

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 Vodarstvo in  
komunalno inženirstvo

Kandidat:

**Erik Kramberger**

## **Hidravlični model Savinje pri Latkovi vasi**

**Diplomska naloga št.: 77**

**Mentor:**

prof. dr. Matjaž Mikoš

**Somentor:**

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 22. 3. 2007

## ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## IZJAVA O AVTORSTVU

**Podpisani ERIK KRAMBERGER izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:  
»HIDRAVLIČNI MODEL SAVINJE NA OBMOČJU LATKOVE VASI«.**

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

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

Ljubljana, marec 2007

---

## IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji:

## BIBLIOGRAFSKO DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

**UDK:** 519.61/.64:556.53+627.1+627.4/.5(043.2)  
**Avtor:** Erik Kramberger  
**Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Somentor:** mag. Rok Fazarinc  
**Naslov:** Hidravlični model Savinje na območju Latkove vasi  
**Obseg in oprema:** 68 str., 36 sl., 10 en., 2 pregled.  
**Ključne besede:** Savinja, poplave, hidravlični model, nestalni tok, protipoplavni zadrževalnik, prosti preliv, zapornice

### Izvleček:

Za zagotovitev poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini in predvsem v urbanih centrih kot sta mesti Celje in Laško, je potrebno doseči zmanjšanje konice poplavnega vala na Savinji na največji pretok, ki ga je rečna struga še zmožna prevajati. Kljub poplavljanju v srednjem toku, in tudi na vseh pritokih v spodnjem toku, je prevodnost Savinje v urbanih centrih manjša od visokih voda s povratno dobo 50 let. Ker z neposrednimi ureditvami prizadetih območij ni možno zagotoviti dovolj velike poplavne varnosti naselij v Spodnji Savinjski dolini, je edina možna rešitev zadrževanje visokih voda v srednjem toku.

S programskim paketom HEC – RAS je izdelan hidravlični model reke Savinje na odseku od Dobrteše vasi do sotočja s potokom Bolska. Hidravlični izračuni so izvedeni za primer mešanega vodnega režima stalnega in nestalnega toka. Obravnavani sta dve visokovodni situaciji nestalnega toka, in sicer: poplavna situacija, ki se je na tem območju zgodila novembra 1990 in sintetični hidrogram stoletne visoke vode s časom trajanja 24 ur. Kot protipoplavni ukrep je predstavljen zadrževalni bazen za visoke vode Latkova vas in analizirana njegova namembnost. Izdelana je optimizacija bočnega vtočnega objekta v zadrževalnik in izvedena primerjava vtočnega objekta z zapornicami in prostoprelivnega vtočnega objekta.

## BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

**UDK:** 519.61/.64:556.53+627.1+627.4/.5(043.2)  
**Author:** Erik Kramberger  
**Supervisor:** prof. dr. Matjaž Mikoš  
**Co-supervisor:** Rok Fazarinc, M.Sc.  
**Title:** Hydraulic model of the Savinja river at the village Latkova vas  
**Notes:** 68 p., 36 fig., 10 eq., 2 tab.  
**Key words:** Savinja, flood, hydraulic model, unsteady flow, flood retention basin, passive overflow weir, automated gate

### **Abstract:**

To assure the flood safety in the valley of Lower Savinja River, and above all safety in urban centers like the cities of Celje and Laško, it's necessary to assure the reduction of the peak flow of the Savinja river. In spite of flooding in the middle stream and on all tributaries downstream, the conductivity of Savinja river in urban centers is smaller than high water levels with return period of 50 years. With direct approaches to affected urban areas it's not possible to assure enough flood safety. The only possible solution is to retain high waters on middle stream.

A numerical hydraulic model of the Savinja river, of the reach from Dobrteša vas village to the confluence with the stream Bolska, was elaborated using HEC – RAS program. The hydraulic calculations were made for mixed flow regime using steady and unsteady flow simulations. Two unsteady flow situations are presented; a catastrophic flood situation, which happened on November 1990, and a synthetic hydrograph of a flood with 100-year recurring interval and duration of 24 hours. The flood retention basin at the village Latkova vas was presented as a flood protection countermeasure. An optimization of the lateral inflow structure is accomplished, to assure the best use of the retention basin. Two types of lateral structures were compared, a passive overflow weir and an automated gate.

## ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu ter somentorju mag. Roku Fazarincu iz Inženiringa za vode, Ljubljana (IZVode).

Najlepša hvala tudi Matjažu Udovču, univ. dipl. inž. grad. in vsem ostalim s podjetja Inženiring za vode za pomoč pri delu.

Hvala vsem na Hajdrihovi 28, ki so mi omogočili prijetno delovno vzdušje.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b>	1
<b>2 OPIS OBMOČJA IN VODOTOKA</b>	4
2.1 Zgornja Savinjska dolina	4
2.2 Spodnja Savinjska dolina	5
2.3 Savinja	7
2.4 Povodje reke Savinje	8
2.5 Hidrološke in hidravlične značilnosti povodja	9
2.5.1 Padavine	9
2.5.2 Rečni režim	10
2.5.3 Pretočne lastnosti	10
<b>3 POPLAVNA (NE)VARNOST SAVINJSKE DOLINE</b>	11
3.1 Značilnosti poplave novembra 1990 v Spodnji Savinjski dolini	11
3.2 Obstoječe stanje v Savinjski dolini	13
3.3 Ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti	14
3.3.1 Gradbeni ukrepi	14
3.3.2 Negradbeni ukrepi	15
3.4 Ukrepi za obravnavani odsek od Dobrteše vasi do Bolske	16
3.5 Zadrževalniki visokih voda	17
<b>4 HIDRAVLIČNI MODEL</b>	19
4.1 HEC – RAS	21
4.2 Geometrija modela	22
4.2.1 Manningovi koeficienti trenja	25



<b>4.3 Računski primer stalnega toka</b> .....	26
<b>4.4 Računski primeri nestalnega toka</b> .....	32
<b>4.4.1 Računski primer poplavne situacije novembra 1990</b> .....	32
<b>4.4.2 Računski primer s sintetičnim hidrogramom Q 100/24</b> .....	35
<b>4.5 Računski primer z zadrževalnikom za visoke vode Latkova vas</b> .....	37
<b>4.5.1 Bočni vtočni in iztočni objekt s prostim prelivom</b> .....	39
<b>4.5.2 Bočni vtočni in iztočni objekt z zapornico</b> .....	48
<b>4.6 Izračun s programom HEC – RAS 4.0 Beta</b> .....	58
<b>5 ZAKLUČKI</b> .....	62
<b>VIRI</b> .....	65
<b>PRILOGE</b> .....	68
<b>Priloga A: Primerjava maksimalnih pretokov vzdolž struge za vse obravnavane primere nestalnega toka</b>	
<b>Priloga B: Ovojnica pretokov za vse obravnavane primere nestalnega toka</b>	
<b>Priloga C: Figurativni prikaz vtočnega prostega preliva</b>	
<b>Priloga D: Vtočni object s tablasto zapornico – Tloris</b>	
<b>Priloga E: Vtočni object s tablasto zapornico – Vzdolžni profil</b>	
<b>Priloga F: Izhodne tabele Programa HEC RAS:</b>	<b>F.1 – Stalni tok</b>
	<b>F.2 – Nestalni tok</b>
<b>Priloga G: Primerjava rezultatov programa HEC – RAS, verzije 3.1.3 in 4.0 Beta</b>	

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 4.1: Manningovi koeficienti $n_g$ za obravnavani odsek Savinje .....	25
Preglednica 4.2: Podatki o pretokih za stalni tok .....	27

## KAZALO SLIK

Slika 1.1:	Reka Savinja, fotografirana na sotočju z Bolsko gorvodno .....	3
Slika 2.1:	Savinja, Spodnja Savinjska dolina in Savinjske Alpe .....	6
Slika 4.1:	Območje hidravličnega modela in lokacija zadrževalnega bazena Latkova vas .....	19
Slika 4.2:	Ortofoto posnetek obravnavanega območja z vrisanim zadrževalnikom .....	20
Slika 4.3:	Tlorisna situacija hidravličnega modela .....	23
Slika 4.4:	3D pogled struge vodotoka .....	24
Slika 4.5:	Vzdolžni prerez za vse pretoke stalnega toka .....	27
Slika 4.6:	Vzdolžni prerez za pretok Q100 .....	28
Slika 4.7:	Makrohrapava drča na obravnavanem odseku .....	29
Slika 4.8:	Primerjava pretočnih hitrosti (v rdečem) in vodne globine (v modrem) v strugi za stalni tok Q 100 .....	30
Slika 4.9:	Pretočna krivulja Q – h za prvi (zgoraj) in zadnji prečni profil (spodaj) .....	31
Slika 4.10:	Vhodni hidrogram odtoka – zgornji robni pogoj .....	33
Slika 4.11:	Izhodni hidrogram odtoka .....	33
Slika 4.12:	Primerjava pretočnih hitrosti (v rdečem) in vodne globine (v modrem) v strugi za nestalni tok VV 1990 .....	34
Slika 4.13:	Primerjava vhodnih hidrogramov; november 1990 (v zelenem) in Q100/24 (v rdečem) .....	35
Slika 4.14:	Primerjava obeh izhodnih hidrogramov (november 1990 in Q100/24) .....	36
Slika 4.15:	Tlorisna situacija modela z vključenim zadrževalnikom Latkova vas .....	37
Slika 4.16:	Kapacitetni volumen Latkove vasi v odvisnosti od višine .....	38

Slika 4.17:	Vtočni prosti preliv .....	39
Slika 4.18:	Iztočni prosti preliv .....	41
Slika 4.19:	Hidrogram vtoka (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za zadrževalnik Latkova vas s pretokom Q 100/24 .....	42
Slika 4.20:	Hidrogrami (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za vtočni prosti preliv pri pretoku Q 100/24 .....	43
Slika 4.21:	Primerjava hidrogramov in vodnih gladin v zadrževalniku Latkova vas, za primera visokovodnih situacij Q 100/24 in november 1990 .....	44
Slika 4.22:	Primerjava vodne gladine na vtoku (zgoraj) in iztoku (spodaj) obravnavanega območja s sintetičnim hidrogramom Q 100/24, z zadrževalnikom in brez .....	45
Slika 4.23:	Primerjava vodne gladine na profilu pred bočnim vtokom v zadrževalnik (zgoraj) in za vtokom (spodaj) s hidrogramom Q 100/24, za primer z zadrževalnikom in brez .....	46
Slika 4.24:	Primerjava pretoka vzdolž struge za sintetični hidrogram Q 100/24, v primeru z zadrževalnikom (temno rdeče) in brez (črtkano rdeče) .....	47
Slika 4.25:	Shema bočnega pretočnega objekta z vgrajeno tablasto zapornico .....	48
Slika 4.26:	Hidrogram vtoka in vodna gladina zadrževalnika Latkova vas s pretokom Q 100/24 in vgrajeno tablasto zapornico .....	51
Slika 4.27:	Hidrogrami (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za vtočni objekt z vgrajeno tablasto zapornico pri pretoku Q 100/24 .....	52
Slika 4.28:	Primerjava hidrogramov in vodne gladine v zadrževalniku Latkova vas, z vtočnim objektom s tablastimi zapornicami, za primera visokovodnih situacij Q 100/24 in november 1990.....	53
Slika 4.29:	Primerjava vodne gladine v zadrževalniku Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, za obe poplavni situaciji .....	54

Slika 4.30:	Primerjava vtočnih hidrogramov v zadrževalnik Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, za obe poplavni situaciji .....	55
Slika 4.31:	Primerjalne krivulje Q-h za zadrževalnik Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, v primeru obeh visokovodnih situacij .....	56
Slika 4.32:	Primerjava pretoka vzdolž struge za obe visokovodni situaciji, z zadrževalnikom Latkova vas, s prostim prelivnim objektom in z zapornico .....	57
Slika 4.33:	Površina vodne gladine med posameznimi prečnimi prerezi pri stalnem toku Q20, primerjava obeh verzij HEC – RASa .....	60
Slika 4.34:	Maksimalni pretok vzdolž struge pri nestalnem toku Q100/24, primerjava obeh verzij HEC – RASa .....	61

## KAZALO ENAČB

4.1	Energijska enačba .....	26
4.2	Padec energije v posameznem odseku .....	26
4.3	Prevodnost prečnega prereza .....	26
4.4	Pretok čez prosti preliv .....	40
4.5	Pretok čez prosti preliv v HEC – RASu .....	40
4.6	Koeficient preliva .....	40
4.7	Nepotopljeni iztok iz odprtine .....	49
4.8	Delno potopljeni iztok izpod zapornice .....	49
4.9	Popolnoma potopljeni iztok iz odprtine .....	50
4.10	Iztok iz odprtine, kot pri objektih s prostim prelivanjem .....	50

## KAZALO PRILOG

Priloga A: Primerjava maksimalnih pretokov vzdolž struge za vse obravnavane primere nestalnega toka

Priloga B: Ovojnica pretokov za vse obravnavane primere nestalnega toka

Priloga C: Figurativni prikaz vtočnega prostega preliva

Priloga D: Vtočni object s tablasto zapornico – Tloris

Priloga E: Vtočni object s tablasto zapornico – Vzdolžni profil

Priloga F: Izhodne tabele Programa HEC RAS

F.1 – Stalni tok

F.2 – Nestalni tok

Priloga G: Primerjava rezultatov programa HEC – RAS, verzije 3.1.3 in 4.0 Beta

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
EFFS	European flood forecasting system
HEC	Hydrologic engineering center
HSE	Holding savske elektrarne
IzVRS	Inštitut za vode Republike Slovenije
IZVode	Inženiring za vode
RAS	River analysis system
SAZU	Slovenska akademija znanosti in umetnosti
SIAM	Sediment impact analysis method
SZGG	Slovensko združenje za geofiziko in geodezijo
USACE	United States army corps of engineers
VGI	Vodnogospodarski inštitut
ZGDS	Zveza geografskih društev Slovenije
ZRC	Znanstvenoraziskovalni center



# 1 Uvod

Voda je edini naravni vir, ki ga je v sicer surovinsko siromašni Sloveniji v izobilju. Visokogorja na zahodu in severu Slovenije zadržujejo prodore toplih in vlažnih zračnih mas iz Sredozemlja, kar prinese obilje padavin v podalpsko področje. Slovenija sodi med najbolj humidna območja v Evropi, saj predstavlja njeno ozemlje le tisočino ozemlja Evrope, odtok vode s Slovenskega območja pa celo več kot odstotek. Povprečni odtok znaša okoli  $590 \text{ m}^3/\text{s}$ , skupaj s tranzitnimi vodami, ki pritečejo iz sosednjih držav (večinoma Avstrije – Drava, Mura), pa presega  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (elektronski vir, »HSE«). Skupna dolžina vodnih tokov, rek, stalnih in hudourniških pritokov znaša približno 26.600 km, skupaj z večjimi melioracijskimi jarki pa več kot 28.000 km (elektronski vir, »Vodno bogastvo, ARSO«). Slovenija je povirna dežela, saj vode po večini odtekajo z njenega ozemlja že po okoli 100 km dolgem toku, kar pomeni, da že v enem ali dveh dneh zapustijo Slovenski prostor. Skupno porečje rek, ki izvirajo v Sloveniji in rek, ki njeno ozemlje le prečkajo, je več kot dvakrat večje (nad  $43.000 \text{ km}^2$ ) od velikosti ozemlja Slovenije (elektronski vir, »Vode v Sloveniji«). Po Slovenskih rekah in potokih se letno pretoči okoli 34 milijard  $\text{m}^3$  vode, kar predstavlja le 0,4 % svetovnih zalog sladke vode, vendar je navedeni delež nekajkrat večji od deleža Slovenije v svetovnem prebivalstvu oziroma njen delež v zemeljski površini. Po skupni količini rečne vode na prebivalca se Slovenija uvršča med najbogatejše evropske države, saj skoraj štirikrat presega evropsko povprečje (elektronski vir, »Vode v Sloveniji«).

Velika vodnatost dežele in tako velike vodne kapacitete pa prinašajo s seboj tudi nevšečnosti; naravne katastrofe – plazove in poplave. Poplavni vali so ekstremni naravni dogodek. Nastanejo kot posledica meteoroloških dejavnikov in lastnosti povodja ter rečne mreže. Poplave naravnega izvora nastanejo kot zaporedje dogodkov v naravi, na katere ima človek zelo omejen vpliv. Pojavljajo se kot slučajni dogodki, tako da lahko določimo le kakšna je verjetnost, da bo tak slučajni dogodek nastopil. Poplave velikih razsežnosti prinašajo s seboj ogromno nevarnost in veliko materialno škodo. Nastanek škode ob poplavnih situacijah je odvisen predvsem od

prevzetega tveganja zaradi rabe zemljišča in umeščanja objektov na poplavno ogrožena območja. Na slednje človek torej lahko vpliva predvsem z ustreznim razporejanjem svojih dejavnosti v prostoru, v manjši meri pa z zadrževanjem in obrambo pred vodo (Banovec, 2003).

Navadno so naravne struge v naših klimatskih razmerah sposobne prevajati vode s povratno dobo 5 do 10 let, zato uvrščamo prelivanje visokih voda na obrežja oz. poplavna območja med naravne pojave. Na vodnih območjih v Sloveniji se manjše poplave dogajajo vsako leto. Na žalost so dokaj pogoste tudi večje poplave, ki ogrožajo doline rek in potokov v goratem in hribovitem svetu ter ravninski svet. Najpogosteje se pojavljajo jeseni ali spomladi, poplave zaradi nenadnih dotokov velike količine vode (nevihte) pa tudi poleti. Vsako leto poplave zalijejo okrog 2.300 ha površin. Za Slovenijo so značilni štiri tipi poplav: nižinske, hudourniške, poplave na kraških poljih in poplave morja. V prejšnjem stoletju je bilo na območju Slovenije 22 velikih poplav, od tega šest takih, ki so zajele večji del Slovenije (elektronski vir, »nesreče«, ARSO). Za mnoge je bila ena najhujših poplav leta 1990, ko so nekatere slovenske reke, zlasti Savinja, Sava v srednjem in spodnjem toku ter Kamniška Bistrica dosegle ali presegle stoletne visoke vode. Poplavno ogroženih je v Sloveniji preko 300.000 ha površin. Večje in obsežnejše poplave lahko pričakujemo na 94.000 ha površin. Poplavljenih je lahko tudi več kot 2.500 ha urbanih površin. Več kot polovica (54 %) vsega poplavnega sveta je v porečju Save, v porečju Drave je 42 % poplavnih površin, v porečju Soče in pritokov pa 4 %. Na območjih, kjer so možne katastrofalne poplave (poplave s povratno dobo 50 let in več), živi dobra četrtina prebivalcev Slovenije (elektronski vir, »nesreče«, ARSO).

Napovedovanje poplav in zagotavljanje pravočasnih opozoril je osnova za dovolj zgodnje ukrepanje pred nastopom pojava. Meteorološka znanost je z razvojem matematičnih modelov za napovedi vremena naredila velik napredek v razvoju. Meteorološki modeli so danes osnova za napovedovanje vremena in s tem tudi padavin. Poplave in druge vodne ujme lahko tako napovemo tudi za več dni vnaprej, saj si pri tem si pomagamo z modeli padavine-odtok, s katerimi simuliramo odtok z določenega porečja (Kobold, Šušelj, 2004).

V hidravličnem modelu odtoka voda z nekega območja se povečanje varnosti pred visokimi vodami kaže kot znižanje in časovni zamik konice (maksimuma) krivulje  $Q(t)$  na hidrogramu odtoka. Dejavniki, ki vplivajo na obliko hidrograma odtoka in jih je potrebno zajeti v hidroloških modelih, so lahko stalni ali pa spremenljivi. Stalni so: površina, oblika, padec in nadmorska višina, spremenljivi pa: klimatski vplivi, geološki vplivi, tipi tal, vegetacija in vplivi človekovega poseganja na zadrževanje vode, infiltracijo ter prepustnost.

Hidravlične modele ponavadi uporabljamo za modeliranje krajših rečnih odsekov. Modeli so tako izdelani z večjo natančnostjo in nam podajo podrobnejšo sliko visokovodnih situaciji na določenem odseku. Za potrebe diplomske naloge je bil izdelan hidravlični model reke Savinje na odseku od Dobrteše vasi do sotočja z Bolsko in predlagana protipoplavna ureditev za izboljšanje stanja na omenjenem odseku in dolvodno. Z dinamičnim hidravličnim modelom za nestalni tok, izdelanim s programom HEC – RAS 3.1.3, je bilo simulirano delovanje zadrževalnika Latkova vas ob Savinji v Spodnji Savinjski dolini.



*Slika 1.1: Reka Savinja, fotografirana na sotočju z Bolsko gorvodno*

## 2 Opis območja in vodotoka

### 2.1 Zgornja Savinjska dolina

Zgornja Savinjska dolina je hribovita, prometno zaprta pokrajina v zgornjem toku porečja Savinje. Pokrajina je dobila ime po reki in ne označuje le doline neposredno ob njej, temveč celotno ozemlje v njenem porečju. V severnem delu ima visokogorski, v južnem pa sredogorski značaj. Ločnico med Zgornjo in Spodnjo Savinjsko dolino predstavlja ozka soteska med Mozirsko kotlinico in Letušem (Urbanc, 2003).

Površje v severozahodnem delu pokrajine je močno ledeniško preoblikovano. Tu so znamenite ledeniške doline Matkov kot, Logarska dolina in Robanov kot, ki so od osemdesetih let 20. stoletja zavarovane kot krajinski parki.

Pokrajina je še vedno izrazito gozdnata. Človek že dolgo načrtno skrbi za gozdno bogastvo, ki mu še vedno pomeni pomemben vir preživljanja. Naravno raste sestavljajo bukovi in jelkovo-bukovi gozdni sestoji, v katerih se je pod vplivom človeka sčasoma močno razbohotila smreka.

Človek je na ozemlju Zgornje Savinjske doline prisoten že od stare kamene dobe, o čemer pričajo najdbe v Potočki zijalki pod Olševo. Nižine je človek izkrčil že v rimski dobi, višje lege pa v visokem srednjem veku, ko so tu načrtno nastajale živinorejske kmetije, tako imenovane sirnice oziroma švajge. Dandanes so te visokoležeče pobočne police razmeroma na gosto preprežene s samotnimi domačijami v odprtih in zaprtih celkih. Najvišje ležeče domačije segajo prek 1.200 m visoko, kmetija Bukovnik pa je s 1317 m najvišja trajno naseljena domačija v Sloveniji. Na dnu dolin so naselja večja in njihove hiše so stisnjene v gruče. Prevladuje zemljiška delitev z grudastimi, nepravilnimi delci. Tudi ponekod v nižjih legah so naselja razložena. Število ljudi v povprečju stagnira, vendar je to posledica nazadovanja v hribovskih in naraščanja v nižinskih območjih (Urbanc, 2003).

## 2.2 Spodnja Savinjska dolina

Čeprav je med domačini pokrajinski pojem Spodnja Savinjska dolina eden najbolj razpoznavnih zemljepisnih izrazov nasploh, se v strokovnih krogih pri njegovi uporabi pojavljajo zadržki. Glavni med njimi je dejstvo, da je spodnji del doline ob Savinji šele nizvodno od Celja, kjer se reka prek ozke debri v Posavskem hribovju prebija proti Savi. Torej bi na območju tradicionalnega pojmovanja lahko govorili le o Srednji Savinjski dolini. Med strokovnjaki se uveljavlja pokrajinski izraz Savinjska ravnina, ki med vsemi še najbolj natančno določa obseg pokrajine (Urbanc, 2003).

Na zahodu se nad Savinjsko ravnino vzpenjata visoki kraški planoti Menina in Dobrovlje, na severu jo vzdolž skoraj celotne dolžine omejuje Ložniško gričevje in na skrajnem severovzhodu tudi Hudinjsko gričevje, na vzhodu se brez izrazite pokrajinske meje prek Voglajnskega podolja navezuje na Voglajnsko gričevje, na jugu pa se nad ravnino vzdolž celotne dolžine vzpenjajo severni obronki Posavskega hribovja.

Celotno območje Spodnje Savinjske doline in njegova podoba temelji na prometni prehodnosti, tržnem kmetijstvu in močni industrializaciji. Ti gospodarski dejavniki so pospeševali naglo teritorialno rast naselij in urbanizacijo območja. Posledična rast prebivalstva v posameznih naseljih je nato terjala vedno več bivalnih enot, novih zazidalnih površin in spremljajočo infrastrukturo, ki so pogosto bili izvedeni na poplavnih ravninah reke Savinje (Banovec, 2003).

Spodnja Savinjska dolina ima dobre razmere za razvoj industrije, zato so, ne le v Celju, temveč tudi v več drugih naseljih (Vransko, Prebold, Polzela, Šempeter v Savinjski dolini, Žalec, Kasaze, Škofja vas, Ljubečna) nastale številne tovarne. Hkrati je s tem začelo močno naraščati tudi število prebivalcev, predvsem na račun priseljevanja iz bolj oddaljenih, manj razvitih območij. Zaradi nenehne rasti središča Celja in tudi drugih krajev se je število ljudi v Spodnji Savinjski dolini med letoma 1869 in 1991 povečalo z 20.647 na 75.383 (Urbanc, 2003).



V spodnji Savinjski dolini so za razliko od drugih slovenskih hudourniških rek, kot sta npr. Sava in Soča, glacialne prodne terase na katerih se razvija poselitev neizrazite in dosti plitvejše. Obrobje na zahodu in severozahodu je prekrto z ilovico in je zaradi tega mokrotno, redkeje poseljeno ter poraslo s travniki. Ljudje se raje naseljujejo na prodne terase, ki so zato že relativno gosto naseljene in prepedene z infrastrukturnimi objekti, kar pa dodatno zmanjšuje tamkajšnjo poplavno varnost. Spreminja se celo namembnost obvodnih objektov (mlinov in žag) v bivalne objekte, okrog njih pa nastajajo nove soseske. V primeru poplav je zaradi tega škoda lahko še dosti večja.



*Slika 2.1: Savinja, Spodnja Savinjska dolina in Savinjske Alpe*

## 2.3 Savinja

Savinja je skoraj 100 km dolga slovenska reka, ki izvira v najslikovitejši in največji ledeniški dolini Kamniško Savinjskih Alp, v Logarski dolini. Je najdaljša reka, ki teče izključno po ozemlju Slovenije (elektronski vir, »Wikipedia«, Savinja).

Izvir reke Savinje je slap Rinka na nadmorski višini 1.380 m. Ostalo povirno vodo dobi iz območja Okrešlja. Tamkajšnje vode hitro poniknejo v prodnati strugi vodotoka Kotovec, ki teče vzdolž uravnane struge do spodnjega konca Logarske doline. Drugi izvir Savinje ali tudi izvir Črne\* je na nadmorski višini 767 m. Črna teče po spodnjem delu Logarske doline še 1.600 m in s pritokom Jezera tvori reko Savinjo (elektronski vir, »Wikipedia – Savinja«).

Na svoji poti od izvira pod Okrešljem do izliva v Savo pri Zidanem mostu se Savinja spusti za več kot 750 m. Taka višinska razlika in oblikovanost povodja ter tamkajšnje vremenske značilnosti dajeta reki izrazit hudourniški značaj, prav takšnega pa ima tudi večina njenih pritokov.

Savinjo štejemo za največji pritok reke Save v Sloveniji. V primeru nastopa visokih voda Savinja prispeva k visokovodni konici spodnjega toka reke Save tudi več kot 40 % pretoka.

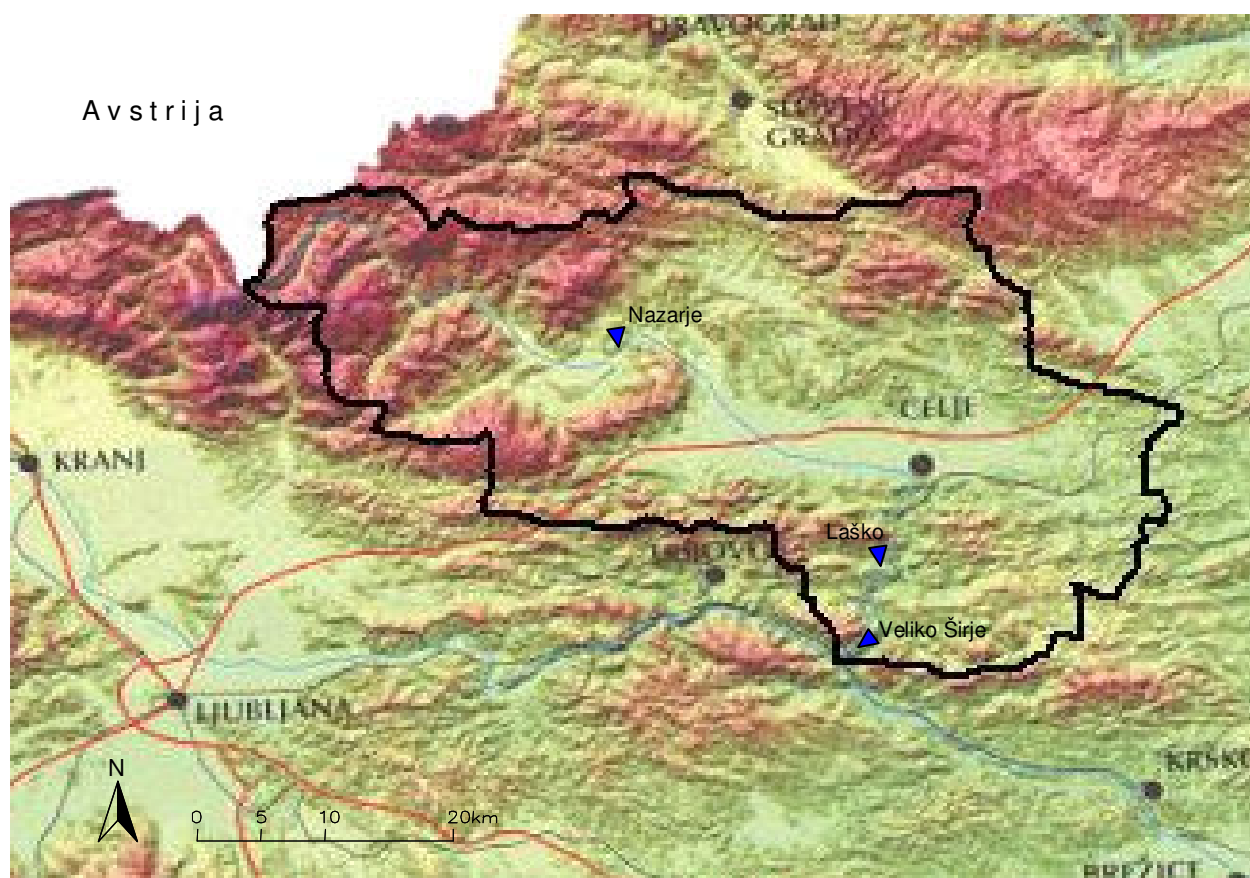
---

\* Domačini so Savinjo poimenovali Črna, ker teče po zelo temni ilovnati podlagi

## 2.4 Povodje reke Savinje

Povodje reke Savinje se razprostira od Savinjskih Alp in Karavank preko Celjske kotline do izliva v Savo. Obsega slabih 1.850 km<sup>2</sup> prispevne površine. V zgornjem toku reke Savinje je povodje gorato z nadmorskimi višinami preko 2.000 metrov. Srednji, pretežno ravninski del pa leži med 200 in 400 metri nadmorske višine (Kobold, Šušelj, 2004).

Povodje Savinje in povodja njenih pritokov odvajajo vode iz apnenčastih Kamniško-Savinjskih Alp, Karavank, JZ pobočij Pohorja in Posavskega hribovja.



Slika: Topografija povodja Savinje z najpomembnejšimi vodomernimi postajami (Kobold, Šušelj, Članek SZGG, Padavinske napovedi in njihova nezanesljivost v hidrološkem prognoziranju)



## **2.5 Hidrološke in hidravlične značilnosti povodja**

Topografija povodja Savinje ima močan vpliv na tamkajšnja meteorološka dogajanja. Strm relief močno vpliva na vse vrste padavin. Najneugodnejše padavinske razmere nastopijo kot kombinacija frontalnih padavin z orografsko pogojenimi konvekcijskimi padavinami (Mikoš, Brilly, Ribičič, 2004). V zgornjem goratem delu povodja znašajo povprečne letne padavine okrog 2.000 mm, v srednjem in spodnjem delu pa okrog 1.300 mm.

### **2.5.1 Padavine**

Za povodje Savinje sta značilna dva tipa kritičnih padavinskih situacij, ki povzročata poplave: jesensko-zimski tip in poletni tip (Kobold, Šušelj, 2004).

Jesensko-zimski tip padavinske situacije nastaja zaradi značilnih orografskih padavin, ki se zadržujejo ob gorskih pregradah. Na goratih predelih Kamniško-Savinjskih Alp in Karavank se atlantske fronte zadnjič razbremenijo in obenem sprostijo ogromno količino padavin, ki v tamkajšnjem območju dosežejo tudi 2.100 mm. Jesensko-zimski tip padavinske situacije nastopi predvsem konec jeseni in v začetku zime ter je zelo odvisen od temperaturnih razmerij. Močnejši je, če so temperature za ta letni čas previsoke in ne sneži. Za tak tip padavin je značilno relativno široko padavinsko območje z obilnimi, tudi večdnevnimi padavinami, ki lahko povzročijo katastrofalne visokovodne situacije. Ob nastopu poplavne situacije v takem padavinskem razmerju lahko pride do poplavljenja vzdolž celotnega toka Savinje, ker narastejo tudi vsi njeni pritoki. Pri tem niso ogrožena le območja z največjo količino padavin, temveč tudi vsa dolvodna območja.

Za poletne padavinske situacije so značilne konvektivne padavine, katerih intenziteta je precej neenakomerno porazdeljena in se lahko močno razlikuje od primera do primera. Takšne situacije lahko povzročijo katastrofalno visoke vode. Padavine tega tipa so lokalnega značaja, trajajo le krajši čas, intenziteta pa je dosti večja. Pojavljajo se predvsem na obrobju 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.

### **2.3.2 Rečni režim**

Na rečni režim najbolj vpliva podnebje, poleg tega pa še relief, kamninska sestava, vegetacija in človek. Za Savinjo je značilen dežno-snežni rečni režim. Najvišje povprečne vode ima v novembru in maju, najnižji vodostaj pa v poletnih in zimskih mesecih. Za Bolsko in za Ložnico ter njune pritoke je prav tako značilen pluvionivalni režim. Povprečno segajo vode najvišje v novembru in decembru, medtem ko se pojavi sekundarni vrhunec spomladi, v marcu in aprilu. To velja za potoke nižjega hribovja, kjer prične sneg prej kopneti kot v višjih legah.

### **2.3.3 Pretočne lastnosti**

Povodje Savinje je zelo bogato z vodami in nima časovno ugodne razporeditve odtokov. Ob večjih deževjih vode zelo hitro odtekajo po hudourniških potokih, ki narastejo tudi za več kot 100-krat. V sušnih obdobjih pa na teh območjih vode primanjkuje. Tako se takrat npr. kar do 1/5 savinjskih voda porabi za namakanje kmetijskih površin v Spodnji Savinjski dolini (PUV, 1998, cit. po Rejc, 2005). Razlike med pritoki Savinje v sušnih obdobjih ter ob neurjih so lahko več kot 300-kratne.

## **3 Poplavna (ne)varnost Savinjske doline**

Za nastop stoletnih voda je na večjem delu povodja Savinje merodajen 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.

### **3.1 Značilnosti poplave novembra 1990 v Spodnji Savinjski dolini**

V poplavni situaciji, ki se je zgodila novembra leta 1990, je voda je preplavila vso južno polovico mesta Celje, kjer se nahajajo poleg stanovanj tudi občinske, upravne, šolske, kulturne in zdravstvene ustanove (Natek, 1991, cit. po Banovec, 2003). Zaradi predhodnih močnih padavin in velike namočenosti terena je vsa deževna voda že konec oktobra 1990 prehajala direktno v odtoke, kar je povzročilo hiter porast vodostaja na celotnem območju. Visoke poplavne vode so povzročile vodno ujmo predvsem na Sori, Kamniški Bistrici, Savinji in njenih pritokih ter nato še v srednjem in spodnjem toku Save. Katastrofalni visokovodni val Savinje je nastal pod Solčavo, še zlasti pod izlivom Lučnice v Lučah. Z močnimi dotoki se je nadalje povečeval vse do izliva v Savo, kamor je na srečo prispel pred visokim valom same Save, saj bi v nasprotnem primeru prišlo do katastrofalnih posledic tudi dolvodno od sotočja (Banovec, 2003).

Na Savinji je visokovodni val, v merilni postaji Nazarje, dosegel vrh 1. novembra ob 10. uri. Vodostaj je narasel na 467 cm. V Celju je konica nastopila ob 13:30 uri, z vodostajem visokim 722 cm in v Laškem ob 15:30 z vodostajem 694 cm. Ob konici vala je tako Savinja v profilu vodomerne postaje Nazarje narasla v primerjavi s srednjim vodostajem za okrog 370 cm, v Celju in Laškem pa za 550 cm. Poleg močnih pritokov Savinje so na obseg poplav vplivale tudi lokalne zaježitve in poznejše porušitve le-teh (Kolbezen, 1991 cit. po Banovec, 2003).

Med kasaškim mostom in izlivom Lave je v dolžini 300 m Savinja prebila nasip visok približno 2,5 m in ga v dolžini 150 m odplavila od tal. Vodni val je porušil del prečnega nasipa ob ustju Lave, nasip ob Savinji in prečna nasipa pri Ingradu ter Medlogu. Vse to je pripomoglo k ogromnim poplavam v Celju.

Svoj delež k celjskim poplavam sta prispevali tudi Ložnica in Pirešica. Njune vode so poplavile prostrano območje med Levcem in Medlogom. Pred leti zgrajena struga med Medlogom in Babnem, kamor se izlivajo vsi pritoki s severnega gričevnatega obrobja, ima na levem bregu visok varnostni nasip, ki je tudi ob zadnji povodnji vzdržal in zavaroval Babno, Ostrožno in Ložnico pred katastrofo (Banovec, 2003).

Podtalnica in deževnica sta prav tako povzročili veliko krajevnih poplavnih območij, t.i. ojezeritev, ki niso neposredno povezane s poplavno vodo iz struge vodotoka. Delež lastnih in padavinskih voda je bil zelo pomemben predvsem v urbaniziranih površinah. Za to povodenj je bilo značilno, da se je zelo hitro širila, in da je trajala dlje kot običajno, saj je najvišji nivo pričel upadati šele po eni do dveh urah, umik poplavnih voda pa je bil zelo počasen. Eden od vzrokov je najbrž ta, da poti po katerih je voda odtekala, niso bile sproščene. Znano je, da je količina padavin, ki odteče s streh in asfaltnih površin tudi do desetkrat večja, kot npr. iz travnikov. Po površini tako odteče več padavin, kot jih je odteklo v površinske vodotoke pred urbanizacijo. Njihov odtok je hitrejši, čas zadrževanja na povodju pa krajši, kar je glede na običajni razvoj jesenskih padavin ter oblikovanost in usmerjenost povodja Savinje v večini primerov manj ugodno.

V vseh poplavljenih naseljih je povodenj zapustila debelo plast naplavine. Te so se v debelini 10 do 15 cm znašle na ulicah, cestah, na javnih površinah in v mnogo pritličnih stanovanjih. Poleg tega so z raziskavami ugotovili, da so se ob strugi Savinje ustvarjala tudi črna odlagališča odpadnih materialov, ki so kasneje postala vir plavin in jih je Savinja raznesla po vsem poplavnem področju (Banovec, 2003).

Poplave torej niso bile le posledica večje količine padavin v kratkem časovnem obdobju, ampak je h katastrofalni situaciji veliko prispeval tudi človek. Ljudje so s svojimi dejavnostmi, neustreznimi ureditvami vodotokov, neprimerno rabo prostora in slabim vzdrževanjem kanalizacijskih sistemov v urbanem okolju, vplivali na obseg in samo potekanje poplav (Banovec, 2003).



*Slika: Poplave Savinje v Celju (elektronski vir, »Vodno bogastvo, ARSO«)*

### **3.2 Obstoječe stanje v Spodnji Savinjski dolini**

Poplavi leta 1990 in 1998 sta dokazali, da prevodnost struge Savinje v mestih Celje in Laško ni zadostna. Kljub poplavljanju v srednjem toku in tudi na vseh pritokih v spodnjem toku, je prevodnost Savinje manjša od visokih voda s povratno dobo 50 let. Ker z neposrednimi ureditvami prizadetih območij ni možno zagotoviti dovolj velike poplavne varnosti naselij v Spodnji Savinjski dolini, je edina možna rešitev zadrževanje visokih voda v srednjem toku (IzVRS, 2005).

V zadnjih petdesetih letih se je zaradi urbanizacije možnost razlivanja Savinje preko struge močno zmanjšala. Zaradi spremenjenih dinamičnih lastnosti reke, ki so posledica relativno ozkega prečnega profila, izravnave trase in omejenega pretakanja voda vzdolž reke, se je rečno dno poglobilo in ustalilo na skalnati (lapornati) podlagi. Ker se je s tem prevodnost struge nad Celjem še povečala, se je posledično zmanjšala možnost razlivanja v Spodnji Savinjski dolini. Zaradi tega sta Celje in Laško sedaj še bolj ogrožena kot sta bila leta 1990 (IzVRS, 2005).

### **3.3 Ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti**

Glavni principi varstva pred naravnimi nesrečami, kamor spada tudi varstvo oz. zaščita pred poplavami, so: analize ogroženosti, ocena ranljivosti ter določitev obsega spremenljivega tveganja in ravnanja ob pojavu preostalega tveganja ob nesrečah. Upoštevajo se izkušnje iz preteklih nesreč, naravne in druge danosti, razpoložljive sile, sredstva za zaščito, reševanje in pomoč ter pravila ravnanja v družbi (Banovec, 2003).

Varovanje pred poplavami lahko razdelimo na aktivne in pasivne ukrepe, ter gradbene in negradbene ukrepe. Aktivni ukrepi so tisti, s katerimi vplivamo na pojav (npr. gradnja zadrževalnikov), pasivni ukrepi pa tisti, s katerimi zmanjšujemo ogroženost ali ranljivost (gradnja nasipov, prilagojeni objekti ipd.) (Banovec, 2003).

#### **3.3.1 Gradbeni ukrepi**

Do konca osemdesetih let so predstavljali gradbeni ukrepi večino vseh ukrepov za zmanjšanje škode oz. ogroženosti ob poplavah. Zaradi vpliva, ki ga imajo na naravno okolje, jim je javnost

vse manj naklonjena. Ločimo več vrst gradbenih ukrepov: ukrepe za povečevanje pretočnosti, ukrepe za zmanjšanje maksimalnih pretokov in ukrepe za preprečitev vdorov vode v objekte.

**Ukrepi za povečanje pretočnosti** so zaradi posegov v samo strugo precej nepriljubljeni. Mednje uvrščamo preboje, regulacijo strug in tudi gradnjo obrežnih nasipov. Taki ukrepi so primerni predvsem za rešitev lokalnih, neobsežnih poplavnih problemov, saj nam v primeru namernega povečanja pretočnosti na daljšem odseku nastopi velika nevarnost poslabšanja nizvodnih razmer.

**Ukrepi za zmanjšanje maksimalnih pretokov** so zasnovani na predpostavki zmanjšanja toka tako tujih kot tudi zalednih voda. Tuje vode zadržujemo s pregradami, za katerimi nastajajo zadrževalniki voda, ki zmanjšajo maksimalni pretok v času poplav. Poseg v strugo je, razen na mestu zadrževalnika, minimalen. Dobra stran zadrževalnikov je lahko tudi biološko raznovrstno okolje, ki nastane za pregrado. Učinkovito rešitev zadrževanja tujih in lastnih voda predstavlja razpršeno zadrževanje oz. upočasnitev generiranja odtoka zalednih in lastnih voda.

**Ukrepi za preprečitev vdorov vode v objekte** so povsem lokalno usmerjeni, praviloma za posamezen objekt ali pa skupino objektov. Med to zvrst ukrepov spadajo pravilna izvedba izpustov v kanalizacijo, tesnjenje odprtih v objektu, priprava montažnih elementov za zapiranje odprtih ipd. Pogosto se uporabljajo kot dodatni ukrep za objekte s posebno rabo oz. takrat, kadar splošni ukrep ne zadošča.

### 3.3.2 Negradbeni ukrepi

Z vsesplošnim večanjem zavesti o ogroženosti in boljši osveščenosti o skrbi za okolje, postajajo negradbeni ukrepi vedno bolj prisotni in uporabni.

**Ustrezni oz. učinkoviti načrti zaščite in reševanja ob nastopu poplav** so tisti, ki imajo kot primarni cilj reševanje človeških življenj. Za dobro izvajanje načrtov zaščite in reševanja so potrebne predvsem ustrezno usposobljene in logistično podprte ekipe ljudi ter zanesljivo odločanje na podlagi razpoložljivih informacij. Načrti zaščite in reševanja so uresničljivi le pod pogojem, da so prebivalci v ogroženem območju primerno poučeni kako se odzvati v primeru ogroženosti.

**Pravne ureditve in predpisi** določajo kje, zakaj in kako je potrebno izvajati določene omejitve rabe prostora. Osnova za to so s predpisom razglašene karte ogroženosti, ki prikazujejo poplavna področja za različne tipe poplav. Pomembno je, da so karte enostavno in javno dostopne vsem, ki se zadržujejo na ogroženem predelu. Med pravne ureditve, kot ukrepe za zmanjšanje poplavne škode, sodijo tudi poplavna zavarovanja. S predpisi je lahko določeno, da je npr. poplavno zavarovanje, ki je sicer prostovoljno, za poplavno močno ogrožena območja obvezno, znani pa so tudi primeri, ko je s predpisom prepovedana sklenitev zavarovanja.

**Modeli napovedovanja pretokov in posledično obsega poplav** služijo simulaciji poplavnih situacij, za neko določeno povodje in vodno stanje. Številni primeri poplav so pokazali, da se škoda v primeru pravočasnega opozorila lahko zmanjša tudi za polovico (Wind, 1995 cit. po Banovec 2003). V ta namen so bili razviti modeli, kot npr. EFFF (European Flood Forecasting System) in LISFLOOD v Evropi ter HAZUS v ZDA. Modeli temeljijo na vremenskih napovedih in opazovanju hidroloških stanj na gorvodnih predelih povodij. Natančnost in učinkovitost napovedovanja narašča z velikostjo povodja. V Sloveniji se za napovedovanje pretokov uporabljajo regresijski modeli, pri katerih je najvplivnejši parameter za napoved pretokov predvidena količina padavin v naslednjih 12 oz. 24 urah in trenutni pretoki na vodomernih postajah, saj so časi potovanja visokovodnih valov večinoma manjši od 12 ur.



### **3.4 Ukrepi za obravnavni odsek od Dobrteše vasi do Bolske**

Za povečevanje varnosti je potrebno zagotoviti zmanjšanje konice poplavnega vala na največji pretok, ki ga je rečna struga še zmožna prevajati. To lahko storimo z izgradnjo enega ali več zadrževalnih bazenov. Z zadrževanjem dela poplavnega vala v zadrževalniku visokih voda se konica zmanjša, trajanje vala pa se zaradi tega podaljša.

Potrebno je poskrbeti za lokalno varovanje ogroženih območij poselitve, kar se lahko izvede z lokalnimi nasipi oziroma z zvišanjem nivelete lokalnih infrastrukturnih objektov. Takim lokalnim varovanjem se je mogoče vnaprej izogniti z ustrežnejšo umestitvijo bodočih poselitvenih območij in pazljivejšo izvedbo novih infrastrukturnih objektov, skratka z ustrežnejšim načrtovanjem rabe prostora. Potrebno se je izogniti odlaganju odpadkov in nevarnih snovi na območjih s specifičnim vodnim režimom, pri čemer se posveča posebno pozornost sanaciji že obstoječih divjih odlagališč.

Za večino zgoraj naštetih ukrepov je potrebnih veliko finančnih sredstev, ki pa največkrat niso na voljo takrat, ko bi bilo preventivno delovanje še toliko bolj smiselno in predvsem cenejše.

### **3.5 Zadrževalniki visokih voda**

Ideja zadrževalnikov visokih voda je preusmeritev visokovodnega vala v posebej za te primere zgrajene zadrževalne prostore, kjer se voda zadržuje za določen čas in nato postopoma spušča nazaj v vodotok. Dimenzioniranje zadrževalnikov visokih voda zahteva poznavanje celotnega hidrograma visokovodnega odtoka in ne samo največjega pretoka (Mikoš, 2000). Pri delovanju zadrževalnikov visokih voda igrajo ključno vlogo vtočni in iztočni objekti, ki jih zasnujemo tako, da ne vplivajo na normalne pretoke in začnejo delovati šele pri izbrani visoki vodi. Voda se mora

v zadrževalniku zadržati dovolj dolgo, da upade nivo vode v strugi, po drugi strani pa se tam ne sme zadrževati predolgo, saj zadrževalni prostor večkrat služi več namenom. Poleg tega, da jih uporabljamo za nadzorovanje poplavnega vala, lahko zadrževalnike, ko so prazni, uporabimo za ekstenzivno kmetijsko pridelavo, za pašnike in travnike ali jih namenimo rekreaciji. Na njih lahko uredimo igrišča, tekaške in pešpote, prostor za piknike itn.

Zadrževalniki so lahko locirani na vodotoku samem, oziroma poplavni ravnici, ali pa so postavljeni tudi nekoliko dlje in imajo temu prirejen vtočni in iztočni kanal. Gradbeni posegi v rečno strugo so, razen na samem mestu zadrževalnika oz. vtočnega in iztočnega kanala, minimalni. V primeru postavitve zadrževalnika visokih voda ob rečno strugo, v naravno poplavno ravnico struge, lahko zadrževalnike izvedemo z enostavno zaježitvijo. Dele prvotne poplavne ravnice ločimo od glavne struge in omogočimo njihovo preplavitev le v primeru izrednih visokih voda (Mikoš, 2000).

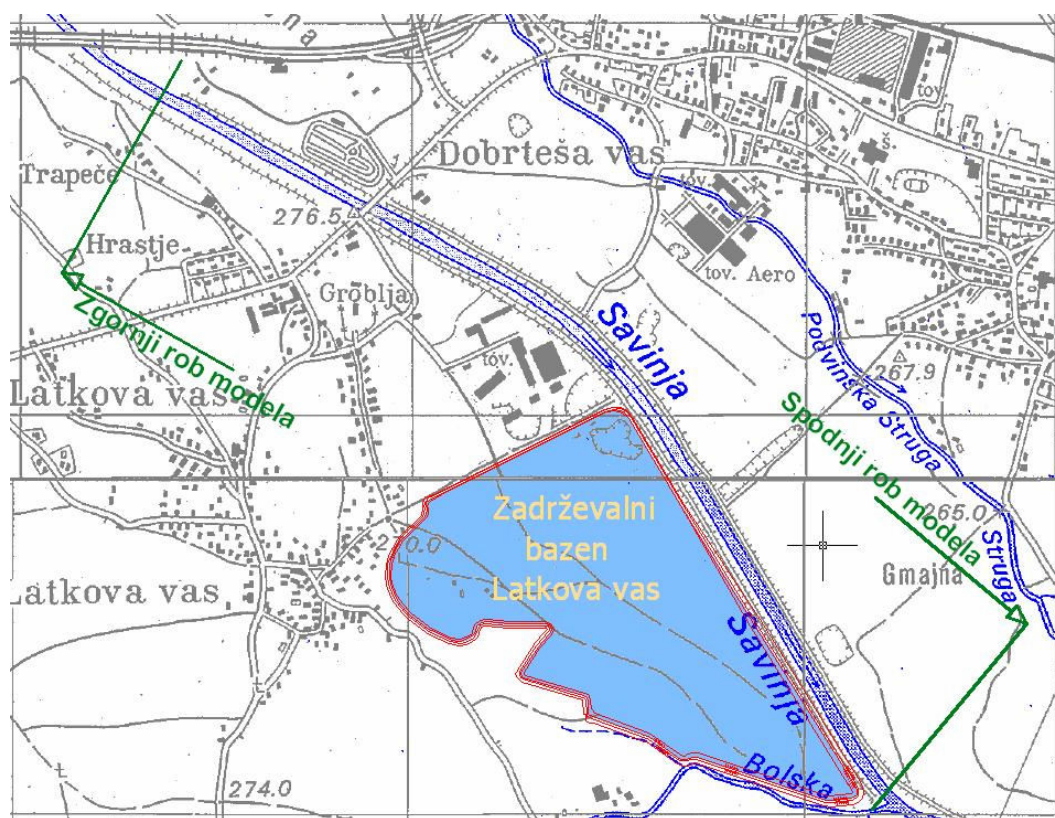
Zadrževalnike visokih voda lahko opremimo s hidromehansko opremo, tablastimi ali segmentnimi zapornicami, in tako izboljšamo delovanje sistema. Hkrati pa strojna in mehanska oprema prinaša s seboj tudi tveganje nepravilnega ali nepravočasnega delovanja. Če slabo ocenimo potek visokovodnega vala, lahko z nepravilnim ravnanjem na prelivnih organih celo skokovito umetno povečamo pretok pod njim.

Večje število zadrževalnikov lahko na nekem povodju poveča učinek zadrževanja, vendar obstaja tveganje, da ob lociranih zadrževalnikih tudi na pritokih nastopi sočasna združitev poplavnih valov in se poplavna konica celo poveča (Banovec, 2003).

Pri načrtovanju zadrževalnikov visokih voda je primerno upoštevati tudi zaplavljanje, zaprojevanje ali zamuljevanje zadrževalnega prostora. Pri tem lahko v določenih primerih računamo tudi na ugoden samočistilni efekt in spiranje zadrževalnega prostora ob umiku visokih voda.

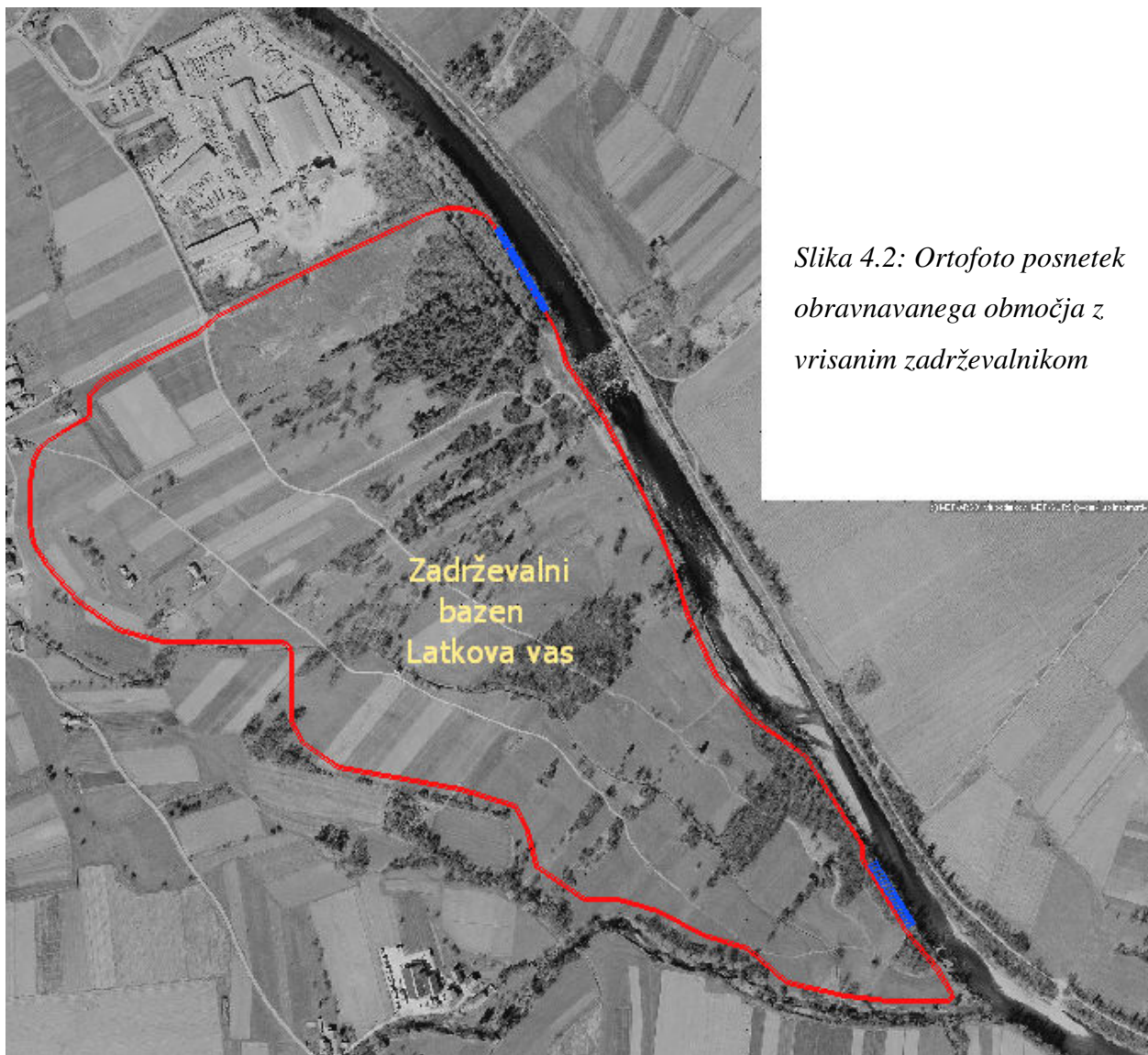
## 4 Hidravlični model

V nadaljevanju je predstavljen hidravlični model odseka Savinje, od Dobrteše vasi do sotočja z Bolsko. Hidravlični izračuni so narejeni za primer mešanega vodnega režima stalnega in nestalnega toka. V primeru stalnega toka se izračuni izvajajo za dvoletne, petletne, desetletne, dvajsetletne, petdesetletne in stoletne vode. Nadalje je v diplomski izdelani analiza visokovodnih valov nestalnega toka za primer poplavalne situacije, ki se je zgodila novembra 1990 in nastavljenega sintetičnega hidrograma za 100 letne visoke vode s časom trajanja 24 ur. Kot protipoplavalni ukrep je predstavljen zadrževalni bazen za visoke vode in izdelana simulacija zadrževalnika Latkova vas.



Slika 4.1: Območje hidravličnega modela in lokacija zadrževalnega bazena Latkova vas

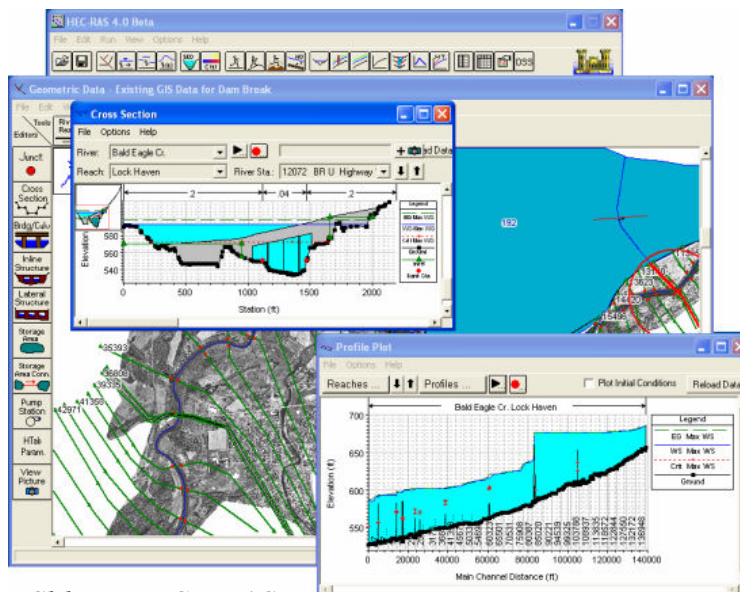
Zadrževalni bazen Latkova vas je lociran na območju med Latkovo vasjo, Savinjo in Bolsko (slika 4.1). Območje je poraslo z obvodnim gozdnim rastjem, preostali del pa zasedajo poljedelske površine. Ker je obravnavano območje zelo ravninsko, je potrebno za zajezitev vodnih mas izvesti zadrževalne nasipe, ki bodo na spodnji strani zadrževalnika dosegali višine tudi do 5,0 m.



*Slika 4.2: Ortofoto posnetek obravnavanega območja z vrisanim zadrževalnikom*

Slika 4.2 je narejena na podlagi ortofoto letalskih posnetkov iz leta 2002, ki so hranjeni v bazi podatkov ARSO. Vrisan je zadrževalni bazen Latkova vas ter z vtočni in iztočni objekt.

Za izdelavo hidravličnega računskega modela odseka Savinje od Dobrteše vasi do sotočja s Bolsko je bil uporabljen računalniški program HEC-RAS (River Analysis System), verzija 3.1.3., ki je bil izdelan pri »U. S. Army Corps of Engineers« na operativnem centru »Hydrologic Engineering Center«.



Slika: HEC – RAS  
(elektronski vir)

## 4.1 HEC – RAS

»Hydraulic Engineering Center – River Analysis System« je programski paket za preračunavanje hidravličnih situacij v naravnih vodotokih. Programski paket je sistem za analizo vodotokov, ki je sestavljen iz več modulov, in sicer: grafični vmesnik, modul za izračun stalnega toka, modul za računanje nestalnega toka ter sedimentacijski modul. Vsi trije moduli koristijo skupno bazo podatkov o geometriji ter hidravličnih parametrih. V program lahko vnašamo tudi določene hidravlične objekte, s katerimi lahko ponazorimo realno načrtovano stanje na vodotoku. HEC-RAS omogoča tudi grafični prikaz rezultatov, vendar v zelo omejenem obsegu, s prikazom toka v vertikalnih lamelah prečnih prereзов, ali 3D pogled (USACE, 2002a).

Za hidravlični izračun potrebujemo geometrijo in hidravlične značilnosti vodotoka. To so: dolžina vodotoka, os vodotoka, hrapavost vodotoka in geometrija prečnih profilov. Robne pogoje nastavimo na iztoku vodotoka za mirni tok, na vtoku za deroči tok, na vtoku in iztoku za mešani



režim toka. Za nestalni tok potrebujemo t.i. obratovalne pogoje (tj. začetne in robne) nestalnega toka, npr.: hidrogram odtoka, hidrogram obratovanja turbin, itd. Poleg tega potrebujemo še specifikacijo morebitnih hidrotehničnih objektov kot so mostovi, prepusti, kanali in jezovi.

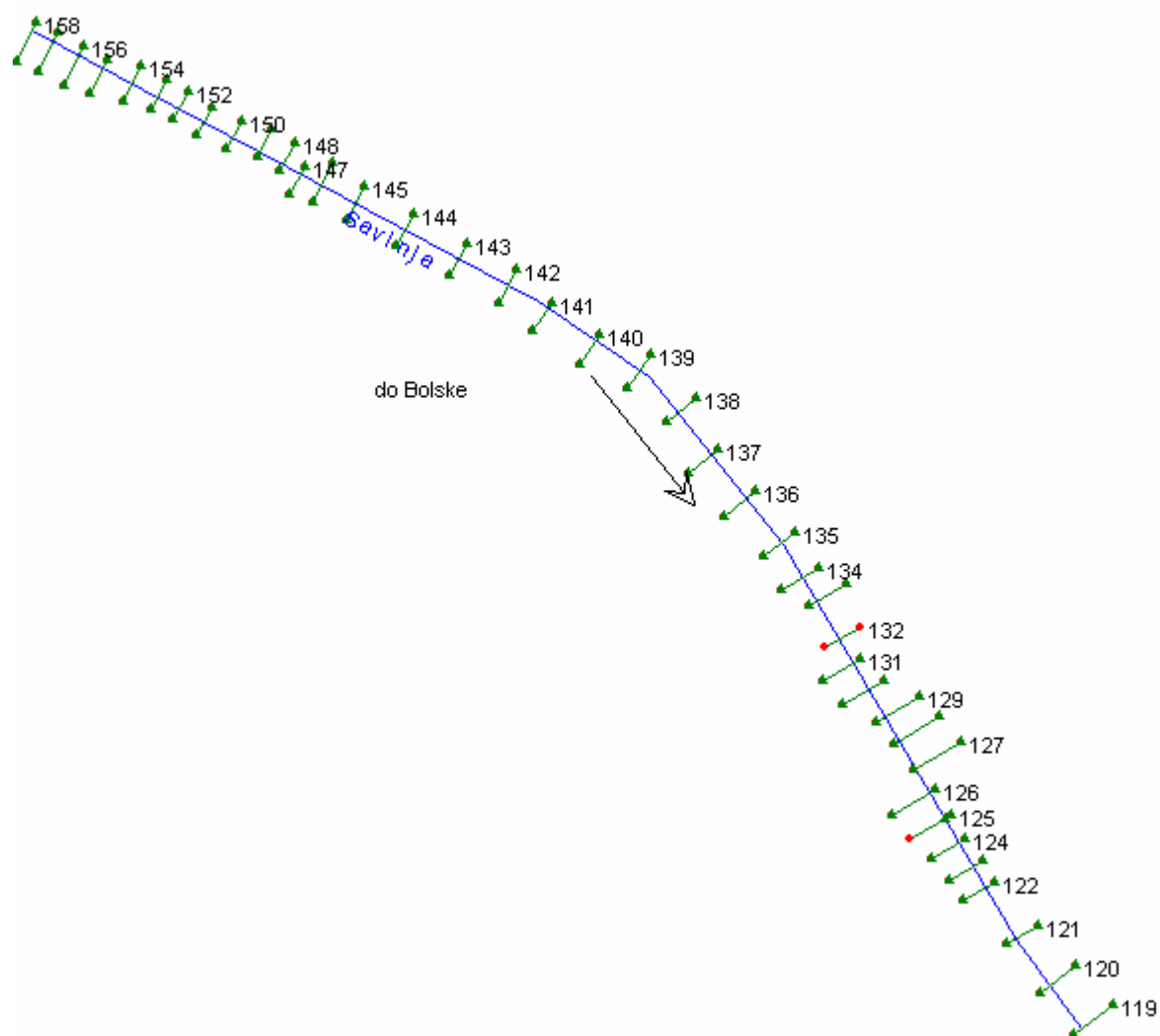
Modeliramo lahko mirni, deroči ali prehajajoči tok enega ali več kanalov (mreže kanalov). Za hidravlični izračun uporablja program enodimenzijsko energijsko enačbo, pri čemer se izgube določajo na podlagi Manningove enačbe in koeficientov izgub. Računski model uporablja razne empirične enačbe in enačbo ohranitve gibalne količine za predele vodotoka, kjer prihaja do naglih sprememb oblike struge: hidravlični skok, hidravlika ob mostovih in predeli združevanja vodotokov. Pri modeliranju smo omejeni tudi z naklonom dna, ki ne sme biti večji od 10%, saj pri večjih padcih nastopajo še dodatni procesi.

Za izračun se izvede simulacija potovanja vhodnih hidrogramov dolvodno. Enodimenzijski model omogoča izračun gladin v razmerah stalnega in nestalnega vodnega režima s pomočjo energijske in momentne enačbe. Višino gladine vode računa s pomočjo iteracijskega postopka znotraj energijske enačbe, kjer upošteva izgubo energije med dvema profiloma zaradi hrapavosti in krčenja oz. širjenja prereza vodnega toka. Kadar imamo opravka z nenadnimi spremembami vodnega toka (prehod iz mirnega v deroči režim, mostovi, prepusti, sotočja), takrat program uporablja namesto energijske momentno enačbo (USACE, 2002a).

## 4.2 Geometrija modela

Za obravnavani odsek je geometrija Savinje prevzeta po predhodno izdelanem hidravličnem modelu »*Hidravlični model Savinje na območju od Šempetra do sotočja z Ložnico v Celju*«, ki ga je pripravil Inštitut za vode Republike Slovenije (IzVRS, C-1273, oktober 2005). Za potrebe te naloge je bil model oklešččen, in se osredotoča le na odsek »od Dobrteše vasi do pritoka Bolska«

in zadrževalnik za visoke vode Latkova vas. Vtok v obravnavani odsek predstavlja prečni profil P158, iztok pa profil P119. Prečni profili si numerično sledijo proti toku.

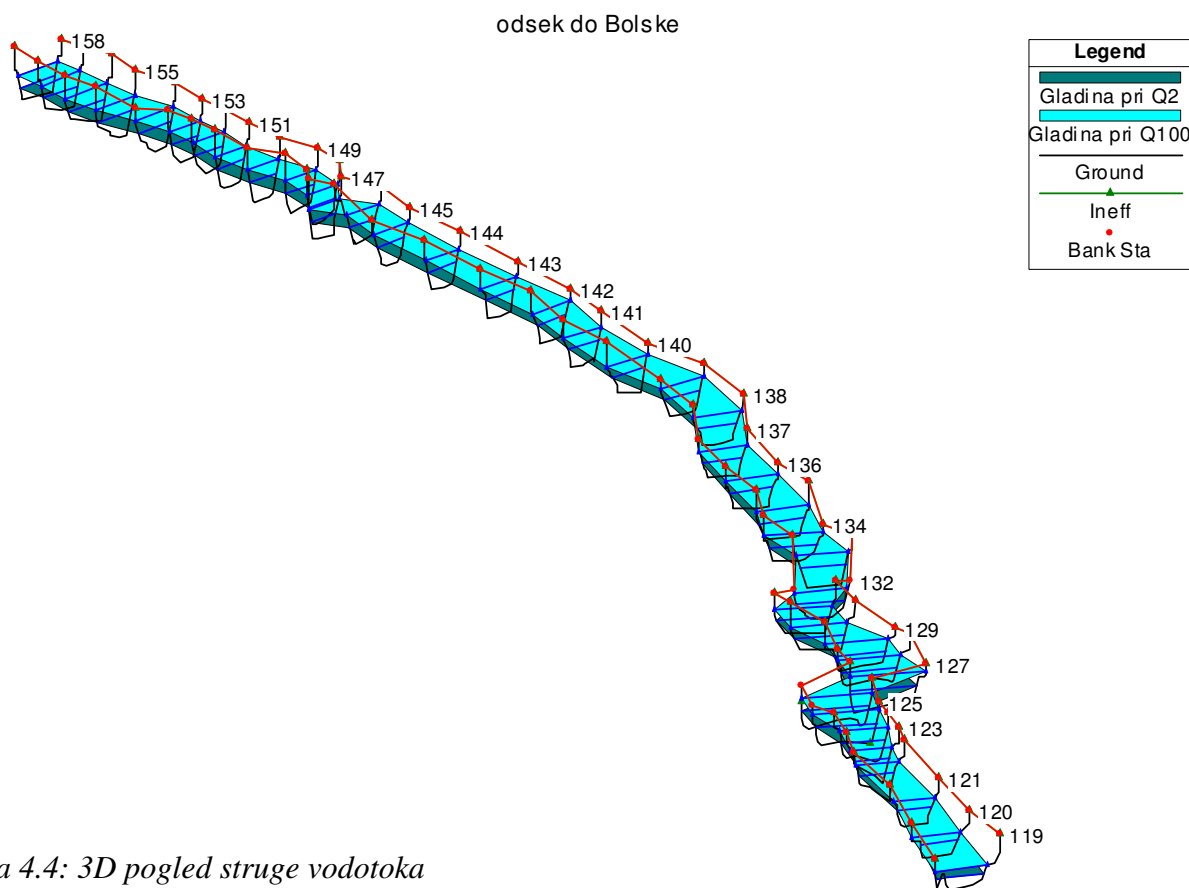


Slika 4.3: Tlorisna situacija hidravličnega modela

Poleg struge in njene osi naj bi bile v tlorisni situaciji razvidne tudi poplavne ravnice, ki pa za obravnavani odsek reke Savinje »od Dobrteše vasi do Bolske« ne pridejo v poštev, saj so za ureditev rečne struge na tem območju povsod predvideni protipoplavni nasipi. Hidravlični model bi tako moral vsebovati podatke o poplavnih ravninah le v primeru analize obstoječe situacije, za analizo predvidenega stanja pa poplavnih ravnin ne potrebujemo.

Nasipi so v HEC – RASu vnešeni kot točke v posamičnih prečnih prerezih. Za vsak prečni prerez je določena lega in višina levega ter desnega nasipa s prečno koordinato (»*Station*«) in višino (»*Elevation*«). V primeru obravnavanega hidravličnega modela ni tako, saj so nasipi podani kot kote terena in ne kot nasipi (»*Levees*«). Na hidravlični račun to nima bistvenega vpliva, saj ni poplavnih ravnin, katere bi varovali z nasipi. Voda teče vedno po strugi.

Prečni prerezi so v HEC – RASu vnešeni od leve proti desni, gledano dolvodno. V Sloveniji pa je praksa takšna, da se prečni prerezi rišejo obratno, torej tako da leva stran predstavlja desni breg in desna stran levi breg (Mikoš, Mastnak, 1998). Za potrebo diplomske naloge so vsi prečni prerezi in vsi načrtovani objekti predstavljeni gledano dolvodno, kot je to privzeto v HEC - RASu. Vz dolžni profili se zaradi numeričnega sledenja prečnih profilov proti toku izrišejo od desne proti levi.



Slika 4.4: 3D pogled struge vodotoka



## 4.2.1 Manningovi koeficienti trenja

Uporabljeni koeficienti hrapavosti struge po Manningu znašajo  $n_g = 0.033 \text{ m/s}^{-1/3}$  za glavno strugo in  $n_g = 0.1 \text{ m/s}^{-1/3}$  za poplavno površino. Določeni so bili z umerjanjem v predhodnih analizah na hidravličnem modelu s stalnim tokom v okviru projekta »Ukrepi za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Spodnji Savinjski dolini – Zadrževanje visokih vod ob Savinji in Bolski na območju Spodnje Savinjske doline«, ki ga je pripravil Vodnogospodarski inštitut Ljubljana (VGI, C-373-3, junij 2001). Ker v obravnavanem modelu nikjer ni predvidenih poplavnih ravníc, je Manningov koeficient z vrednostjo 0,1 le fiktivnega značaja. Za celoten izračun se uporablja vrednost  $n_g = 0.033 \text{ m/s}^{-1/3}$ .

Preglednica 4.1: Manningovi koeficienti  $n_g$  za obravnavani odsek Savinje

Manning's n or k Values												
	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3		River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3	
	1	158	n	0.1	0.033	0.1	21	138	n	0.1	0.033	0.1
	2	157	n	0.1	0.033	0.1	22	137	n	0.1	0.033	0.1
	3	156	n	0.1	0.033	0.1	23	136	n	0.1	0.033	0.1
	4	155	n	0.1	0.033	0.1	24	135	n	0.1	0.033	0.1
	5	154	n	0.1	0.033	0.1	25	134	n	0.1	0.033	0.1
	6	153	n	0.1	0.033	0.1	26	133	n	0.1	0.033	0.1
	7	152	n	0.1	0.033	0.1	27	132	n	0.1	0.033	0.1
	8	151	n	0.1	0.033	0.1	28	131	n	0.1	0.033	0.1
	9	150	n	0.1	0.033	0.1	29	130	n	0.1	0.033	0.1
	10	149	n	0.1	0.033	0.1	30	129	n	0.1	0.033	0.1
	11	148	n	0.1	0.033	0.1	31	128	n	0.1	0.033	0.1
	12	147	n	0.1	0.033	0.1	32	127	n	0.1	0.033	0.1
	13	146	n	0.1	0.033	0.1	33	126	n	0.1	0.033	0.1
	14	145	n	0.1	0.033	0.1	34	125	n	0.1	0.033	0.1
	15	144	n	0.1	0.033	0.1	35	124	n	0.1	0.033	0.1
	16	143	n	0.1	0.033	0.1	36	123	n	0.1	0.033	0.1
	17	142	n	0.1	0.033	0.1	37	122	n	0.1	0.033	0.1
	18	141	n	0.1	0.033	0.1	38	121	n	0.1	0.033	0.1
	19	140	n	0.1	0.033	0.1	39	120	n	0.1	0.033	0.1
	20	139	n	0.1	0.033	0.1	40	119	n	0.1	0.033	0.1

### 4.3 Računski primer stalnega toka

V osnovi gre za izračun nivojev vodne gladine skozi prečne profile vodotoka za stalni neenakomerni tok. HEC – RAS nam omogoča simuliranje mirnega ali deročega toka v mreži kanalov, razvejanega sistema ali posameznega odseka vodotoka. Računanje hidravličnih lastnosti vodotokov temelji na energijski enačbi (4.1).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - Y_1 - Z_1 - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2 - \alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (4.1)$$

kjer so:  $Y$  = maksimalna globina [m],  $Z$  = kota najnižje točke tal [m],  $\alpha$  = energijski koeficient,  $V$  = srednja pretočna hitrost [m/s],  $g$  = težnostni pospešek [m/s<sup>2</sup>],  $h_e$  = energijska izguba med profiloma [m],  $L$  = razdalja med profiloma [m],  $S_f$  = energijski padec [m/m],  $C$  = koeficient razširitve oz. zožitve. Indeksa 2 in 1 označujeta prečne profile.

Padec energije je v posameznem odseku izračunan po enačbi: 
$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (4.2)$$

$S \gg K \ll$  je označena prevodnost prečnega prereza 
$$K = \frac{1,486}{n_g} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (4.3)$$

Kjer so:  $n_g$  = Manningov koeficient [m/s<sup>-1/3</sup>],  $A$  = površina prečnega prereza [m<sup>2</sup>],  $R$  = hidravlični radij [m<sup>2</sup>/m].

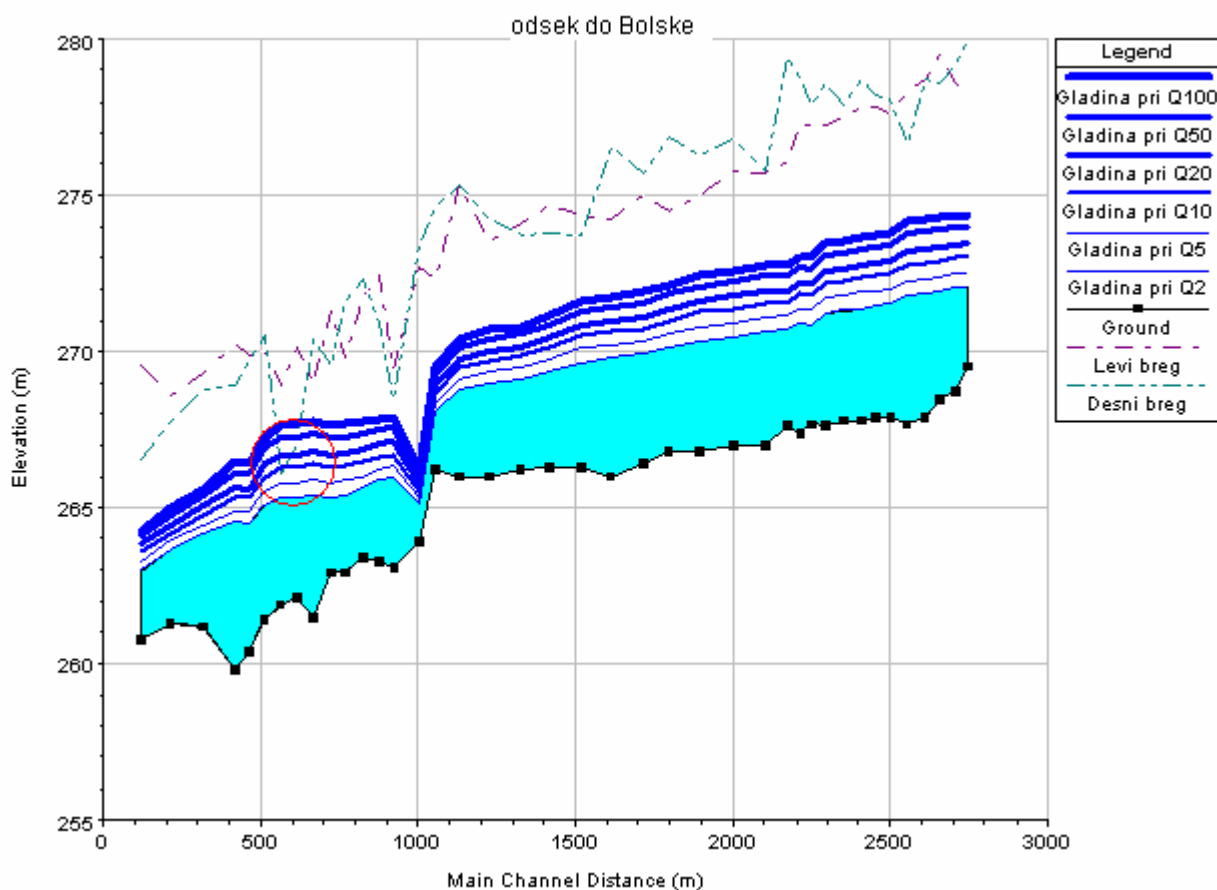
Glavna energijska enačba (4.1) velja za situacije, kjer prihaja do hipnih sprememb nivoja vodne gladine v posameznih profilih. Med take situacije sodijo izračun neenakomernega vodnega toka zaradi pragov, prepustov ali mostov in račun vodnega nivoja na sotočjih rek (USACE, 2002a).

Za natančnejšo določitev gladinskega stanja v sami strugi je bila izvedena simulacija stalnega neenakomernega mešanega režima toka s pretoki Q2, Q5, Q10, Q20, Q50 in Q100. Vrednosti za posamezne pretoke se vzdolž odseka ne spreminjajo. V geometriji modela je upoštevana samo osnovna struga Savinje, brez zadrževalnega bazena.

Preglednica 4.2: Podatki o pretokih za stalni tok v m<sup>3</sup>/s

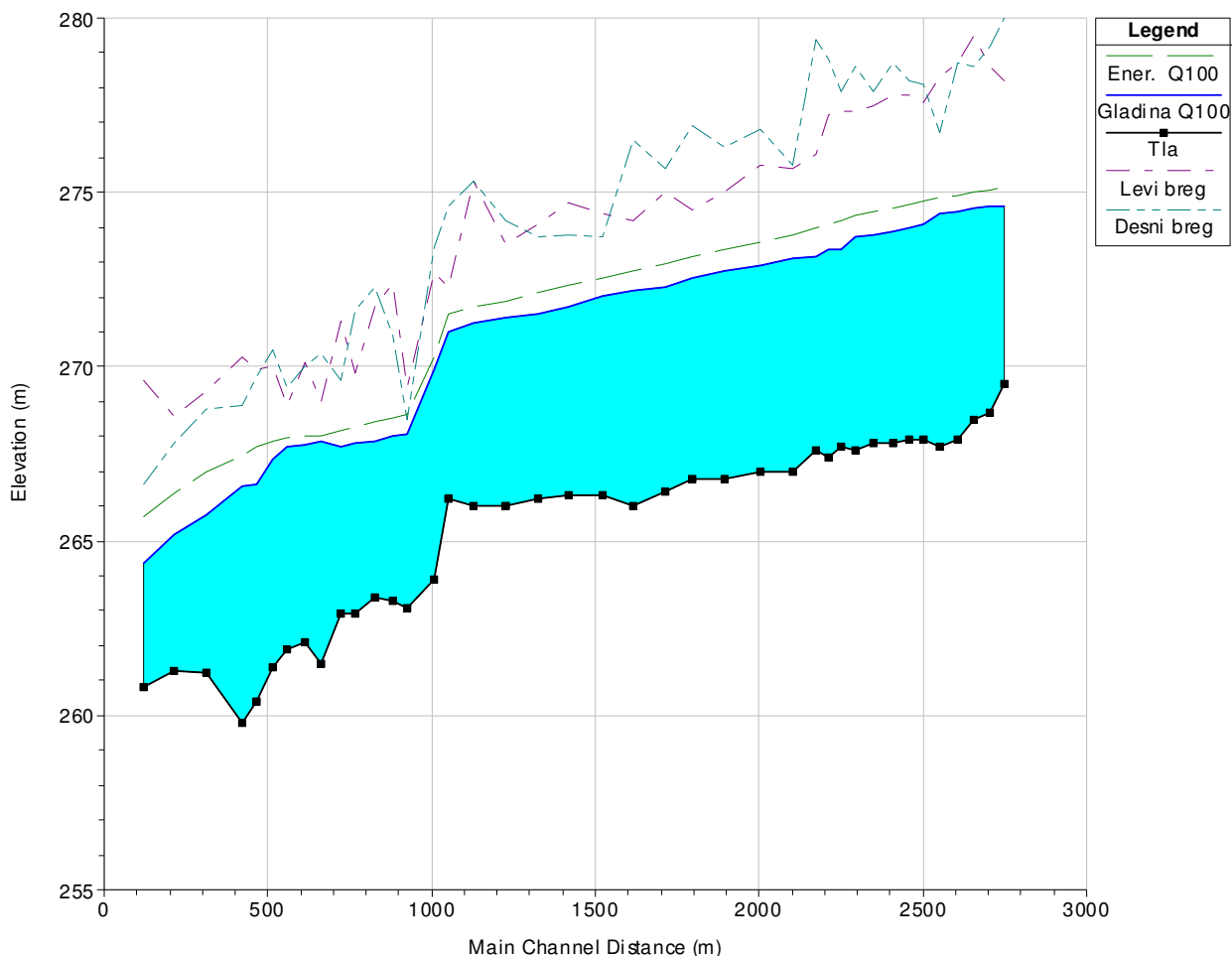
<i>River</i>	<i>Reach</i>	<i>RS</i>	<i>Q2</i>	<i>Q5</i>	<i>Q10</i>	<i>Q20</i>	<i>Q50</i>	<i>Q100</i>
1	Savinja	do Bolske	362	460	570	672	814	920

Kot zunanji robni pogoj je vseh profilih (pretokih) izbrana kritična globina (*Critical Depth*).



Slika 4.5: Vzdolžni prerez za vse pretoke stalnega toka

Iz slike 4.4: »Vzdolžni prerez za vse pretoke« je razvidno, da voda preliva strugo na desnem bregu (ROB), na razdalji približno 500 m od iztoka. Dogaja se v primeru pretokov Q20, Q50 in Q100, na prečnih profilih P125 in P126. Prelivanje odpravim s prestavitvijo kote »Bank Station« nekoliko višje, pri P125 na 269.4 m, pri P126 na 270 m.



Slika 4.6: Vz dolžni prerez za pretok Q100

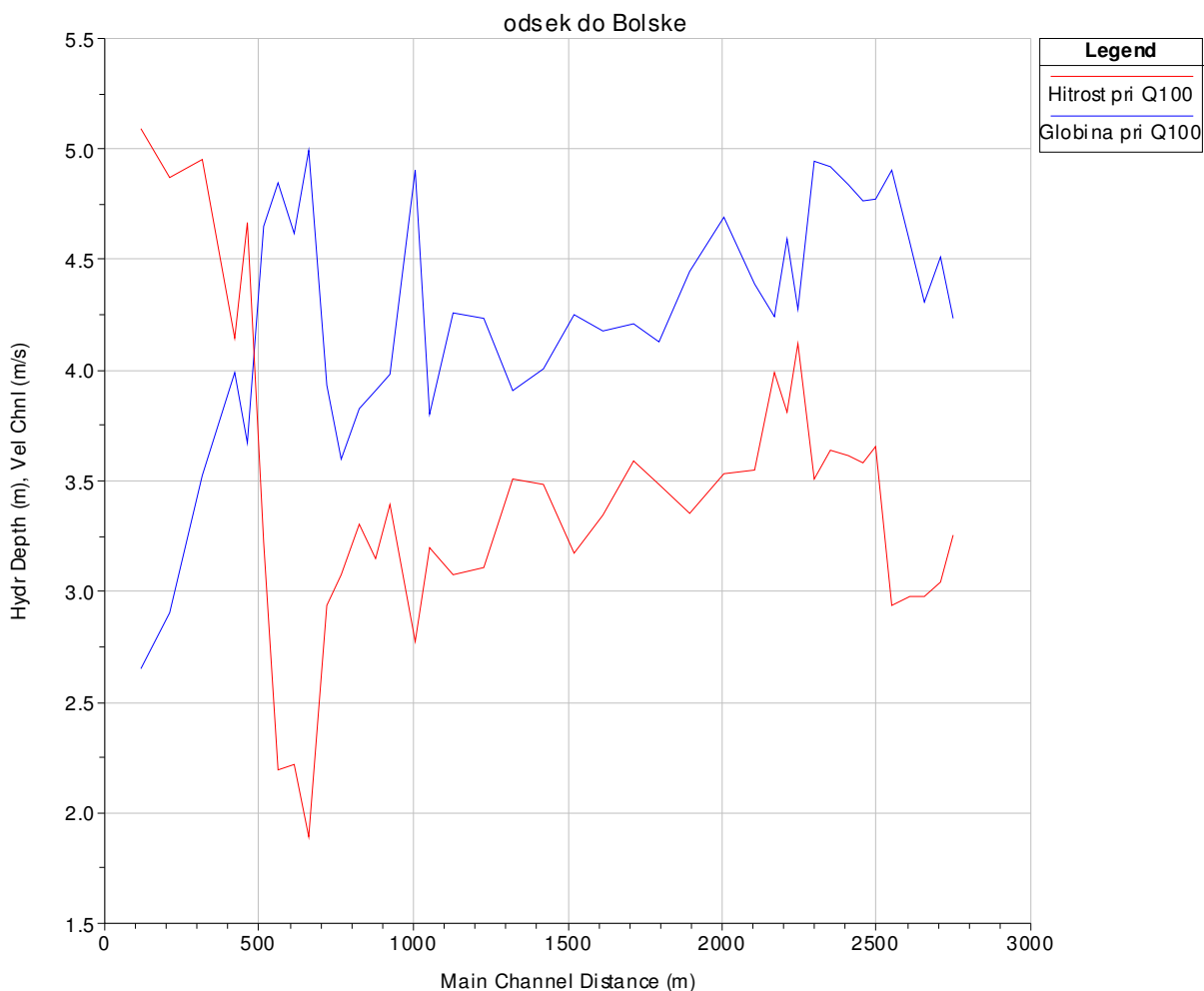
V vzdolžnem prerezu (slika 4.6) močno izstopa naglo večji padec struge med profiloma P133 in P134, pribl. 900 m od iztoka. Večji padec struge privede do večjih hitrosti vode in posledično tudi do nižje gladine vode na tem odseku. Kot hidravlični ukrep za zmanjševanje energijskega potenciala je na tem odseku Savinje že izvedena makrohrapava drča.



*Slika 4.7: Makrohrapava drča na obravnavanem odseku*

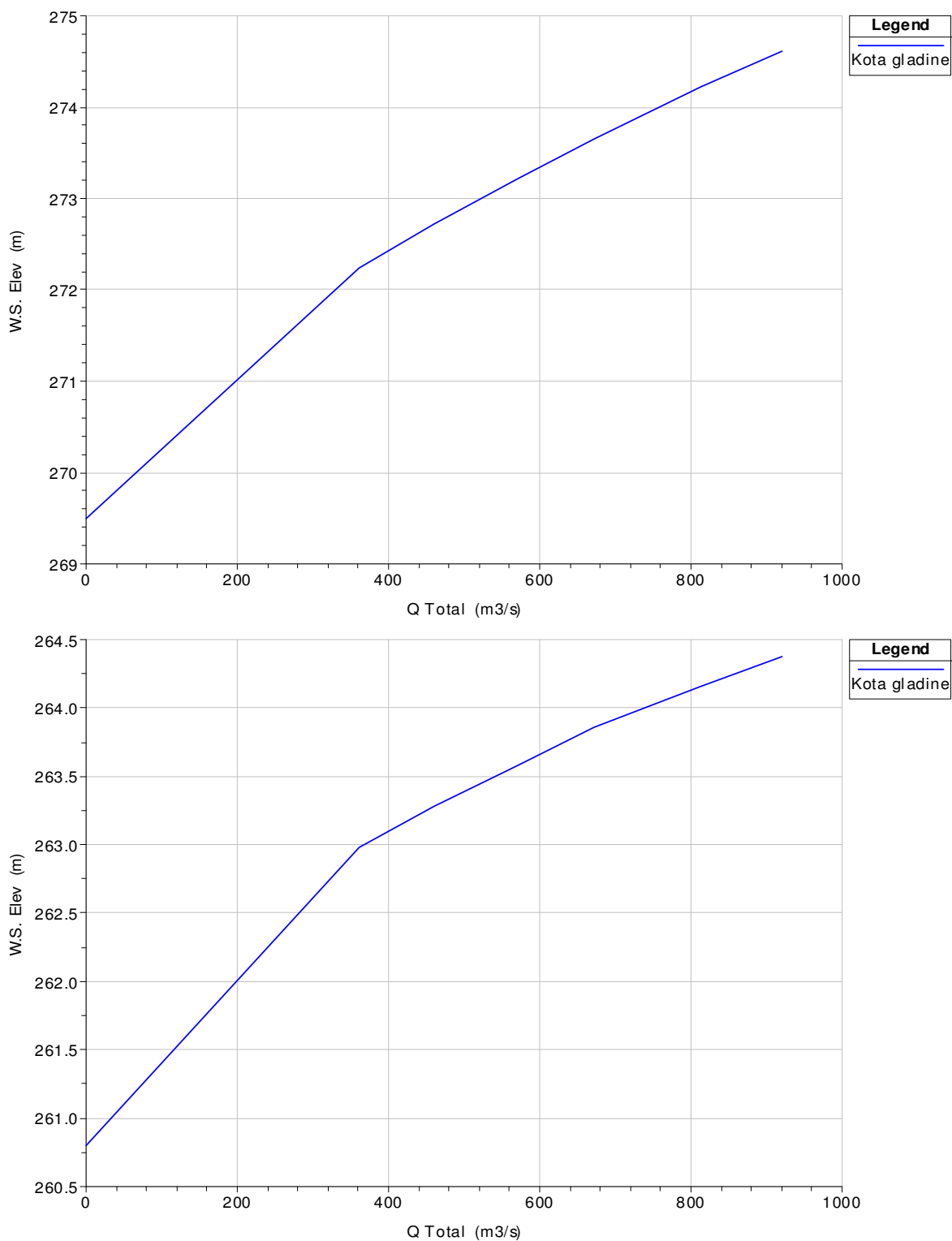
Ker gre pri drči za izrazito povečanje hrapavosti struge na krajšem odseku, morajo biti temu primerno korigirani tudi Manningovi koeficienti trenja v modelu. Na profilu P134 je vrednost koeficienta povečana iz prvotnih  $0.033 \text{ m/s}^{-1/3}$  na  $0.1 \text{ m/s}^{-1/3}$ , na profilu P133 pa na  $0.2 \text{ m/s}^{-1/3}$ . S tem se dosežejo bistveno manjša odstopanja hitrosti vode in višji vodostaj, kljub padcu dna struge, ki dosega na območju makrohrapave drče tudi 5%.

V nadaljevanju je na sliki 4.8 prikazana primerjava pretočnih hitrosti in vodne globine vzdolž struge. Razvidno je, da sta parametra približno obratnosorazmerna. Najvišji vodostaj je dosežen v prečnem profilu P127, kjer so dosežene tudi najnižje hitrosti vode. Hitrosti znašajo 1,9 m/s, globina vode pa 5 m. Najvišja hitrost je dosežena na iztoku (P119) in znaša 5,1 m/s, gladina vode pa 2,7 m.



Slika 4.8: Primerjava pretočnih hitrosti (v rdečem) in vodne globine (v modrem) v strugi za stalni tok  $Q 100$

Pretočna krivulja  $Q - h$  (slika 4.9) prikazuje odvisnost vodostaja od dejanskega pretoka v posameznem prečnem prerezu. Izrisani sta pretočni krivulji za prečni profil P158, ki je prvi gorvodni prečni profil v obravnavanem modelu in P119, zadnji prečni profil pred sotočjem z Bolsko. Skrajno levi rob grafikonov nam predstavlja povprečno koto dna obravnavanega prečnega profila ali prazen prečni profil, skrajno desni pa koto maksimalne gladine  $Q100$ .



Slika 4.9: Pretočna krivulja  $Q - h$  za prvi (zgoraj) in zadnji prečni profil (spodaj)

## 4.4 Računski primeri nestalnega toka

S Hidravličnim modelom HEC – RAS lahko izvajamo enodimenzijske hidravlične simulacije nestalnega toka. Obravnavamo lahko mirni in deroči vodni tok. V analizo nestalnega toka so vključeni vsi parametri prečnih profilov, mostov, prepustov in drugih hidravličnih objektov znotraj modela.

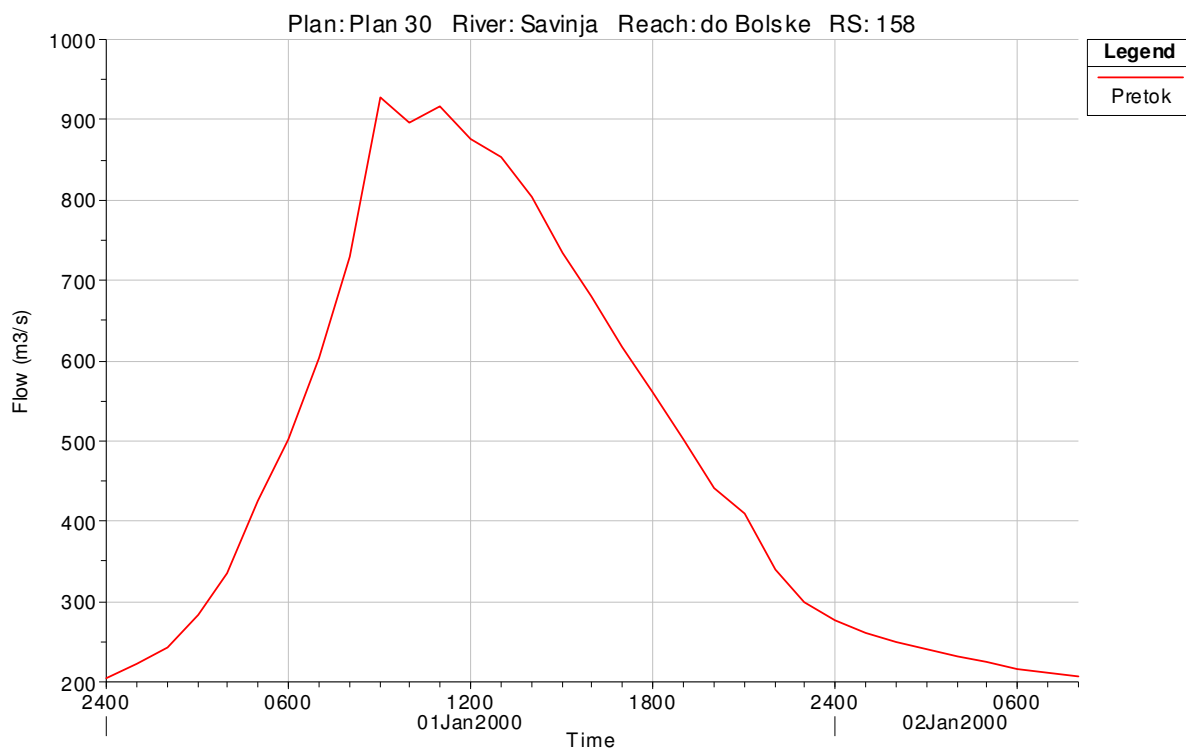
### 4.4.1 Računski primer poplavne situacije novembra 1990

Za analizo nestalnega toka morajo biti podani robni pogoji na vseh skrajnih profilih nekega modela, po želji pa tudi znotraj modela (USACE 2002a). Na obravnavanem odseku je skrajni gorvodni profil P158, ki ima kot robni pogoj podan padavinski hidrogram visokovodne situacije iz leta 1990. Skrajni dolvodni profil je P119, za katerega je podana normalna globina (Friction Slope = 0,005).

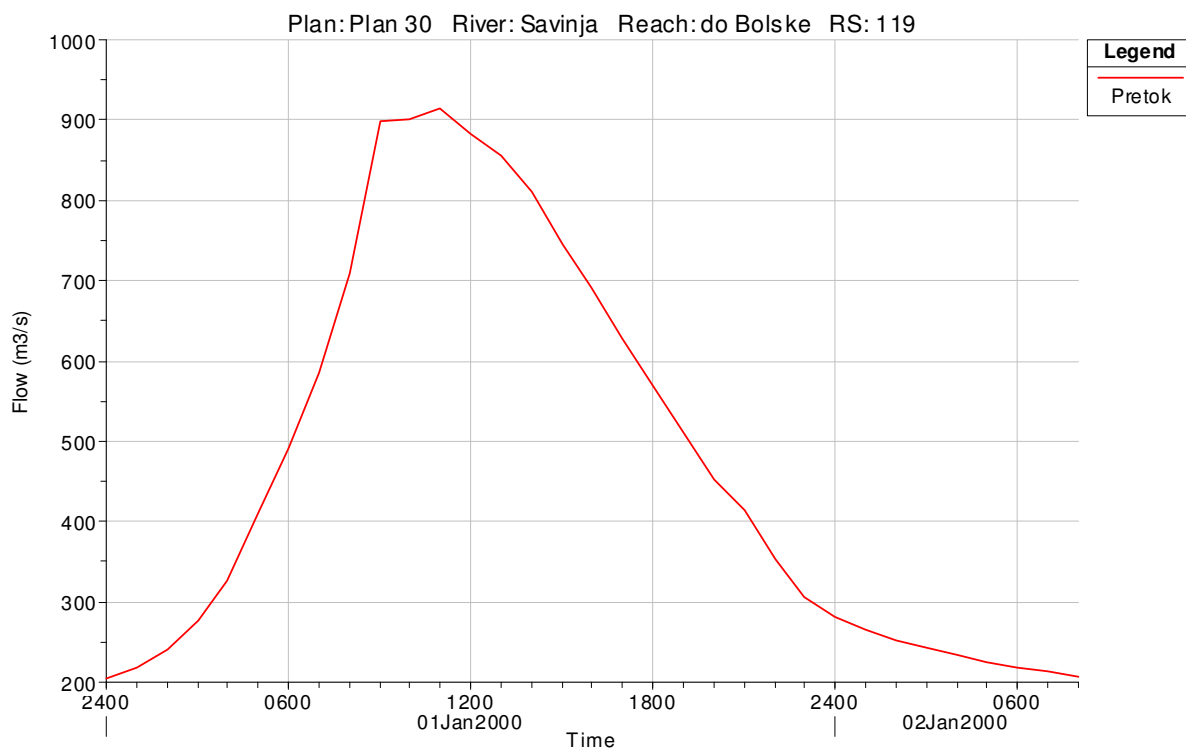
Za vhodni hidrogram poplavne situacije novembra leta 1990, je v simulaciji nastavljen začetni čas na prvi januar ob polnoči, konec pa po triintridesetih urah, drugega januarja ob devetih zjutraj. Taka časovna umestitev nam v hidravličnem modelu ne prinaša nobenih razlik in je zato nisem spreminjal.

Na vhodnem hidrogramu odtoka poplavne situacije, ki se je zgodila novembra 1990 (slika 4.10) je razvidna podaljšana konica maksimalnega pretoka. Maksimum nastopi po devetih urah, nakar pretok nekoliko vpade in se dve uri kasneje ponovno poveča. Maksimalni pretok je dosežen že v prvi konici in znaša  $927,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . V drugi konici doseže pretok vrednost  $916,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .



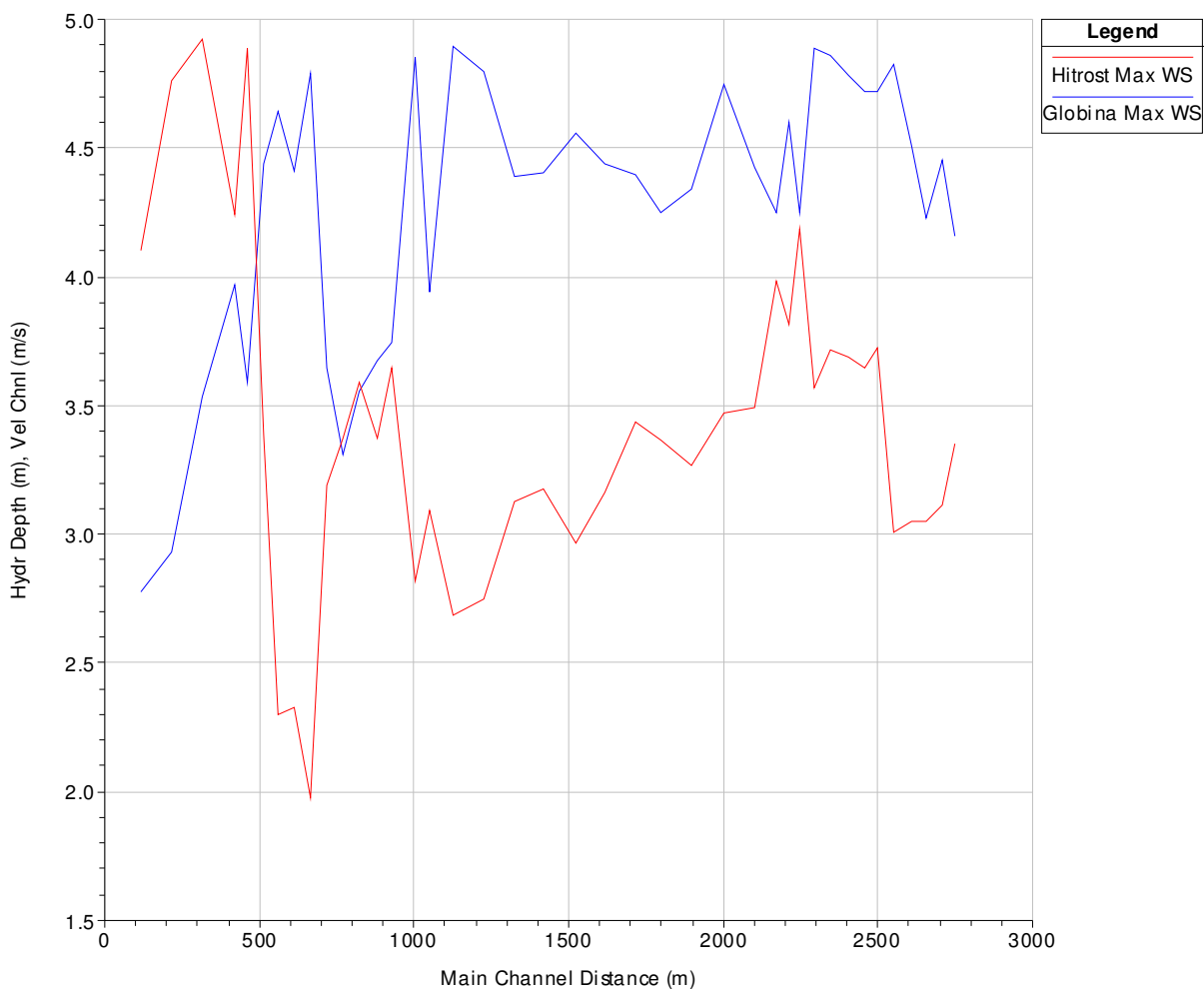


Slika 4.10: Vhodni hidrogram odtoka – zgornji robni pogoj



Slika 4.11: Izhodni hidrogram odtoka

Na izhodnem hidrogramu odtoka (slika 4.11) je vidno, da je na iztoku kritična druga konica hidrograma, ki nastopi po enajstih urah, ko doseže pretok vrednost 914,1 m<sup>3</sup>/s.

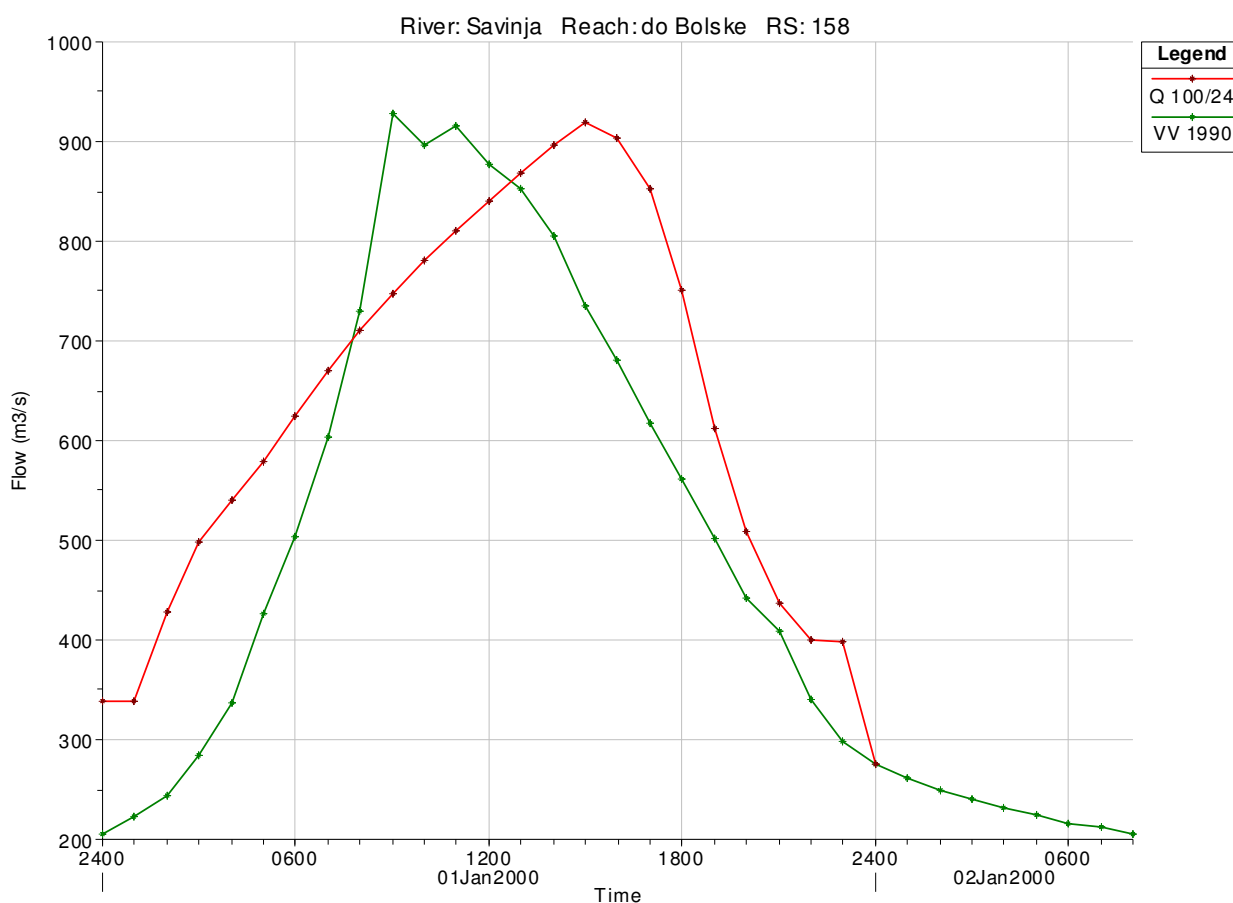


*Slika 4.12: Primerjava pretočnih hitrosti (v rdečem) in vodne globine (v modrem) v strugi Savinje za nestalni tok »VV 1990«*

Primerjava pretočnih hitrosti in vodne gladine za nestalni tok (slika 4.12) je prikazana za čas, ko nastopi maksimalni vodostaj, to je po enajstih urah simulacije. Maksimalna gladina v strugi nastopi na dveh mestih, v P135 in P149, kjer doseže vrednost 4,9 m. Hitrost vode pa na omenjenih prečnih profilih ni najnižja. Najnižja hitrost je dosežena v P127 in znaša 1,9 m/s, najvišja pa v P121, kjer doseže vrednost 4,9 m/s.

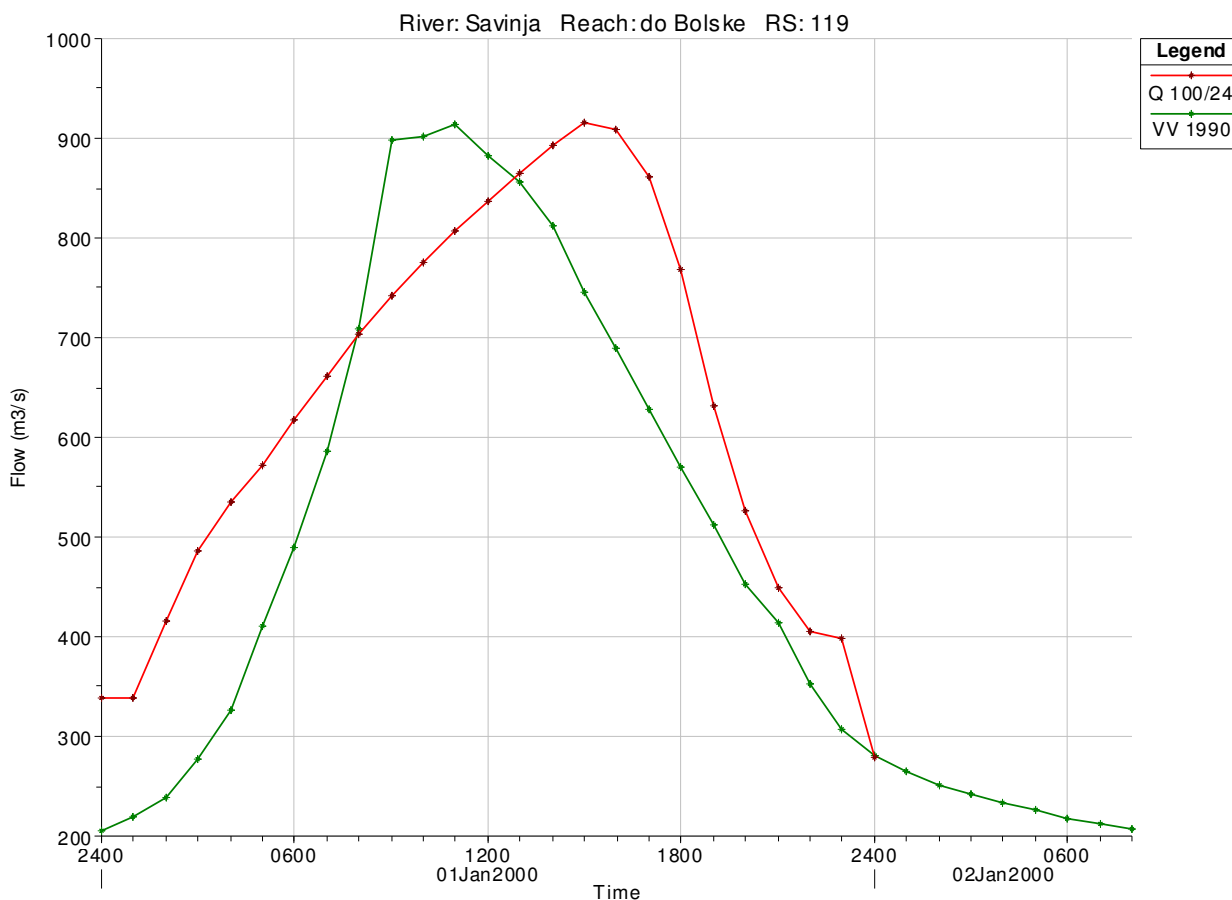
#### 4.4.2 Računski primer s sintetičnim hidrogramom Q100/24

Sintetični hidrogram Q 100/24 je hidrogram stoletne visokovodne situacije s časom trajanja štiriindvajset ur. Zaradi časovno krajšega vhodnega hidrograma je skrajšan tudi čas simulacije iz prvotnih triintrideset ur na triindvajset ur in pol. Kot robna pogoja sta podana vhodni hidrogram Q100/24 na vtoku (P158) in normalna globina na iztoku (Friction Slope = 0,005).



Slika 4.13: Primerjava vhodnih hidrogramov; november 1990 (v zelenem) in Q100/24 (v rdečem)

Konica sintetičnega hidrograma Q 100/24 nastopi nekoliko kasneje kot konica v poplavni situaciji, ki se je zgodila novembra 1990. Maksimalni pretok je v primeru Q100/24 dosežen šele po petnajstih urah in je nižji kot dejanski maksimalni pretok novembra 1990. V primeru november 1990 je maksimalni pretok dosegel vrednosti 927,4 m<sup>3</sup>/s, v primeru Q 100/24 pa 919,5 m<sup>3</sup>/s.

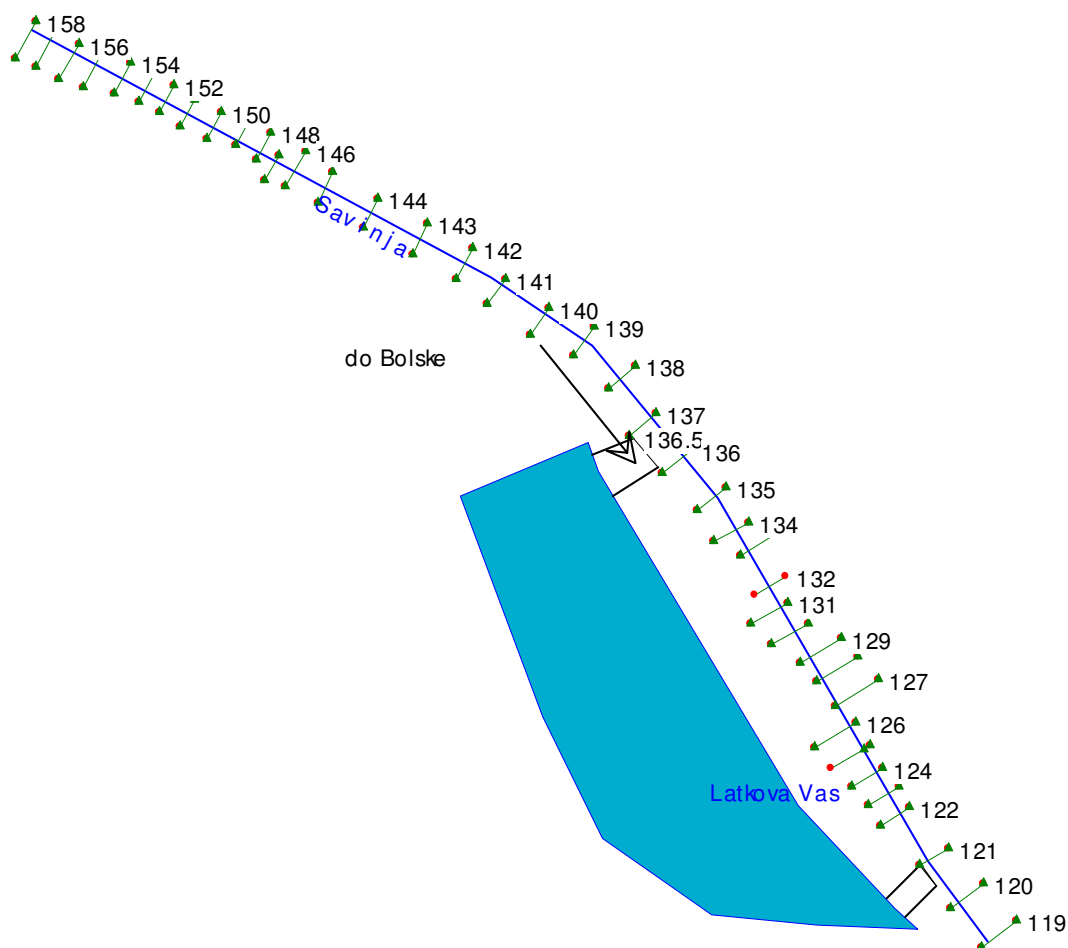


Slika 4.14: Primerjava obeh izhodnih hidrogramov (november 1990 in Q100/24)

Večji pretok v iztočnem profilu (P119) izkaže hidrogram Q 100/24, kjer konica doseže 916,3 m<sup>3</sup>/s. Konica izhodnega hidrograma visokovodne situacije novembra 1990, ki nastopi po enajstih urah doseže 913,7 m<sup>3</sup>/s.

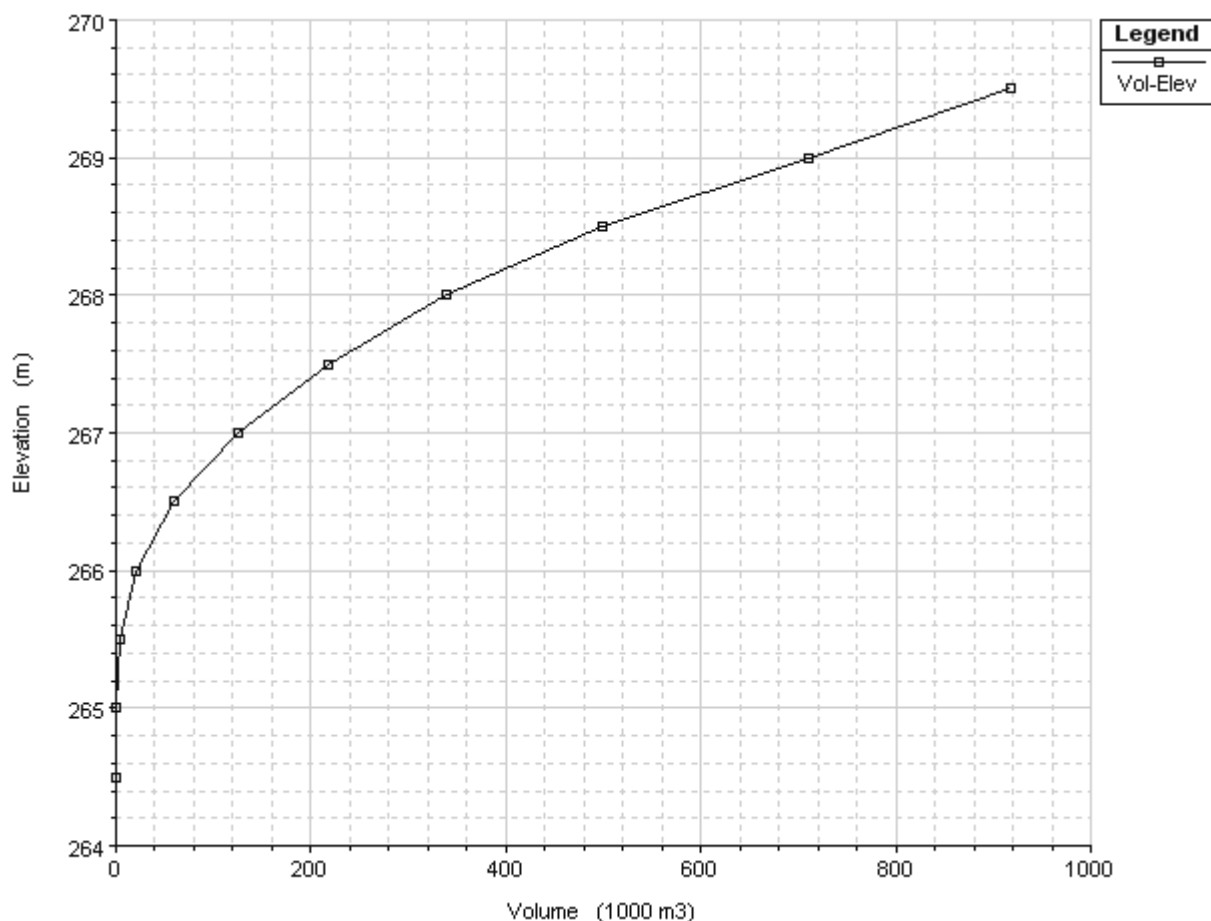
## 4.5 Računski primer z zadrževalnikom za visoke vode Latkova vas

S prihodom verzije 3.0 je v HEC-RAS-u mogoče modelirati tudi zadrževalnike visokih voda. Zadrževalniki so lahko postavljeni kjerkoli v obravnavanem območju in so z odsekom vodotoka povezani s stranskimi objekti. Zadrževalnike lahko povezujemo tudi med seboj. Povezavo zadrževalnikov z rečnim odsekom oz. z drugimi zadrževalniki lahko tvorijo pregrade s prostimi prelivi, pregrade opremljene z zapornicami ali pregrade z vgrajenimi prepusti (USACE, 2002b).



Slika 4.15: Tlorisna situacija modela z vključenim zadrževalnikom Latkova vas

Zadrževalnik se v model vnese s pomočjo poligonov, katere vrišemo v situacijo z uporabo orodja za risanje. Ko so poligoni zaključeni, se samodejno obarvajo modro. Zadrževalniku je treba pripisati velikost, za kar sta na voljo dva načina. V prvem vnesemo površino zadrževalnika in minimalno višino vode, s čimer bo program upošteval zadrževalno prostornino kvadraste oblike. V drugem primeru vnesemo volumen vode v odvisnosti od višine vode v zadrževalniku. Drugi način je natančnejši in je zato primernejši, če imamo na razpolago zahtevane podatke.



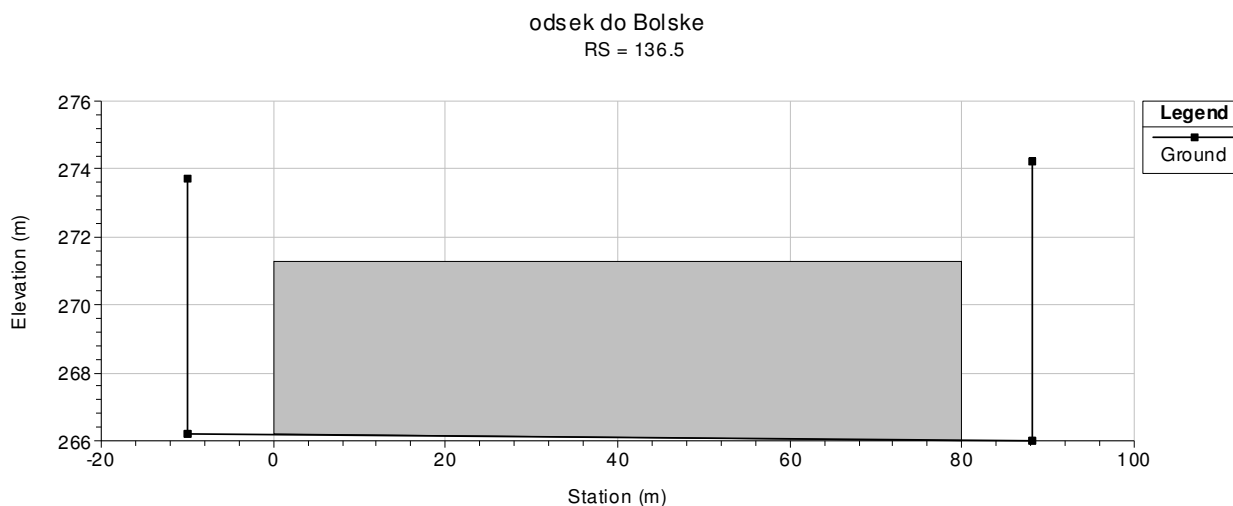
Slika 4.16: Kapacitetni volumen Latkove vasi v odvisnosti od višine

Na grafu (slika 4.16) je razviden maksimalni volumen zadrževalnika, ki znaša 917.000 m<sup>3</sup> in nastopi na višinski koti 269,5 m. Dno zadrževalnika se nahaja na koti 264,5 m, kar pomeni da je maksimalna gladina vode v zadrževalniku 5m. Vtočni profil v zadrževalnik je P136.5, iztočni pa P120.5.

Osnovni cilj hidravlične študije je določiti optimalno koto in dolžino bočnega preлива na vtoku v zadrževalnik. Račun se izvaja večkratno, za različne kote vtoka v zadrževalnik in toliko časa, dokler ni dosežena polna izkoriščenost zadrževalnika. Vtok v zadrževalnik mora biti maksimalen v trenutku nastopa konice hidrograma v strugi Savinje. Na ta način se optimizira koto vtoka v zadrževalnik in najbolj zmanjša konico poplavnega vala na Savinji. Zadrževalnik se dimenzionira na sintetični hidrogram odtoka  $Q$  100/24 in nato preveri delovanje na hidrogramu poplavne situacije novembra 1990.

#### 4.5.1 Bočni vtočni in iztočni objekt s prostim prelivom

Vtok v zadrževalnik in varnostni preliv na iztoku sta popisana z modulom »lateral structure«. V geometrijskem urejevalniku določimo velikost in obliko vtočnega ali iztočnega objekta, profil v katerem se objekt nahaja, vtočni koeficient ter obliko preлива, ki bo uporabljena pri izračunu. Za izvedbo izračuna sta potrebna najmanj en profil pred in en profil za vtokom v vtočni objekt. Pri obliki prostega preлива lahko izbiramo med pravokotnimi prelivami in prelivami s praktično obliko.



Slika 4.17: Vtočni prosti preliv

Na sliki 4.17 je prikazan vzdolžni prerez vtočnega prostega preliva v zadrževalnik Latkova Vas. Krona preliva je le malenkost nagnjena v vzdolžni smeri z naklonom krone približno enakemu naklonu padca energijske črte Savinje na tem odseku. To omogoča bolj enakomeren vtok v zadrževalnik. Dolžina bočnega vtočnega prostega preliva znaša 80,0 m.

Uporabljeni koeficient preliva znaša  $\mu = 0.56$  in je določen iz literature (Steinmann F., Hidravlika). Pretok čez prosti preliv se v praksi računa po enačbi (4.4)

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h_{pr}^{3/2} \quad (4.4)$$

Kjer so:  $Q$  = pretok čez preliv [ $m^3/s$ ],  $b$  = širina preliva [ $m$ ],  $h_{pr}$  = prelivna višina [ $m$ ],  $\mu$  = prelivni koeficient

V HEC – RASu se pretok čez preliv računa po podobni enačbi, le da je širina ( $b$ ) označena kot dolžina ( $L$ ) preliva, saj gre za bočni preliv. Prelivna višina je enaka za obe enačbi ( $H = h_{pr}$ ).

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (4.5)$$

Kjer so:  $Q$  = pretok čez preliv [ $m^3/s$ ],  $L$  = dolžina bočnega preliva [ $m$ ],  $H$  = prelivna višina [ $m$ ],  $C$  = koeficient preliva.

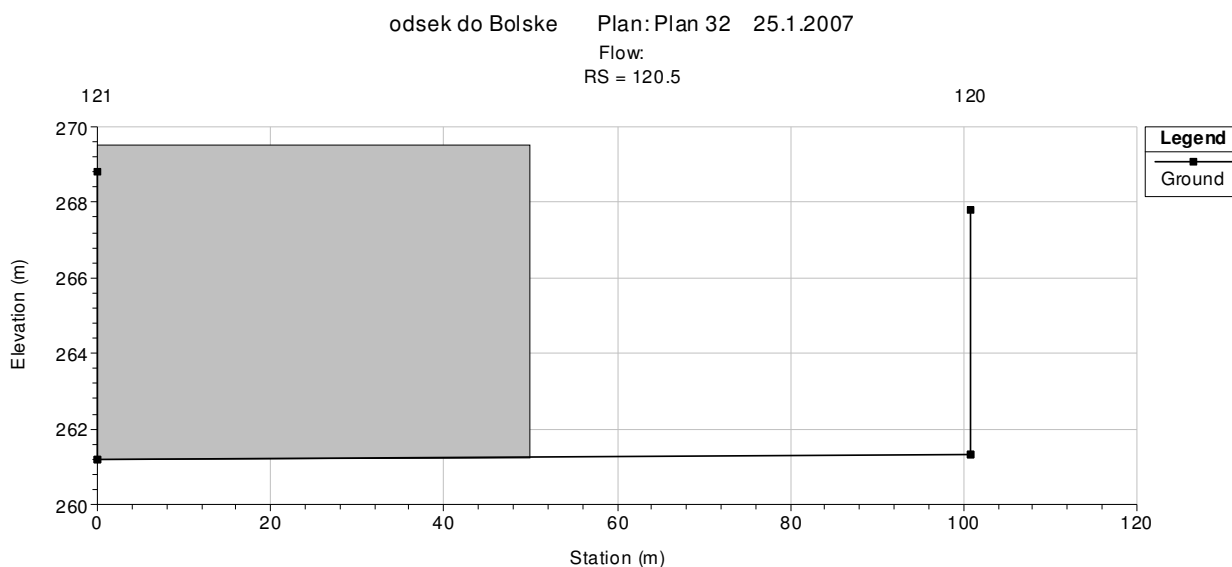
Iz zgornjih dveh enačb (4.4 in 4.5) lahko izpostavimo koeficient preliva in tako dobimo zvezo med koeficientom preliva ( $\mu$ ) in koeficientom preliva, ki se uporablja v HEC – RASu ( $C$ ).

$$C = \frac{2}{3} \mu \cdot \sqrt{2g} \quad (4.6)$$

Na podlagi enačbe (4.6) znaša koeficient preliva (*weir coefficient*)  $C_{(d)} = 1,65$ .



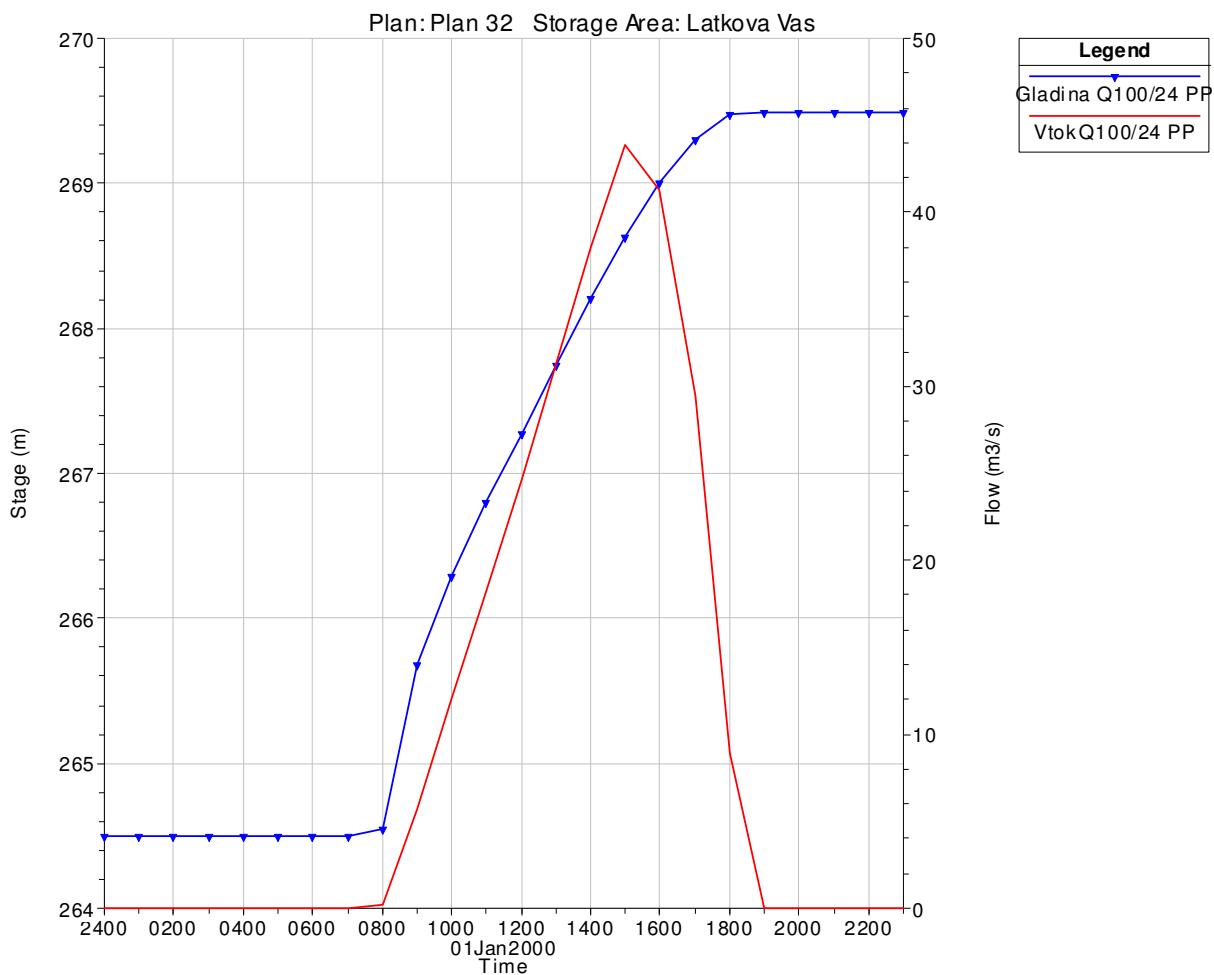
Varnostni preliv na iztoku (slika 4.18) je v model vključeni kot 50 m dolg preliv s koto krone enako koti maksimalne gladine v zadrževalniku, t.j. 269,5 m. Pri samem računu iztok ne igra pomembne vloge, saj je kota vtoka tako optimizirana, da je zadrževalnik ob prehodu poplavnega vala ravno poln.



Slika 4.18: Iztočni prosti preliv

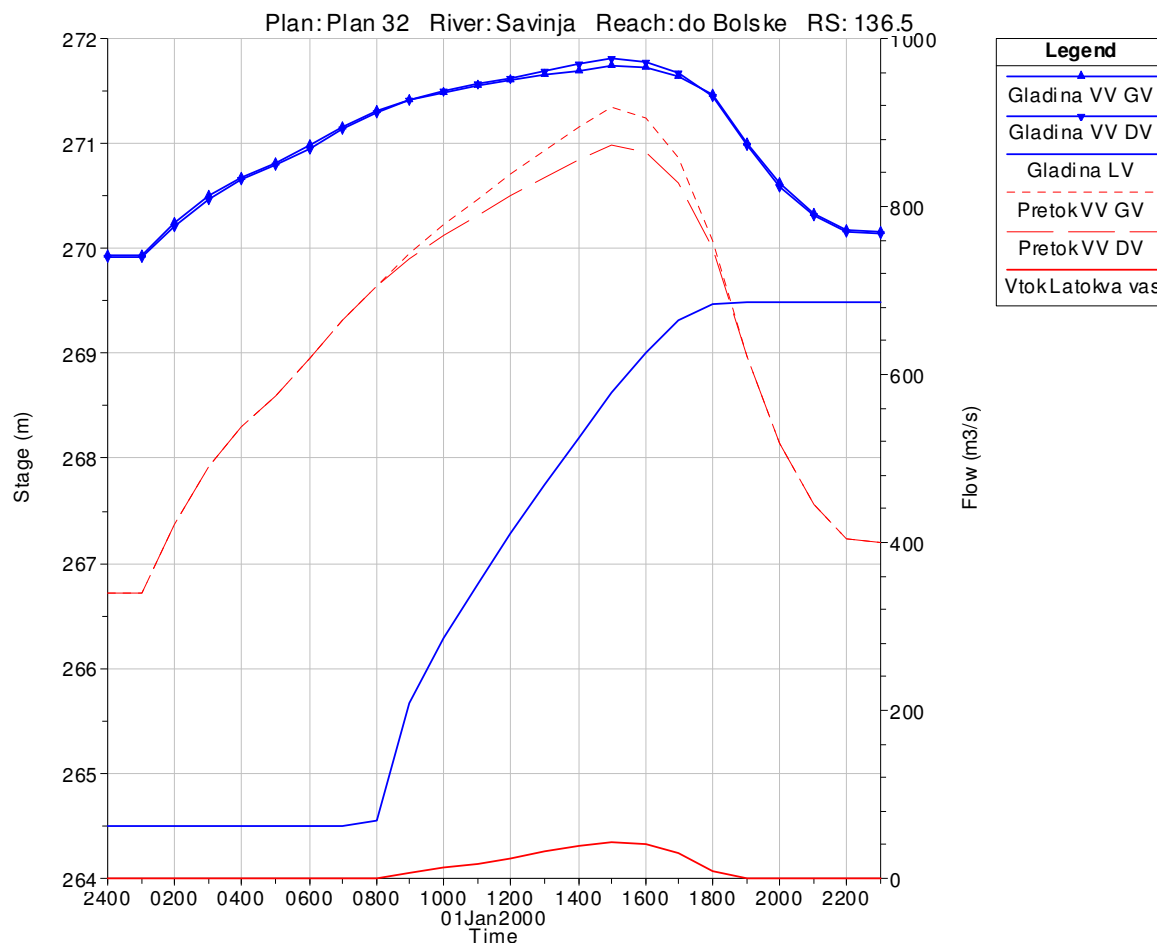
Postopek določitve višinskih kot vtočnega prelivnega objekta je takšen, da se po vsakem posameznem izračunu preveri hidrogram  $V/t$  oziroma  $Q/t$  za zadrževalnik (*Plot stage and flow hydrograph*), iz katerega je razvidno, kdaj in koliko vode priteče v zadrževalnik.

Da bo zadrževalnik maksimalno izkoriščen, mora biti bočni vtok toliko nizek, da se bo voda utegnila napolniti do vrha zadrževalnika, tj. do kote 269,5 m. V tem primeru bi v zadrževalnik priteklo  $917.000 \text{ m}^3$  vode.



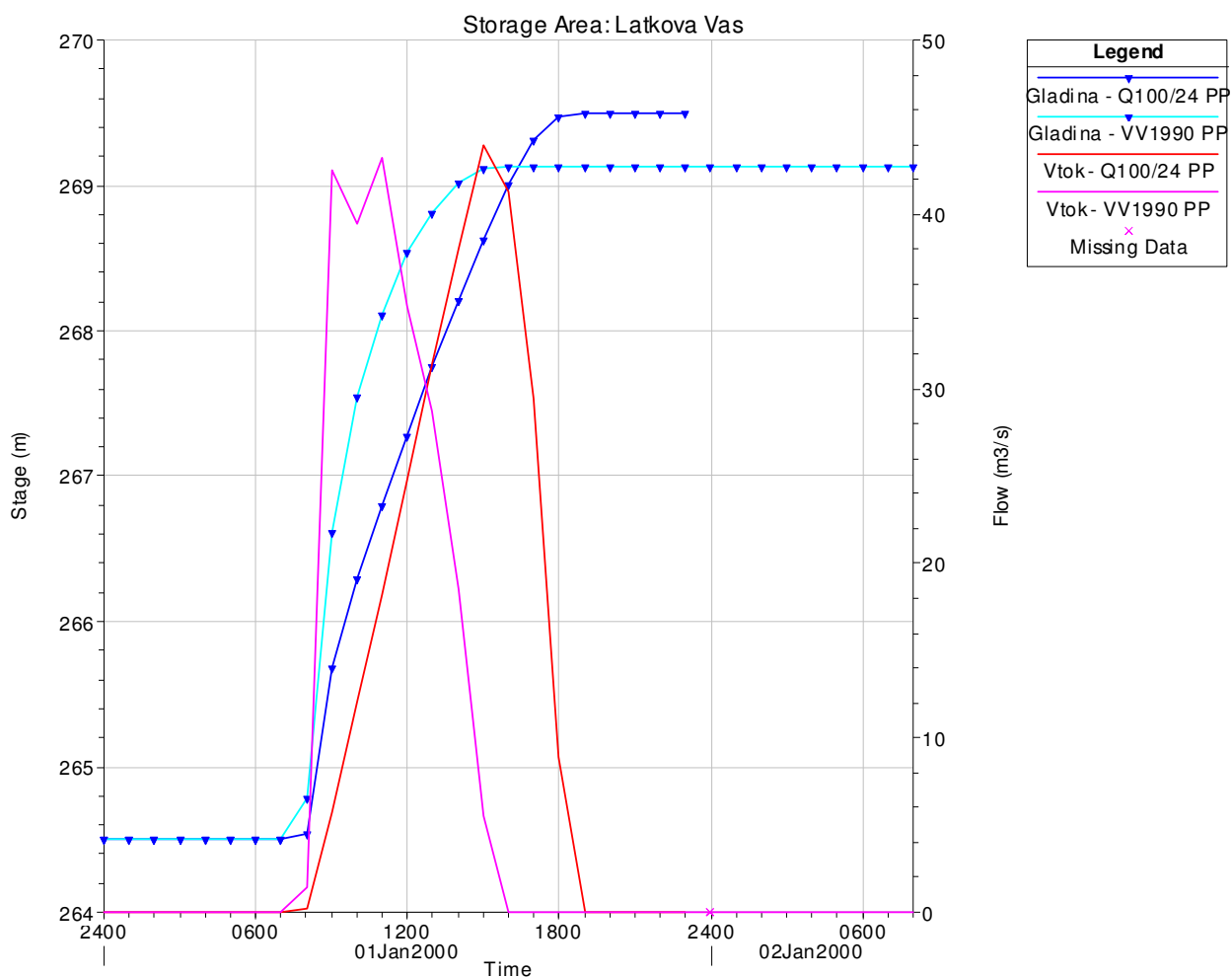
Slika 4.19: Hidrogram vtoka (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za zadrževalnik Latkova vas s pretokom  $Q$  100/24

Bočni vtočni objekt je dimenzioniran tako, da začne voda utekati v zadrževalnik Latkova vas po osmih urah, ko je dosežena kota gladine v strugi Savinje 271,3 m. Vrednosti pretoka dosega v tem trenutku, na prvem prečnem profilu gorvodno  $705,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vtok v zadrževalnik narašča do nastopa konice hidrograma, tj. po petnajstih urah, ko je dosežen tudi maksimalni vtok v zadrževalnik, ki znaša  $43,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . V tem času naraste kota vodne gladine v zadrževalniku na 268,6 m. Končna kota vodne gladine nastopi po devetnajstih urah in znaša 269,5 m.



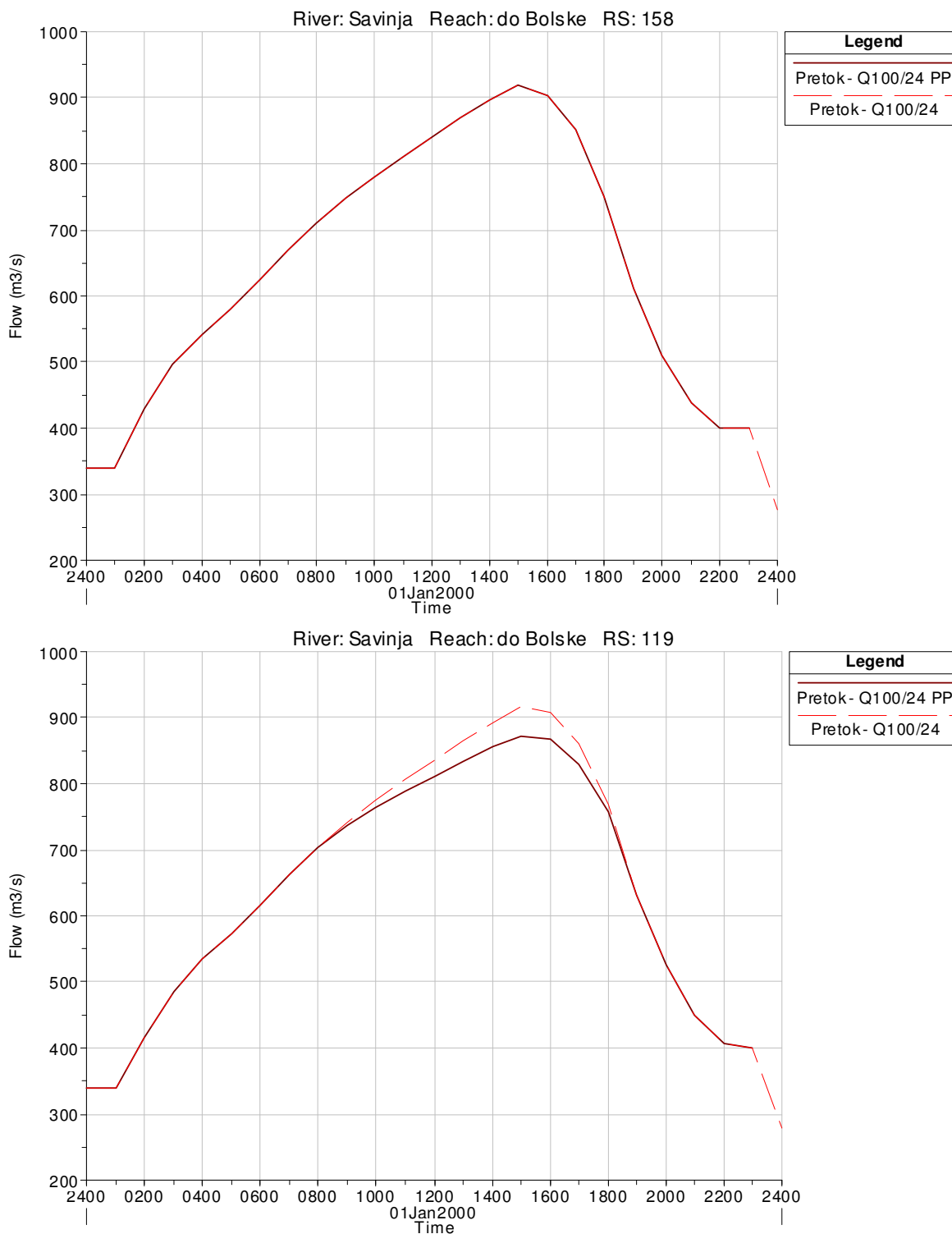
Slika 4.20: Hidrogrami (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za vtočni prosti preliv pri pretoku  $Q_{100/24}$

Na grafu (slika 4.20) so prikazani hidrogrami in kota vodne gladine na vtočnem objektu ter na prvem profilu gorvodno in prvem profilu dolvodno od obravnavanega vtočnega prostega preliva. »Gladina VV GV« je vodna gladina visokega vodostaja, ki nastopi v rečni strugi na prvem profilu gorvodno od prostoprelivnega vtočnega objekta. »Gladina VV DV« je gladina visokega vodostaja na prvem prečnem profilu dolvodno, »Gladina LV« pa gladina v zadrževalniku Latkova vas. Z oznako »Pretok VV GV« je označen pretok, ki se pojavi v rečni strugi na prvem profilu gorvodno od vtočnega objekta, s »Pretok VV DV« pa pretok na prvem prečnem profilu dolvodno. »Vtok Latkova vas« je vtočni pretok v poplavni zadrževalnik.

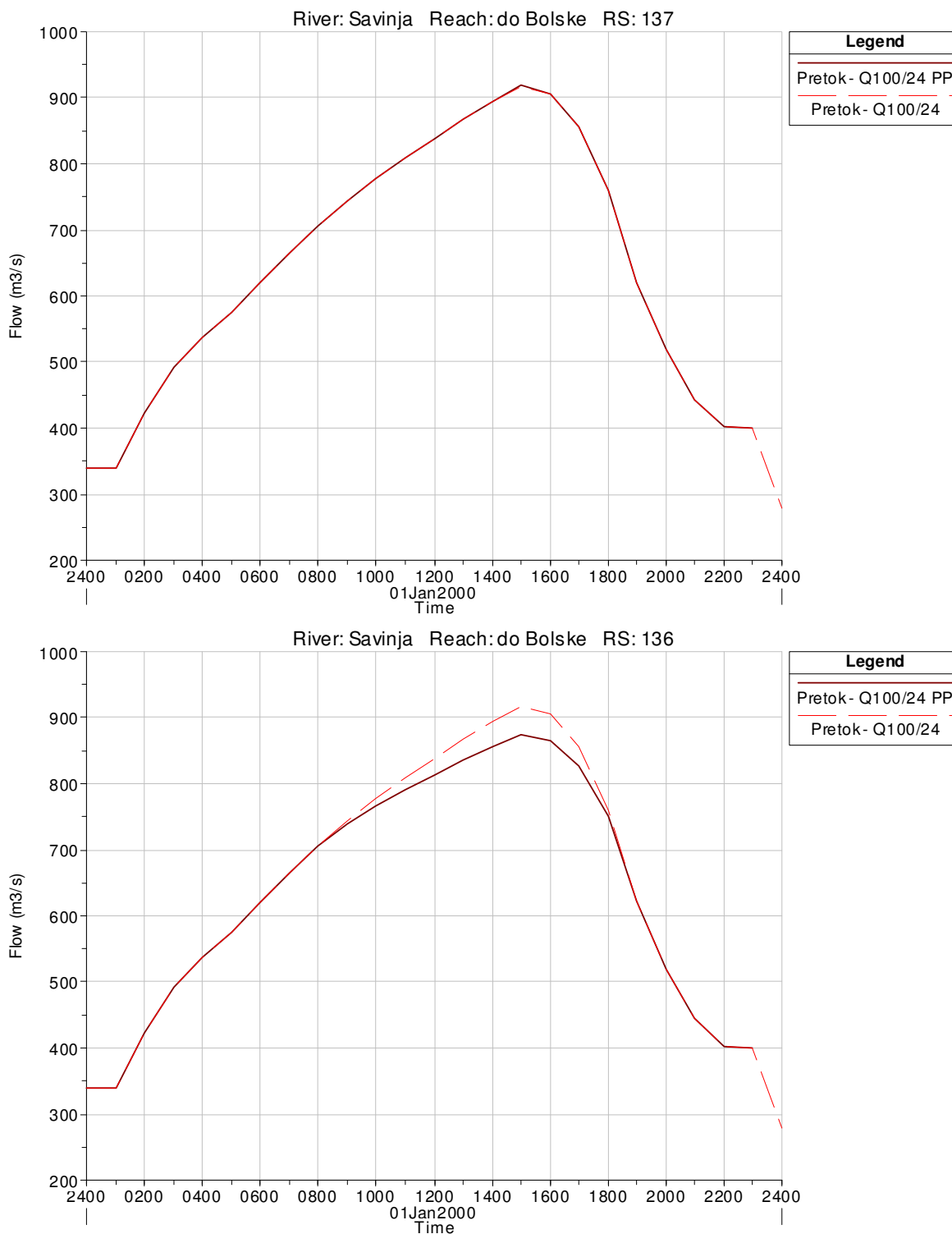


Slika 4.21: Primerjava hidrogramov in vodnih gladin v zadrževalniku Latkova vas, za primera visokovodnih situacij Q 100/24 in november 1990

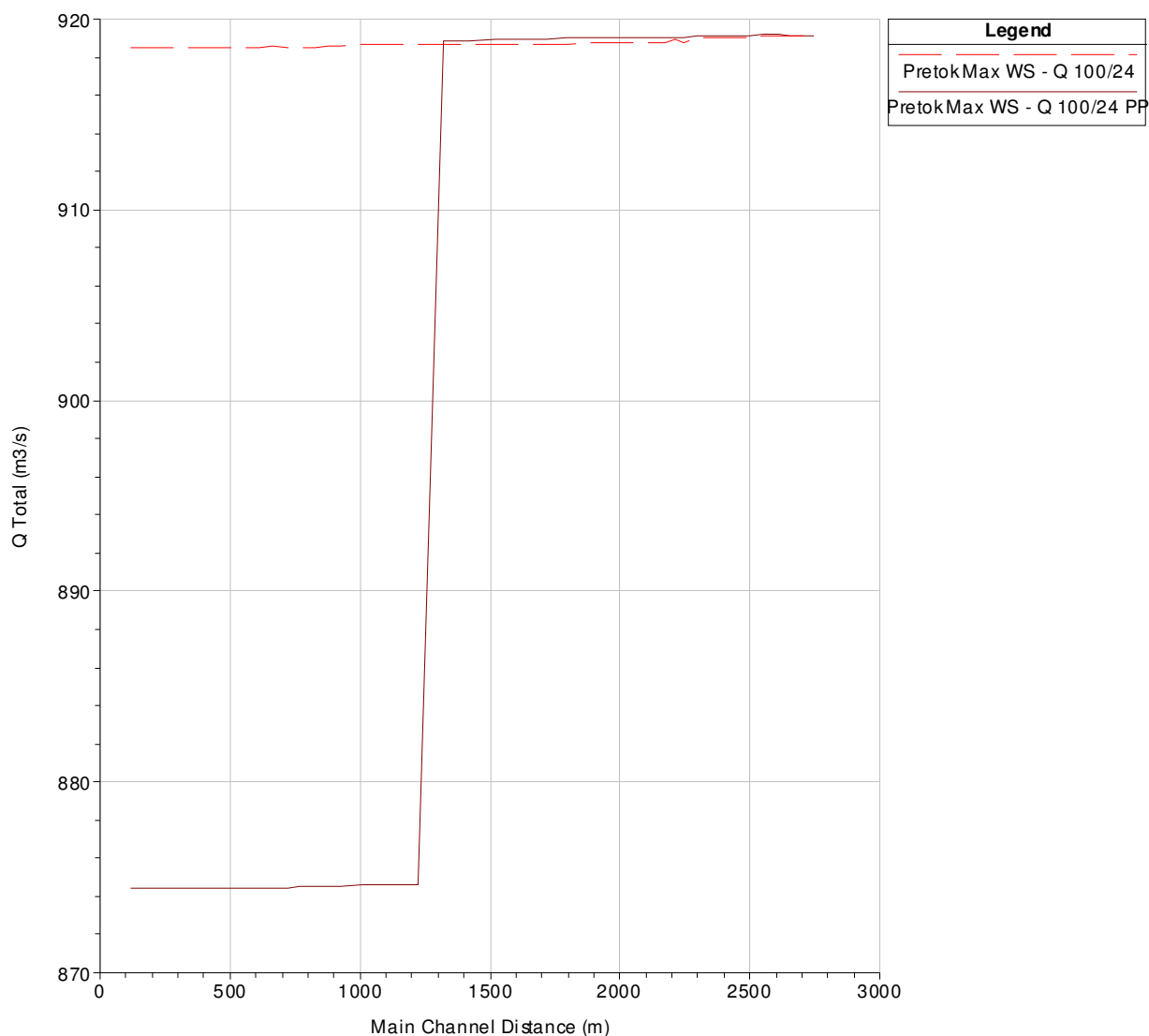
Na grafu (slika 4.21) je opaziti, da vodna gladina v zadrževalniku Latkova vas, za primer visokovodne situacije novembra 1990, ne doseže kote iztoka iz zadrževalnika (269,5 m). Maksimalna gladina je v tem primeru 37 cm nižja, kar pomeni, da zadrževalnik ni popolnoma izkoriščen. Za želeno 100% izkoriščenost bi bilo potrebno izvesti malenkostno znižanje ali podaljšanje vtočnega objekta, oziroma povečati pretočni koeficient. Maksimalni vtočni pretok v zadrževalnik je malenkost večji v primeru sintetičnega hidrograma Q 100/24 (43,9 m<sup>3</sup>/s). Maksimum vtočnega pretoka visokovodne situacije novembra 1990 znaša 43,2 m<sup>3</sup>/s.



Slika 4.22: Primerjava vodne gladine na vtoku (zgoraj) in iztoku (spodaj) obravnavanega območja s sintetičnim hidrogramom  $Q_{100/24}$ , z zadrževalnikom in brez



Slika 4.23: Primerjava vodne gladine na profilu pred bočnim vtokom v zadrževalnik (zgoraj) in za vtokom (spodaj) s hidrogramom  $Q$  100/24, za primer z zadrževalnikom in brez



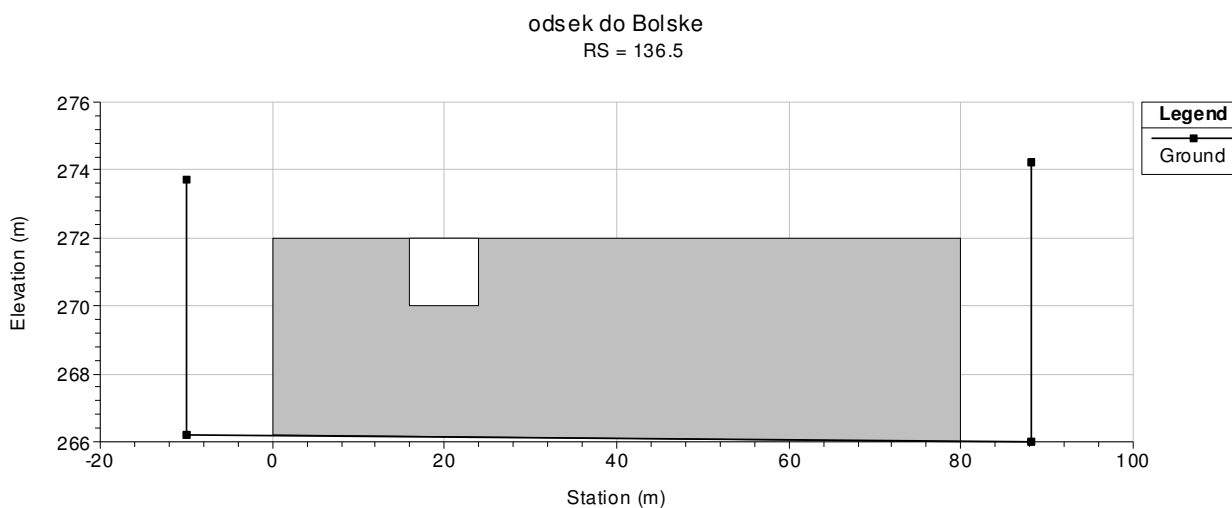
*Slika 4.24: Primerjava pretoka vzdolž struge za sintetični hidrogram  $Q$  100/24, v primeru z zadrževalnikom (temno rdeče) in brez (črtkano rdeče)*

Na grafu (slika 4.21) je prikazan padec pretoka v strugi, ki nastane z izvedbo zadrževalnika Latkova vas. Pretok je na prečnem profilu takoj za vtokom v zadrževalnik (P136), v času ko je v strugi dosežena maksimalna gladina vode, znižan iz prvotnih  $918,7 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $874,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pretok na iztoku se z uporabo zadrževalnega bazena zmanjša iz prvotnih  $918,5 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $874,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 4.5.2 Bočni vtočni in iztočni objekt z zapornico

Poleg pasivnega preliva lahko na bočnih hidravličnih objektih predpostavimo tudi zapornice. Izbiramo lahko med segmentnimi zapornicami, v kombinaciji s prelivom praktične oblike, ali tablastimi zapornicami, v kombinaciji s pravokotnim prelivom.

Za potrebe diplomske naloge je izvedena analiza namembnosti in primernosti uporabe tablaste zapornice. Pri določevanju velikosti zapornice in časovnega intervala odpiranja je primarnega pomena dokončna napolnitev koristnega volumna zadrževalnika in predpostavka, da se mora konica hidrograma na profilu pred vtokom v zadrževalnik prekrivati s konico hidrograma pretoka v zadrževalnik.



Slika 4.25: Shema bočnega pretočnega objekta z vgrajeno tablasto zapornico

Na sliki 4.25 je prikazana shema bočnega vtočnega objekta v zadrževalnik Latkova vas z vgrajeno tablasto zapornico. Kote krone bočnega objekta so, za razliko od prejšnje analize z bočnim vtočnim objektom s prostim prelivom, nadvišane na koto 272,0 m, tako da ne prihaja do prelivanja po celotnem prelivu, ampak le na zapornici.



V modelu je potrebno za izračun podati naslednje podatke: tip zapornice, njene dimenzije, višino vtoka v zadrževalnik, obliko in koeficient preliva ter koeficient prelivne odprtine. Kot tip zapornice je za potrebe diplomske naloge izbrana tablasta zapornica (*Sluice*), ki je visoka 2,0 m in široka 8,0 m. Spodnji rob zapornice se nahaja na koti 270,0 m. Koeficient preliva in koeficient prelivne odprtine sta odvisna predvsem od tipa vtoka ali iztoka izpod zapornice.

S hidravličnim modelom lahko računamo tako prosti kot tudi potopljeni vtok/iztok izpod zapornic. Če je zapornica odprta dovolj dolgo in se na gorvodni strani pojavi potopljeni iztok, program HEC – RAS avtomatično uporabi enačbo za potopljeni iztok. Kadar se gorvodni nivo vode spusti pod zgornji rob odprte zapornice, pride do prostega prelivanja, kot pri objektih s prostimi prelivi (USACE, 2002a).

Nepotopljeni iztok iz odprtine se v programu HEC – RAS računa po enačbi (4.7):

$$Q = C \cdot W \cdot B \cdot \sqrt{2gH} \quad (4.7)$$

kjer so: H = razlika energije med zgornjo vodo in višino zapornične odprtine [m], C = koeficient izpusta, katerega vrednost se giblje med 0,5 in 0,7, W = širina zapornične odprtine [m].

Do delno potopljenega iztoka izpod zapornice pride, ko je razmerje med nivojem odvzete vode in energijo vode pred zapornico večje od 0,67. Takrat tok ni več prost, zato v takem primeru program zamenja enačbo (4.7) z enačbo (4.8) za delno potopljeni iztok izpod zapornice. V tem primeru je H = razlika energije med zgornjo vodo in spodnjo vodo [m].

$$Q = C \cdot W \cdot B \cdot \sqrt{2g3H} \quad (4.8)$$

Zgornja enačba se uporablja za zvezni prehod izračuna pretoka med nepotopljenim in potopljenim iztokom izpod zapornice.

Enačba (4.9) opisuje račun pretoka za popolnoma potopljeni iztok iz odprtine.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \quad (4.9)$$

kjer so:  $H$  = razlika energije med zgornjo vodo in spodnjo vodo [m],  $C$  = koeficient izpusta (ponavadi 0,8),  $A$  = površina zapornične odprtine [m<sup>2</sup>].

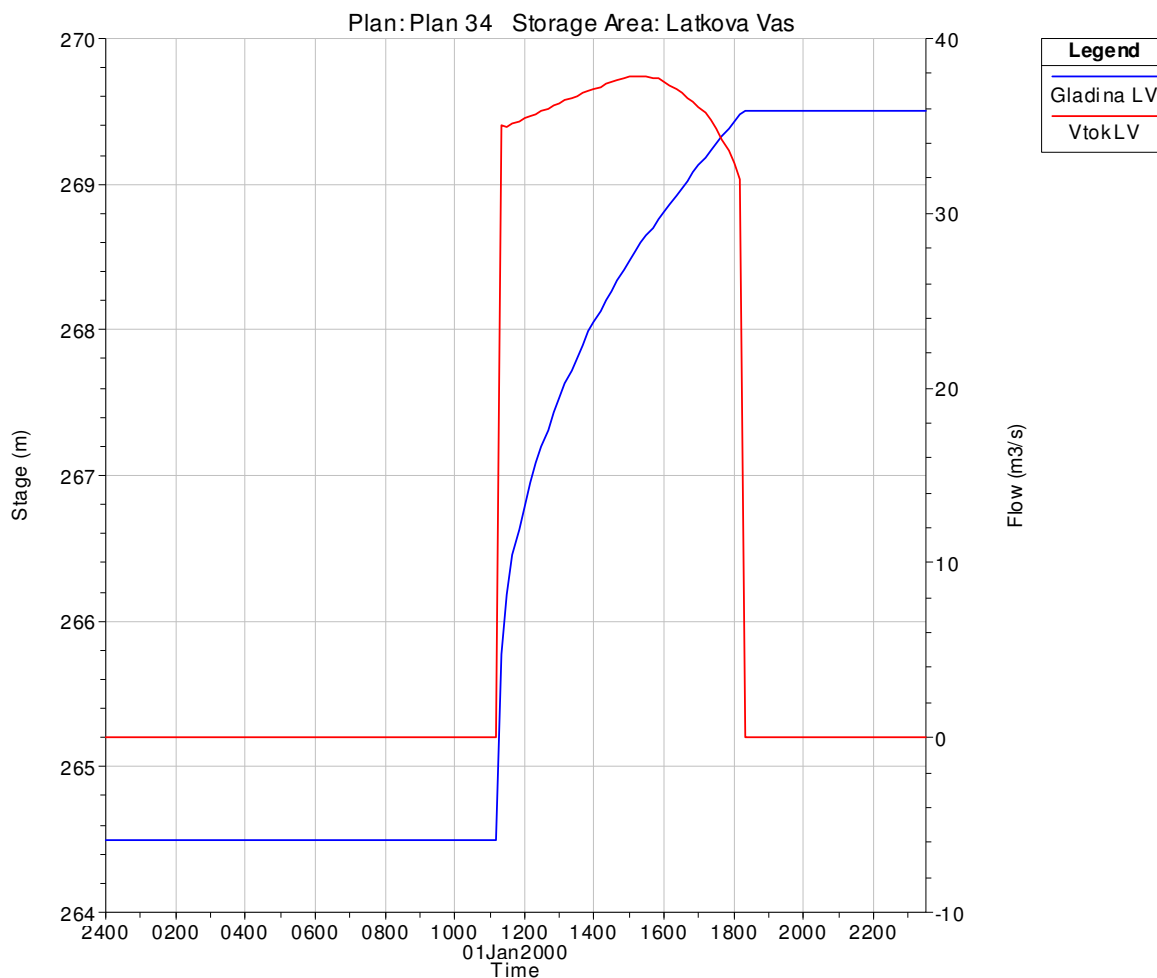
Kadar se gorvodni nivo vode spusti pod zgornji rob odprte zapornice in se zapornica ne zapre pride do prostega prelivanja. Za tak primer je uporabljena enačba (4.10) za izračun iztoka iz odprtine, kot pri objektih s prostim prelivanjem.

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (4.10)$$

kjer so:  $H$  = razlika energije med zgornjo vodo in višino odprte zapornice [m],  $C$  = koeficient izpusta (ponavadi se giblje med 2,6 in 4,0 -odvisno od oblike iztočne odprtine),  $L$  = dolžina iztočnega objekta [m].

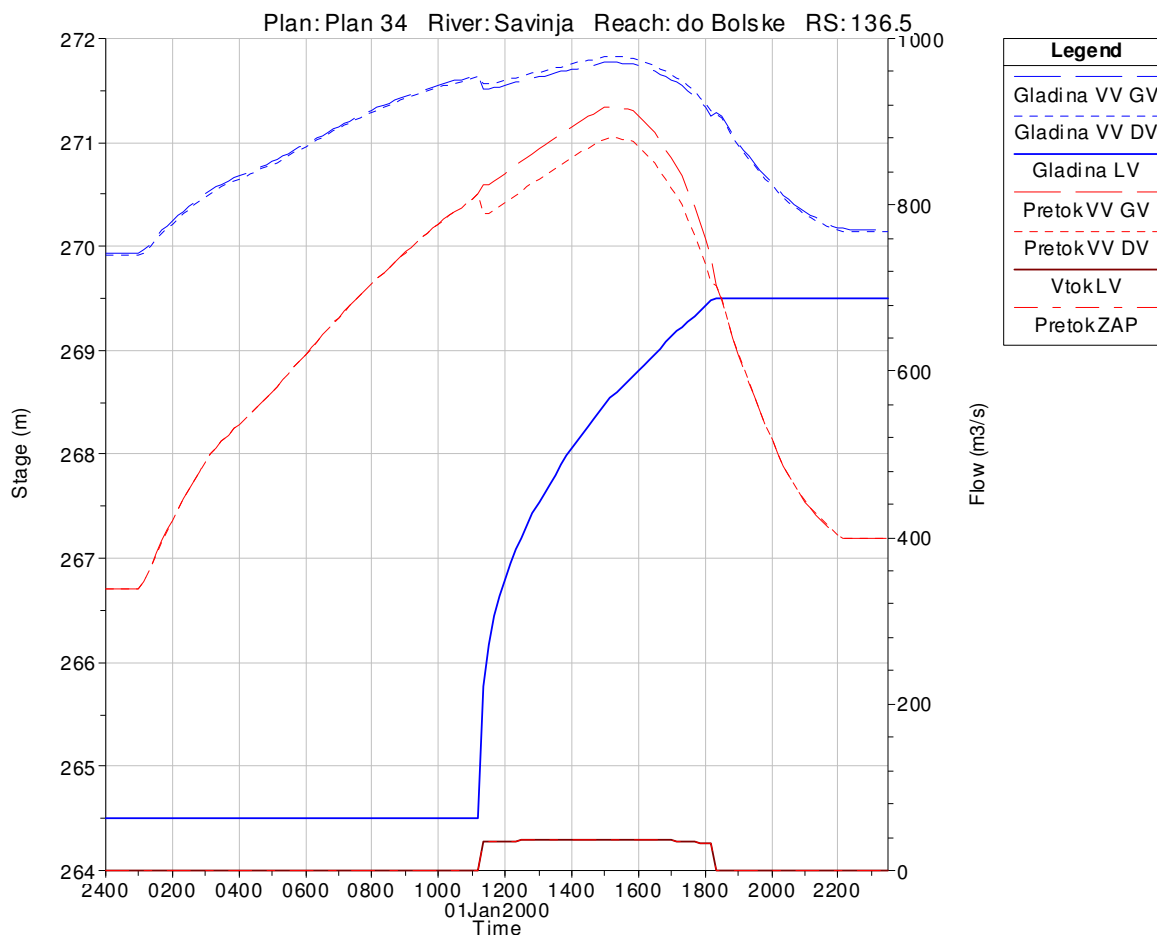
V hidravličnem modelu je, za obravnavano situacijo, tablasta zapornica v celoti potopljena, zato je izbrana vrednost koeficienta preлива ter koeficienta prelivne odprtine  $C = 0,8$ .

V programskem oknu določitve nestalnega toka »*Unsteady flow data*« je potrebno dodati nov robni pogoj, s katerim se opiše delovanje zapornice. Druga dva robna pogoja, hidrogram pretoka kot zgornji robni pogoj in normalna gladina kot spodnji, ostaneta nespremenjena. Odpiranje in zapiranje zapornice je možno podati na dva načina; kot serijo podatkov višine zapornice v odvisnosti od časa ali pa se poda začetek odpiranja in zapiranja zapornice glede na nivo vode v prvem gorvodnem profilu. Za potrebe diplomske naloge je izvedena simulacija odpiranja in zapiranja zapornice glede na nivo vode v prvem gorvodnem profilu. Zapornica se prične odpirati, ko je dosežena kota gladine v prvem profilu gorvodno 271,66 m in zapirati, ko se kota gladine spusti na 271,21 m. Hitrost odpiranja in zapiranja zapornice znaša 0,5 m/min.



Slika 4.26: Hidrogram vtoka in vodna gladina zadrževalnika Latkova vas s pretokom  $Q$  100/24 in vgrajeno tablasto zapornico

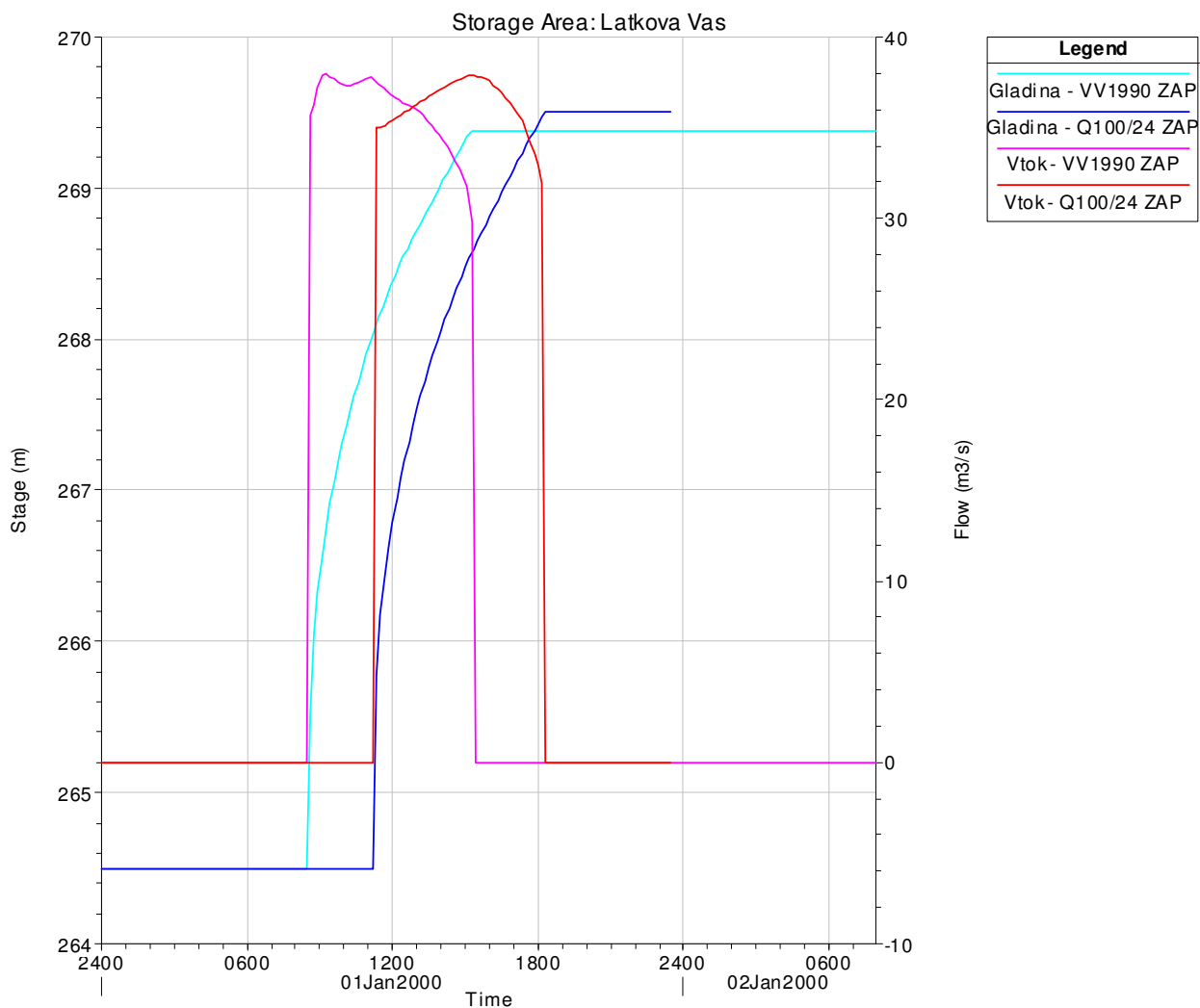
Na grafu (slika 4.26) je prikazano delovanje zadrževalnika Latkova vas z vgrajeno tablasto zapornico na vtočnem objektu. Zapornica se odpre le en meter in ne do konca, saj je z manjšo odprtino dosežen bolj enakomeren in v celoti potopljen vtok vode v zadrževalnik. Vtočni hidrogram tako ohranja bolj mizasto obliko, v nasprotnem primeru pa bi vrh hidrograma dobil obliko podobno črki »u«. V zadrževalnem bazenu je dosežena maksimalna gladina (269,5 m) in je torej polno izkoriščen. Maksimalna vrednost pretoka v zadrževalnik je dosežena ob sočasnem nastopu konice v strugi, t.j. po petnajstih urah in znaša  $37,87 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 4.27: Hidrogrami (v rdečem) in kota vodne gladine (v modrem) za vtočni objekt z vgrajeno tablasto zapornico pri pretoku  $Q$  100/24

Pretok skozi zapornično odprtino je v veliki meri odvisen od kote gladine gorvodno. Višja kot je gladina, večji je pretok. Kot robni pogoj odpiranja zapornice je podana kota gladine v prvem gorvodnem profilu, ki znaša 271,66 m. Zapornica se prične zapirati, ko je dosežena kota gladine v prvem prečnem profilu gorvodno 271,21 m. Hitrost odpiranja in zapiranja zapornice je 0,5 m/min.

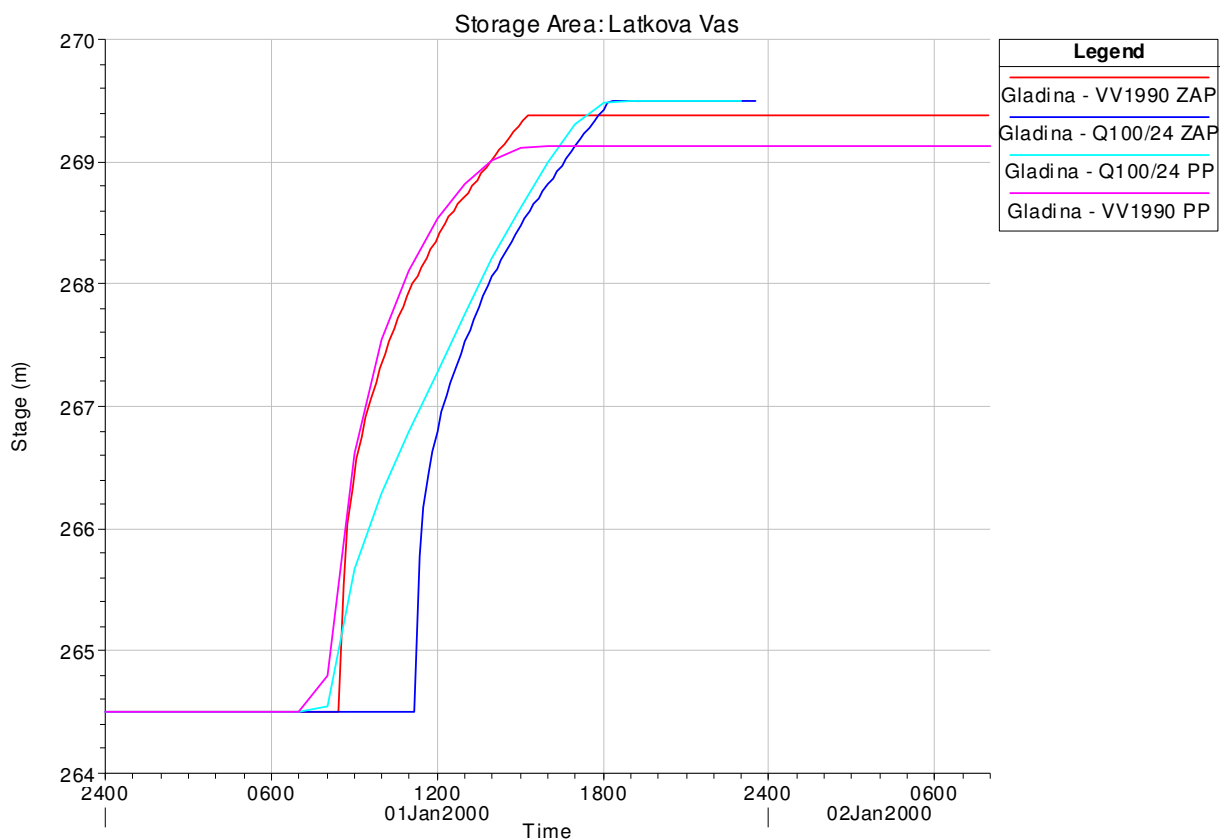
Dalje je v diplomski nalogi analizirana uporaba zadrževalnega bazena z vgrajeno tablasto zapornico tudi na primeru visokovodne situacije novembra 1990 in izdelana primerjava s situacijo  $Q$  100/24.



Slika 4.28: Primerjava hidrogramov in vodne gladine v zadrževalniku Latkova vas, z vtočnim objektom s tablastimi zapornicami, za primera visokovodnih situacij Q 100/24 in november 1990

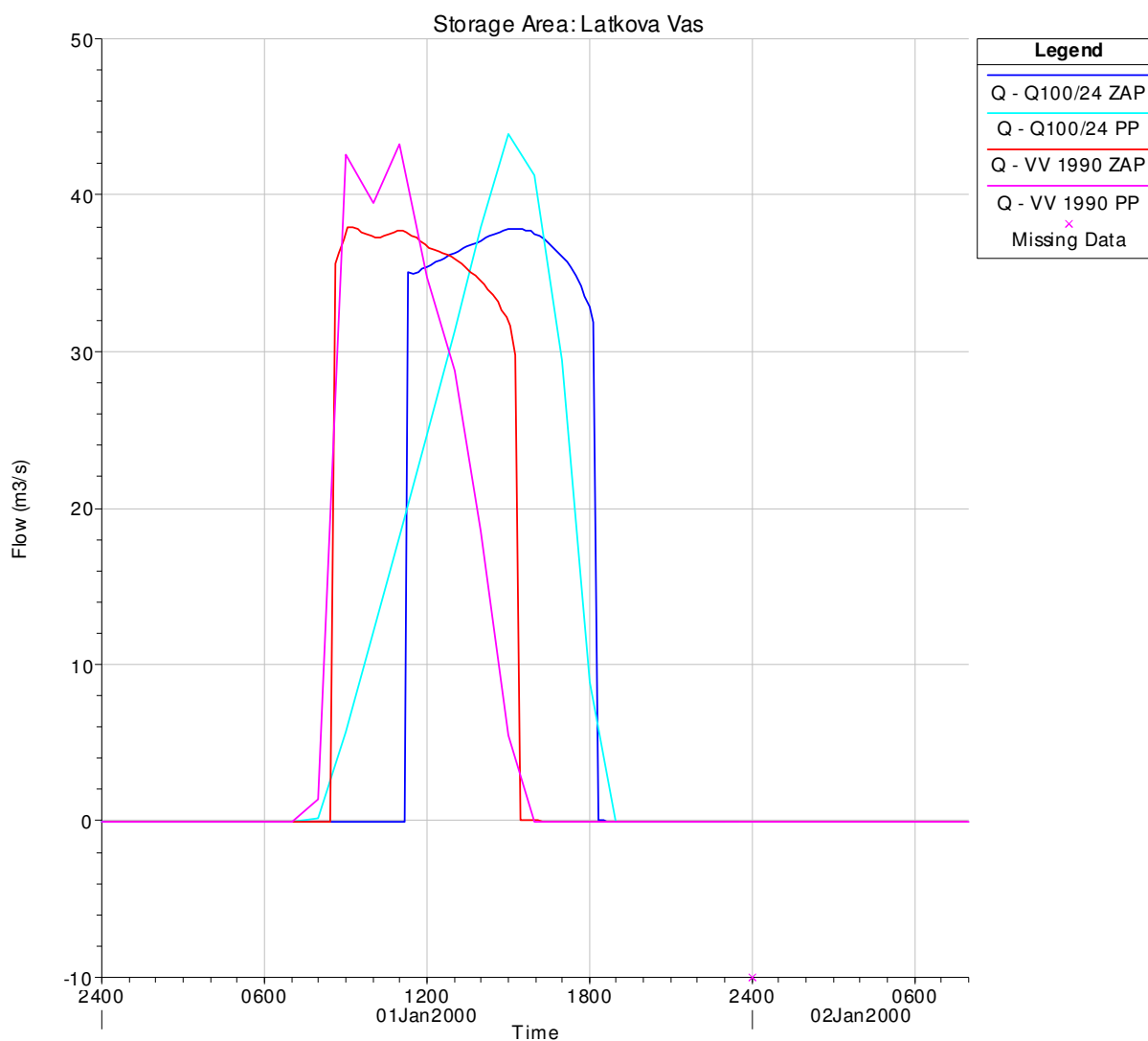
Vodna gladina zadrževalnika Latkova vas je za primer visokovodne situacije novembra 1990 (svetlo modre barve) prenizka, saj ne doseže kote iztoka iz zadrževalnika (269,5 m). Maksimalna gladina nastopi na koti 269,4 m. Za želeno 100% izkoriščenost zadrževalnika bi bilo potrebno tablaste zapornice malenkost bolj odpreti oziroma podaljšati čas, ko so zapornice še odprte. Zakasnitev zapiranja zapornice dosežemo z znižanjem začetnega robnega pogoja, pri katerem se začne zapornica zapirati. Vtočni pretoki v zadrževalnik so v primeru poplavne situacije novembra 1990 malenkost večji kot v primeru Q 100/24 in dosežajo maksimalno vrednost 37,9 m<sup>3</sup>/s.

Na vseh nadaljnjih grafikonih so prikazane primerjave različnih parametrov hidravličnega modela z zadrževalnim bazenom, za primere vtočnega objekta z avtomatskimi zapornicami in prostoprelivnega vtočnega objekta. Z modro barvo so označeni primeri s hidrogramom Q100/24, z rdečo pa primeri visokovodne situacije november 1990.



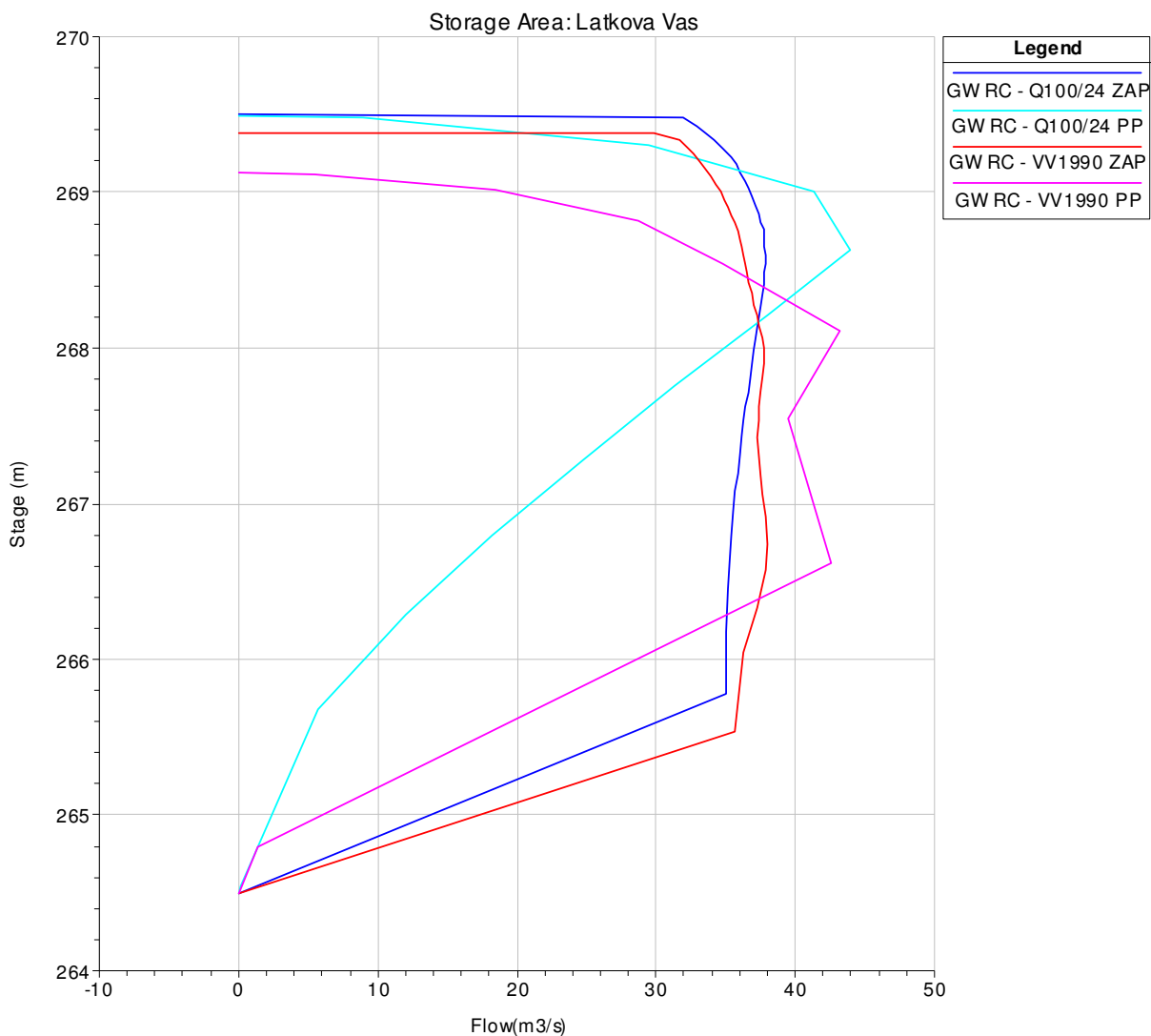
Slika 4.29: Primerjava vodne gladine v zadrževalniku Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, za obe poplavni situaciji

Pri prostoprelivnem vtočnem objektu (svetlejši odtenki na grafu) začne voda utekati v zadrževalnik, ko je dosežena kota gladine v strugi 271,3 m. V primeru uporabe tablastih zapornic (temnejši odtenki) začne voda prelivati v zadrževalnik pri višjem vodostaju, na koti vodne gladine v strugi 271,66 m. Maksimalna gladina v zadrževalniku je dosežena le za primere s sintetičnim hidrogramom Q 100/24, saj so vtočni objekti dimenzionirani na to poplavno situacijo.



*Slika 4.30: Primerjava vtočnih hidrogramov v zadrževalnik Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, za obe poplavni situaciji*

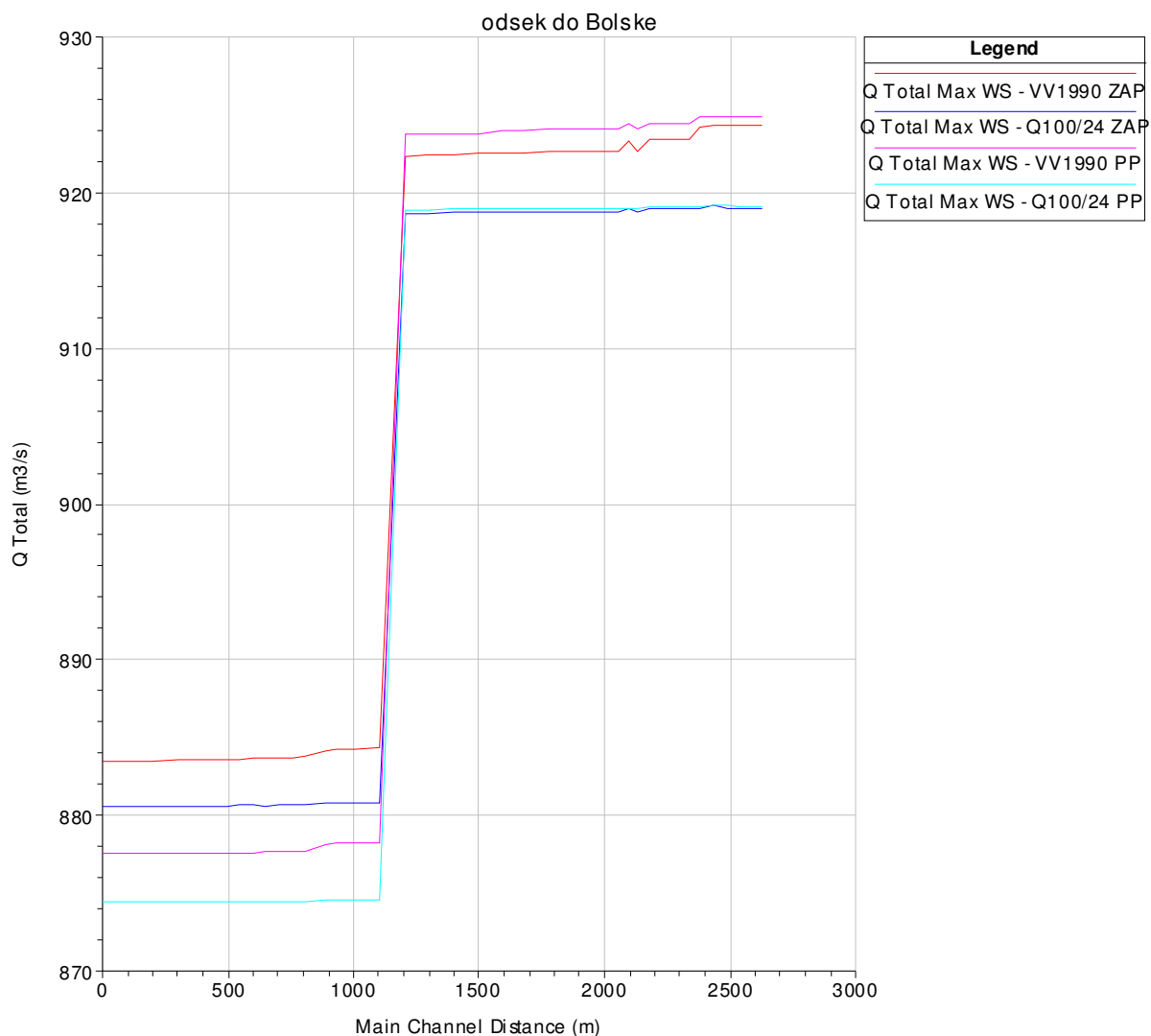
V primeru uporabe prostega prelivnega objekta (svetlejši odtenki na grafu) je maksimalni vtok v zadrževalnik večji in razporeditev pretoka manj ugodna. S tablastimi zapornicami (temnejši odtenki) dosežemo bolj enakomeren vtok z nižjo pretočno konico in v primeru poplavne situacije november 1990 tudi večjo izkoriščenost zadrževalnika (slika 4.29). Voda začne v primeru uporabe zapornic utekati v zadrževalnik pri 30 cm višjem vodostaju, ko je dosežena globina vode na prvem prečnem profilu gorvodno 5,41 m.



Slika 4.31: Primerjalne krivulje  $Q-h$  za zadrževalnik Latkova vas z vtočnim objektom z zapornicami in brez, v primeru obeh visokovodnih situacij

V primeru uporabe prostega prelivnega objekta (svetlejši odtenki na grafu) se gladina vode v zadrževalniku znatno povzpneja že pri nizkem pretoku v zadrževalnik, saj so nižji pretočni nivoji ohranjeni dlje časa. Z uporabo zapornice (temnejši odtenki) se ob zmernem večanju pretoka doseže nižjo gladino vode v zadrževalniku. Nizki nivoji so ohranjeni do popolnega odprtja zapornice, ko se pretok ustali na pribl.  $35 \text{ m}^3/\text{s}$  in se začne zadrževalnik enakomerno polniti do maksimalne gladine.





Slika 4.32: Primerjava pretoka vzdolž struge za obe visokovodni situaciji, z zadrževalnikom Latkova vas, s prostim prelivnim objektom in z zapornico

Najnižji pretok na iztoku iz modela je dosežen v primeru s prostoprelivnim vtočnim objektom na poplavni situaciji Q 100/24 (svetlo modra barva) in znaša  $874,44 \text{ m}^3/\text{s}$ . Hidrogram visokovodne situacije novembra 1990 prav tako izkazuje manjši iztočni pretok z uporabo prostoprelivnega vtoka v zadrževalnik in znaša  $877,55 \text{ m}^3/\text{s}$ . V istem primeru nastopi tudi maksimalni pretok na vtočnem profilu v model in znaša  $924,87 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vsi zabeleženi rezultati veljajo le za trenutek, ko nastopi maksimalna gladina v rečni strugi in zato niso merodajen kazalec splošnega znižanja

pretoka v Savinji. Splošno znižanje pretoka se kaže kot volumen zajete vode v zadrževalnem bazenu Latkova vas, ki ob 100% izkoriščenosti zajame 917.000 m<sup>3</sup> vode.

Dodatni grafični in tabelarni prikazi dobljenih rezultatov ter primerjave vseh obravnavanih računskih primerov so priloženi na koncu diplomske naloge v poglavju »7 Priloge«.

## **4.6 Izračun s programom HEC – RAS 4.0 Beta**

V času izdelovanja diplomske naloge so na ameriškem Hydraulic Engineering Centru razvili novo različico programa HEC – RAS. Verzija 3.1.3 je bila javnosti na voljo za uporabo že maja 2005. Od takrat so program posodobili in vanj vključili še več dodatnih funkcij in razširitev.

Verzija 4.0 Beta vključuje naslednje novosti:

- Transport sedimentov – Modeliranje s pomično posteljico dna
- Analize trčenja sedimentov (SIAM)
- Kvalitativne analize vode (temperaturno modeliranje)
- Dodatne možnosti pri modeliranju zapornic
- Modeliranje toka pod pritiskom v ceveh
- Dodatne možnosti pri modeliranju črpalk
- Nova geometrijska oblikovna orodja
- Nove tipe zapornic
- Georeferenčna orodja za uporabo z GISi
- Nove funkcionalnosti pri vtoku bočnih zgradb
- Dodatne grafične izrise rezultatov
- Hitre tipke »Shortcuts« za uporabo pri grafičnih izrisih
- Posodobljen uporabniški priročnik in pomoč

V HEC – RASu 4.0 Beta je brez težav možno odpreti celoten projekt (datoteko \*.prj)

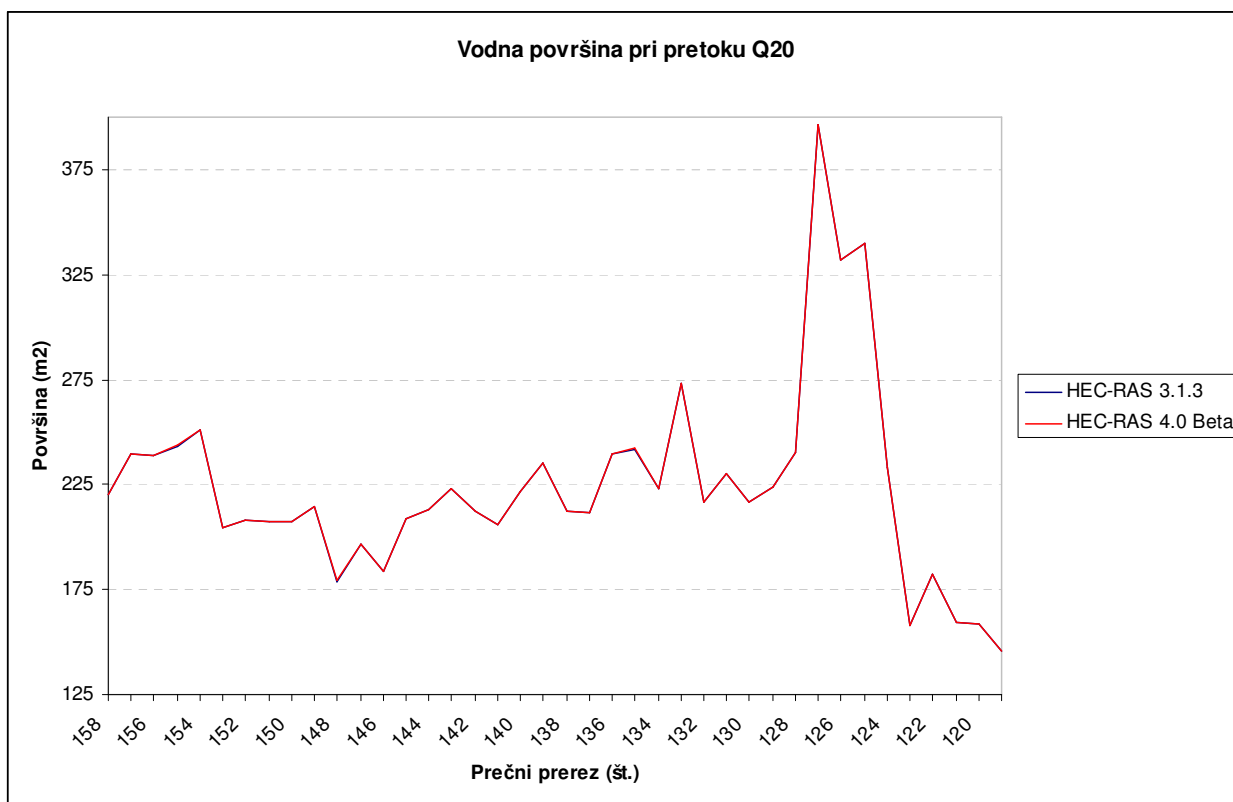
HEC – RASa 3.1.3. Vsi podatki o geometriji, stalnem in nestalnem toku ter podatki o robnih in začetnih pogojih so sto odstotno kompatibilni.

Za primerjavo obeh verzij programa je bila izdelana natančna analiza vseh obravnavanih situacij in izračunov. V programsko okolje Microsoft Excel so bili vnešeni tabelarni izpisi rezultatov stalnega in nestalnega toka, s pomočjo Excelove funkcije »EXACT« je bila izvedena primerjava slehernega numeričnega podatka v izpisu. Primerjalna tabela je velikih razsežnosti in je zaradi boljše preglednosti natisnjena na večji format ter priložena na konec diplomske naloge v poglavje 7 Priloge.

Parametri tabelarnega izpisa, na katerih je bila izvedena primerjava so: skupni pretok ( $Q_{total}$ ), najnižja kota prečnega profila ( $Min\ Ch\ El$ ), kota gladine vode ( $W. S. Elev$ ), kritična gladina ( $Crit\ W. S.$ ), kota energijske črte ( $E. G. Elev$ ), padec energijske črte ( $E. G. Slope$ ), pretočne hitrosti v strugi ( $Vel\ Chnl$ ), površina toka ( $Flow\ Area$ ), maksimalna širina toka ( $Top\ Width$ ) in Froudovo število ( $Froude\ \#\ Chl$ ).

### **Stalni tok**

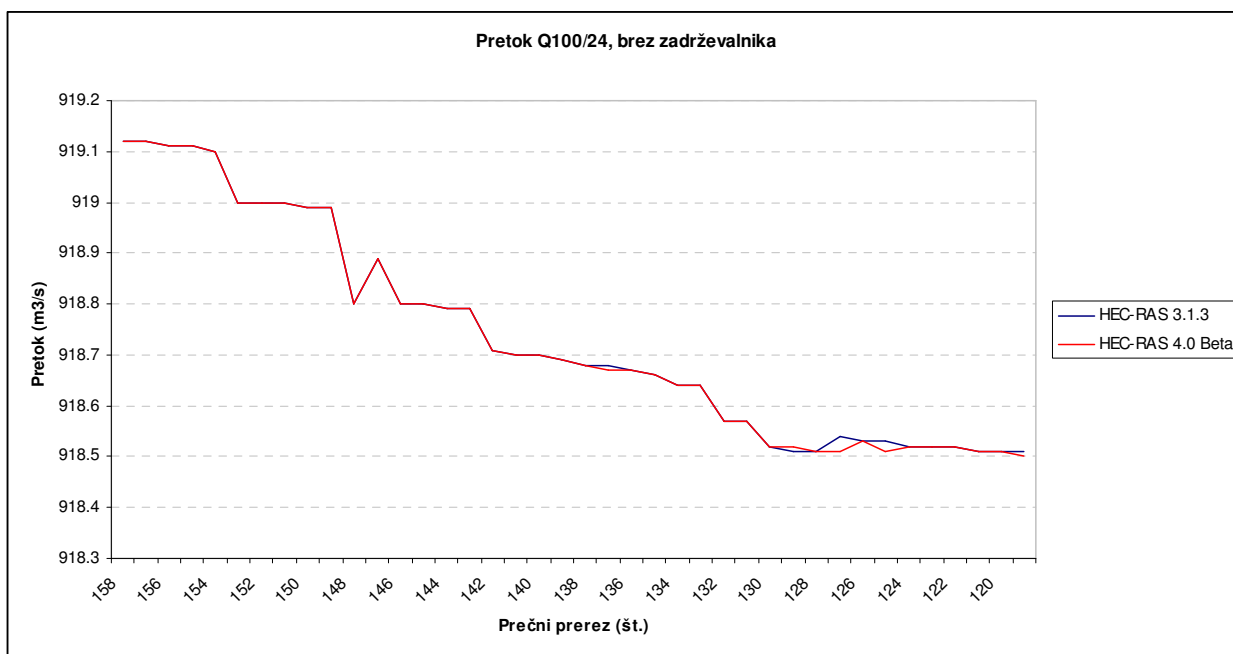
Pri izračunu stalnega toka prihaja do zelo majhnih numeričnih odstopanj, predvsem pri preračunani površini toka in maksimalni širini toka. Največ razlik je opaziti na prečnih profilih P133 in P134, kjer sta površina toka in padec energijske črte malenkost različna za vse pretočne primere. Padec energijske črte je na obravnavanih profilih manjši pri izračunu s HEC – RAS 4.0 Beta. Površina toka je temu primerno malenkost večja. Na omenjenih profilih se pojavljajo tudi minimalna odstopanja v maksimalni širini toka in hitrosti vode v kanalu. Prečna profila P133 in P134 sta ravno tista dva prečna profila, ki imata zaradi makrohrapave drče povečano vrednost Manningovega koeficienta trenja v strugi. Pri izračunu najbrž prihaja do razlik pri zaokrožitvah števil in iteraciji ter posledično do manjših odstopanj pri rezultatih. Od profila P127 dolvodno ni opaziti nobenih razlik.



Slika 4.33: Površina vodne gladine med posameznimi prečnimi prerezi pri stalnem toku  $Q_{20}$ , primerjava obeh verzij HEC - RASa

### Nestalni tok

Za nestalni tok je izdelana primerjava izhodnih tabel le za čas, ko nastopi maksimalna gladina vode v strugi (*Profile: Max W. S.*). Pri vseh računskih primerih nestalnega toka prihaja do minimalnih numeričnih razlik že na vtočnem profilu v model. Razlike se pojavljajo v padcu energijske črte, površini toka in maksimalni širini toka. V vseh računskih primerih je nato dosežena popolna enakost celic že v naslednjem prečnem profilu dolvodno. Dodatna malenkostna odstopanja je opaziti pri skupnih vrednostih pretoka, vendar se vse napake pojavljajo le na zadnjem decimalnem mestu števil in so minimalne. Prečna profila P133 in P134, ki imata povečan Manningov koeficient trenja, ne izkazujeta bistvenih razlik.



Slika 4.34: Maksimalni pretok vzdolž struge pri nestalnem toku  $Q_{100/24}$ , primerjava obeh verzij HEC – RASa

### Dodatne možnosti verzije 4.0 Beta

V verzijo 4.0 Beta sta vključena dva nova tipa zapornic za uporabo v prečnih ali bočnih zgradbah in kot vtok v zadrževalnike. To so preplavne zapornice z zaprto krono (*overflow gates with a closed top*) in preplavne zapornice z odprto krono (*overflow gates with an open top*). Nova je tudi možnost vnosa uporabniško definiranih krivulj za popis delovanja zapornice. Odpiranje in zapiranje zapornic se kot robni pogoj podaja tudi z uporabo pravil (*Rules*), ki vključujejo: pretok in gladino v zadrževalniku, pretok in gladino v prvem profilu gorvodno ali dolvodno, časovne parametre in različne referenčne vrednosti hidravličnega računa.

V prejšnjih različicah HEC – RASa so se bočni objekti sicer lahko neprekinjeno razprostirali čez več prečnih prerezov, ampak je za izračun pretoka v povezovalni strugi do zadrževalnika program uporabljal le pretočne vrednosti enega prečnega prereza v strugi. V verziji 4.0 Beta lahko uporabnik določi povezovalno strugo, ki se bo napajala iz več prečnih prerezov v strugi.

## 5 Zaključki

Področje reguliranja vodotokov je bilo glede programskih rešitev veliko časa zapostavljeno, saj je celotno vodarstvo nekako bolj odvisno od naravnih danosti in je zato kakršno koli načrtovanje v tej smeri manj standardizirano. Na področju urejanja vodotokov je zelo velik poudarek na inženirski presoji in izkustvenih rešitvah, ki se nato uporabljajo na hidravličnih modelih in izračunih. Sodobno načrtovanje s specializiranimi programskimi rešitvami ima kljub naštetemu gotovo prihodnost tudi na področju urejanja vodotokov.

S programskim paketom HEC – RAS je bil izdelan hidravlični model reke Savinje na odseku od Dobrteše vasi do sotočja s potokom Bolska. Hidravlični izračuni so bili izvedeni za primer mešanega režima toka za stalni in nestalni tok. Obravnavani sta dve visokovodni situaciji nestalnega toka, in sicer: poplavna situacija, ki se je na tem območju zgodila novembra 1990 ter sintetični hidrogram s stoletno povratno dobo in trajanjem 24 ur. Kot protipoplavni ukrep je predstavljen protipoplavni zadrževalni bazen Latkova vas, analizirana je njegova namembnost in funkcionalnost. Izdelana je optimizacija bočnega vtočnega objekta v zadrževalnik in izvedena primerjava dveh tipov vtočnega objekta; z zapornicami in prostoprelivnega vtočnega objekta.

Pri računu s prostoprelivnim bočnim vtočnim objektom je osnovni cilj hidravlične študije določitev optimalne kote krone in dolžine bočnega preliva na vtoku v zadrževalnik. Račun se je izvajal večkrat, za različne kote vtoka v zadrževalnik in toliko časa, dokler ni bila dosežena polna izkoriščenost zadrževalnika Latkova vas. Vtok v zadrževalnik mora biti maksimalen v trenutku nastopa konice hidrograma v strugi Savinje, saj je na ta način dosežena optimalna kota krone bočnega vtoka v zadrževalnik in maksimalno zmanjšana konica poplavnega vala na Savinji. Zadrževalni bazen je bil v vseh računskih primerih dimenzioniran na hipotetičnem hidrogramu odtoka »Q 100/24«, nakar je bilo preverjeno njegovo delovanje tudi na hidrogramu poplavne situacije, ki se je zgodila novembra 1990.

V računskih primerih s fiksnimi vtočnimi prostimi prelivni ostaja gladina vode v zadrževalniku nižja od maksimalne kote za kakršno koli stanje, ko v strugi ni stoletnega pretoka in je zato celotni volumen zadrževalnika neizkoriščen. Za odvzem vode bi bilo zaradi tega smiselno vgraditi zapornice, s katerimi bi dosegli boljše kontrolo vtoka v zadrževalnik in večjo izkoriščenost zadrževalnika. Po drugi strani pa se ob težnji po polni izkoriščenosti zadrževalnika lahko zgodi, da po nepotrebnem iz struge odzamemo več vode, kot bi bilo potrebno. Res je, da smo v tem primeru na poplavno varni strani, vendar so stroški za povračilo škode pri preplavitvi kmetijskega zemljišča veliki in včasih zelo nepotrebni.

Za zagotovitev poplavne varnosti v Spodnji Savinjski dolini in predvsem v urbanih centrih kot sta mesti Celje in Laško, bi bilo potrebno ob strugi Savinje urediti več zadrževalnih bazenov. V primeru, ko visokovodni val ne bi dosegal dovolj velikega vodostaja, bi lahko polnili le nekatere zadrževalnike in ne vseh. Glede na volumen poplavnega vala bi določili, katere zadrževalnike polniti in na podlagi ocene stroškov bi izkoristili le tiste zadrževalnike, pri katerih dosežemo najmanjšo škodo na preplavljenih območjih. S tem bi preprečili preplavljenje vseh zadrževalnikov v primerih, ko to ni nujno potrebno. Tak način upravljanja zadrževalnikov bi bilo mogoče doseči le z uporabo avtomatiziranih zapornic in s predhodno analizo poplavnih valov.

Z uporabo avtomatiziranih zapornic v sistem vnesemo tudi dodatna tveganja zaradi morebitnih okvar in nepravilnega ali nepravočasnega delovanja zapornice. Če je potek visokovodnega dogodka slabo ocenjen, lahko z nepravilnim ravnanjem na prelivnih objektih zadrževalnika celo umetno povečamo pretok pod njim. Do slabega delovanja sistema lahko pride tudi zaradi slabo dimenzioniranih iztokov iz zadrževalnikov. Večje število zadrževalnikov lahko na nekem povodju poveča učinek zadrževanja, po drugi strani pa pri tem obstaja tudi tveganje, da s slabo dimenzioniranimi iztoki nastopi sočasna združitev poplavnih valov in se poplavna konica zelo poveča. Do take situacije lahko pride predvsem v primeru, ko so zadrževalniki tudi na pritokih in ne samo na glavni strugi vodotoka.

HEC – RAS je zelo uporabno in široko uporabljeno orodje za analizo najrazličnejših poplavnih situacij. Program je sicer prijazen in enostaven za uporabo, vendar mora imeti uporabnik ustrezno znanje in izkušnje, da lahko pravilno umesti in ovrednoti dobljene rezultate, oziroma jih zavrže in ponovi račun s popravljenimi koeficienti ali podobno. Dobljene končne rezultate je vsekakor smiselno preveriti na terenu, na vsaj enem merskem profilu, če je to le mogoče. Meritve dejanskih poplavnih razmer na prečnih profilih na terenu nam služijo za določitev robnih pogojev, za kontrolo gladin in za umerjanje modela.

Že v primerjavi obeh verzij HEC – RASa, ki sta si povsem sorodni, je pri izračunu z identičnimi geometrijskimi in vhodnimi podatki opaziti odstopanja v dobljenih rezultatih. Odstopanja so sicer minimalna, ampak so. Če bi za izračun uporabljali še kakšen drug hidravlični model (npr. MIKE) bi bile razlike dobljenih rezultatov še znatno večje. Program HEC – RAS ne sme biti edino orodje na katerega se uporabnik oz. projektant slepo zanese, ampak je le pripomoček, ki poleg inženirskega znanja in izkušenj pripomore k projektiranju oz. hidravličnemu računu vodotokov.



## Viri

Bat, M., Dobnikar Tehovnik, M., Mihorko, P., Grbović, J., Tekoče vode. V: Uhan, J. (ur.), Bat, M. (ur.) 2003. Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: str. 27–37.

Banovec, P. 2003. Vrednotenje poplavnih škod ter analiza preventivnih ukrepov. Končno poročilo. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 166 str.

IzVRS 2005. Hidravlični model Savinje na območju od Šempetra do sotočja z Ložnico v Celju. Projektna dokumentacija C–1273, IzVRS. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.

Kobold, M., Šušelj, K. 2004. Padavinske napovedi in njihova nezanesljivost v hidrološkem prognoziranju. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2004. 10. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko: 15 str.

Mikoš, M., Mastnak, M. 1998. Navodila za program HEC – RAS. Skripta verzija 2.1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za hidrotehniko: 97 str.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov. Skripta verzija 01. 2000. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za hidrotehniko: 182 str.

Mikoš, M., Brilly, M., Ribičič, M. 2004. Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji. Pregledni znanstveni prispevek. Acta hydrotechnica 22/37 (2004): 113-133.

Oberžan, T. 1992. Hidravlično dimenzioniranje makrohrapave drče na Savinji pri reč. km 38,079. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Hidrotehnična smer: 43 str.

Pemič, A., Mikoš, M. 2005. Inženirska hidrotehnika. Univerzitetni učbenik verzija 3. 2005. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za hidrotehniko: 275 str.

Rak G. 2005. Analiza hidravličnih lastnosti vodotoka z uporabo GIS orodja. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Univerzitetni študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 70 str.

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 str.

Rozman, S. 2005. Uporaba programa Aquaterra za načrtovanje hidrotehničnih ureditev na vodotokih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za gradbeništvo, Univerzitetni študij vodarstva in komunalnega inženirstva: 77 str.

Steinman, F. 1999. Hidravlika, 1. ponatis. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 281.str.

Urbanc, M. 2003. Geografija na teletekstu TV Slovenija, julij–avgust 2000, Zveza geografskih društev Slovenije. Članek 7-8-2000, pog. Zgornja Savinjska dolina in pog. Spodnja Savinjska dolina.

<http://www.zrc-sazu.si/Zgds/7-8-2000.htm> (20. 1. 2007).

US Army corps of engineers, HEC-RAS River Analysis System, 2002a. Hydraulic Reference Manual, version 3.1, november 2002, CPD - 69. Davis, U.S. Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center: 377 str.

US Army corps of engineers, HEC-RAS River Analysis System, 2002b. Applications Guide, version 3.1, november 2002, CPD - 70. Davis, U.S. Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center: 356 str.

US Army corps of engineers, HEC-RAS River Analysis System, 2006. River Analysis System HEC – RAS Release Notes, Version 4.0.0 Beta, November 2006. Davis, U.S. Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center: 11 str.

US Army corps of engineers, HEC – RAS Online help, BOSS international.  
[http://www.bossintl.com/online\\_help/hec-ras/source/introduction4.htm](http://www.bossintl.com/online_help/hec-ras/source/introduction4.htm) (20. 1. 2007).

VGI 2002. Ukrepi za zagotavljanje poplavne varnosti urbaniziranih območij v Spodnji Savinjski dolini, zadrževanje visokih vod ob Savinji in Bolski na območju Spodnje Savinjske doline. Projektna dokumentacija C-373-3, VGI. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut:24 f.

Vode v Sloveniji. V: Lenarčič, M., Pluto, D., Vode v Sloveniji, EPSI  
[1995http://expo98.literal.si/slo/zakladi/vode-slovenije/index.html-12](http://expo98.literal.si/slo/zakladi/vode-slovenije/index.html-12) (20. 1. 2007).

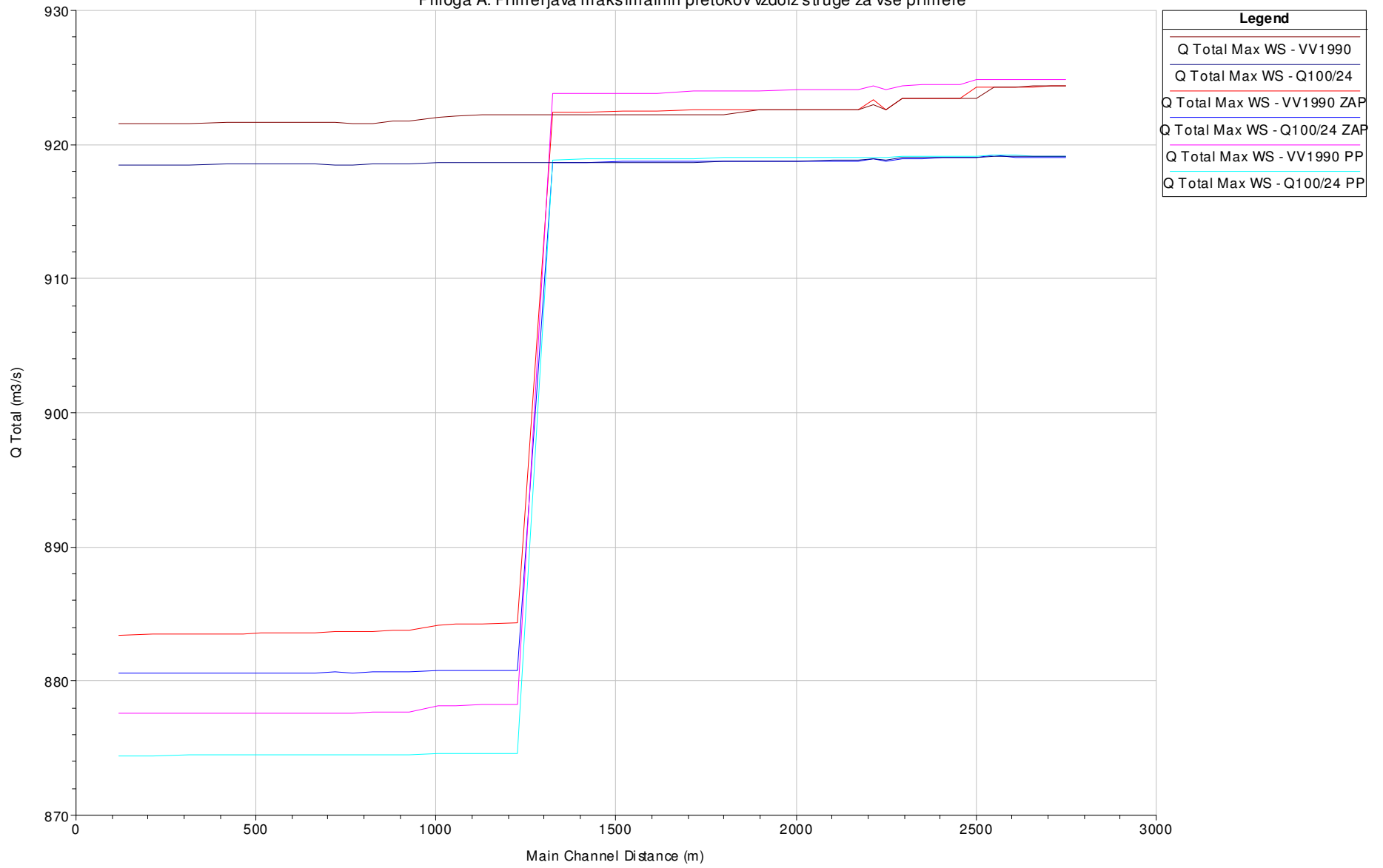
Wikipedia, prosta enciklopedija. Članek, Svinja.  
<http://sl.wikipedia.org/wiki/Savinja>

24ur.com. Župani prosijo vlado za pomoč. Celje, 26. 8. 2005, STA.  
[http://24ur.com/bin/article.php?article\\_id=2060753](http://24ur.com/bin/article.php?article_id=2060753) (20. 1. 2007).

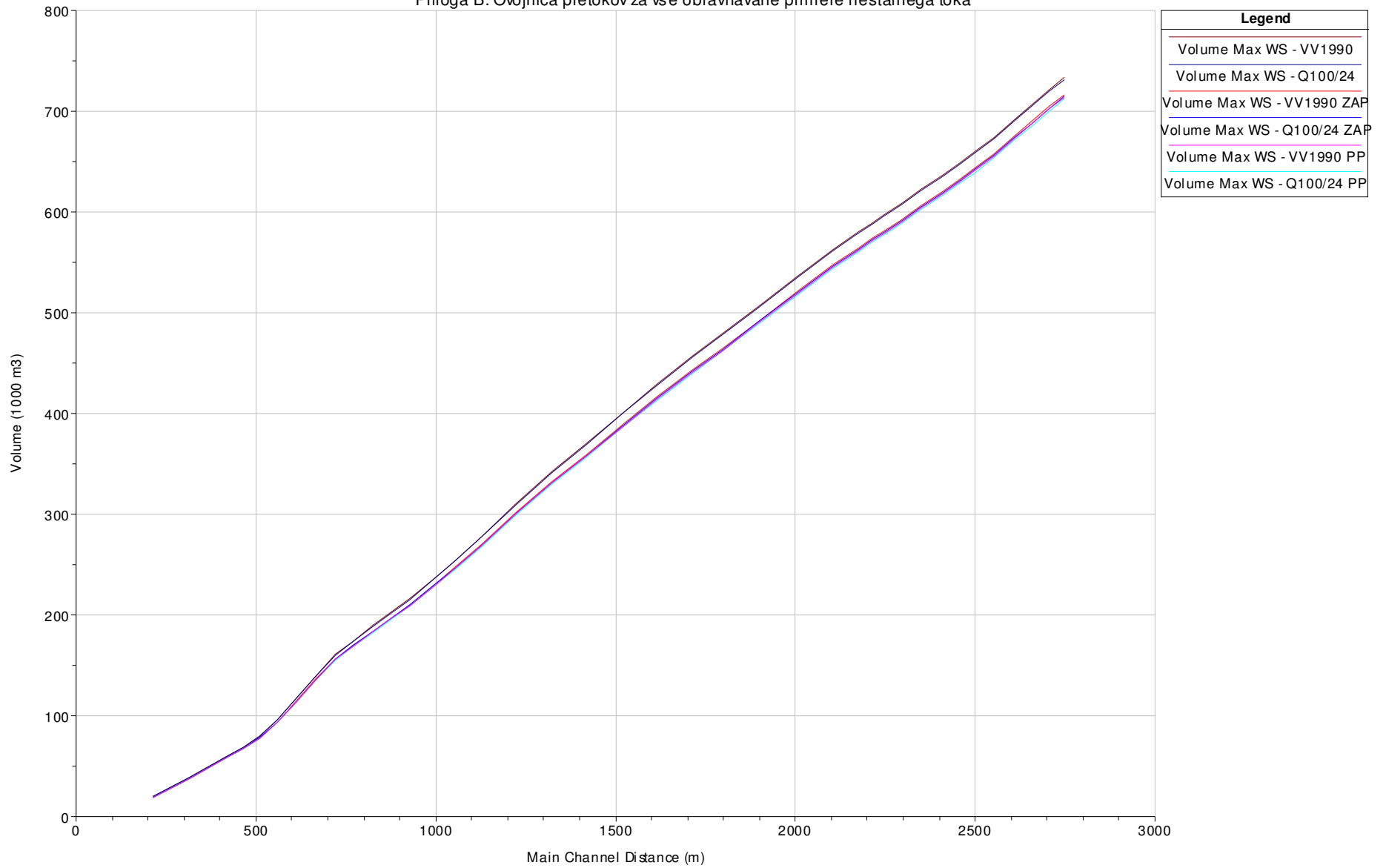
## Priloge

- Priloga A: Primerjava maksimalnih pretokov vzdolž struge za vse obravnavane primere nestalnega toka
- Priloga B: Ovojnica pretokov za vse obravnavane primere nestalnega toka
- Priloga C: Figurativni prikaz vtočnega prostega preliva
- Priloga D: Vtočni object s tablasto zapornico – Tloris
- Priloga E: Vtočni object s tablasto zapornico – Vzdolžni profil
- Priloga F: Izhodne tabele Programa HEC RAS: F.1 – Stalni tok  
F.2 – Nestalni tok
- Priloga G: Primerjava rezultatov programa HEC – RAS, verzije 3.1.3 in 4.0 Beta

Priloga A: Primerjava maksimalnih pretokov vzdolž struge za vse primere



Priloga B: Ovojnica pretokov za vse obravnavane primere nestalnega toka





*Priloga C: Figurativni prikaz vtočnega prostega preliva*