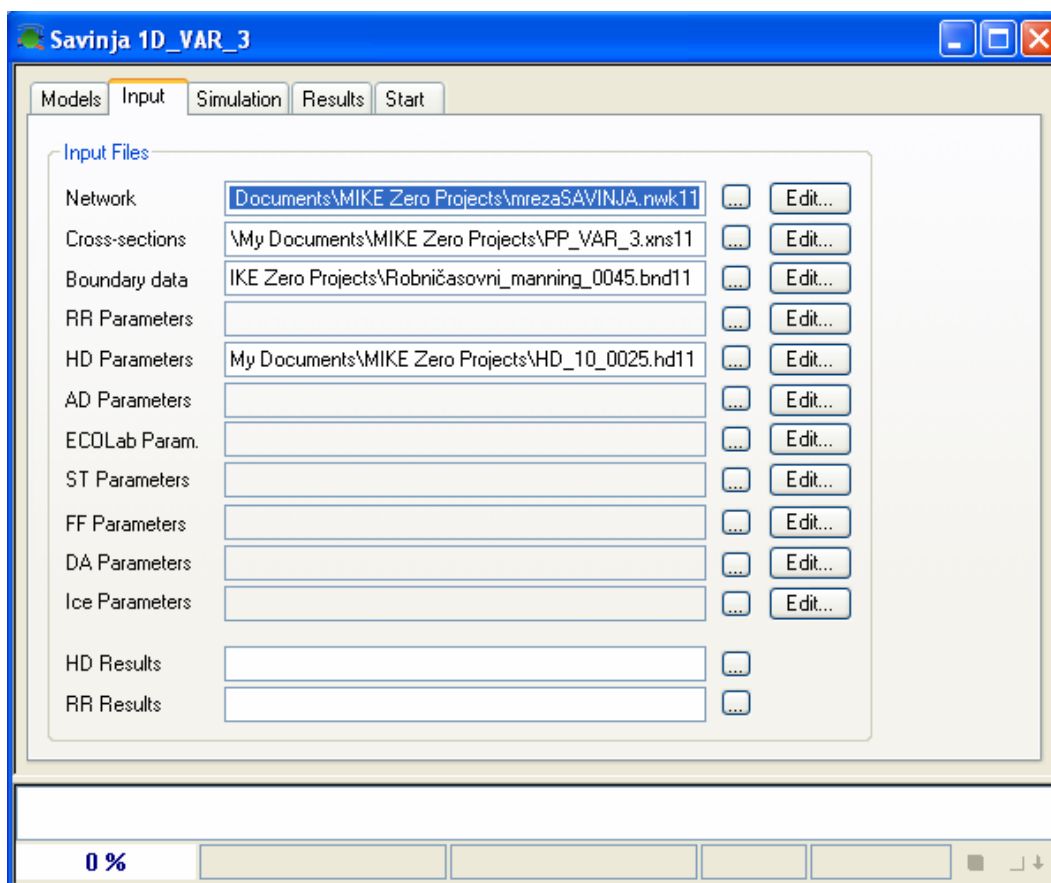
## **4.2 1 D model struge Savinje v programu Mike 11**

### **4.2.1 Izbira modela in vnos vhodnih podatkov**

Za osnovo pri izdelavi geometrije računskega modela v programu Mike 11 je služila situacija območja, izdelana v elektronski obliki s programom AutoCAD. V njej se nahajajo vsi potrebni geometrijski podatki o poteku osi struge, o lokacijah prečnih profilov in o višinah obrežnega terena. Poleg situacije je bila na voljo še dodatna datoteka s podatki o prečnih prerezih. Podatki o prečnih prerezih se prenesejo posredno z datoteko s končnico .pre, ob pomoči programa EXCEL. Datoteko .pre sestavljajo podatki o stacionaži posameznega prereza in o točkah, ki sestavljajo prečni prerez in sicer oddaljenost od osi prereza v smeri  $x$  in višina posamezne točke (smer  $z$ ). Za vsak prerez je treba določiti še mesto (točko) osi prereza. Ker direkten prenos podatkov o oseh iz AutoCAD v Mike ni možen, je potreben ročni vnos za vsak prerez posebej.



Za reševanje naše naloge izberemo hidrodinamični model in način simulacije nestalnega toka. Izbrani model zahteva vnos štirih vrst vhodnih datotek. Vsaka se izdelava posamično z določenim urejevalnikom znotraj programa Mike Zero. Prve tri datoteke vsebujejo podatke o tlorisnem poteku struge, prečnih prerezih in robnih pogojih. Zadnja vsebuje hidrodinamične parametre.



Slika 4.1: Primer okna programa Mike 11.

#### 4.2.2 Tlorisni potek struge

Tlorisni potek opišemo v datoteki s končnico .nwk (network). Najprej določimo območje (geografsko širino in dolžino), kjer želimo risati našo strugo. To naredimo z natančnim vnosom koordinat. Izberemo tako veliko območje, ki pokriva celotni obravnavani odsek. Vnesemo koordinate točk, ki predstavljajo presečišča osi vodotoka s prečnimi prerezi. Tem točkam določimo modelne lastnosti: prečne profile, stacionaže, robne pogoje. Koordinate

odčitamo iz situacije v AutoCAD-u. Osi izberemo tako, da potekajo po sredini korita srednjih vod. Osnovni podatki so vsebovali stacionaže in prečne profile za celotno strugo Savinje od Letuša do Ločice ob Savinji, obravnavani odsek pa se nahaja znotraj 185 in 152 profila oziroma znotraj 47+269 in 45+761 stacionaže. To v naravi predstavlja strugo Savinje od prvega profila po sotočju z reko Pako do Malih Braslovč, konkretno hišne številke 47. Za potrebe računskega modela smo ohranili oznake profilov, spremenili pa oznake stacionaž. Stacionaža v prvem gorvodnem profilu (185) je tako 0 in v zadnjem (152) 1507. Ko imamo vnešene točke in podatke o njihovi legi, jih s pomočjo programa povežemo v strugo. Glede na potek stacionaž program izbere smer toka, ki pa ga lahko določimo tudi ročno.

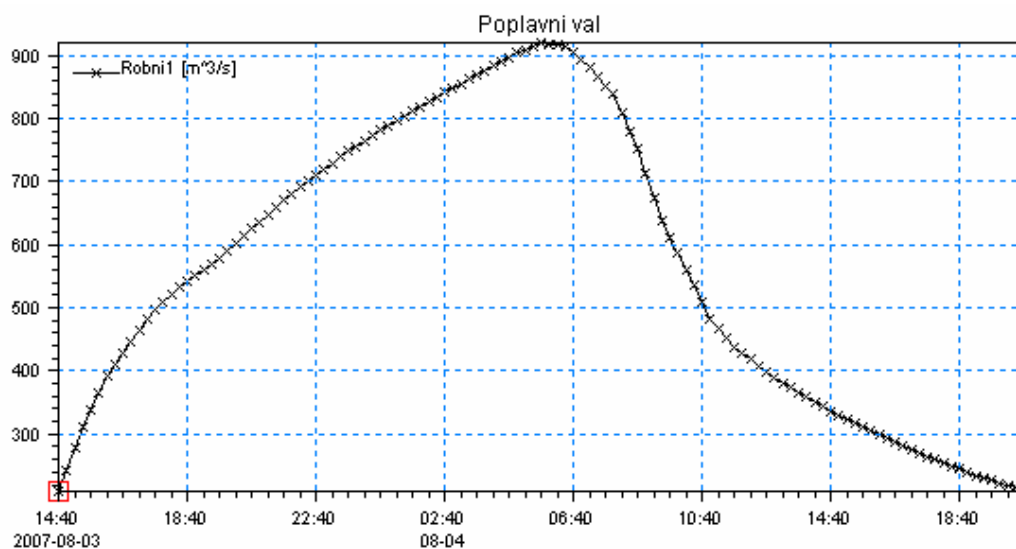
### 4.2.3 Prečni prerezi

Vsaki točki, ki smo jo vnesli pri tlorisnem poteku, določimo prečni prerez. To naredimo z urejevalnikom znotraj programa Mike, ki izdelava vhodno datoteko s končnico .Xsec. Podatki o prerezi vsebujejo oznako prereza, stacionažo in oddaljenost posamezne točke znotraj prereza od osi in njeno višino. Višine so podane absolutno, kot nadmorska višina. Vnosa podatkov iz programa AutoCad v vhodno datoteko Mike 11 ne moremo izvesti avtomatično, temveč moramo podatke za vsak prerez prenesti posebej. Število prerezov je lahko največ enako številu točk, ki smo jih določili pri tlorisnem poteku (različne točke lahko vsebujejo enake prečne prereze). Za vsak prerez določimo še stacionažo, pri kateri se nahaja. Izberemo način vnosa koeficienta hrapavosti, njegovo vrednost pa lahko določamo za posamezne prereze. Vsakemu prerezu moramo določiti levi in desni breg struge, ki ju program lahko določi avtomatično. Pri našem primeru smo jih izvedli ročno zaradi večje natančnosti. Ponavadi se nahajajo na vrhu nasipov, če nasipov ni, pa na najvišji točki brežine. V primeru, da izračunane gladine presegajo višino bregov, se pri nadaljnjem naraščanju gladine znotraj računskega modela upošteva širina struge znotraj teh točk (v naravi pride do prelivanja vode iz struge).

### 4.2.4 Robni pogoji

Program Mike 11 zahteva vnos robnih pogojev na vseh mejah modela. V vhodno datoteko, s končnico .Bnd, vnesemo robni pogoj za gorvodno in dolvodno stran hidravličnega modela. Za gorvodni pogoj izberemo vtok v model. Ker gre za nestalni tok, je spreminjanje količine vode

odvisno od časa, zato izdelamo dodatno datoteko s podatki o pretoku. Podatki se nanašajo na poplavni val s 100 letno povratno dobo ( $Q_{100}$ ). Hidrogram je prikazan na sliki 4.2.



Slika 4.2: Hidrogram  $Q_{100}$  na odseku Savinje do Bolske

Maksimalna vrednost, ki jo v našem primeru doseže poplavni val, znaša 919,5  $m^3/s$ . Ta vrednost se nanaša na pretok Savinje na odseku do Bolske, medtem ko po podatkih iz hidrološkega profila znaša pretok  $Q_{100}$  na našem odseku 910  $m^3/s$ . Podatke za Savinjo do Bolske smo uporabili, ker natančnih podatkov na mestu Savinje pod Pako ni. Hidrološki profil Savinje je prikazan v preglednici 4.1.

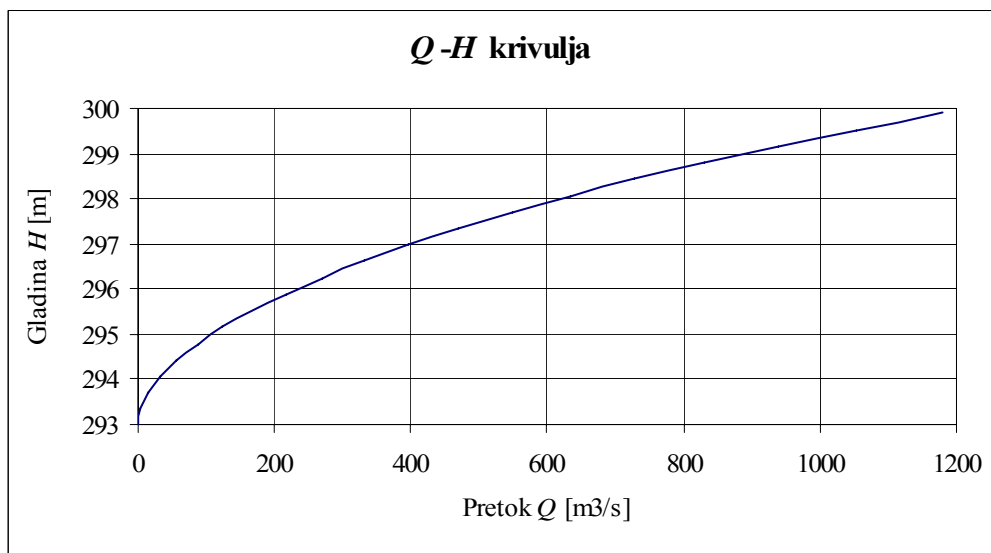
Preglednica 4.1: Hidrološki profil Savinje

SAVINJA HIDROLOŠKI PROFIL	Prispevna površina	Teren	Vodotok		$Q_{100}$	$Q_{50}$	$Q_{20}$	$Q_{10}$	$Q_5$	$Q_2$
	[ $km^2$ ]	[%]	[km]	[%]	[ $m^3/s$ ]	[ $m^3/s$ ]	[ $m^3/s$ ]	[ $m^3/s$ ]	[ $m^3/s$ ]	[ $m^3/s$ ]
Savinja pod Pako	739,4	40,9	56,8	0,8	910	805	664	560	455	355
Savinja do Bolske	762,5	39,8	67,0	0,7	920	814	672	570	460	362

Za robni pogoj na dolvodni strani je uporabljena  $Q$ - $H$  krivulja, ki je prikazana na sliki 4.3. Izračuna jo program na podlagi oblike zadnjega prečnega prereza in Manningovega koeficienta  $n$  po Manningovi enačbi:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} \sqrt{I} \quad (4.1)$$

kjer je  $A$  površina prečnega prereza,  $R$  hidravlični radij,  $I$  pa padec energijske črte.



Slika 4.3:  $Q$ - $H$  krivulja na dolvodnem robnem pogoju

#### 4.2.5 Hidrodinamični parametri

Zadnja izmed vhodnih datotek vsebuje hidrodinamične (HD) parametre. S pomočjo urejevalnika HD parametrov se v simulaciji modela lahko vključijo dodatni podatki. Večina od njih ima prednastavljene vrednosti, ki dajo zadosti točne rezultate simulacije. Vključimo lahko dodatne izhodne podatke npr. za hitrost toka, določimo začetne gladine pri nizkih vodostajih (globalne vrednosti), vpliv vetra, valovanje na gladini, računanje ovir. V našem primeru teh možnosti, razen začetnih gladin, nismo vključili.

#### 4.2.6 Hidravlične izgube in umeritev modela

Hidravlične izgube se določijo znotraj urejevalnika prečnih prereзов. Za vsak prerez moramo določiti Manningov koeficient hrapavosti. Ker pred izdelavo računskega modela niso bili znani podatki o vrednostih Manningovih koeficientov  $n_g$ , jih je bilo treba določiti na podlagi terenskega ogleda. Za določitev hrapavosti struge Savinje sem izbral postopek, opisan v priročniku Hicksa in Masona (1998).

V priročniku je opisanih 78 odsekov rek in rečnih kanalov, ki se uporabljajo kot referenčni odseki za določanje koeficienta hrapavosti v podobnih strugah. Opisani rečni odseki pokrivajo širok spekter vodotokov z različnimi povprečnimi letnimi pretoki, različnimi nakloni in različno zrnavostjo dna. Primerjalni vodotok se izbere tako, da se poišče čim večja podobnost med velikostjo struge in njene oblike, materiala v dnu struge, naklona in obrežne zarasti. Za boljšo ponazoritev so odseki predstavljeni z barvnimi fotografijami. Ko izberemo ustrezen primerjalni vodotok, iz tabele odčitamo Manningove koeficiente za različne pretoke.

Ogled smo opravili 15.8.2007 pri nizkem vodostaju (pretok je znašal okoli  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Na podlagi ogleda in primerjave s fotografijami v priročniku smo odsek razdelili na pet pododsekov (Priloga A) z različnimi koeficienti hrapavosti. Vsakemu smo določili referenčni koeficient na podlagi v prejšnjem odstavku omenjenega postopka. Te koeficiente smo nato uporabili v računskem modelu, kjer smo jih dodatno umerili. Umerili smo jih na tako gladino, da je struga znotraj obstoječih nasipov zapolnjena z vodo, na posameznih najnižjih delih nasipov so pa le-ti prelit. Takšno stanje naj bi odražalo realnost, saj ob ujmi 18.9.2007 nasipi na tem območju po podatkih ARSO (2007) kljub 50 do 100 letnim poplavnim vodam niso bili preplavljeni. Dobljeni Manningovi koeficienti hrapavosti  $n$  so prikazani v preglednici 4.2.

Preglednica 4.2: Vrednost Manningovega koeficienta  $n$  po pododsekih

Pododsek (št. prečnega prereza)	Vrednost referenčnega Manningovega koeficienta $n$	Vrednost umerjenega Manningovega koeficienta $n$
185 do 181	0,043	0,044
180 do 177	0,041	0,049
176 do 171	0,050	0,051
170 do 164	0,065	0,052
163 do 152	0,042	0,045

Prvi pododsek struge Savinje poteka od prečnega prereza 185 do 181. Pod sotočjem s Pako se nahajajo na levi in desni strani struge manjša prodišča (slika 4.4). Tik pod sotočjem je blažja stopnja, kjer se niveleta zniža za nekaj 10 cm, do konca pododseka pa je skoraj vodoravna. Dno sestavlja pretežno prod, ki pa je delno zablaten. Na prodiščih raste trava, delno jih zarašča tudi grmovje. Posebnih ovir v vodotoku ni. Izrazito oviro toku predstavlja ob povečanem vodostaju bujna zarast na bregovih struge na nasipu.



Slika 4.4: Savinja na pododseku 1 (Foto: Avtor, 15.8.2007)



Dno struge drugega pododseka od prečnega prereza 180 do 177 tvori prod različnih dimenzij. Prevladujejo drobnejše frakcije kot na pododseku gorvodno. Struga je močnejše zablatena. Prisotne so blažje ovire v obliki prodišč (slika 4.5), ki pa se ob nastopu višjih voda lahko bodisi povečujejo bodisi zmanjšujejo. Bregovi so srednje zaraščeni, nasipi so na posameznih mestih že poškodovani.



Slika 4.5: Savinja na pododseku 2 (Foto: Avtor, 15.8.2007)

Tretji pododsek sega od prereza 176 do 171 (slika 4.6). Na začetku so prisotne ovire v obliki velikih prodnikov s premerom do 80 cm. Dno je prodnato, med velikimi prodniki, ki so ob ogledu segali nad gladino, so prisotne manjše frakcije. Zablatenost struge glede na prejšnji odsek je zmanjšana. Opazno je slabše stanje nasipov. Glede na obseg drevesnih debel na nasipu se sklepa, da nasipi niso bili vzdrževani že več desetletij. Vegetacijo na bregovih sestavljajo starejša drevesa, med katerimi raste grmičevje.



Slika 4.6: Savinja na pododseku 3 (Foto: Avtor, 15.8.2007)



Četrty pododsek se nahaja med prerezoma 170 in 164 (slika 4.7). Dno struge je izprano do lapornate podlage. Prod je prisoten le v manjših žepih levo in desno od glavne struge. Velike ovire v obliki kamnitih blokov ovirajo tok preko celotnega odseka. Širina struge je zelo različna. Na gorvodnem delu se postopno zožuje, na najožjem delu je široka le nekaj metrov, nakar se hitro razširi. Struga nato poteka preko naravnih diagonalnih stopenj, ki tok reke usmerjajo na desni breg in povzročajo močno erozijo bregov. Na levem bregu je prodišče, kjer se odlagajo večje frakcije. Preko celotnega pododseka je prisotna pogosta neprizmatičnost, ki se pojavlja zaradi močne talne in bočne erozije. Zaradi trajnega poglobljanja struge so nasipi močno poškodovani, v veliki meri so tudi zaraščeni.



Slika 4.7: Savinja na pododseku 4 (Foto: Avtor, 15.8.2007)

Na petem, zadnjem pododseku od prereza 163 do 152, je naklon struge blažji kot v prejšnjem odseku, zato prihaja tu do odlaganja drobnejših delcev (slika 4.8). Zato je dno večinoma zablateno. Struga reke poteka skoraj v premi. Glede na os vodotoka so prečni prerezi večinoma simetrični, razlik med levim in desnim bregom praktično ni. Ovire v strugi so zanemarljive. Zaradi poglobljanja struge so nasipi delno spodkopani, lesena bruna, ki podpirajo nasip, so v slabšem stanju – delno preperela. Vegetacije znotraj struge ni, prisotna je na nasipih, kjer je srednje intenzivna.



Slika 4.8: Savinja na pododseku 5 (Foto: Avtor, 15.8.2007)

#### 4.2.7 Časovni korak in interval

Izbrani časovni korak mora biti čim krajši, sicer račun ni stabilen. Izbrali smo časovni korak, dolg 1 sekundo. Časovni interval pa izberemo glede na dolžino poplavnega vala. Ker smo imeli na voljo poplavni val dolžine 30 ur, smo tudi interval za račun v Mike 11 izbrali dolg 30 ur.

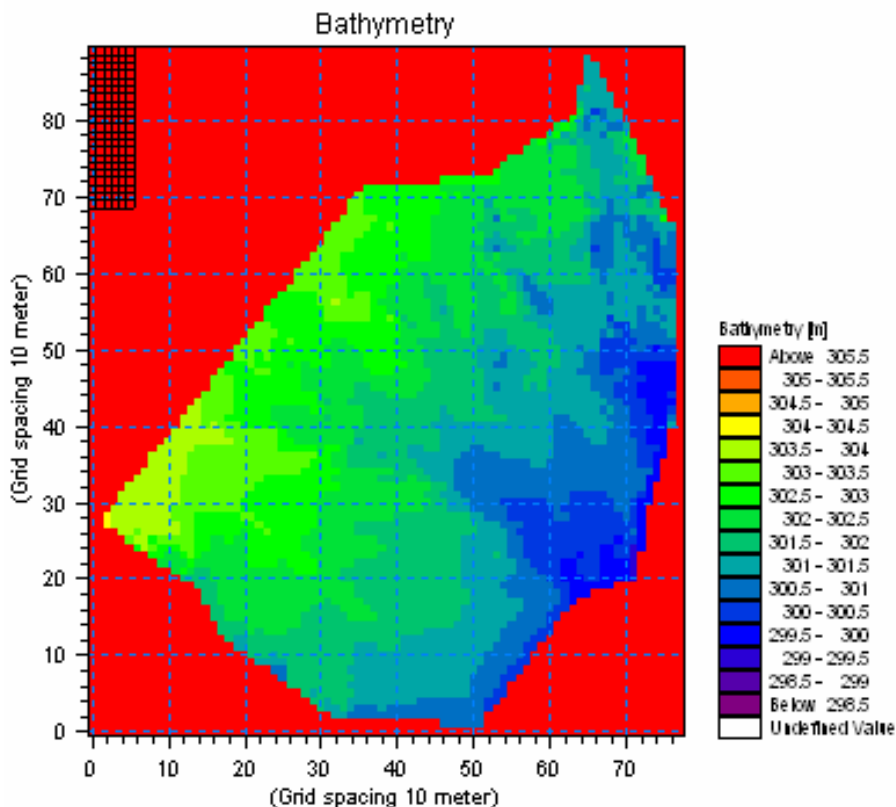
#### 4.3 2D model suhega zadrževalnika v programu Mike 21

V dvodimenzijem modelu nastavimo dve vrsti parametrov: osnovne in hidrodinamične.

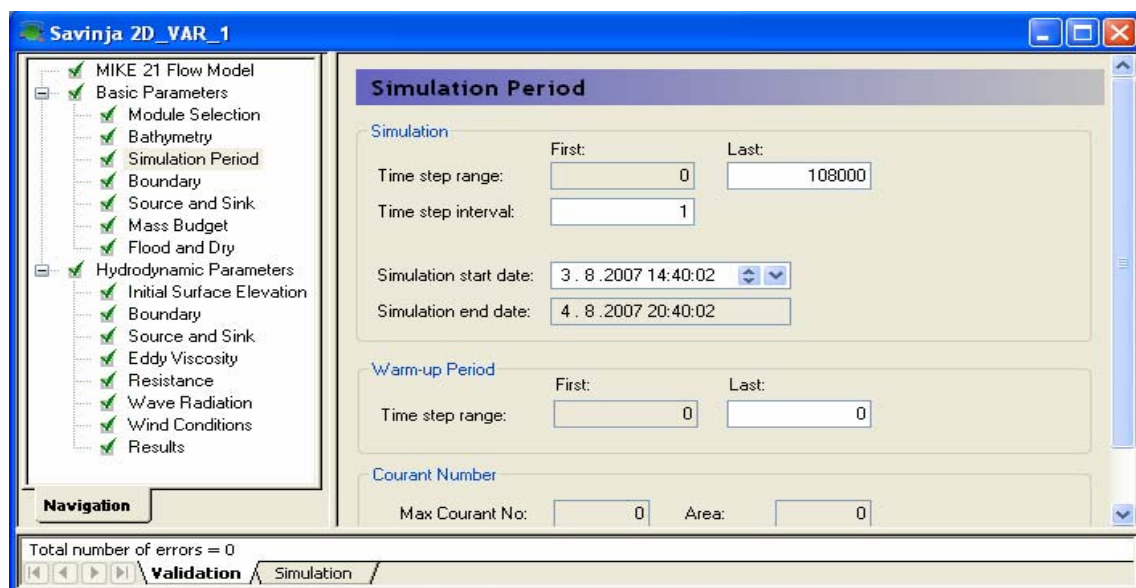
Znotraj osnovnih parametrov izberemo modul, določimo batimetrijo, časovni korak in robne pogoje. Modul za računanje izberemo enako kot prej v 1D modelu - hidrodinamični. Batimetrijo (slika 4.9) izdelamo s pomočjo podprograma za izdelavo le-te. Kot osnova služi XYZ datoteka s podatki o višini in geografski legi točk, ki se nahajajo znotraj zadrževalnika. Dano smo imeli datoteko s točkami za širše območje zadrževalnika, ki je vsebovala tudi točke na obstoječih nasipih. Nekatere točke so podane nenatančno (podatek o višini odstopa npr. več 10 m od dejanskega stanja), zato je treba točke skrbno pregledati in določene po potrebi izbrisati, da dobimo kasneje ob interpolaciji točk boljše rešitve. Pozorni moramo biti tudi pri točkah, ki predstavljajo nasipe. Te izbrišemo, saj jih pri določitvi batimetrije poplavne ravnice ne potrebujemo. Območju, po katerem ne želimo računanja (npr. območje izven nasipov zadrževalnika), določimo koto terena, ki je nekaj m višja od ostalega terena. Nato izdelamo mrežo modela, kjer uporabimo ustrezno resolucijo. Za potrebe našega modela izberemo mrežo 10 krat 10 m. Točkam v tej mreži se s pomočjo interpolacije določijo vrednosti kote terena. Ker bomo uporabili 2D model v kombinaciji z 1D modelom, mora časovni interval sovpadati s časovnim intervalom v Mike 11 (slika 4.10). Robne pogoje prepustimo programu, da jih določi avtomatično.

Določiti je možno še hidrodinamične parametre: začetno gladino vode, vir in ponor vode, valovanje, veter, hrapavost. Za Manningov koeficient hrapavosti na poplavnem območju uporabimo vrednost  $n = 0,1$ . Ker gre v našem primeru za suhi zadrževalnik in služi 2D model

samo kot vhodni podatek modela v programu Mike Flood, ostalih hidrodinamičnih parametrov ne nastavljamo (DHI, 2007c).



Slika 4.9: Batimetrija 2D modela

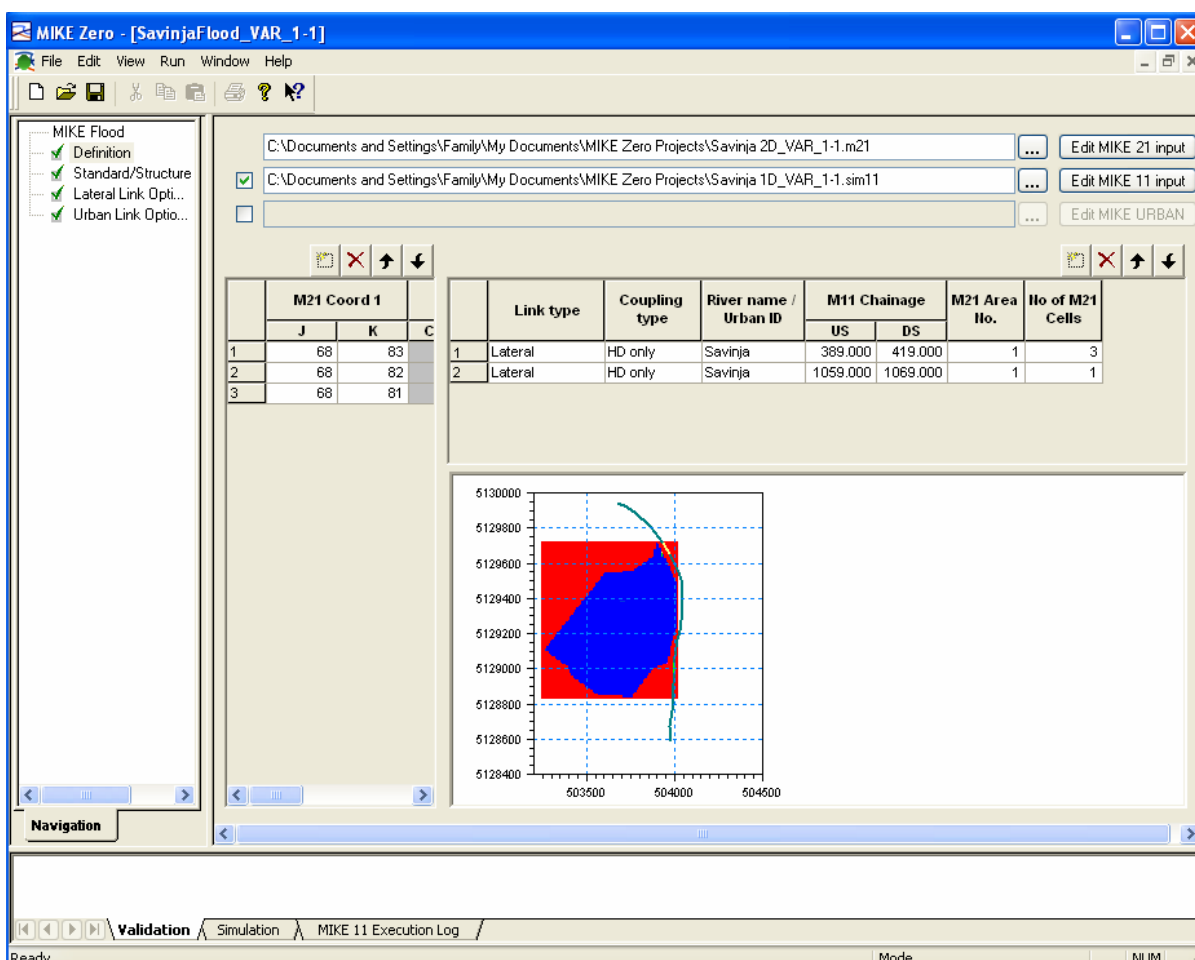


Slika 4.10: Primer okna programa Mike 21 z določitvijo časovnega koraka



#### 4.4 Kombinirani model v programu Mike Flood

Ko smo izdelali modela v programih Mike 11 in Mike 21, smo ju združili v programu Mike Flood (slika 4.11). V njem izberemo, katere datoteke želimo združiti in izberemo način povezave. Kakšni načini povezave so bili uporabljeni, je opisano v naslednjem poglavju. Podrobnejši opis delovanja programa je opisan v literaturi DHI (2007d).



Slika 4.11: Uporabniški vmesnik programa Mike Flood

## 5 REZULTATI HIDRAVLIČNIH IZRAČUNOV

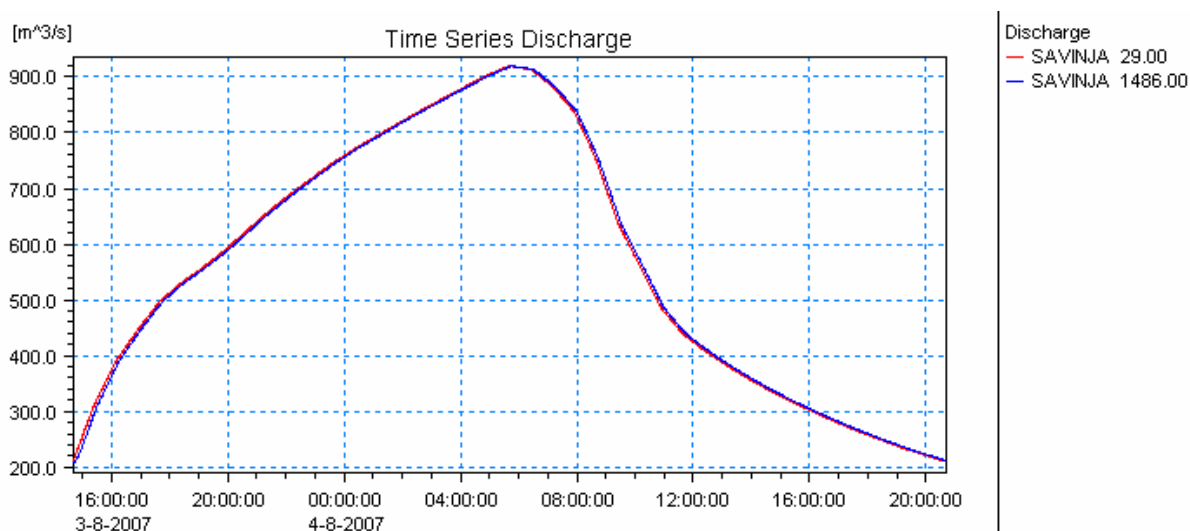
Izdelali smo tri različne hidravlične modele (3 variante). Vsak je ponazarjal drugačen način izrabe nepozidanega območja med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami, ki je veliko ca. 40 ha. Zaradi dvigovanja terena proti zahodu je dejanska maksimalna površina, ki jo je mogoče izrabiti za poplavljanje, do 35 ha. Območje je bilo izbrano zaradi vse gostejše pozidave ob strugi Savinje, saj ostaja eno redkih nepozidanih in na ta način primernih za kontrolirano poplavljanje.

Pri vsaki izmed variant smo primerjali potrebno višino prečnih nasipov, ki bi varovali zaselka pred vodami, ki bi se izlivale na to območje in znižanje gladine na zadnjem dolvodnem odseku v primerjavi z današnjim stanjem (začetnim stanjem). Lokacije morebitnih prečnih nasipov so v vseh primerih enake. Predpostavili smo, da se vzdolžnih nasipov gorvodno in dolvodno od območja v smislu razširitve ali nadvišanja ne spreminja. Vsem variantam je skupni gorvodni odsek struge Savinje v dolžini 346 m in dolvodni v dolžini 438 m. Spremembe oblike struge se nanašajo na desno brežino od stacionaže 346 do 1069.

### 5.1 Obstoječe stanje

Rezultate obstoječega stanja smo dobili tako, da smo zagnali 1D model v programu Mike 11. Rezultati predstavljajo dogodek s stoletno povratno dobo in trajanjem 30 ur. Kot referenčni prečni prerez za primerjavo gladin z ostalimi variantami izberemo zadnji dolvodni profil 152 na stacionaži 1507 m. Ker Mike 11 računa gladine na prečnih prerezih, pretoke pa med dvema prerezoma, so rezultati o pretokih vezani na stacionažo med zadnjima dvema prerezoma in sicer na 1486 m. Maksimalni pretok na začetku modela (med prvima dvema prerezoma na stacionaži 29 m) znaša  $919,5 \text{ m}^3/\text{s}$  in nastopi 15 ur po začetku naraščanja vodotoka. Do zadnjega prereza prispe 7 minut kasneje in znaša  $918,9 \text{ m}^3/\text{s}$  (slika 5.1), medtem ko se gladina vode nahaja na koti 299,10 m. Pri računu pretokov in gladin v obstoječem stanju se ne upošteva morebitnega prelivanja preko nasipov, kjer so ti poškodovani ali kjer niso zadosti visoki. Račun v Mike 11 upošteva širino struge glede na podatke o prečnih prerezih. Če se

nahaja gladina vode nad zadnjo višinsko točko prereza, se vzame širina struge pri vseh nadaljnjih gladinah enaka zadnji znani širini.



Slika 5.1: Primerjava hidrogramov v prvem in zadnjem prerezu

## 5.2 Varianta 1

Pri varianti 1 se takoj za zadnjo hišo v Letuški Gmajni izvede znižanje (odstranitev) obstoječega vzdolžnega nasipa do kote zalednega terena v dolžini 30 m. Odprtina v nasipu se nahaja na začetku prereza 177 in se razteza med stacionažo 389 in 419 m. Odprtina služi prelivanju vode iz struge Savinje na poplavno ravnico. Pred prvo hišo v Malih Braslovčah se izvede podobno znižanje nasipa, le da je dolžina odprtine manjša (10 m). Ta služi iztoku vode s poplavne ravnice nazaj v strugo. Nobena od odprtin ne vsebuje hidrotehničnih objektov. Iztočna odprtina se nahaja pred prerezom 163 in sega od stacionaže 1059 do 1069 m.

V programu Mike Flood naredimo povezavo med modeloma na sledeč način: določimo celice iz mreže 2D modela, narejenega v Mike 21, in stacionažo na 1D modelu iz Mike 11 in jih povežemo s pomočjo bočne povezave. Ker je mreža v 2D modelu dimenzij 10 krat 10 m, izberemo za odprtino širine 30 m tri celice, za iztočno odprtino dolžine 10 m pa eno. Izbrana stacionaža v 1D modelu je enaka v zgornjem odstavku omenjenim stacionažam. Rob, preko

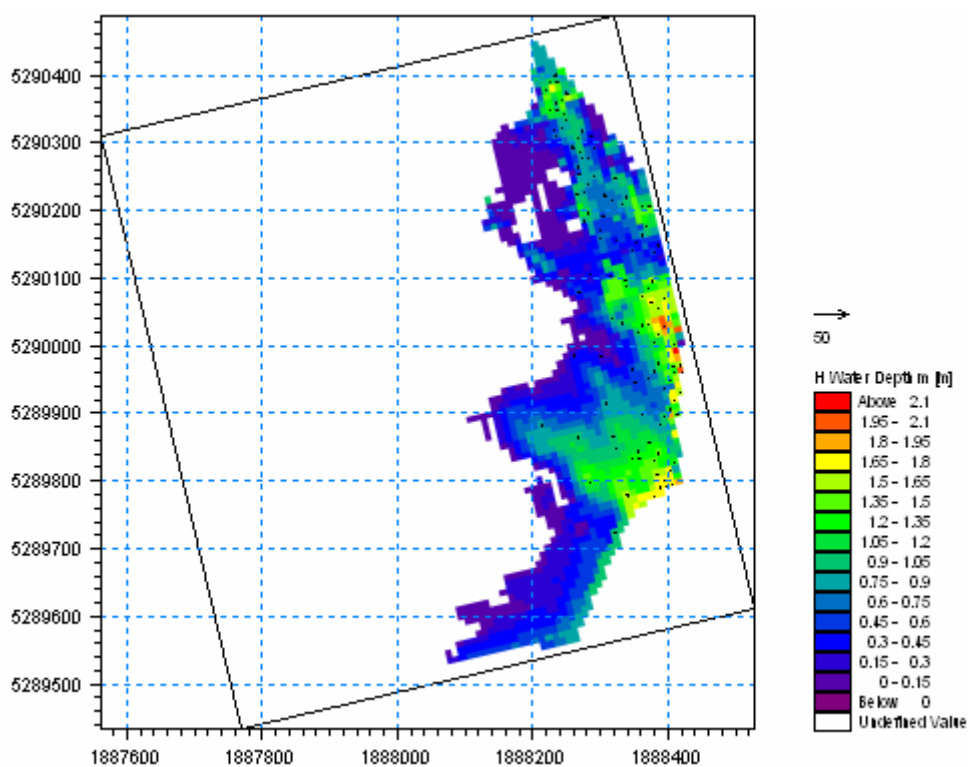
katerega se voda izliva iz 1D modela, označimo s točko za desni rob prečnega prereza. Ko gladina vode preseže to točko, začne program računati tok vode po poplavni ravnici.

Gladina vode pri  $Q_{100}$  sega v začetnem stanju (brez spreminjanja nasipov) na mestu vtočne odprtine do kote 303,18 m. Ker je kota terena na tem mestu bistveno nižja (301,85 m), se začne prelivanje na poplavno ravnico že pri pretokih, ki so večji od  $506 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $Q_5 - Q_{10}$ ). Pri nadaljnjem naraščanju reke se tako del pretoka usmeri na poplavno ravnico, večina pa teče naprej po strugi. Ko pretok na prerezu pred vtokom doseže maksimum pri  $919 \text{ m}^3/\text{s}$ , se na vtočnem prerezu  $39 \text{ m}^3/\text{s}$  izliva na ravnico,  $880 \text{ m}^3/\text{s}$  pa jih ostaja v strugi.

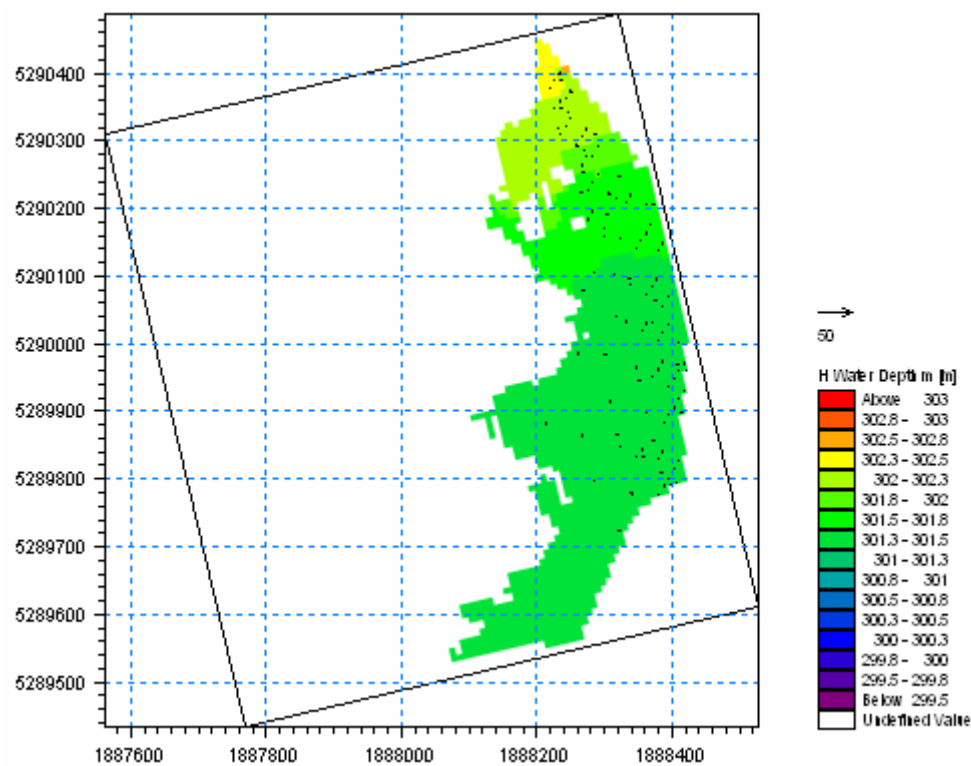
Od začetka poplavnega vala do trenutka, ko začene voda dotekati v zadrževalnik, pretečejo 3 ure in 20 minut, nakar voda na območju narašča nadaljnjih 11 ur. Ob višku znaša poplavna površina 15,4 ha, povprečna globina vode pa je 61 cm. Po tem času začne voda upadati in steče z območja v 6 urah. Tako je v primeru simulacije  $Q_{100}$  čas poplavljenja območja 17 ur. Praznjenje oziroma nižanje gladine na območju poteka skladno z upadanjem reke v strugi. Ko pade gladina v strugi pod koto terena na iztočnem delu, je poplavno območje že praktično suho. Po upadu poplavnega vala se voda zadrži le v posameznih kotanjah (depresijah glede na okoliški teren). Te vode je za  $11000 \text{ m}^3$  in lahko predpostavimo, da s časom ponikne in izhlapi.

Padnica terena na poplavni ravnici poteka od SZ proti JV. Zato je kota poplavne vode najvišja v območju vtoka v zadrževalnik in znaša 302,25 m (maksimalna globina vode je 1 m). Kota terena najnižjih parcel, ki bi jih bilo v primeru takšne ureditve treba varovati s prečnim nasipom, znaša 301,25 m. V južnem delu, na območju Malih Braslovč, doseže maksimalna gladina vode koto 301,36 m, medtem ko znaša kota terena na tem območju med 301,00 m in 299,60 m. Največja globina je tako 1,70 m. Gladina vode preko celega terena je v rahlem padcu, kar pomeni, da voda ne miruje, temveč se pretaka preko območja. Manjše jezero se za kratek čas ustvari le v južnem delu.





Slika 5.2: Največja globina vode, varianta 1



Slika 5.3: Najvišja gladina vode, varianta 1

Voda vedno teče v sledečem vrstnem redu: struga – vtočna odprtina – zadrževalnik – iztočna odprtina – struga. Do pojava, da bi voda vtekala v zadrževalnik na iztočnem delu ali iztekala na vtočnem, zaradi višinske razlike med vtokom in iztokom ter padca struge ne prihaja.

Iztočna odprtina je na koti 299,55 m, maksimalna gladina vode v strugi pred izvedbo odprtine pa na njenem mestu 300,44 m. Ob gladini vode, enaki koti terena, znaša pretok 650 m<sup>3</sup>/s. Od pretoka 506 m<sup>3</sup>/s dalje, del vode teče po poplavni ravnici in se preko iztočne odprtine že vrača nazaj v strugo. Odtok se pojavi v času 5 ur in 20 minut od začetka poplavnega vala oziroma 2 uri in 10 minut od začetka vtoka v zadrževalnik. Ob tem času znaša gladina v strugi 299,10 m. Pretok skozi iztočno odprtino hitro naraste na nekaj m<sup>3</sup>/s, nakar postopno narašča do maksimalne vrednosti 39,22 m<sup>3</sup>/s. Časovna razlika med največjim pretokom na vtoku in iztoku znaša 1 uro in 10 minut.

Zaradi odstranitve nasipov so ogrožene nekatere hiše v Letuški Gmajni in Malih Braslovčah. Za njihovo zaščito je treba zgraditi dva prečna nasipa: severnega za varovanje Letuške Gmajne in južnega za varovanje Malih Braslovč (Priloga C). Varnostna višina nasipov (to je višina nad najvišjo računsko gladino) mora biti 0,5 m. Glede na višino vode v zadrževalniku in kote okoliškega terena določimo kote in dolžine varnostnih nasipov. Rezultati so prikazani v preglednici 5.1.

Preglednica 5.1: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 1

Nasip	Dolžina [m]	Max. Gladina [m]	Varnostna višina [m]	Kota krone nasipa [m]	Max. Višina nad terenom [m]
Severni	190	302,25	0,50	302,75	1,40
Južni	385	301,35	0,50	301,85	2,40

Severni nasip se navezuje pravokotno na obstoječi nasip in poteka vzdolž zazidalne meje do poljske poti, ki vodi proti Malim Braslovčam. Maksimalno višino nad terenom doseže v delu tik ob vzdolžnem nasipu znotraj manjšega gozda. Dolžina nasipa, višjega od 1,0 m, je 50 m. Na travniku vzdolž hiš višina nasipa ne presega 0,5 m. Ta del nasipa je dolg 140 m.

Južni nasip poteka od obstoječega vzdolžnega nasipa ob Savinji v smeri ZJZ v dolžini 85 m. Glede na okolico je v tem delu najvišji. Nato poteka del, dolg 200 m, v smeri JZ, nakar se obrne v smeri Z in se naveže na ježo, ki poteka na zahodnem delu območja. Na delu navezave na ježo je nasip visok 0,80 m.

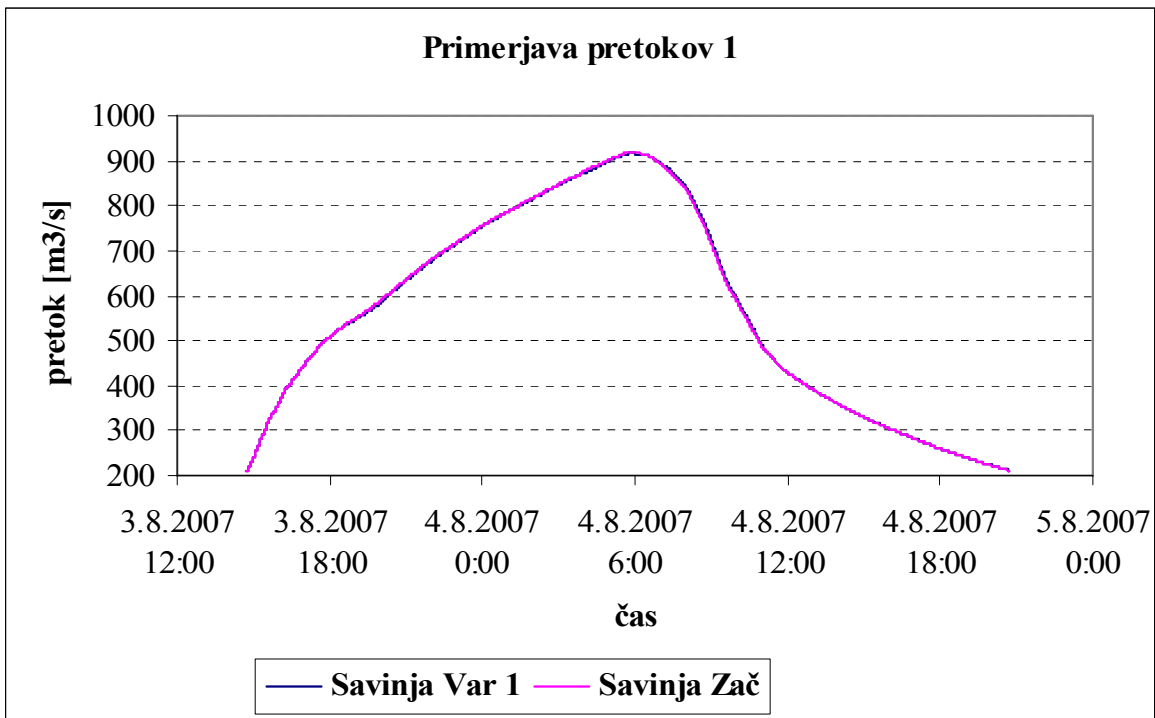
Vzdolžni nasipi ne potrebujejo nadvišanja, saj jih niti voda iz struge niti voda iz zadrževalnika ne preplavita. Na mestu vtoka in iztoka izvedemo dodatne bočne ojačitve nasipov, dno utrdimo s kamenjem, da zaradi velikih pretočnih hitrosti ne prihaja do erozije.

Z izvedbo variante 1 (slika 5.4) znaša največji pretok na zadnjem prerezu računskega modela 916,5 m<sup>3</sup>/s, kar je 3 m<sup>3</sup>/s manj kot pred izvedbo. Gladina se zmanjša za 1 cm in znaša 299,09 m.

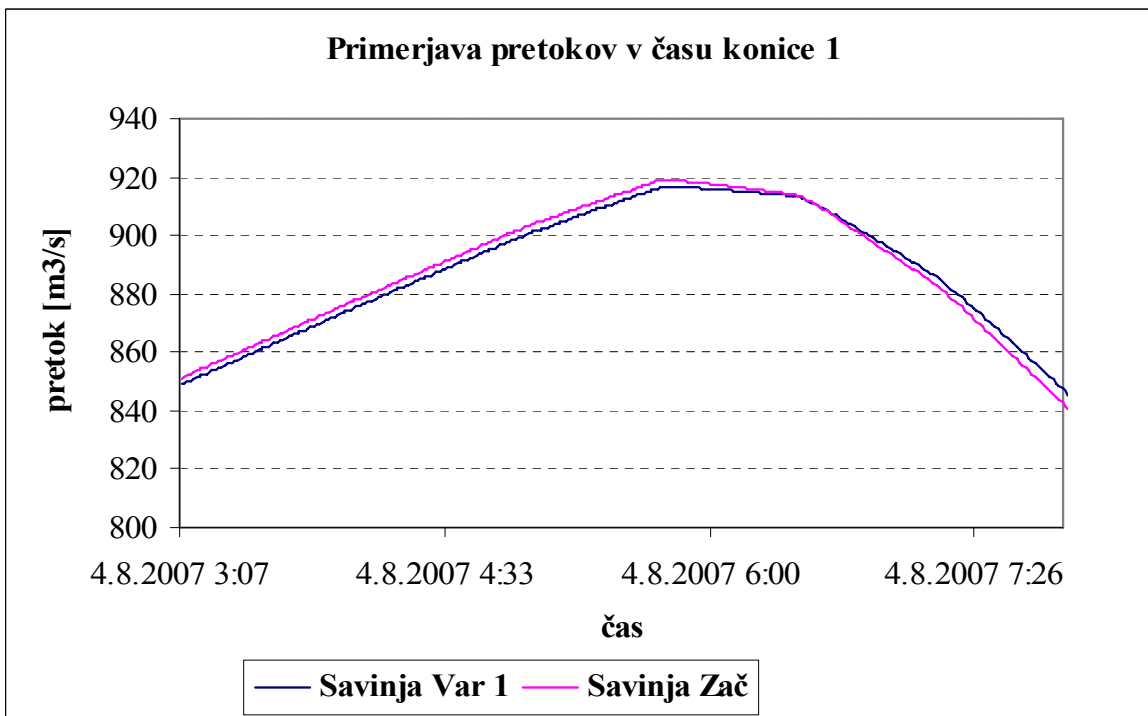
Slika 5.5 prikazuje primerjavo pretoka med začetnim stanjem in izvedbo variante 1 v času viška pretoka. Viden je nižji maksimum v primeru variante 1 in zakasnitev v padanju pretoka po prehodu viška (vpliv zadržanega volumna).

Na sliki 5.6 vidimo, da je največja razlika med pretokom na začetku in koncu modela v primerjavi z začetnim stanjem, na začetku vtoka v zadrževalnik. Ko se pojavi še iztok, znaša razlika med 2 in 3 m<sup>3</sup>/s. Proti koncu, ko začne voda v strugi upadati, se pojavi povečanje pretoka v strugi glede na začetno stanje (praznenje zadrževalnika).

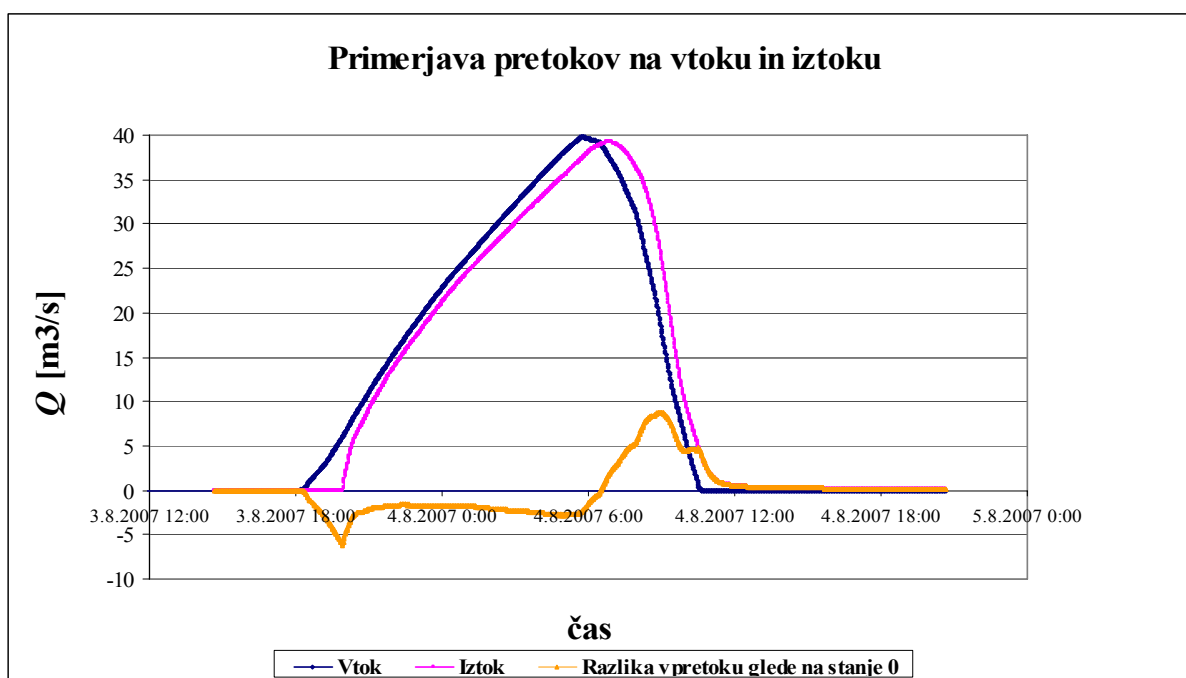
Bistvene spremembe v pretoku glede na začetno stanje se dogajajo v območju struge, ki je med vtokom in iztokom na poplavno območje. V tem delu se zmanjša pretok za del pretoka, ki odteka na poplavno območje. Za primerjavo smo izbrali prečni prerez, ki se nahaja na sredini med vtokom in iztokom (PP 169, stacionaža 778). Časovni interval prikaza je izbran tako, da del, kjer gladini sovpadata, ni prikazan. Najvišja gladina se zmanjša za 6 cm (slika 5.7).



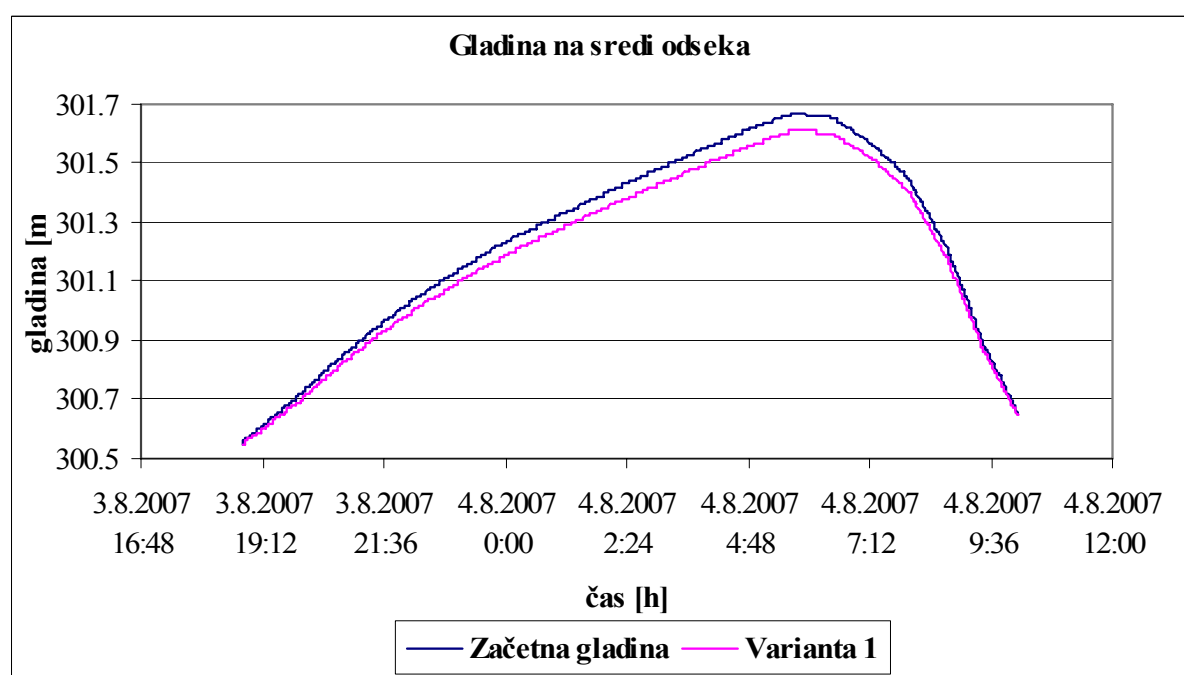
Slika 5.4: Primerjava variante 1 in začetnega stanja



Slika 5.5: Pretoki v času konice



Slika 5.6: Primerjava pretokov na vtoku in iztoku za varianto 1



Slika 5.7: Znižanje gladine na prečnem prerezu 169

### 5.3 Varianta 2

Varianta 2 predvideva popolno odstranitev obstoječega desnega vzdolžnega nasipa med prečnim prerezom 177 in 163 (od stacionaže 389 do 1069 m) do kote zalednega terena. Odprtina dolga 680 m omogoča prosto prelivanje vode iz struge Savinje na poplavno ravnico oziroma na območje suhega zadrževalnika. Začetek in konec odprtine predstavlja v naravi isto mesto kot vtočna in iztočna odprtina pri varianti 1.

Povezavo med 1D in 2D modeloma naredimo v programu Mike Flood tako, da desno brežino od stacionaže 389 do 1069 m v modelu 1D povežemo s celicami v 2D modelu. Celice se nahajajo vzdolž celotnega vzhodnega roba 2D modela. Celotno število celic, ki predstavljajo povezavo, znaša 77. Teren na 'suhi' strani obstoječega nasipa vsebuje več manjših kotanj, ki bi v primeru odstranitve nasipa segale zelo nizko v primerjavi z gladino v strugi. Zato se pri njih pojavi določena nestabilnost računskega modela, kljub izbiri časovnega koraka 1s. Zato povezavo desnega brega izvedemo v podobnem padcu kot znaša padec struge in ne v takšni obliki, kakršna je v dejanskem stanju na terenu.

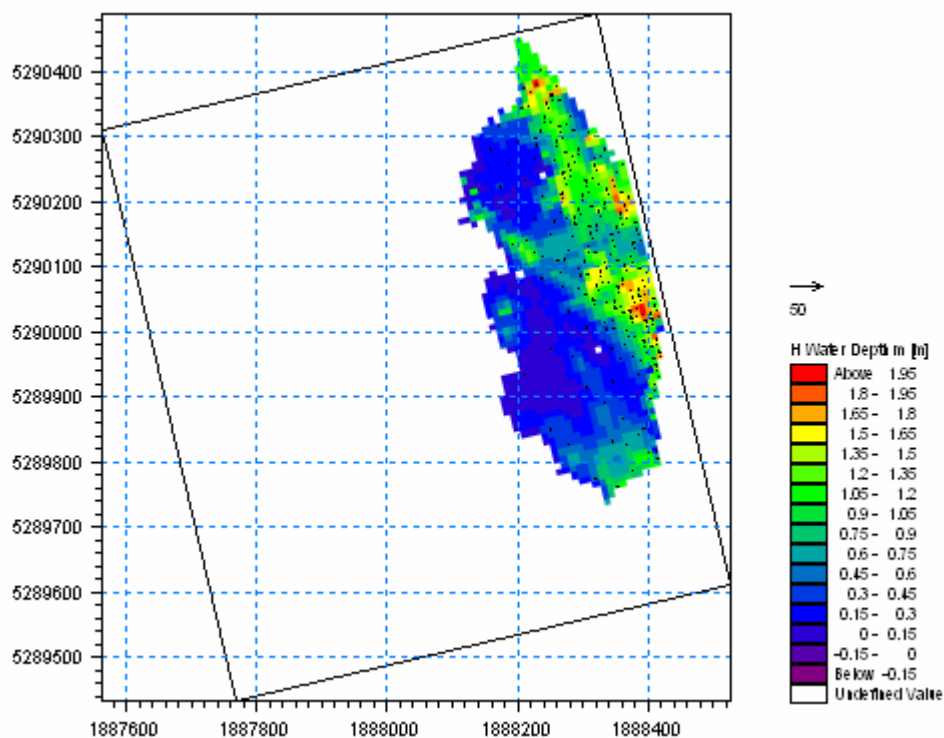
Po začetku poplavnega vala ostaja voda nekaj časa le v strugi. Voda se začne prelivati na območje zadrževalnika na mestu, kjer je razlika med gladino vode in koto terena najmanjša. To se zgodi na prvem gorvodnem prerezu (177), 3 ure in 30 minut po začetku poplavnega vala. Z nadaljnjim naraščanjem se voda preliva tudi na ostalih mestih. V gorvodnem delu večinoma vstopa na poplavno ravnico, v dolvodnem pa se steka nazaj v strugo. Največji pretok na ravnico doseže ob najvišji gladini vode v strugi v območju stacionaže 435 m (prerez 176) in sicer  $49 \text{ m}^3/\text{s}$ , prelivna dolžina, ki pripada prerezu 176, je 48,5 m, globina vode pa več kot 1 m.

Čas poplavljenja območja je odvisen od oblike hidrograma. Poplavljanje se začne, ko pretok preseže  $506 \text{ m}^3/\text{s}$ . Od tega trenutka dalje traja naraščanje gladine na poplavnem območju 12 ur. Ob tem času je obseg poplavljenih površin največji in znaša 13,4 ha, ob povprečni globini vode 60 cm. Območje zadrževalnika je poplavljeno 17 ur in 40 minut. Čas praznenja je odvisen od količine vode, ki se pojavi na poplavnem območju. V našem primeru traja odtok

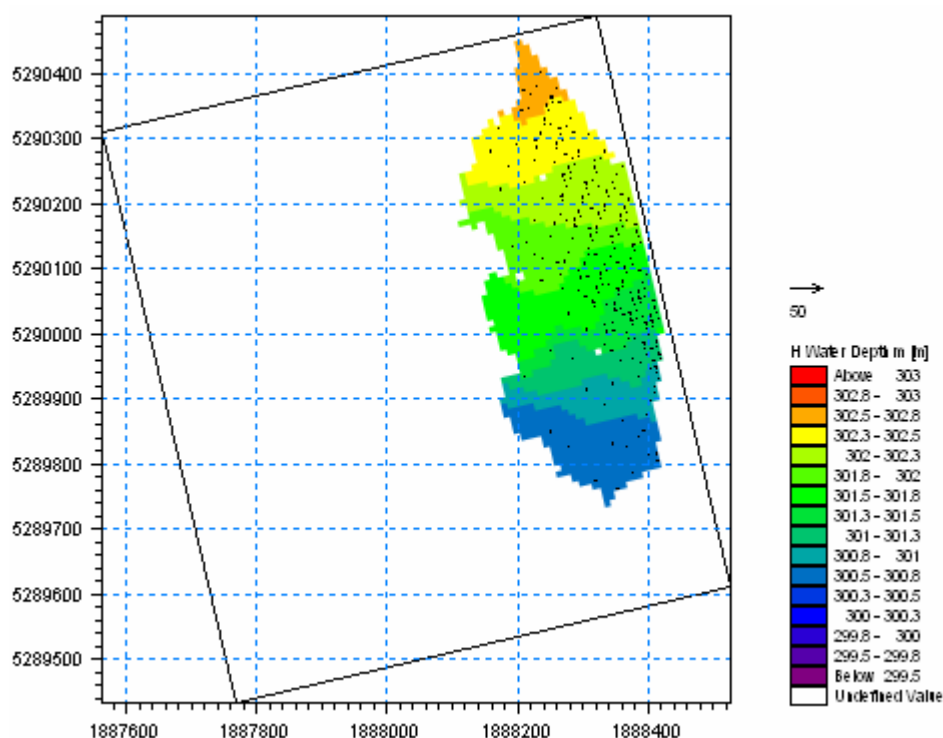
vode z območja 5 ur in 40 minut. Vsi časi veljajo za simulacijo  $Q_{100}$ . Po umiku glavnine vode z območja ostane v posameznih depresijah še  $10.000 \text{ m}^3$ . Ta voda s časom ponikne.

Gladina vode na severnem delu znaša  $302,55 \text{ m}$ , glede na okoliški teren ( $301,25 \text{ m}$ ) je največja globina vode  $1,30 \text{ m}$ . Na južnem delu pri Malih Braslovčah je najvišja gladina vode  $300,70 \text{ m}$ , največja globina pa  $110 \text{ cm}$ . V osrednjem delu, na območju manjših depresij, je največja globina  $205 \text{ cm}$ . Ker je celotna površina v rahlem padcu in v neposrednem stiku z vodo v strugi reke, se ustvari stalni tok vode preko območja. V praktičnem smislu predstavlja varianta 2 razširitev struge.

Iztok z območja poteka večinoma v spodnjem, južnem delu. Mesta, kjer bi voda ob naraščanju Savinje pritekala na območje, ob upadanju pa odtekala, se pojavljajo le v manjšem obsegu. Največji pretok je v območju prečnega prereza 167 (stacionaža  $877 \text{ m}$ ), doseže pa na pretočni širini  $57 \text{ m}$  (tolikšna širina preliva oziroma dolžina struge pripada konkretnemu prečnemu prerezu), pretok  $62 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $1,09 \text{ m}^3/\text{s/m}$ ).



Slika 5.8: Največja globina vode, varianta 2



Slika 5.9: Najvišje gladine vode, varianta 2

Z odstranitvijo desnega vzdolžnega nasipa je omogočen prost pretok vode na poplavno ravnico – območje suhega zadrževalnika. Ker se na podobnih kotah kot poplavna ravnica nahajajo tudi nekatere hiše, moramo te zaščititi s prečnimi nasipi. Izvedemo dva nasipa, severnega in južnega. Potrebne kote nasipov so prikazane v preglednici 5.2.

Preglednica 5.2: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 2

Nasip	Dolžina [m]	Max. Gladina [m]	Varnostna višina [m]	Kota krone nasipa [m]	Max. Višina nad terenom [m]
Severni	190	302,55	0,50	303,05	1,80
Južni	155	300,70	0,50	301,20	1,75

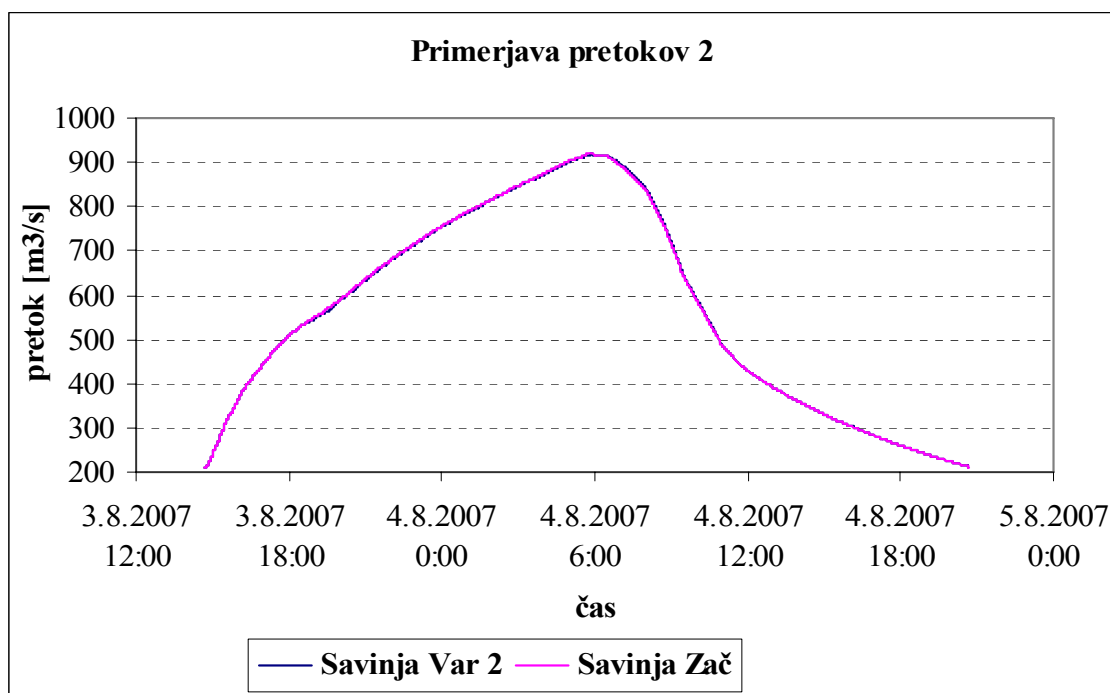
Severni nasip poteka pravokotno na obstoječi vzdolžni nasip v smeri JZ. Celotna dolžina je 190 m, v delu tik ob vzdolžnem nasipu, kjer je višina nasipa nad terenom največja, pa je dolg 50 m. Vzdolž travnika je nasip glede na teren visok približno 50 cm, zaključni pa se z navezavo na lokalno cesto. Voda cesto sicer v smeri proti jugu malenkostno preplavi, vendar zaščitni ukrepi v obliki nasipov niso potrebni, ker hiše niso ogrožene.



Južni nasip se začne na obstoječem vzdolžnem nasipu in poteka vzporedno z lokalno cesto, zaključi se s povezavo s terenom. Višina nad terenom je v začetnem vzhodnem delu okoli 170 cm. Dolžina tako visokega nasipa je 85 m. Nadaljnjih 70 m se nasip glede na teren znižuje. Ko se kota krone nasipa in kota terena izenačita, se nasip zaključi.

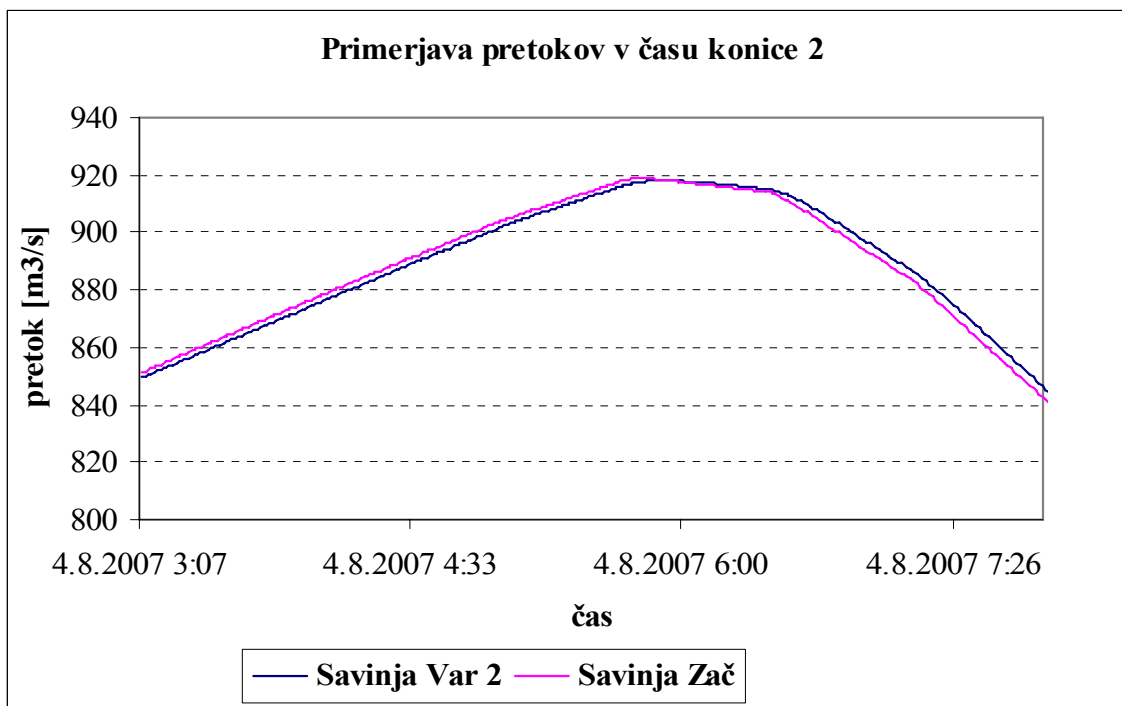
Ker so vzdolžni nasipi v celoti odstranjeni, na njihovem mestu ne izvajamo nobenih dodatnih ukrepov. Izvedemo le zaokrožitev brežin, da zmanjšamo morebitno erozijo.

V primeru izvedbe variante 2 se na zadnjem dolvodnem prerezu (stacionaža 1507 m, prerez številka 152) zmanjša maksimalni pretok za 0,8 m<sup>3</sup>/s, gladina se zniža za manj kot 1 cm. Maksimum nastopi 7 minut kasneje kot v začetnem stanju. V grobem se hidrograma začetnega stanja in variante 2 le malo razlikujeta (slika 5.10).

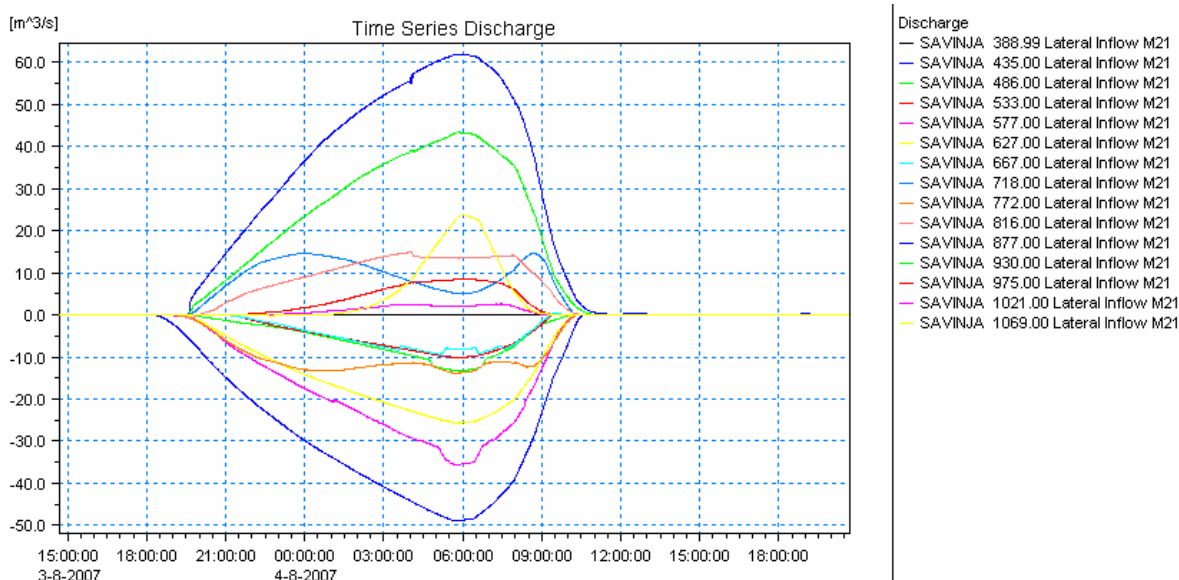


Slika 5.10: Primerjava pretokov

V času viška pretoka (nad 840 m<sup>3</sup>/s) se vidi zakasnitev pretoka pri varianti 2, maksimuma se praktično ne razlikujeta (slika 5.11).



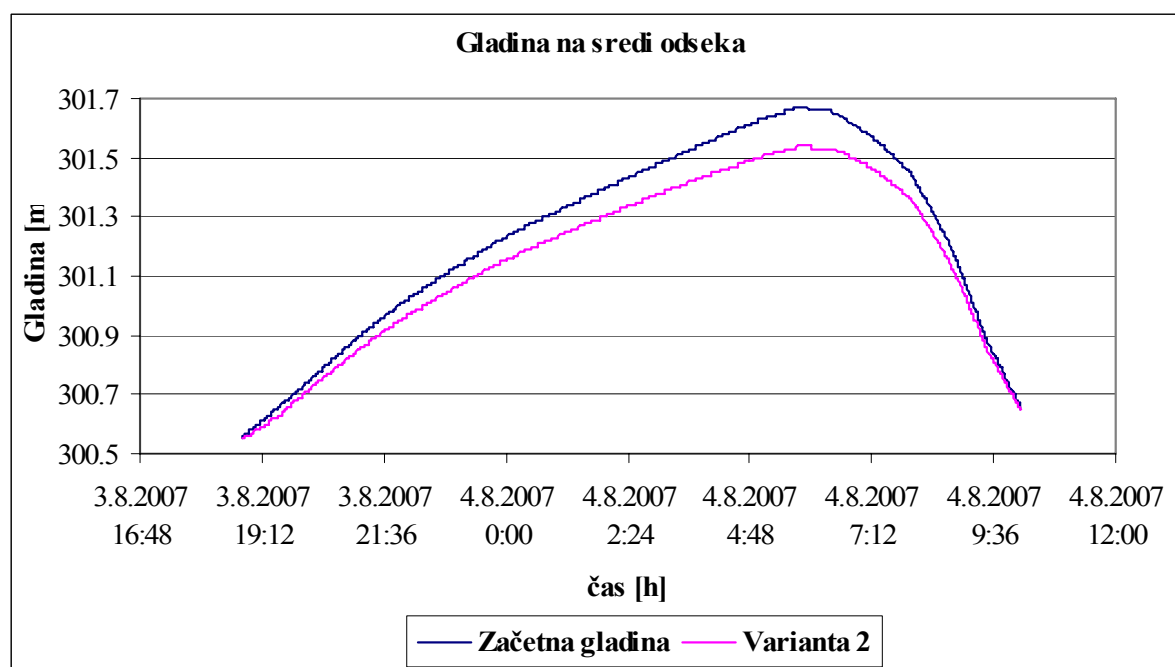
Slika 5.11: Primerjava viška pretoka



Slika 5.12: Pretok iz struge na poplavno območje in nazaj

Slika 5.12 prikazuje 'prečne' pretoke v posameznem prečnem prerezu. Negativni pretoki pomenijo vtok na poplavno območje, pozitivni pa iztok. Na začetku voda najprej teče na območje (prvi graf z leve spodaj (435)), kmalu zatem se začne tudi že iztok iz območja (graf levo zgoraj). Večina območja se aktivira naenkrat (večina grafov se začne v isti točki) in tudi istočasno doseže vrhove (največji vtok ali iztok). Manjša zakasnitev pri odtoku glede na vtok je vidna na koncu grafov. Zanimivi so grafi brez izrazite konice. Ti predstavljajo mesta, kjer se vzpostavi konstantna razlika med gladino vode v strugi in gladino poplavne vode.

Z izvedbo variante 2 bistvenih razlik na koncu prereza v primerjavi z začetnim stanjem ni. Pokažejo se v tistem delu struge, kjer voda teče tudi po poplavnem območju (se zliva v zadrževalnik). Za ponazoritev izberemo prečni prerez, ki se nahaja na sredini dela, kjer je odstranjen vzdolžni nasip. Na tem prerezu (169) znaša zmanjšanje pretoka v strugi v primerjavi z začetnim stanjem  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , gladina pa se zniža za 13 cm. Gladina se kljub velikemu zmanjšanju pretoka ne zniža tako izrazito, kar je posledica manjših pretočnih hitrosti (slika 5.13).



Slika 5.13: Znižanje gladine na prerezu 169, varianta 2

## 5.4 Varianta 3

Varianta 3 predvideva izkoriščenje območja med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami v največji možni meri. Izvede se suhi zadrževalnik z maksimalnim možnim volumnom glede na dane reliefne značilnosti in prostorske možnosti. Na skrajnem severnem delu ob Letuški Gmajni se zgradi nasip potrebne višine, ki ščiti hiše pred razlivanjem vode iz zadrževalnika. Na zahodnem delu nasip ni potreben, ker poplavljanje vode zaustavi dvigajoč teren. Na južnem delu je nasip, ki povezuje ježo na zahodnem delu območja z obstoječim vzdolžnim nasipom. Vtok v zadrževalnik je izveden v obliki bočnega preliva, ki zagotavlja samodejno in zanesljivo obratovanje in ni vezano na vir "zunanje" energije (Pemič in Mikoš, 2005).

Bočni preliv se začne pri prerezu 178 in poteka do prereza 175 v dolžini 140 m. Začetek preliva se nahaja en prečni prerez gorvodno od mesta, kjer se pri varianti 1 in 2 nahaja mesto brez nasipa. Podaljšanje v gorvodni smeri je bilo potrebno za doseg višje gladine v zadrževalniku in zaradi boljše izkoriščenosti le-tega.

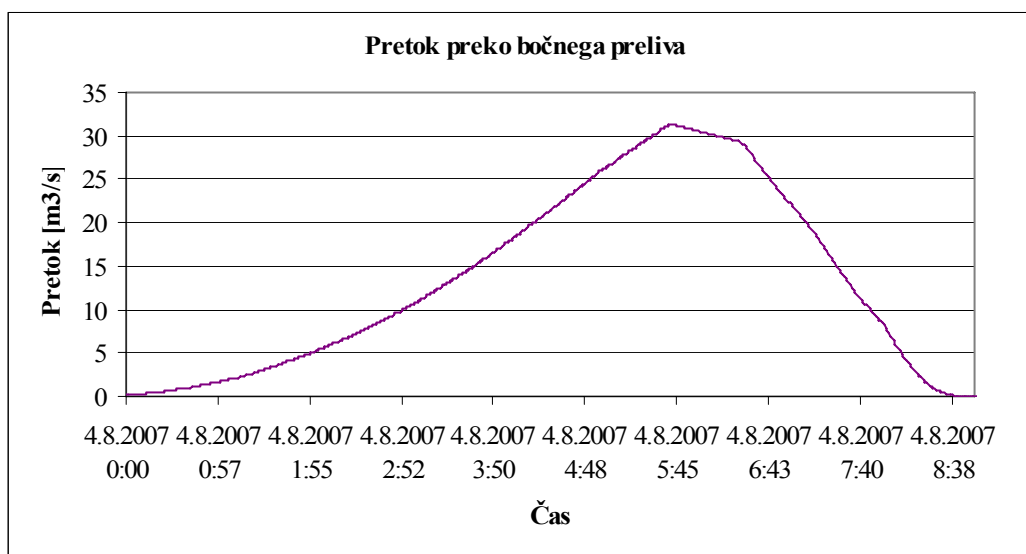
Obstoječi vzdolžni nasipi se nadvišajo do take kote, ki onemogoča nekontrolirano prelivanje vode med zadrževalnikom in strugo. Na najnižji točki zadrževalnika se zgradi iztok, ki je zaprt s tablasto zapornico širine 5 m. Zapornica služi prazenju zadrževalnika po preteku poplavnega vala. Zapornica leži med stacionažo 1064 in 1069 m oziroma nad prerezom 163. Za primer poplavnega vala, večjega od  $Q_{100}$ , je na tem mestu izveden še varnostni preliv. Vsi nasipi, ki obdajajo zadrževalnik, imajo vsaj 50 cm varnostnega nadvišanja.

Modeliranje zadrževalnika je potekalo v programu Mike Flood v dveh fazah. Najprej smo izdelali model, ki je simuliral vtok v zadrževalnik. Preizkušene so bile različne dolžine in kote bočnega preliva. Glede na obliko poplavnega vala (obliko hidrograma) sta bili določeni optimalni vrednosti teh dveh parametrov. Za povezavo med 1D in 2D modeloma smo uporabili lateralno (vzdolžno) povezavo. 140 m struge v 1D modelu smo povezali z 28 celicami velikosti 10 krat 10 m v 2D modelu. Večje število celic od dejanske širine je bilo uporabljeno, ker poteka povezava po diagonali.

Ko smo dobili rezultate za polnjenje zadrževalnika, smo izdelali še model za praznjenje. Za začetni robni pogoj smo uporabili dobljeno najvišjo koto vode v zadrževalniku. Iztok bi sicer lahko modelirali z ustrezno zapornico, vendar verzija, ki je bila na razpolago, ne omogoča uporabe objektov za nadzorovani odtok. Uporabili smo enako metodo kot pri modeliranju vtoka (bočni preliv). Koto preliva je predstavljalo dno zadrževalnika, širino preliva pa 5 m, kolikor znaša širina zapornice. Vzdolžna povezava med modeloma je bila izvedena med eno celico v 2D in 5 m dolžine struge v 1D modelu. Rezultat predstavlja situacijo, da se zapornica hipoma odpre in ostaja ves čas odtoka popolnoma odprta. Za boljše iztekanje iz modela smo rahlo spremenili batimetrijo. Iz večjih depresij (ena se nahaja na vzhodnem delu ob vzdolžnem nasipu, druga pa na skrajnem južnem delu ob prečnem nasipu) smo napeljali kanale za tok vode proti iztoku v širini ene celice.

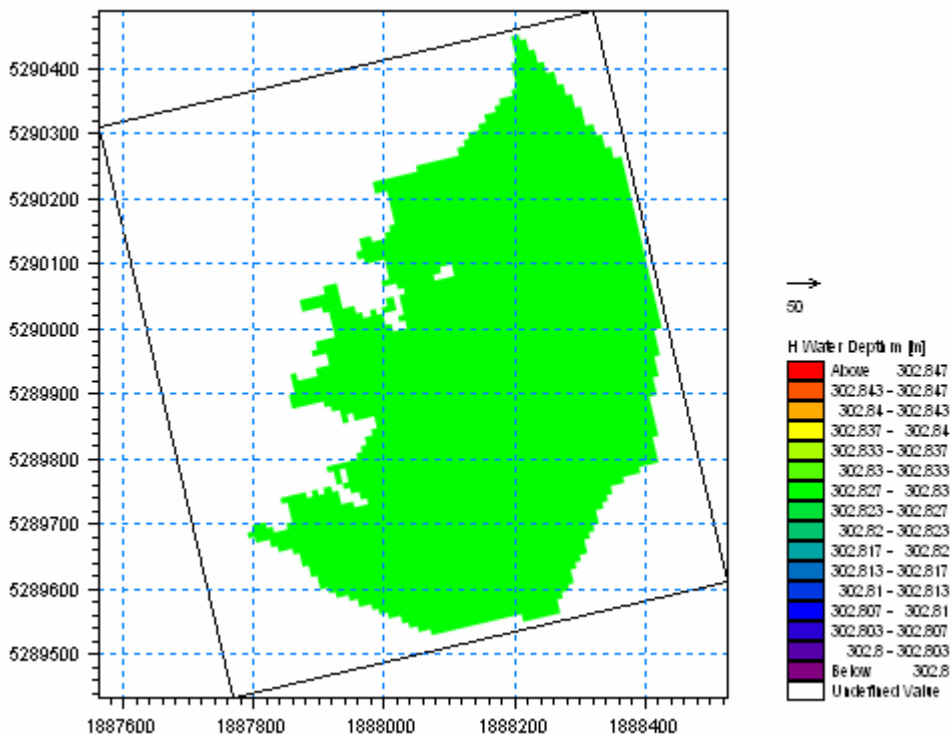
Krona preliva poteka vodoravno na višini 302,85 m. Za vodoravno krono smo se odločili zaradi boljšega izkoristka volumna zadrževalnika. Razlika v gladini vode v strugi med gorvodnim delom preliva in dolvodnim znaša 40 cm. Z izvedbo preliva v naklonu, enakemu naklonu gladine, bi tako izgubili 40 cm globine vode preko celega zadrževalnika, kar je več kot 120.000 m<sup>3</sup>. Ko gladina vode v strugi preseže to višino, se začne vtok v zadrževalnik. Ta gladina predstavlja visoko vodo s pretokom, večjim od 730 m<sup>3</sup>/s (20 do 50 letna povratna doba). Pri nadaljnjem naraščanju reke narašča tako pretok preko preliva kot pretok v strugi dolvodno od preliva. To pomeni, da preliv ne prevzame celotnega pretoka nad 730 m<sup>3</sup>/s. Ko znaša največji pretok na prerezu tik nad prelivom 919,5 m<sup>3</sup>/s, znaša pretok preko preliva 31,3 m<sup>3</sup>/s. Za toliko se tudi zmanjša največji pretok dolvodno od zadrževalnika. Največja višina prelivanja znaša 44 cm. Diagram vtoka v zadrževalnik je prikazan na sliki 5.14.

Polnjenje zadrževalnika traja 9 ur. Kota preliva je optimirana na obliko danega poplavnega vala, zato poteka polnjenje tudi še po prehodu maksimuma. Ko gladina upade pod koto preliva, je zadrževalnik ravno poln. V primeru drugačne oblike hidrograma se ne bi napolnil do vrha, ali pa bi prišlo do prelivanja preko varnostnega preliva na dolvodnem delu.



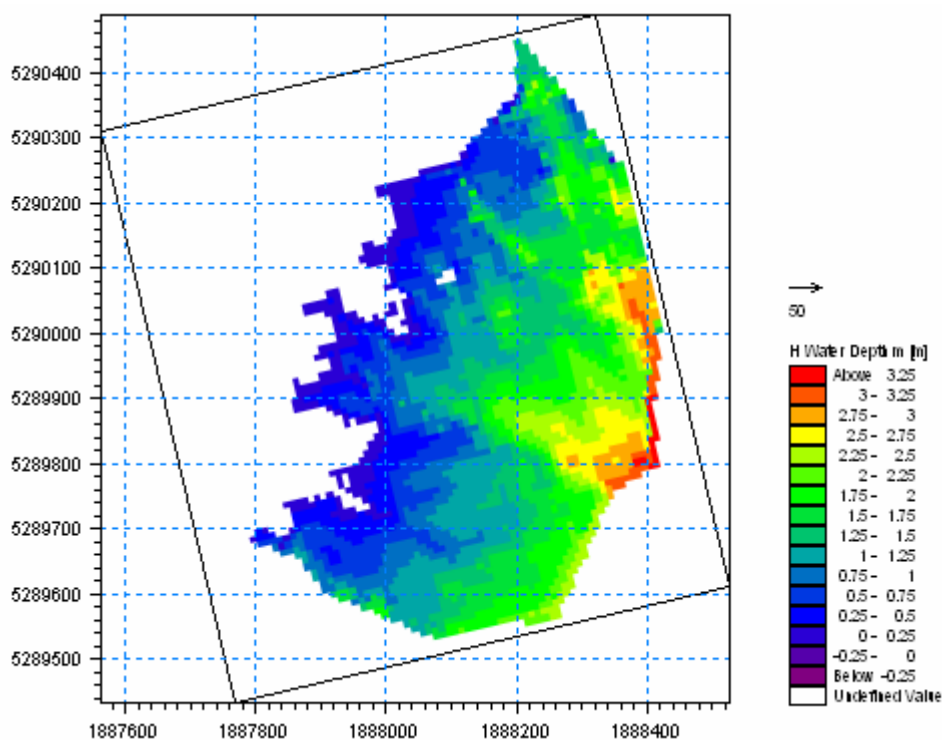
Slika 5.14: Diagram vtoka v zadrževalnik

Ko je zadrževalnik poln, znaša površina, ki je poplavljena, 33 ha, povprečna globina vode je 1,3 m in s tem prostornina zadrževalnika 430.000 m<sup>3</sup>.



Slika 5.15: Najvišja gladina vode v zadrževalniku, varianta 3

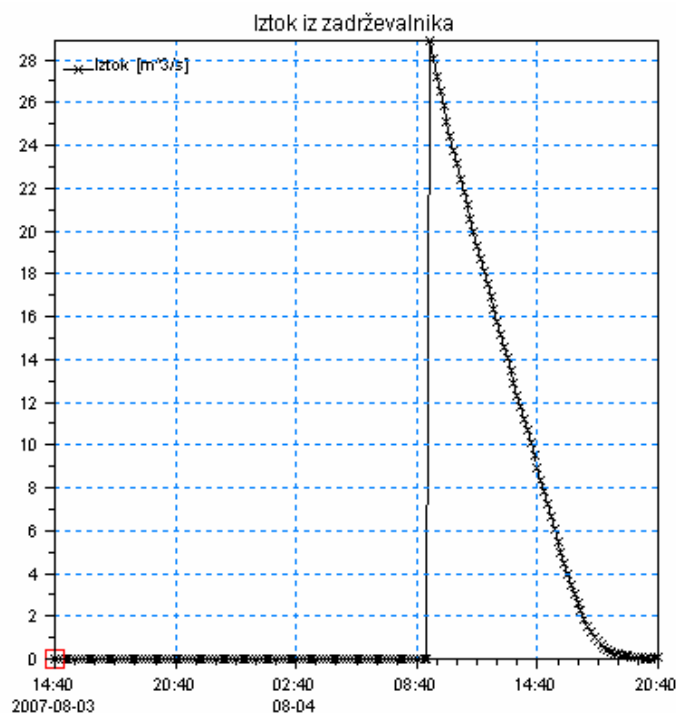
Gladina vode, ko je zadrževalnik poln, je na višini 302,83 cm (slika 5.15). Največja globina vode na mestu vtoka v zadrževalnik je 140 cm. Vzdolž severnega prečnega nasipa je med 30 in 70 cm. Največja globina 340 cm se pojavi na mestu izтока iz zadrževalnika. V najjužnejšem delu je globina okoli 200 cm (slika 5.16).



Slika 5.16: Največje globine vode v zadrževalniku, varianta 3

Kdaj se zadrževalnik prazni, je odvisno od razmer, ki vladajo po pretoku visokovodnega vala na območjih, ki ležijo dolvodno ob Savinji. V našem primeru smo predvideli praznjenje takoj po napolnitvi in sicer zato, ker je imel naš vhodni podatek o pretokih (hidrogram) omejen časovni interval. Celotni čas je bil 30 ur in znotraj tega časa je bilo treba zmodelirati tako polnjenje kot praznjenje zadrževalnika.

Praznjenje zadrževalnika traja 8 ur in 30 minut. Največji pretok  $28,9 \text{ m}^3/\text{s}$  je dosežen takoj po odprtju zapornice (slika 5.17). Po tem času je zadrževalnik večinoma izpraznjen, ostanejo manjše količine zadržane vode v posameznih kotanjah ( $20.000 \text{ m}^3$ ), pretok na iztoku pa pade pod  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 5.17: Hidrogram iztoka iz zadrževalnika

Zadrževalnik tvorijo vzdolžni in prečni nasipi. Za izvedbo variante 3 je treba nadvišati obstoječi vzdolžni nasip (med strugo Savinje in zadrževalnikom) in zgraditi dva prečna (severnega in južnega). Ker je višina zalednega terena na zahodu višja od potrebne kote nasipa, izgradnja drugega vzdolžnega nasipa (med zadrževalnikom in ostalimi površinami) ni potrebna. Potrebne kote in dolžine nasipov so prikazane v preglednici 5.3.

Preglednica 5.3: Dolžine in višine varnostnih nasipov, varianta 3

Nasip	Dolžina [m]	Max. Gladina [m]	Varnostna višina [m]	Kota krone nasipa [m]	Max. Višina nad terenom [m]
Severni	385	302,85	0,50	303,35	2,10
Vzdolžni	490	302,85	0,50	303,35	3,90
Južni	385	302,85	0,50	303,35	3,90

Severni nasip se začne na mestu vtoka v zadrževalnik in poteka pod kotom 45° glede na obstoječi vzdolžni nasip v smeri JJZ v dolžini 85 m. Nato se obrne v smer JZ in v dolžini 150 m poteka ob jugovzhodnem delu Letuške Gmajne, nakar se obrne v smeri Z in in se v nadaljnjih 150 m naveže na teren.



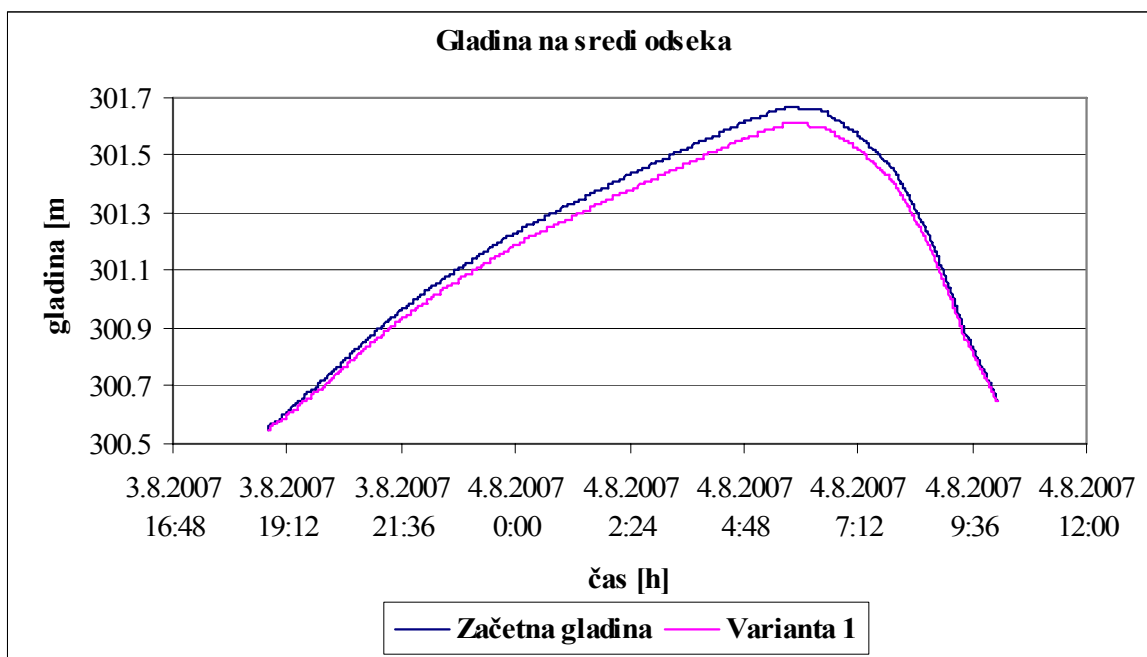
Južni nasip stoji na istem mestu, kot v primeru variante 1, le da je ustrezno nadvišan. Sestavljen je iz treh delov, dolžine posameznih delov so 85, 200 in 100 m. Skupaj z ježo na zahodnem delu zadrževalnika služi zaščiti Malih Braslovč.

Vzdolžni nasip nadvišamo od stacionaže 577 dalje (90 m pod zaključkom bočnega preliva). Nadvišanje se zaključi na mestu iztočne zapornice. Celotna dolžina nadvišanja je 490 m. Višina nadvišanja poteka skoraj linearno od 0,00 m na začetku nadvišanja do 3,20 m na koncu.

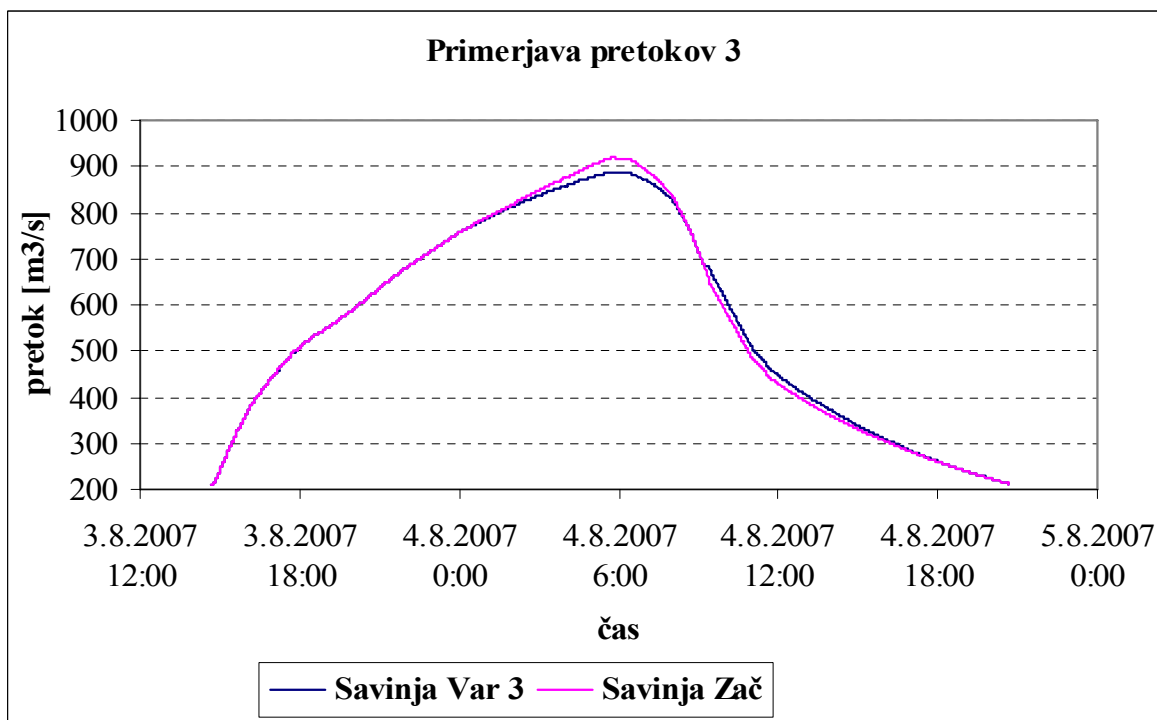
Zaradi izvedbe variante 3 se na zadnjem dolvodnem prečnem prerezu računskega modela zniža gladina vode v strugi za 11 cm (slika 5.18). Pretok je zaradi tega manjši za 31 m<sup>3</sup>/s. Ker se voda zadrži le za čas trajanja najvišjega pretoka, se pretok po prehodu konice poplavnega vala poveča za toliko, kolikor znaša iztok iz zadrževalnika.

Razlika v pretoku glede na začetno stanje je nazorno prikazana na sliki 5.19. Modra linija prikazuje potek v primeru izgradnje zadrževalnika, roza linija pa potek v začetnem (sedanjem) stanju. Modra linija poteka ob višku pretoka pod roza linijo, nakar se ob upadanju pretoka liniji zamenjata – modra linija je nad roza linijo.

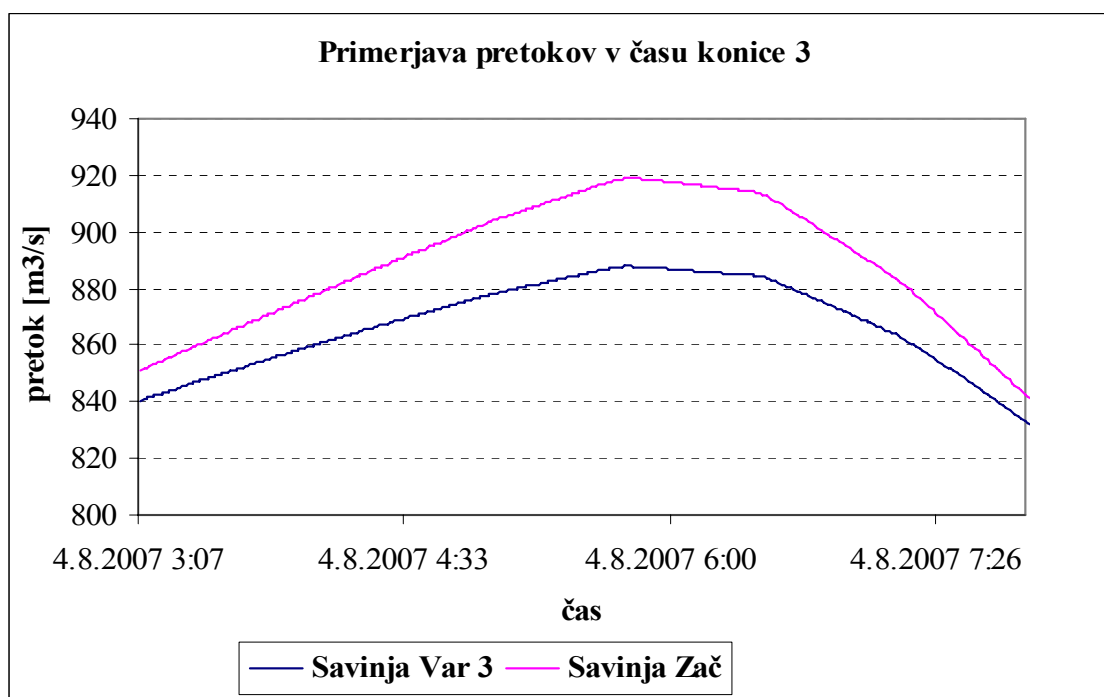
S povečavo pogleda v času konice vidimo (slika 5.20), da se razlika v pretoku med variantama z večanjem pretoka povečuje. Največja razlika je v času največjega pretoka. Zakasnitve največjega pretoka pri varianti 3 glede na začetno stanje ni, saj oba maksimuma nastopita ob istem času.



Slika 5.18: Potek gladin v PP 152



Slika 5.19: Pretok v zadnjem prerezu, varianta 3



Slika 5.20: Pretok v času konice varianta 3

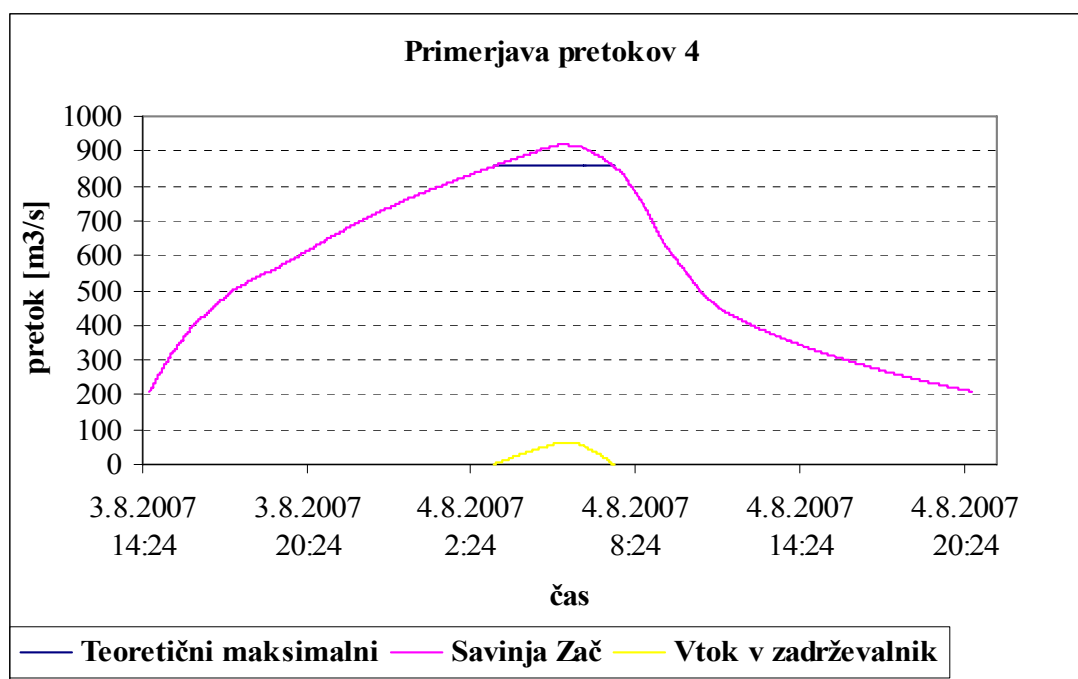
#### 5.4.1 Teoretična maksimalna prostornina zadrževalnika

Za primerjavo uspešnosti izvedbe variante 3 (suhega zadrževalnika) smo izračunali še maksimalno možno prostornino zadrževalnika.

Površino zadrževalnika omejujejo dani prostorski pogoji. Zaradi pozidave ni možna širitev površine v smeri severa ali juga. Na vzhodnem delu je omejitev struga Savinje, na zahodnem delu je omejitev dvigovanje reliefa. Za izračun maksimalne prostornine je tako edina spremenljivka kota gladine v zadrževalniku. Z večanjem globine se povečuje prostornina vode.

Najvišja možna gladina vode v zadrževalniku je enaka najvišji gladini struge na mestu vtoka v zadrževalnik. Gladina pri vtoku (prečni prerez 178, stacionaža 346) znaša največ 303,29 m. V primeru gladine v zadrževalniku na tej koti bi znašala zadržana prostornina 590.000 m<sup>3</sup>. Glede na teoretično prostornino znaša izkoristek prostornine v primeru izvedbe variante 3 (430.000 m<sup>3</sup>) 73 %.

S takšnim zadrževalnikom bi zmanjšali pretok v strugi za največ  $63 \text{ m}^3/\text{s}$  in gladino znižali za največ 20 cm. Za znižanje v takšnem obsegu bi bila potrebna vgradnja hidromehanske opreme na vtoku, ki bi vso vodo, ki bi presežla  $856 \text{ m}^3/\text{s}$ , speljala v zadrževalnik. Prostornina poplavnega vala, ko pretok preseže  $856 \text{ m}^3/\text{s}$ , pa do trenutka, ko spet pade na to vrednost, znaša namreč  $590.000 \text{ m}^3$ . "Teoretični" hidrogram je prikazan na sliki 5.21.



Slika 5.21: Teoretični hidrogram

Modri diagram prikazuje potek pretoka v primeru vgradnje idealne hidromehanske opreme. V praksi bi bilo takšen potek nemogoče izvesti, saj bi morali vnaprej poznati natančen potek diagrama poplavnega vala. Zato je možno zmanjšanje pretoka na dolvodni strani ob izrabi celotnega volumna zadrževalnika ( $590.000 \text{ m}^3$ ) nekaj  $\text{m}^3/\text{s}$  manjše. Zaključimo lahko, da je z našo izvedbo volumen zadrževalnika izkoriščen več kot 73 %.

## 5.5 Velikosti prečnih nasipov pri posamezni varianti

Vsaka varianta ima različen vpliv na dolvodne razmere, hkrati pa zahteva različen poseg v prostor. Da bi lahko ovrednotili vsako izmed variant, smo izračunali, kolikšen bi bil potreben volumen nasipov, ki bi jih bilo treba zgraditi za vsako izmed njih. Ker je za gradnjo nasipov treba pridobiti zemljišča, smo izračunali še površino odkupa zemljišč, ki bi jih bilo treba odkupiti.

Pri vsaki varianti so nasipi sestavljeni iz več posameznih krakov: severni nasip pri varianti 1 in 2 iz dveh, pri varianti 3 iz treh; južni nasip pri varianti 2 iz dveh krakov in pri variantah 1 in 3 iz treh krakov. Nasipi so zgrajeni z naklonom brežin v razmerju 1:1,5. Nasipi, ki presegajo višino 1 m nad terenom, so zgrajeni tako, da po njih poteka 2 m široka pot. Pot je namenjena lažji gradnji nasipov in njihovemu vzdrževanju. Uporablja se lahko tudi kot rekreacijska pot. Podatki o dolžinah, volumnih in potrebnih površinah zemljišč za posamezno varianto so prikazani v preglednici 5.4.

Preglednica 5.4: Volumni nasipov in potrebna površina zemljišč

Varianta	Lokacija nasipa	Krak št.	Dolžina kraka [m]	Volumen nasipa [m <sup>3</sup> ]	Volumen skupaj [m <sup>3</sup> ]	Površina zemljišča [m <sup>2</sup> ]	Površina skupaj [m <sup>2</sup> ]
1	Sever	1	50	215	3196	450	3118
		2	140				
	Jug	1	85	2981			
		2	200				
		3	100				
	2	Sever	1	50		266	
2			140				
Jug		1	85	710			
		2	70				
3	Sever	1	85	642	8925	1048	5438
		2	150				
		3	150				
	Jug	1	85	8283			
		2	200				
		3	100				

Najmanjši poseg zahteva varianta 2. Trikratno povečanje volumna nasipov zahteva gradnja variante 1, ob skoraj trikratnem povečanju potrebnih zemljišč. Največji volumen predstavljajo nasipi variante 3, ki zahtevajo tudi največ zemljišč.

Pri varianti 3 je potrebno tudi nadvišanje in obnova obstoječih vzdolžnih nasipov. Dodatni odkupi zemljišč zaradi zadostne širine obstoječih nasipov niso potrebni, volumen nadvišanja pa je ocenjen na 5000 m<sup>3</sup>.

## 5.6 Izbira najprimernejše variante

Na izbor najprimernejše variante vplivajo različni elementi. Poiskati je treba najustreznejše razmerje med pozitivnimi učinki, ki jih ima posamezna varianta na vodni režim in negativnimi učinki, ki jih gradnja zadrževalnika povzroči v okolju.

Kakršenkoli poseg v okolje je motnja za lokalno prebivalstvo, hkrati pa predstavlja znatne stroške.

Gradnja variante 1 zahteva postavitev razmeroma velikih nasipov, potreben je tudi odkup zemljišč. Z odkupom so povezane težave s parcelacijo, saj bi nasipi prečkali večje število različnih parcel različnih lastnikov. Težavo predstavlja tudi nizko postavljena vtočna odprtina, saj pride do poplavljanja območja že pri pretokih, večjih od 506 m<sup>3</sup>/s (5 do 10 letna povratna doba). To pomeni, da se voda nahaja na območju večkrat, kot bi bilo dejansko potrebno v smislu varovanja dolvodnih predelov ob Savinji. S tem so povezani stroški s povračilom nastale škode na poplavljenih zemljiščih. Večkrat kot je območje poplavljeno, večji so stroški.

Vpliv na dolvodne razmere v primeru poplavnih voda s povratno dobo 100 let je razmeroma zanemarljiv. Gladina se ob največjem pretoku zniža le za 1 centimeter, kar je zanemarljivo v primerjavi z višino varnostnega nadvišanja. Zato je izvedba variante 1 manj primerna.

Varianta 2 zahteva manjše nasipe kot varianta 1, zahteva tudi manjšo površino zemljišča za gradnjo nasipov. Dolžina nasipov je primerljiva z dolžino nasipov pri varianti 1. To pomeni,

da je število parcel, ki jih je treba odkupiti, približno enako številu parcel za varianto 1. Zaradi odstranitve vzdolžnega nasipa prihaja ravno tako pogosto do poplavljenja območja, s čimer je povezana odškodnina za škodo na poljščinah.

Vpliv na dolvodne razmere je v primerjavi z varianto 1 še manjši, gladina se pod območjem zaradi gradnje variante 2 skoraj ne spremeni.

Je pa varianta 2 ustrezna za neposredno varovanje pred poplavami nasprotne brežine. V delu struge, kjer je odstranjen desni nasip, se gladina zniža tudi več kot 10 cm. Na ta način je zmanjšana ogroženost levega brega. Varianta 2 bi bila učinkovita za varovanje naselja, ki bi se nahajalo na eni strani reke, ograjene z nasipi. V primeru odstranitve nasipa na nasprotnem bregu, bi se voda razlivala tam, namesto da bi ogrožala naselje. V našem primeru to ni pomembno, ker je leva brežina prav tako kot desna, neposeljena.

Obe zgoraj omenjeni varianti minimalno vplivata na izboljšanje poplavnih razmer na dolvodnih predelih. Ob tem velja poudariti, da se ti dve varianti izvajata le na dolžini struge 700 m. V primeru, da takšne ukrepe izvajamo na daljšem odseku, se njihov učinek ustrezno poveča.

Glavni namen gradnje suhega zadrževalnika na tej lokaciji je zaščita Celja, največjega mesta ob Savinji. Do njega je tok Savinje dolg še 20 km. Na tem odseku obstaja še nekaj lokacij, kjer je možno izvajati podobne ukrepe. Tako bi tudi z načinom gradnje po varianti 1 ali 2 na več mestih prišli do znatnejšega znižanja struge.

Varianta 3 ima največji vpliv na izboljšanje dolvodnih razmer. Največ pripomore k znižanju gladine (11 cm) in pretoka ( $31 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Za njeno izvedbo je treba zgraditi najvišje prečne nasipe (višina do 3,90 m), ki so tudi najdaljši (skupna dolžina severnega in južnega je 770 m). Poleg prečnih nasipov je treba nadvišati obstoječi vzdolžni nasip. Celoten volumen nasipov znaša prek  $13000 \text{ m}^3$ .

Poplavljenje območja je manj pogosto kot v primeru variante 1 ali 2, je pa bolj obsežno. Pri 1. in 2. varianti predstavlja večino poplavljenega dela gozdnato območje ob vzdolžnem nasipu,

medtem ko je poplavljenih kmetijskih površin manj. 3. varianta povzroči nastanek obsežnega 33 ha velikega jezera in s tem obsežno škodo na poljščinah, saj globina vode ponekod presega 3 m.

V primeru nastopa poplavnega dogodka, ki presega 100 letno povratno dobo, se višek vode preko varnostnega preliva na mestu iztoka izliva nazaj v strugo. S tem neposredna okolica zadrževalnika ni ogrožena, nastopi pa nevarnost poplav na dolvodnem odseku Savinje.

S stališča varovanja pred poplavami je izvedba variante 3 najprimernejša, kljub razmeroma velikim stroškom gradnje. Z bočnim prelivom kot načinom vtoka v zadrževalnik dosežemo tudi ugoden izkoristek volumna suhega zadrževalnika, kar še dodatno govori v prid izvedbi variante 3.

## 5.7 Komentar rezultatov

Račune hidravličnih modelov smo izvajali na podlagi vhodnih podatkov o pretokih pri stoletnih povratnih dobah in o geometriji struge. Dodatno smo določili koeficiente hrapavosti struge. Za hrapavost poplavnega območja smo privzeli enotno vrednost  $n = 0,1$ .

Podatek o pretokih se nanaša na profil Savinje, ki je 8 km dolvodno od obravnavanega. Ker na tem mestu Savinja nima pritokov, znaša razlika med pretokoma na posameznem delu le  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  kar predstavlja 1 %. Zaradi uporabe teh podatkov je uporabnost rezultatov zanemarljivo zmanjšana.

Poglabljanje struge vpliva na obliko korita in s tem na podatek o njeni geometriji. Prilagajanje podatkov dogajanju v naravi bi bilo praktično neizvedljivo, zato je izbira dane geometrije smiselna.

Na izračunane gladine vode v zadrževalniku vpliva izbira koeficienta hrapavosti  $n$  (preglednica 4.1). Z izbiro večjih koeficientov bi dobili višjo gladino vode v strugi in s tem možnost večje globine v zadrževalniku. Večja globina vode bi pomenila ugodnejšo izrabo



razpoložljivega prostora. Z izbiro nižjih koeficientov bi dobili nižje gladine in s tem manj ugoden izkoristek. Za natančno izbiro koeficienta hrapavosti in s tem določitev točne gladine vode v zadrževalniku v naravi bi bila potrebna umeritev modela z dejanskimi pretoki v strugi Savinje, česar v okviru te diplomske naloge nismo imeli možnosti narediti.

Uporabo enotnega koeficienta hrapavosti za poplavno območje utemeljuje dejstvo, da na polnjenje zadrževalnika (varianta 3) ne vpliva toliko pretočna hitrost po območju zadrževalnika kot velikost vtočne odprtine. Večje razlike bi se pokazale v primerih variant 1 in 2, ko voda teče preko območja in se na njem večinoma ne zadržuje. Ker pa poteka tok vode pri teh variantah večinoma po delu, zaraslem z gozdom, ki ima visok koeficient hrapavosti, bi se v dejanskem stanju zadrževalni vpliv povečal.

Ob vsem naštetem lahko zaključimo, da smo izdelali dovolj natančen model zadrževalnika, ki nam da ustrezne rezultate za odločitev o gradnji in s tem podlago za izdelavo podrobnejše projektne dokumentacije.

Z izgradnjo zadrževalnika dosežemo zmanjšanje konice poplavnega vala za  $31 \text{ m}^3/\text{s}$  (varianta 3). Ta vrednost predstavlja dobre 3 % celotnega pretoka. Za učinkovito kontrolo poplav v Spodnji Savinjski dolini bi bilo treba zgraditi večje število podobnih objektov. Npr. pet podobnih objektov zmanjša pretok za  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , kar je že ugodna številka. Na tak način bi lahko za stoletne vode zagotovili popolno poplavno varnost urbanih območij ob Savinji.

Suhi zadrževalniki vseeno povzročijo določeno škodo in sicer na kmetijskih površinah znotraj zadrževalnikov. Je pa povračilo za škodo na kmetijskih površinah neprimerno nižje od škode na urbanih površinah.

Z zadrževalniki je doseženo nižje število celotnih poplavljenih površin, poplav na urbanih površinah ni, poplavljene kmetijske površine so pa le tiste znotraj zadrževalnika. Pri umestitvi zadrževalnika v prostor je nujen konsenz z lokalnimi skupnostmi, saj ta omogoča, da so strokovno podprte rešitve tudi družbeno sprejemljive.

## 6 SKLEPI

Porečje Savinje, predvsem Spodnja Savinjska dolina in območje Laškega, je eno najbolj poplavno ogroženih v Sloveniji. Morebitna škoda ob katastrofalnih poplavah iz leta v leto narašča, saj se zaradi hitrega gospodarskega razvoja povečuje vrednost poplavno ogroženega premoženja. V okviru DLN (državnega lokacijskega načrta) je predvidena izgradnja več zadrževalnikov na območju med izlivom Bolske in Celjem. V tej diplomski nalogi smo dokazali, da so za zadrževanje visokih voda primerne tudi druge lokacije in da je izvedba suhega zadrževalnika eden izmed bolj smotrnih načinov zadrževanja voda.

V primeru izgradnje le enega zadrževalnika pod Letuško Gmajno se poplavna situacija na območju Celja in Laškega ne bi bistveno izboljšala. Za kakovostno zaščito je potrebnih več podobnih objektov.

Računalniški program Danskega hidravličnega inštituta Mike Flood je na tržišču razmeroma nov. Njegova uporaba se v slovenski vodnogospodarski praksi šele uveljavlja. Omogoča računanje zahtevnejših hidravličnih modelov in pregledno vizualizacijo rezultatov. Izbira tega programa za izdelavo našega modela se je izkazala za pravilno, saj je omogočila dovolj natančno študijo gibanja vode v zadrževalniku.

Natančnost rezultatov je v veliki meri odvisna od natančnosti vhodnih podatkov. Ob tem velja omeniti hidrološke podatke o pretokih. V preteklih 17 letih je prišlo v porečju Savinje na posameznih odsekih trikrat do nastopa 100 letnih pretokov (ARSO 2007). Zaradi vse bolj izrazitih vremenskih situacij bi bilo morda treba na novo "umeriti" hidrološke podatke. S tem bi se povečale računske vrednosti največjih pretokov, ki se uporabljajo v hidravličnih računih. Zato bi se lahko gradili večji protipoplavni objekti, ki bi ob naraščajočem številu ekstremnih vremenskih pojavov zagotavljali večjo poplavno varnost.

Z gradnjo protipoplavnih objektov so ponavadi povezani veliki stroški in pridobivanje številnih soglasij. Vendar se njihova vrednost povrne že zelo zgodaj, navadno že ob prvi ujmi, saj je škoda, ki nastane ob večji poplavi, neprimerno večja od potrebnih vlaganj v gradnjo varovalnih objektov.

Za zagotovitev ustrezne poplavne varnosti je potrebno sodelovanje širšega kroga tako strokovnih služb s področja urbanističnega planiranja, hidrotehnike in varstva narave, kot tudi javnosti, s čimer je mišljeno predvsem lokalno prebivalstvo.

Za izboljšanje poplavne varnosti naselij ob Savinji bi bilo smiselno zgraditi suhi zadrževalnik na območju med Letuško Gmajno in Malimi Braslovčami. Od načrtovalcev upravljanja s prostorom pa je odvisno, ali se bo območje res namenilo gradnji zadrževalnika. V okviru izgradnje hitre ceste od mejnega prehoda Holmec do priključka na avtocesto v Šentrupertu (tretja razvojna os) se ista lokacija omenja kot možno mesto, kjer bi cesta prečkala Savinjo (Delo, 2007).

## VIRI

DHI. 2007a. Mike Zero preprocessing and postprocessing, Generic Editors and Viewers, ECO Lab, Plot Composer. User Guides. Horsholm, Danish Hydraulic Institute: 472 str.

DHI. 2007b. Mike 11, A modelling system for Rivers and Channels, User Guide. Horsholm, Danish Hydraulic Institute: 460 str.

DHI. 2007c. Mike 21, Coastal Hydraulics and Oceanography, User Guide. Horsholm, Danish Hydraulic Institute: 204 str.

DHI. 2007d. Mike Flood, 1D-2D Modelling, User Manual. Horsholm, Danish Hydraulic Institute: 108 str.

Kobold, M. 2007. Vpliv napake ocene padavin na napako napovedi odtoka pri napovedovanju poplav. Doktorska dizertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 134 f.

Marinček, M. 1992. Vzroki poplave v Celju 1. novembra 1990. V: Poplave v Sloveniji. Zbornik. Ljubljana, Ministrstvo za obrambo, Republiška uprava za zaščito in reševanje: 155 – 161.

Mikoš, M. 2007a. Vsak konec Slovenije ima svoj poplavni čas. Ljubljana, Delo XLIX, 235, 11. oktober 2007: str. 21.

Mikoš, M. 2007b. Zakaj poplava ni enaka poplavi? Ljubljana, Delo XLIX, 223, 27. september 2007: str. 19.

Pemič, A., Mikoš, M. 2005. Inženirska hidrotehnika univerzitetni učbenik verzija 3.2005. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: str. 185.

Poplave 1998. 1998. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za varstvo narave: 26 str.

Poročilo o vremenski in hidrološki situaciji 18. septembra 2007. 2007. ARSO: str. 20. [http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke\\_vode-20070918.pdf](http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/visoke_vode-20070918.pdf) (12.10.2007).

Požar, S., (ur.). 2005. Atlas Slovenije 1 : 50 000 četrta, prenovljena izdaja. Ljubljana, Založba Mladinska knjiga in Geodetski zavod Slovenije: str. 485.

Predlagana trasa hitre ceste po Koroški in Savinjsko-šaleški regiji, Načrtovalci: Novih tras ne bo. 2007. Ljubljana, Delo XLIX, št. 246, 24. oktober 2007: str. 3.

Regionalni razvojni program Savinjske statistične regije (končna in dopolnjena verzija). 2001. Celje, Regionalna razvojna agencija Celje: str. 51.

Rejc, P. 2005. Povezava hidrološkega in hidravličnega modela reke Savinje na območju Spodnje Savinjske doline. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 85 f.

Steinman, F., Banovec, P. 2003. Hidrotehnika Vodne zgradbe I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Hidrotehnična smer, Katedra za mehaniko tekočin: str. 14.

Ureditev Savinje za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij od Ločice ob Savinji do Letuša, Gradivo za pridobitev smernic za izdelavo DLN, številka projekta C 1259. 2005. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije: 1 – 8.

Udovč, M. 2001. Ureditev reke Savinje na odseku od Grušoveljskega jezua do Graščinskega jezua. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 83 f.

Uradni list RS, 2005a. Program priprave državnega lokacijskega načrta za ureditev Savinje za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij od Ločice ob Savinji do Letuša. UL RS št. 38/2005: 1316.

Uradni list RS, 2005b. Uredba o koncesiji za rabo vode na odseku vodotoka Letuška struga ob Savinji za vzrejo salmonidnih vrst rib. UL RS št. 24/2005: 2105.

## **PRILOGE:**

**Priloga A: Lokacije prečnih prerezov M 1:5000**

**Priloga B: Ortofoto posnetek terena**

**Priloga C: Lokacije prečnih nasipov M 1:5000**

**Priloga D: Vzdolžni profil M 1:2000/100**