

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Hidrotehniška smer

Kandidat:

Matic Košak

Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem

Diplomska naloga št.: 3009

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 22. 4. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATIC KOŠAK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»ANALIZA PRETOČNIH RAZMER SAVINJE V LAŠKEM«.

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

Ljubljana, 9. 4. 2008

Matic Košak

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 556.535(043.2)
- Avtor:** Matic Košak
- Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš
- Somentor:** viš. pred. mag. Rok Fazarinc
- Naslov:** Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
- Obseg in oprema:** 81 str., 32 pregl., 36 sl., 13 diagr., 4 pril.
- Ključne besede:** Savinja, poplava, regulacija, analiza pretokov

Izvleček

Diplomsko delo obravnava analize pretokov Savinje skozi Laško z različnimi regulacijskimi ukrepi. V prvem delu je predstavljena zgodovina poplav v Laškem od leta 1550 naprej in analize zadnjih treh večjih poplav. Drugi del pa vsebuje analize regulacij. Primerjavo zdajšnje regulacije pri Zdravilišču Laško s prejšnjim stanjem pred regulacijo in načrtovano regulacijo pri Marija Gradcu pri stoletnih pretokih. Obsega tudi vpliv vseh treh mostov (železniškega in obeh cestnih), kakšno zaježbo povročajo sami mostni oporniki in kakšna je zaježba v primeru zagozdenega plavja. Predstavljen je tudi padec gladin zaradi nove regulacije pri zdravilišču in vpliv depresije pri pokopališču v poplavi leta 2007. Omenjeni so še napotki na nadaljnje delo.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 556.535(043.2)
- Author:** Matic Košak
- Supervisor:** prof. dr. Matjaž Mikoš
- Co-supervisor:** Len. Lect. Msc. Rok Fazarinc
- Title:** Hydraulic analysis of the Savinja river in Laško
- Notes:** 81 p., 32 tab., 36 fig., 13 grap., 4 supp.
- Key words:** Savinja, flood, regulation, hydraulic analysis

Abstract

The present work handles flow analysis of river Savinja in Laško with different improvements of the river course. The first part contains the history of floods in Laško since 1550 and the analysis of the last three biggest floods. The second part includes flood analysis. The comparison of the regulations by Zdravilišče Laško to earlier condition before regulation and planned regulation by Marija Gradec with 100-year discharge. It also contains the influence of all three bridges in Laško (railway bridge and both road bridges), what afflux do bridge pillars cause and what is afflux in case of floating debris. It presents what flow drop does the regulation by spa cause and what influence did the depression near the cemetery in the flood in 2007 have. There are also directions for further analysis.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč in potrpežljivost pri izdelavi diplomskega dela bi se rad zahvalil mentorju, prof. dr. Matjažu Mikošu, in somentorju, viš. pred. mag. Roku Fazarincu.

Zahvalil bi se tudi podjetjema za podatke in dodatno strokovno pomoč, brez katere mi diplomske naloge ne bi uspelo dokončati. Hvala tudi Jožetu Senici in Dori Pavlovič za priskrbljeno literaturo in podatke. Nenazadnje hvala vsem mojim študijskim kolegom in prijateljem, s katerimi sem preživel nepozabne študijske dni.

Nazadnje bi se rad zahvalil še svoji družini, ki me je podpirala v času celotnega študija ter mi stala ob strani v dobrih in slabih trenutkih.

Še enkrat hvala vsem

KAZALO VSEBINE

1.	UVOD	1
2.	SAVINJA.....	3
2.1.	POREČJE REKE SAVINJE.....	3
2.2.	SAVINJA V LAŠKEM	5
3.	ZGODOVINA POPLAV V LAŠKEM	6
3.1.	PRVI ZAPISI O POVODNJI.....	6
3.2.	POPLAVE V 20. STOLETJU	7
3.3.	LETO 1990.....	9
3.4.	LETO 1998.....	12
3.5.	LETO 2007.....	15
4.	PRIMERJAVA POPLAV 1990, 1998 IN 2007	18
5.	PROGRAMI	22
5.1.	AUTOCAD 2007.....	22
5.2.	CGS AQUATERRA	23
5.3.	HEC-RAS 3.1.3	23
6.	MODEL SAVINJE IN PRITOKOV.....	25
6.1.	MERITVE SLEDOV VISOKE VODE LETA 2007	27
6.2.	TOČKE MERJENJA GLADIN POPLAV 1998 IN 2007.....	29
6.3.	HIDROLOŠKE KOLIČINE	30

6.3.1.	HIDROLOŠKE KOLIČINE Z UPOŠTEVANJEM VSEH NAJVEČJIH LETNIH PRETOKOV MED LETOMA 1908 IN 2007 NA VP LAŠKO	31
6.4.	UMERJANJE MODELOV.....	33
7.	VISOKE VODE Q_{100}	36
8.	VPLIV MOSTOV PRI Q_{100}	42
8.1.	REZULTATI ANALIZ	43
8.2.	VPLIV POSAMEZNIH MOSTOV NA MODELU DRUGE RAZLIČICE – SEDANJE STANJE.....	43
8.2.1.	CESTNI MOST V JAGOČE	44
8.2.2.	CESTNI MOST V LAŠKEM	45
8.2.3.	ŽELEZNIŠKI MOST V LAŠKEM.....	46
8.2.4.	STRUGA SAVINJE BREZ MOSTOV	47
8.3.	VPLIV REGULACIJ NA ZAJEZBO ZARADI MOSTOV	48
8.3.1.	CESTNI MOST V JAGOČE	48
8.3.2.	CESTNI MOST V LAŠKEM	49
8.3.3.	ŽELEZNIŠKI MOST V LAŠKEM.....	50
8.4.	POVZETEK VPLIVA REGULACIJ	51
9.	VPLIV PLAVJA NA MOSTNIH OPORNIKIH PRI Q_{100}	53
9.1.	VPLIV PRI CESTNEM MOSTU V JAGOČE	54
9.2.	VPLIV PRI CESTNEM MOSTU V LAŠKEM	55
9.3.	VPLIV PRI ŽELEZNIŠKEM MOSTU V LAŠKEM.....	55
9.4.	VPLIV PLAVJA NA VSEH MOSTNIH OPORNIKIH	56

10.	VPLIV REGULACIJE PRI ZDRAVILIŠČU LAŠKO	58
10.1.	STANJE PRED REGULACIJO	58
10.2.	STANJE PO REGULACIJI.....	60
11.	VPLIV DEPRESIJE NA DESNEM BREGU SAVINJE PRI POKOPALIŠČU	63
11.1.	KONTROLNI MODEL	66
11.2.	VPLIV DEPRESIJE.....	66
12.	MINIMALNI PRETOK SAVINJE	69
12.1.	KRITIČNI PRETOKI	69
12.2.	KRITIČNI PRETOKI PO REGULACIJI MARIJAGRAŠKEGA OVINKA ...	74
13.	NAPOTKI ZA NAPREJ	76
14.	ZAKLJUČEK	77
VIRI		79
PRILOGE.....		81

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1, poplave pred 20. stoletjem.....</i>	<i>7</i>
<i>Preglednica 2, poplave v 20. stoletju</i>	<i>8</i>
<i>Preglednica 3, primerjava pretokov in vodostajev poplav 1990, 1998 in 2007 na VP v Laškem</i>	<i>19</i>
<i>Preglednica 4, prostornina visokovodnih valov in njihovo trajanje</i>	<i>20</i>
<i>Preglednica 5, podatki o poligonskih točkah</i>	<i>28</i>
<i>Preglednica 6, višine VV leta 1998 in 2007.....</i>	<i>29</i>
<i>Preglednica 7, uporabljene vodne količine</i>	<i>31</i>
<i>Preglednica 8, pretoki VV za VP Laško za Gumbelovo in Pearsonovo III-porazdelitev.....</i>	<i>32</i>
<i>Preglednica 9, umerjeni koeficienti hrapavosti v prvi in drugi varianti.....</i>	<i>35</i>
<i>Preglednica 10, spodnji robni pogoji za model Savinje.....</i>	<i>36</i>
<i>Preglednica 11, VV pri Q_{100} v vseh treh različicah.....</i>	<i>39</i>
<i>Preglednica 12, padec gladin pri mostovih.....</i>	<i>41</i>
<i>Preglednica 13, primerjava VV, če ni cestnega mostu v Jagoče</i>	<i>44</i>
<i>Preglednica 14, primerjava VV, če v Laškem ni cestnega mostu</i>	<i>46</i>
<i>Preglednica 15, primerjava VV, če na Savinji ni cestnih mostov.....</i>	<i>46</i>
<i>Preglednica 16, primerjava VV, če v Laškem ni železniškega mostu</i>	<i>47</i>
<i>Preglednica 17, primerjava VV, če na Savinji ni mostov</i>	<i>47</i>
<i>Preglednica 18, primerjava VV zaradi regulacij pri cestnem mostu v Jagočah.....</i>	<i>49</i>
<i>Preglednica 19, primerjava VV zaradi regulacij pri cestnem mostu v Laškem.....</i>	<i>50</i>
<i>Preglednica 20, primerjava VV zaradi regulacij pri železniškem mostu v Laškem.....</i>	<i>51</i>
<i>Preglednica 21, dimenzije plavja pri cestnih mostovih</i>	<i>53</i>
<i>Preglednica 22, dimenzije plavja pri železniškem mostu</i>	<i>54</i>
<i>Preglednica 23, primerjava VV, če se pri cestnem mostu v Jagoče zagozdi plavje.....</i>	<i>54</i>
<i>Preglednica 24, primerjava VV, če se pri cestnem mostu v Laškem zagozdi plavje.....</i>	<i>55</i>
<i>Preglednica 25, primerjava VV, če se pri železniškem mostu v Laškem zagozdi plavje</i>	<i>56</i>
<i>Preglednica 26, primerjava VV, če se zagozdi plavje pri vseh mostnih opornikih.....</i>	<i>57</i>
<i>Preglednica 27, robni pogoji</i>	<i>59</i>
<i>Preglednica 28, kritični pretoki pred regulacijo</i>	<i>60</i>
<i>Preglednica 29, pregled vseh kritičnih pretokov, vodostajev in robnih pogojev.....</i>	<i>73</i>
<i>Preglednica 30, robni pogoji pri reguliranem stanju za Q_{k1} do Q_{k5}.....</i>	<i>74</i>
<i>Preglednica 31, vodostaji pred regulacijo in po njej ter njihova razlika pri kritičnih pretokih Q_{k1} do Q_{k5}.....</i>	<i>75</i>
<i>Preglednica 32, robni pogoji, pretoki in vodostaji v kritičnih profilih po regulaciji in pretok pred njo.....</i>	<i>75</i>

KAZALO SLIK

<i>Slika 1, porečje reke Savinje.....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2, poplava leta 1954.....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 3, poplava leta 1990.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 4, poplava leta 1990.....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 5, poplavno območje Savinje leta 1990.....</i>	<i>11</i>
<i>Slika 6, poplava leta 1998.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 7, poplava leta 1998.....</i>	<i>12</i>
<i>Slika 8, poplavno območje Savinje leta 1998.....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 9, poplava leta 2007.....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 10, poplava leta 2007.....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 11, poplavno območje Savinje leta 2007.....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 12, primerjava poplavnih območij v letih 1990, 1998 in 2007</i>	<i>21</i>
<i>Slika 13, model Savinje prve različice pred regulacijama</i>	<i>27</i>
<i>Slika 14, točke merjenja visoke vode</i>	<i>30</i>
<i>Slika 15, vzdolžni prerez mostov v1</i>	<i>39</i>
<i>Slika 16, vzdolžni prerez mostov v1</i>	<i>39</i>
<i>Slika 17, vzdolžni prerez mostov v2</i>	<i>40</i>
<i>Slika 18, vzdolžni prerez mostov v2</i>	<i>40</i>
<i>Slika 19, vzdolžni prerez mostov v3</i>	<i>40</i>
<i>Slika 20, vzdolžni prerez mostov v3</i>	<i>40</i>
<i>Slika 21, deblo, zagazeno za mostni opornik.....</i>	<i>53</i>
<i>Slika 22, kritični profil 54, preden se začne prelivanje</i>	<i>59</i>
<i>Slika 23, profil 74, preplavitev celotnega levega brega.....</i>	<i>60</i>
<i>Slika 24, profil 68, preplavitev celotnega desnega brega.....</i>	<i>60</i>
<i>Slika 25, profil 59 po izvedeni regulaciji pri Q_k.....</i>	<i>61</i>
<i>Slika 26, kritični profil 61 pri Q_{k_po} po izvedeni regulaciji</i>	<i>61</i>
<i>Slika 27, profil 74, po regulaciji pri Q_{k1}.....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 28, profil 68, po regulaciji pri Q_{kd}.....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 29, profil 74, preplavitev celotnega levega brega po regulaciji</i>	<i>62</i>
<i>Slika 30, profil 68, preplavitev celotnega desnega brega po regulaciji</i>	<i>62</i>
<i>Slika 31, model odseka z depresijo in s prelivoma</i>	<i>64</i>
<i>Slika 32, prvi kritični profil 31 pri kritičnem pretoku Q_{k1}.....</i>	<i>70</i>
<i>Slika 33, kritični profil 47 pri kritičnem pretoku Q_{k2}.....</i>	<i>71</i>

X Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

<i>Slika 34, kritični profil 19 pri kritičnem pretoku Q_{k3}.....</i>	<i>71</i>
<i>Slika 35, kritični profil 32 pri kritičnem pretoku Q_{k4}.....</i>	<i>72</i>
<i>Slika 36, kritični profil 33 pri kritičnem pretoku Q_{k5}.....</i>	<i>73</i>

KAZALO GRAFIKONOV (diagramov)

<i>Grafikon 1, pretok Savinje med 26. 10. in 5. 11. leta 1990.....</i>	<i>10</i>
<i>Grafikon 2, pretok Savinje med 3. 11. in 6. 11. leta 1998.....</i>	<i>13</i>
<i>Grafikon 3, pretok Savinje med 18. 9. in 19. 9. leta 2007.....</i>	<i>16</i>
<i>Grafikon 4, primerjava pretokov Savinje 1990, 1998 in 2007</i>	<i>19</i>
<i>Grafikon 5, Gumbelova in Pearsonova III-porazdelitev za VP Laško.....</i>	<i>32</i>
<i>Grafikon 6, prikaz spreminjanja Manningovega koeficienta v vzdolžnem profilu za leti 1998 in 2007.....</i>	<i>34</i>
<i>Grafikon 7, robni pogoj za prvi prečni profil, pretok Savinje na VP Laško</i>	<i>65</i>
<i>Grafikon 8, robni pogoj za zadnji prečni profil, pretok Savinje in vodostaj</i>	<i>65</i>
<i>Grafikon 9, primerjava pretokov v prvem in zadnjem profilu.....</i>	<i>66</i>
<i>Grafikon 10, pretok in vodostaj v depresiji.....</i>	<i>67</i>
<i>Grafikon 11, primerjava pretokov v profilu KM 1.2+99.10.....</i>	<i>68</i>
<i>Grafikon 12, primerjava pretokov brez in z depresijo vzdolž obravnavanega odseka.....</i>	<i>68</i>

SEZNAM PRILOG

<i>Vzdolžni prerez modela Savinje pri Q_{100} v vseh treh variantah.....</i>
<i>Vzdolžni prerez vpliv mostov</i>
<i>Vzdolžni prerez vpliva plavja pri mostnih opornikih.....</i>
<i>Vzdolžni prerez vpliva depresije pri pokoplišču</i>

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

VP	vodomerna postaja
VV	visoka voda
HMZS	Hidrometeorološki zavod Slovenije
KM	kilometraža

XIV Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

1. UVOD

Slovenija je geografsko zelo različna dežela. Na vsega 20.251 km² so pokrajine, ki se med seboj zelo razlikujejo, tako reliefno kot tudi podnebno. Na JZ države je submediteransko podnebje, na katerega ima velik vpliv Jadransko morje; svet je razmeroma nižinski, proti S pa se zelo hitro dvigne, podnebje pa preide v alpsko in vlažnejše. Tu pade nad 3.000 mm padavin letno. Pravo nasprotje je V Slovenije, kjer je podnebje zmerno celinsko, relief pa zelo raven. Tudi količina padavin se tukaj zmanjša na minimum za slovenske razmere in znaša pod 800 mm.

V Sloveniji se torej relief zelo hitro spreminja, zato so v gorskem svetu pogoste obilne padavine, zaradi velike količine vode so tako velika težava plazovi, podori, hudourniška erozija in nenazadnje tudi poplave rek. Glede na to, da so zaradi konfiguracije terena skoraj vsi vodotoki v Sloveniji hudourniškega značaja, prepreda jo 8.000 km hudournikov na skoraj 400 hudourniških območjih (Mikoš, 1995; Repe, 2002), moramo poplavam posvetiti toliko več pozornosti.

Med ogrožena območja spada tudi porečje Savinje, ki v Sloveniji v času visokih voda povzroči največ škode vzdolž celotnega vodotoka, od izvira v Logarski dolini do izliva v Zidanem Mostu. Med najbolj poplavna območja ob Savinji zaradi lege spada mesto v spodnjem toku, Laško.

Laško je mesto z okoli 4.500 prebivalci. Leži v spodnjem toku reke Savinje in je prav zaradi utesnjenosti doline zelo odvisno od poplavne nevarnosti Savinje. Večji del urbanih in industrijskih površin leži v neposredni bližini struge, zato je ureditev poplavne varnosti nujna, to pa – kljub nenehnemu prizadevanju za ureditev – zelo počasi napreduje. Potrebne ureditve za zaščito Laškega so ureditve Savinje med Laškim in Rimskimi Toplicami ter regulacija marijagraškega ovinka. Regulacija Savinje gorvodno, nasproti Zdravilišča Laško, pa je že obrodila sadove.

- 2 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

Tema diplomske naloge je analiza pretočnih razmer Savinje skozi Laško. Preverili bomo, kako na pretoke vplivajo mostovi čez Savinjo, za koliko zmanjšajo pretočnost železniški most in cestna mostova. Analizirali bomo, kolikšen vpliv ima regulacija pri Zdravilišču Laško. Določili bomo še najnižji varni pretok Savinje skozi Laško, da se voda ne bi prelivala, in pregledali še pretekle poplave, jih primerjali in uredili poplavne karte. Za konec bomo opisali še druge mogoče protipoplavne ukrepe.

2. SAVINJA

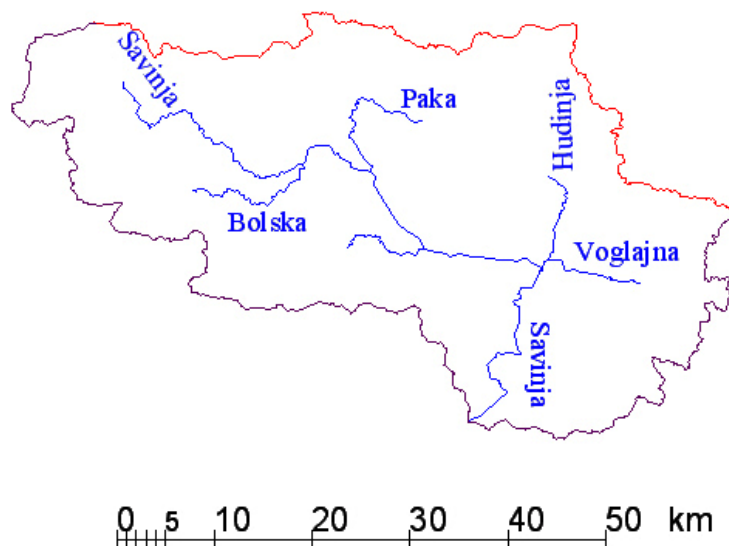
2.1. POREČJE REKE SAVINJE

Savinja je šesta najdaljša slovensko reka, ki izvira v Logarski dolini v Kamniško-Savinjskih Alpah. Velja za najdaljšo Slovensko reko, ki teče izključno po slovenskem ozemlju. Prvi izvir ima na nadmorski višini 1380 m, nad slapom Rinka, drugi izvir 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 Savinjo. Savinja teče skozi Zgornjo Savinjsko dolino in Spodnjo Savinjsko dolino s Celjsko kotlino. Zadnji del Savinje teče po dolini od Celja do Zidanega Mosta. Od izvira do izliva je reka dolga 96 km.

Savinja spada v porečje Save, saj je njen levi pritok. Je reka 2. nivoja, njeno porečje pa obsega 1.852,8 km². Teče po severovzhodni Sloveniji in je glavna reka Savinjskih Alp. Je hudourniška, zato pogosto poplavlja. Zadnje hujše poplave so bile v letih 1954, 1990, 1998 in 2007. Glede na to, da ima dežno-snežni režim, so visoke vode značilne za pomlad, ko se tali sneg, in za jesen, ko se padavine zaradi namočenosti terena zlijejo neposredno v strugo.

Podnebje v porečju Savinje se od severa proti jugu spreminja. Na severu je alpsko, proti jugu pa se spreminja v zmerno celinsko.

- 4 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-



Slika 1, porečje reke Savinje

Savinja na začetku svoje poti ponikne, vendar se pozneje spet pojavi v svoji strugi. Skozi Zgornjo Savinjsko dolino je Savinja različno široka. Sprva je ozka, od Ljubnega naprej pa se razširi. Ob Savinji je v Zgornji Savinjski dolini nekaj strnjenih naselij: Mozirje, Nazarje, Rečica ob Savinji, Ljubno, Luče. Ko se dolina pri Ljubnem razširi, preide v Spodnjo Savinjsko dolino. Zaradi večje odprtosti je Spodnja Savinjska dolina dosti ugodnejša za naselitev in posledično tudi za kmetijstvo. Tu prevladuje zlasti hmeljarstvo, razvila pa se je tudi močna industrija. Celje, središče Savinjske doline, je zelo gosto naseljeno, zaradi tega je tudi močno ogroženo zaradi poplav. Poplavlja pa ne le Savinja, temveč tudi njeni večji pritoki gorvodno. Pomembnejši pritoki do Celja so: Lučnica pri Lučah, Ljubnica pri Ljubnem, Dreta pri Nazarjah, Paka pri Šmartnem ob Paki, Ložnica in Voglajna s Hudinjo pri Celju.

V spodnjem toku teče Savinja po ozki dolini mimo Laškega in Rimskih Toplic do Zidanega Mosta, kjer se izliva v Savo. Zaradi ozke doline in goste poseljenosti Laškega ob sami strugi, je to mesto zelo izpostavljeno poplavam.

2.2. SAVINJA V LAŠKEM

Zadnji del Savinje teče skozi občino Laško. Dolžina odseka Savinje skozi občino je dobrih 18 km. Laško velja za najbolj poplavno ogroženo mesto v porečju reke Savinje. Znano je, da so ga v zadnjih dveh desetletjih prizadele kar tri obsežnejše poplave. Poplave ogrožajo Laško zaradi površja. Večina stanovanjskih in gospodarskih objektov je ob sami strugi in znotraj območja stoletnih vod. Na poplave Savinje v Laškem vplivajo tudi hudourniški pritoki v Laškem. To sta potoka Rečica, desni pritok Savinje, in levi pritok Žikovca. Tudi Lahomnica je hudourniška, vendar se izliva v Savinjo dolvodno od Laškega in na samo poplavno ogroženost Laškega nima velikega vpliva.

Pretok Savinje merijo v Laškem že od leta 1907. Do leta 1952 so ga merili na merski postaji Laško, od leta 1953 pa na vodomerni postaji Laško I. Do vodomerne postaje v Laškem Savinja zajema 1.663,6 km² porečja. Med letoma 1961 in 1990 je za Savinjo veljal srednji mesečni pretok 41,5 m³/s, najmanjši je bil izmerjen 2. 8. 1983 in je znašal 4,1 m³/s, največji pa je bil izmerjen v poplavi 1. 1990 in je bil 1.406 m³/s. V teh letih je povprečni srednji mesečni pretok presegel 50 m³/s aprila in novembra. Največji pretoki, ki so preseglili 1.000 m³/s, so bili izmerjeni septembra, oktobra in novembra.

3. ZGODOVINA POPLAV V LAŠKEM

Od začetkov človeške zgodovine so se ljudje naseljevali ob rekah, saj je voda osnovni vir preživetja. Reke so bile za ljudi pomembne, saj so potrebovali tekočino za pitje in za prehranjevanje. Z razvojem kmetijstva so imele reke pomemben pomen zaradi namakanja obdelovalnih površin. Ob razcvetu kmetijstva so se obdelovalne površine izčrpale. Sprva so bile poplave razumljene kot katastrofe, pozneje pa so postale vir, ki prinaša na poplavljene obdelovalne površine novo rodovitno zemljo.

3.1. PRVI ZAPISI O POVODNJI

Prvi zapisi o povodnji v kronikah segajo že v 15. stoletje. Tako naj bi bil prvi takšen zapis velike povodnji 2. septembra 1550, v času Primoža Trubarja. Obseg poplave ni znan, zapisana pa je višina vode, ki naj bi segala tako visoko, kot kaže kazalec, kar je zapisano na starodavni srednjeveški spominski plošči na vodnem stolpu v Razlagovi ulici v Celju. Poznejši zapisi poplav so dokaj obsežnejši. Za čas okoli 17. stoletja so zelo izčrpni zapisi in podatki o poplavah v Zgodovinskih utrinkih Laškega in okolice, ki jih je zapisal lokalni kronist Edo Jelovšek.

Pred 20. stoletjem so bile poplave dokaj redke, kar lahko sklepamo po zapisih. Bili sta ena do dve povodnji vsako stoletje. Z obsežnejšim opazovanjem in zapisovanjem pa ugotavljamo, da se je število v zadnjem stoletju popeterilo. Tako je bilo v 20. stoletju zapisanih kar deset poplav. Starih zapisov je zelo malo, mogoče je tudi, da so se ti izgubili oziroma se niso ohranili, tako da vseh zapisov o visokih vodah iz prejšnjih stoletij sploh nimamo. Nedvomno pa so se ohranili zapisi o ekstremnih naravnih nesrečah, saj jih najdemo v več virih.

Tako so zapiski o poplavah od leta 1550 naprej omenjeni v Zgodovinskih utrinkih Laškega in so navedeni v preglednici 1.

datum
2. 9. 1550
24. 9. 1672
25. 2. 1684
15. 1. 1789
16. 10. 1824
24. 6. 1896

Preglednica 1, poplave pred 20. stoletjem

3.2. POPLAVE V 20. STOLETJU

Število poplav se je v zadnjem stoletju izrazito povečalo, skupaj z razvojem urbanih naselij. Tako so bile v zadnjih dveh desetletjih kar tri poplave, ki glede na pretok veljajo za stoletne. Te bomo temeljito opisali pozneje. Do katastrofalne poplave leta 1990 je Savinja v 20. stoletju večkrat poplavljala.

Obširni zapisi poplav Savinje v 20. stoletju so v publikaciji Ujma, kjer je več člankov z naslovom Velike poplave in povodnji na Slovenskem I - IV (Kolbezen, 1991-1994).

Ena najkatastrofalnejših poplav v prejšnjem stoletju je poplava leta 1954. Pretok Savinje je takrat v Laškem znašal samo 1.290 m³/s, za primerjavo je leta 1990 znašal kar 1.406 m³/s. Čeprav pretok ni bil tako velik, je poplava tega leta povzročila ogromno škode. Ta je bila tudi povod za začetek regulacije Savinje v Celju.

Med obširnejše povodnji štejemo tudi povodenj leta 1933. Pretok tega leta je bil 1.456 m³/s. K tako velikem pretoku so pripomogli zlasti pritoki Voglajne in Hudinje v Celju, saj so po odboju zaježitve Voglajne pretok v Celju ocenili na samo 625 m³/s.

Tudi leta 1964 je Savinja poplavela Spodnjo Savinjsko dolino. Pretok ni presegel vrednosti iz let 1933 in 1954, znašal je 1.096 m³/s.



Slika 2, poplava leta 1954 (vir: muzej Laško)

Za vse zgoraj našteje poplave je bilo značilno, da so na njih vplivale tudi predhodne padavine, ki so zemljo dodobra napojile z vodo. S tem so bile katastrofalne tudi odtočne razmere, ki so pripomogle k večjim pretokom.

Kronike pišejo še o nekaj obsežnejših poplavah v tem stoletju (Kolbezen, 1991). Nekaj večjih je navedenih v preglednici 2. Zraven so zapisani še nekateri pretoki Savinje, izmerjeni na vodomerni postaji v Laškem.

datum	pretok
15.-16. 11. 1901	
30. 11.-1. 12. 1923	
12. 11. 1925	858 m ³ /s
8.- 9. 8. 1926	1.121 m ³ /s
23. 9. 1933	1.456 m ³ /s
4.-5. 6. 1954	1.290 m ³ /s
24.-25. 10. 1964	1.096 m ³ /s
25. 9. 1973	1.030 m ³ /s
9. 10. 1980	1.179 m ³ /s

Preglednica 2, poplave v 20. stoletju

3.3. LETO 1990

Izdatno in neprekinjeno deževje konec oktobra je dodobra namočilo zemljišče (Kolbezen, 1990). Tako so padavine med močnimi nalivi med 31. oktobrom in 1. novembrom odtekale neposredno v vodotoke. Kritično sta se dvignila tudi pretok in višina Savinje. Ta je v spodnjem toku povzročila pravo katastrofo. Več območij je bilo odrezanih od sveta.

Ob poplavi se je v zgornjem delu Savinje sprožil še plaz, ki je zajezil Savinjo in ustvaril akumulacijo napolnjeno z vodo, ki se je pozneje zaradi prelivanja tudi porušila (Kolbezen, 1991). Porušitveni val, ki je Laško dosegel 2. novembra okoli 14. ure, je lepo viden tudi na grafikonu 1.

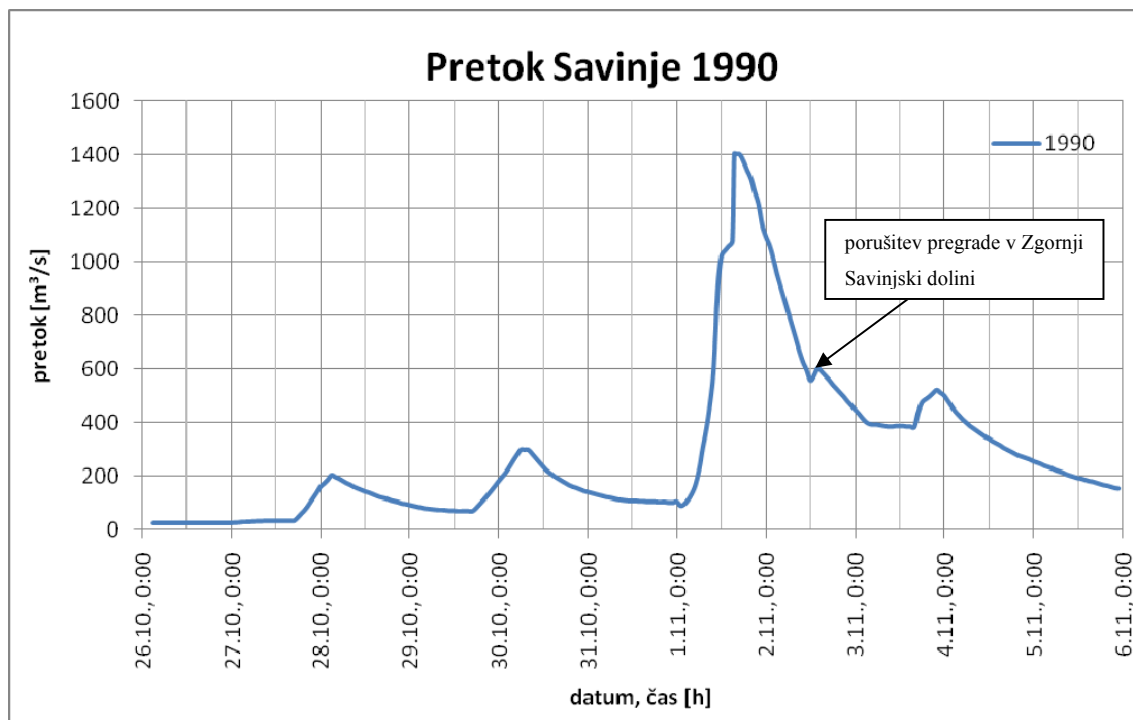
Po podatkih Hidrometeorološkega zavoda Slovenije (HMZS) je v tem času na območju Kamniško-Savinjskih Alp v povprečju padlo 200 mm padavin.

Tudi Laškemu ni bilo prizaneseno. Močno deževje med 31. oktobrom in 1. novembrom je dodobra napolnilo tudi večje pritoke Savinje v Laškem. Tako so poleg Savinje bregove prestopili tudi lokalni pritoki. Rečica in Lahomnica sta poplavljali in odnašali struge gorvodno skoraj do izvira. Savinja je prestopila tako levi kot tudi desni breg in zalila nižje ležeče objekte. Poplavljeni so bili: razdelilna postaja zdajšnjega Elesa, Zdravilišče Laško, Kmetijska zadruga Laško, Kulturni center Laško, Hotel Savinja, kletni prostori Občine Laško, polnilnica Pivovarne Laško in drugi gospodarski objekti. Voda je zalila tudi celotno naselje Debro in Rimsko cesto ter stanovanjske hiše ob strugi.

Savinja je največji pretok dosegla 1. novembra ob 15.30, in sicer $1.406 \text{ m}^3/\text{s}$ (HMZS). Povratna doba te poplave je bila nad 100 leti. Višina vode je dosegla 694 cm.

Na sliki 5 vidimo poplavljenno območje leta 1990. K poplavitvi Debra je delno prispeval tudi desni pritok Savinje, Rečica, saj ga je reka zajezila. Ko je višina VV dosegla višino desnega nasipa dolvodno od cestnega mostu čez Savinjo, je ta zalila Rimsko cesto in pokopališče. Druga nižje ležeča področja so bila poplavljena, ko je Savinja prestopila bregove.

- 10 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.



Grafikon 1, pretok Savinje med 26. 10. in 5. 11. leta 1990



Slika 3, poplava leta 1990 (vir: muzej Laško)



Slika 4, poplava leta 1990 (vir: muzej Laško)



Slika 5, poplavno območje Savinje leta 1990

- 12 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

3.4. LETO 1998

Padavine leta 1998 se po količini niso dosti razlikovale od tistih izpred 8 let. Prav tako je bilo na območju Kamniško-Savinjskih Alp izmerjeno med 160 in 200 mm padavin (Dolinar, 1999). Meteorološka postaja v Gornjem Gradu je v 24 urah, med 7. uro 4. novembra in 7. uro 5. novembra, izmerila 180 mm padavin. Ugotovimo lahko, da je razlika samo v času, v katerem so te padavine padle, in sicer so leta 1990 trajale dlje. Leta 1998 zemljina torej ni bila zašičena z vodo, saj je bila infiltracija zaradi obilnih padavin v zelo kratkem času majhna. Večina padavin je tako stekla naposredno v vodotok.

Poplava leta 1998 je bila po količini in višini vode zelo podobna poplavi izpred 8 let. Največji pretok 5. novembra je bil za nekaj m^3/s manjši in je znašal $1.395 \text{ m}^3/\text{s}$. Najvišjo vrednost je dosegel ob 8.38. Kljub manjšemu pretoku je bila višina vode le za dva cm nižja. Vodostaj na VP Laško je znašal 692 cm.



Slika 6, poplava leta 1998 (Vir: Fotoatelj Sojč)



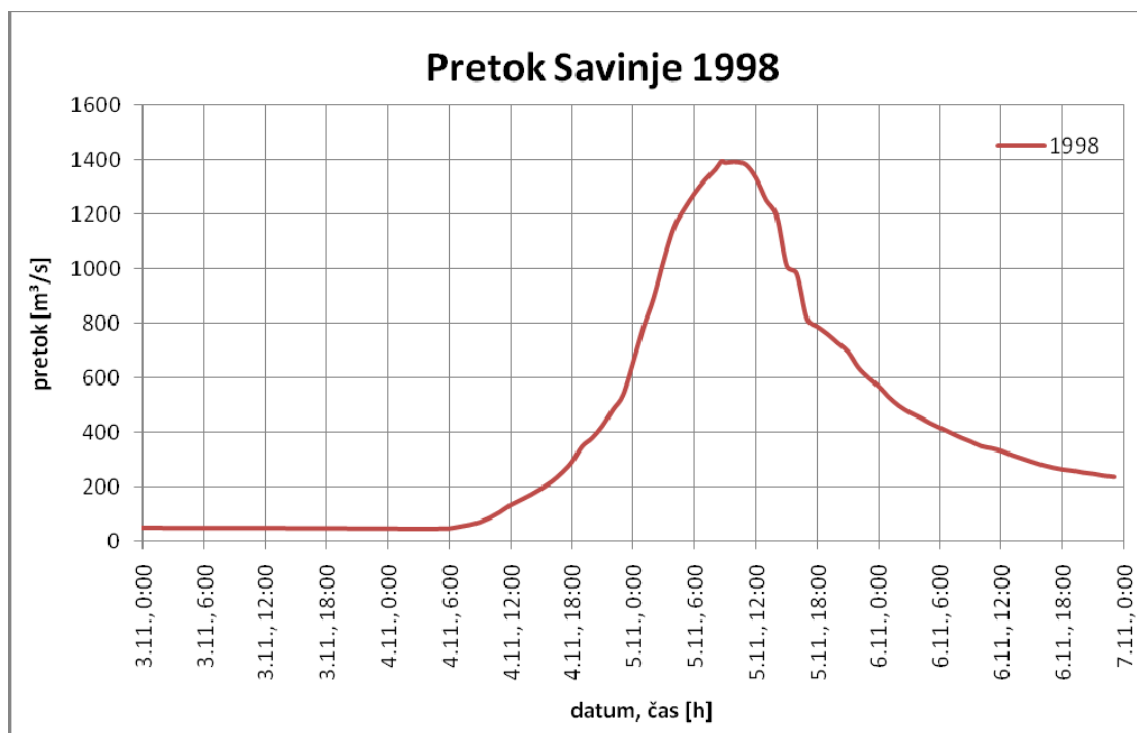
Slika 7, poplava leta 1998 (Vir: Fotoatelj Sojč)

Obseg poplave je bil leta 1998 zelo podoben tistemu iz leta 1990. Poplavljeni so bili isti objekti in tudi kota vode je bila zelo podobna. Na istem poplavnem območju ni bila poplavljena samo dvorana Tri lilije v Debru, ki je bila zgrajena po letu 1990 in je bila prav zaradi visokih voda dvignjena na koto, ki je višja od stoletnih vod.

Na grafikonu 2 vidimo, kako hitro je naraščal pretok Savinje v Laškem. Drugače kot leta 1990 ni bilo predhodnih padavin, zato je bilo naraščanje pretoka počasnejše. Od začetka naraščanja

pretoka je Savinja največjo vrednost dosegla v 26 urah, medtem ko je bila ta leta 1990 dosežena v 14 urah.

Poplavno območje leta 1998 je prikazano na sliki 8.



Grafikon 2, pretok Savinje med 3. 11. in 6. 11. leta 1998

- 14 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-



Slika 8, poplavno območje Savinje leta 1998

3.5. LETO 2007

V dopoldanskih urah 18. septembra so se nad zahodno Slovenijo začele pojavljati nevihte, ki so se počasi pomikale proti severni polovici Slovenije. Močni nalivi so se popoldne še okrepili v severovzhodni Sloveniji. Proti večeru je fronta oslabela, vendar so se posamezne nevihte še vedno pojavljale. Na porečju Savinje je deževje ponehalo med 23.30 in 0.40.

V 24-urnem intervalu, to je med 8. uro 18. septembra in 8. uro 19. septembra, je v zgornjem toku reke Savinje padlo med 140 in 180 mm padavin. V Lučah so v tem času izmerili 154,2 mm, kar pomeni 10-letno povratno dobo padavin.

Podatki iz VP v Laškem o pretoku in višini Savinje nam povedo, da poplava leta 2007 ni bila tako obsežna kot poplavi leta 1990 in 1998, saj je pretok Savinje dosegel le $1.254 \text{ m}^3/\text{s}$, višina vode pa je bila za 55 cm nižja kot leta 1990 in je znašala 639 cm.



Slika 9, poplava leta 2007 (foto: avtor)

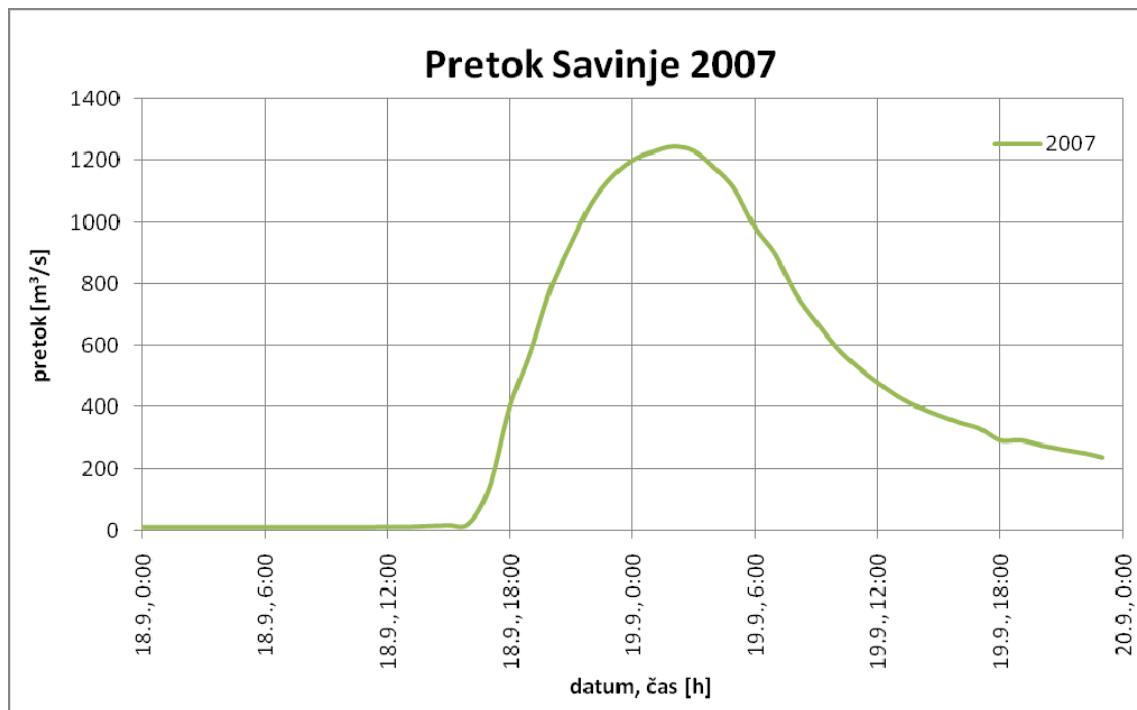


Slika 10, poplava leta 2007 (foto: avtor)

Posledično je bil tudi obseg poplave nekoliko manjši. Prikazan je na sliki 11. Ob sami strugi so bili poplavljeni isti objekti kot v prejšnjih poplavah, z izjemo Zdravilišča Laško, hotela Savinja in naselja Debro. K temu naj bi pripomogla tudi regulacija Savinje nasproti zdravilišča. Struga je v tem delu širša za 20 odstotkov, kar zniža tudi vodostaj za nekaj deset centimetrov (Fazarinc, 2007). Na grafikonu 3 lepo vidimo, kako hitro je Savinja naraščala. Vzrok za to so bili zelo močni nalivi v zgornjem toku. Savinja je ekstremno vrednost dosegla

- 16 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

v komaj 15 urah od začetka naraščanja pretoka. Največji pretok je bil dosežen 19. septembra ob 2.10.



Grafikon 3, pretok Savinje med 18. 9. in 19. 9. leta 2007



Slika 11, poplavno območje Savinje leta 2007

4. PRIMERJAVA POPLAV 1990, 1998 IN 2007

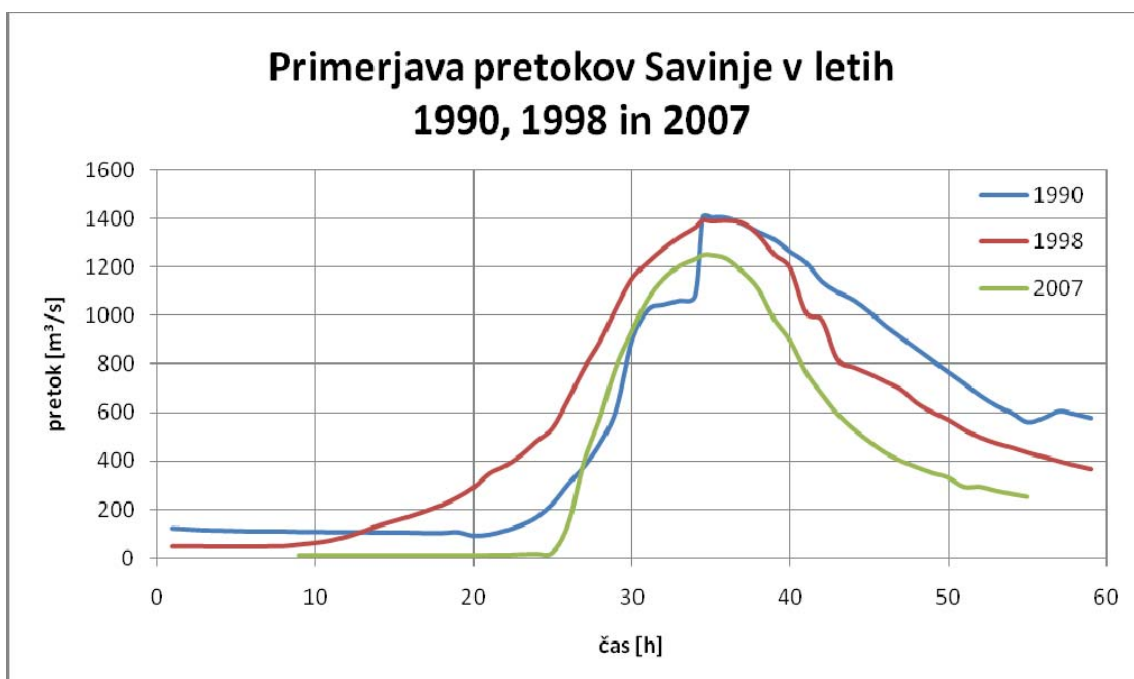
Glede na podatke, ki jih imamo o teh poplavah, lahko primerjamo pretoke, vodostaje in poplavna območja. Datumi poplav pa nam dajo informacijo, v katerem delu leta so se te zgodile.

Grafikon 4 je izdelan tako, da se vsi največji pretoki zgodijo istočasno. Iz tega grafa je zato mogoče razbrati, kako hitro so pretoki naraščali oziroma upadali. Časovni interval meritev je 1 ura.

Iz primerjave pretokov na grafikonu 4 vidimo, na kakšne načine so pretoki dosegli največje pretoke. Za leto 1990 vidimo, da je deževalo že nekaj dni pred poplavo, saj je pretok večji od obeh drugih poplav, zato je bila zemlja dodobra namočena. Hiter dvig pretokov so tako povzročili močni nalivi okoli 1. novembra. Tudi zaradi namočenosti zemljine pa je bil odtok počasnejši.

Leta 1998 je pretok počasneje naraščal kljub močnim lokalnim nalivom, kar je posledica nezasičenosti zemljin z vodo. Tudi odtok je bil zaradi nezasičenosti hitrejši. Podobno se je zgodilo tudi leta 2007. V obeh letih je bil padec pretokov hitrejši kot leta 1990.

Hidrogram iz leta 2007 je glede na hitrost večanja pretoka podoben letu 1990, vendar je, kot smo že omenili, upad leta 2007 dosti hitrejši.



Grafikon 4, primerjava pretokov Savinje 1990, 1998 in 2007

datum	pretok [m ³ /s]	vodostaj [cm]
1. november 1990	1.406	694
4.-5. november 1998	1.395	692
18.-19. september 2007	1.254	639

Preglednica 3, primerjava pretokov in vodostajev poplav 1990, 1998 in 2007 na VP v Laškem

Primerjali smo tudi prostornine vseh treh visokovodnih valov. Količine so prikazane v preglednici 4 v kubičnih metrih. Glede na zgoraj navedene pretoke in vodostaje bi sklepali, da bosta prostornini iz let 1990 in 1998 podobni, vendar je prostornina visokovodnega vala leta 1998 večja, kar lahko vidimo tudi na grafu pretokov, saj je val na začetku položnejši, doseže isto višino, upadanje vala pa je malo hitrejše. Zato je tudi prostornina vala za okoli 26 milijonov m³ večja.

Leta 1990 je v zgornjem delu vala hitro povečanje pretoka, ki je posledica pritokov v Celju. To sta pritoka Voglajna in Hudinja. Pri upadanju pretoka je mogoče opaziti še en skok, in sicer zaradi porušitve pregrade v Zgornji Savinjski dolini, ki je zgoraj že omenjena.

- 20 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

Prostornina vala je leta 1990 manjša tudi zaradi krajšega trajanja visokovodnega vala, ki znaša 14 ur manj kot leta 1998.

Količine iz leta 2007 težko primerjamo s tistimi izpred devetih oziroma sedemnajstih let, čeprav se pretok in višina visoke vode nista veliko razlikovala. Prostornina je skoraj dvakrat manjša kot leta 1998, trajanje vala pa je točno dvakrat krajše.

leto	prostornina vala [10 ⁶ m ³]	trajanje [h]
1990	90,69	52
1998	118,75	68
2007	66,04	34

Preglednica 4, prostornina visokovodnih valov in njihovo trajanje

Če primerjamo poplavna območja na sliki 12, vidimo, da med letoma 1990 in 1998 ni bistvene razlike, razen novo zgrajene športne dvorane Tri lilije v Debru. Obseg poplav je skoraj enak.

Glede na podatke iz leta 2007 bi bilo pričakovati, da bi bil obseg poplave manjši. Poplavljenih je bilo nekaj objektov manj, ti so navedeni zgoraj. Iz poplavne karte leta 2007 vidimo, da se poplavno območje bistveno ne razlikuje. Vzroka ne gre iskati v pretoku, ampak v samem poplavnem območju Laškega, ki je poplavljen že ob manjših pretokih. Pozneje bomo preverili, do katerih pretokov Savinja še ne poplavlja in je mesto še varno pred poplavami.



Slika 12, primerjava poplavnih območij v letih 1990, 1998 in 2007

5. PROGRAMI

Za analizo pretokov Savinje v Laškem bomo uporabili naslednje programe:

- AutoCAD 2007,
- CGS Aquaterra 2007,
- HEC-RAS 3.1.3.

Z AutoCAD-om bomo pripravili situacijo, vzdolžno in prečne osi ter višinske točke. S pomočjo Aquaterre bomo določili vse osi, pripisali posamezne višinske točke določenim osem in izvozili te podatke za nadaljnjo obelavo. HEC-RAS pa je program, v katerem bomo analizirali pretočne razmere.

Rezultate, dobljene v HEC-RAS-u, bomo uvozili nazaj v AutoCAD, s katerim bomo predstavili dobljene rezultate.

5.1. AUTOCAD 2007

AutoCAD je najbolj razširjen CAD-program v svetovnem merilu. Je standard za 2D-računalniško risanje in je osnova za posebne nadgradnje.

V našem primeru bo le osnova, v kateri bomo obravnavali podatke vodotoka. V njem bomo pripravili vse, kar bomo pozneje potrebovali za določitev vzdolžnih in prečnih osi.

V AutoCAD-u tako dobimo pregledno situacijo področja Savinje skozi Laško, vse preostalo pa naredimo v Aquaterri.

Na koncu bomo v AutoCAD-u predstavili rezultate, dobljene v HEC-RAS-u.

5.2. CGS AQUATERRA

Aquaterra je samo dodatek za AutoCAD, ki nam omogoča izdelovanje projektov za potrebe vodnega inženiringa. Z njim lahko uvažamo višinske točke terena, izdelujemo osi in jim pripisujemo prej omenjene točke. Vse dobljene podatke o odseku vodotokov lahko izvažamo v različne programe, v katerih pozneje izvajamo različne analize.

Mi smo s pomočjo Aquaterre izdelali prikaz odseka Savinje v spodnjem toku skozi Laško. Določili smo vzdolžne osi Savinje in dveh njenih pritokov, Rečice in Lahomnice. Vsaki vzdolžni osi smo določili prečne osi. Odsek Savinje jih vsebuje 84, Rečice 4 in Lahomnice 5. Vsaki prečni osi smo pripisali višinske točke, ki so sestavljene iz XYZ-koordinat. To pomeni, da je vsaka točka sestavljena iz XY-koordinat, ki določajo položaj točke na ravnini, Z-koordinata pa je višina površja te točke.

Z izvozom vzdolžnih osi smo dobili vzdolžni profil obrnvanega odseka Savinje, Rečice in Lahomnice, na katerih bomo pozneje lahko predstavljali gladine VV oziroma rezultate, dobljene z analizo v program HEC-RAS.

Dobili smo tudi prečne profile na vseh vzdolžnih oseh. Tudi na njih bo mogoča predstavitev višine visokih voda.

Po izvozu vseh podatkov pa lahko te uvozimo v druge programe, kot sta Mike11 in HEC-RAS. Tega smo za analizo uporabili tudi mi.

5.3. HEC-RAS 3.1.3

Za izdelavo matematičnega hidravličnega modela smo uporabili program HEC-RAS, različico 3.1.3. Program so razvili pri U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. Program omogoča modeliranje enodimenzionalnega stalnega in nestalnega neenakomerne

- 24 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

toka. Program upošteva energijske izgube zaradi hrapavosti struge in zožitve oziroma razširitve prereza vodnega toka.

Z uvozom podatkov iz prej opisanega programa smo dobili grafično podlogo za analizo. Tej dodamo še elemente, ki jih prej nismo mogli. To so mostovi in prepusti. Ko imamo matematični model tako pripravljen, moramo le še določiti Manningove koeficiente, robne pogoje in pretoke, ki jih bomo analizirali.

Za našo analizo smo pripravili tri osnovne modele. Primer brez regulacij, primer z regulacijo pri Zdravilišču Laško in primer z dvema regulacijama, pri Zdravilišču Laško in regulacijo marijagraškega ovinka.

6. MODEL SAVINJE IN PRITOKOV

Za potrebe analize pretočnih razmer smo morali izdelati tri osnovne različice matematičnih modelov Savinje. Iz teh modelov bomo lahko izpeljali vse nadaljnje različice, ki jih bomo potrebovali pri analizi različnih pretokov in profilov.

Osnovni modeli so bili narejeni na podlagi dokončanih in načrtovanih regulacij, tako jih ločimo glede na:

1. različica – matematični model pred načrtovanima regulacijama pri Zdravilišču Laško in marijagraškem ovinku,
2. različica – matematični model z dokončano regulacijo pri Zdravilišču Laško,
3. različica – matematični model z dokončanima regulacijama pri Zdravilišču Laško in marijagraškem ovinku.

Odsek, ki ga bomo obravnavali, se začne na KM 12.9+84.47 od izliva Savinje v Savo pri Zidanem Mostu.

Naš odsek je v prvi in drugi različici dolg 3.271,27 m in se začne 1.344,09 m (na že omenjeni kilometraži Savinje) dolvodno od železniškega mostu v Laškem, konča pa se 139,21 m gorvodno od cestnega mostu v Jagoče. Obravnavani odsek tako obsega celotno strugo Savinje, ki teče skozi Laško ter ima neposreden vpliv na samo mesto in stanovanjske objekte ob strugi.

V model smo vključili tudi dva večja pritoka Savinje v Laškem, in sicer desni pritok Rečico in levi pritok Lahomnico. Lahomnica se izliva v Savinjo na KM 0.6+08.21, Rečica pa na KM 2.4+34.24. Odseka modelov pritokov zajemata le zadnji del potokov, in sicer model Rečice dolg 103,75 m in model Lahomnice v prvi in drugi različici dolg 122,16 m, v tretji pa se ta podaljša.

V vse tri različice so vključeni tudi mostovi preko Savinje. Tako imamo dva cestna mostova in enega železniškega. Glavni cestni most v Laškem je na KM 1.6+92.16, cestni most v Jagoče pa na KM 3.1+32.60. Železniški most je na KM 1.3+44.09.

- 26 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

Na odseku Lahomnice sta cestni most in prepust pod železniško progo. Cestni most je na KM 0.0+94.67 gorvodno od izliva v Savinjo, prepust pod železnico pa na KM 0.0+38.70.

Za razliko od prve in druge različice se tretja spremeni zaradi regulacije marijagraškega ovinka. Celotni obravnavani odsek se skrajša za 80 m in znaša 3.191,27 m. Tako je kilometraža vseh objektov preko struge gorvodno od železniškega mostu za 80 m manjša. Cestni most v Laškem je tako na KM 1.6+12.16, v Jagoče na KM 3.0+52.60 in železniški na KM 1.2+64.09. Vpliv regulacije v modelu smo uredili tako, da smo spremenili razdalje med profili, kar je posledica spremenjene vzdolžne osi. V predstavitvi bomo uporabili prvotne razdalje v tem delu regulacije, saj drugače primerjava rezultatov ni mogoča.

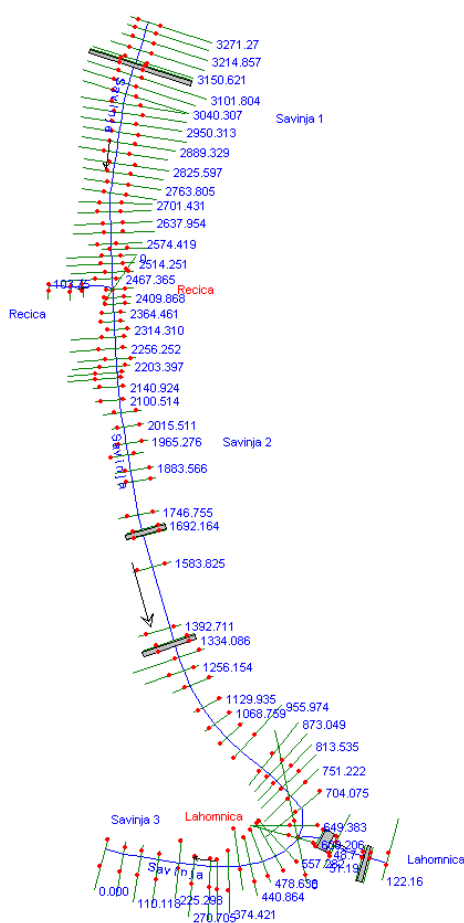
Pomembno je še poudariti, da se v tretji različici os Lahomnice priključi osi Savinje nižje kot v prvi in drugi. Izliva se v profilu 14 na KM 0.5+49.46.

Spremeni se tudi pritok Lahomnica. Ker se struga Savinje pomakne v desno, pride do sekanja ovinka, tako da se vzdolžna os Lahomnice poveča za 88,22 m. Kilometraža od izliva znaša za cestni most KM 0.1+82.95, za železniški propust pa KM 0.1+31.30. Gorvodno od železniškega prepusta se spremeni tudi potek struge. Struga se glede na prejšnji potek izravna in naredi neposreden vtok v prepust. V modelu smo to upoštevali tako, da smo spremenili razdalje med prečnimi profili.

Na omenjenih odsekih so vključene tudi prečne osi oziroma profili. Na vzdolžni osi Savinje jih je 84, na Rečici 4 in na Lahomnici 5. Profili zajemajo tako glavno strugo vodotoka kot tudi poplavna območja leve in desne strani.

Geodetske meritve prerezov na Savinji gorvodno od železniškega mostu in na Rečici so bile opravljene novembra 2004. Prerezi dolvodno od cestnega mostu in na Lahomnici pa oktobra 2002.

Celoten model obravnavanega odseka je prikazan na sliki 13. Model na sliki je s prve različice pred obema regulacijama prikazan v programu HEC-RAS.



Slika 13, model Savinje prve različice pred regulacijama

6.1. MERITVE SLEDOV VISOKE VODE LETA 2007

Za umeritev modela druge različice, to je modela z dokončano regulacijo pri zdravilišču, smo morali sami poiskati sledove VV vzdolž celotnega obravnavanega odseka iz poplave leta 2007. Vidne sledove VV smo poiskali na objektih, ki so bili poplavljeni. Tako smo dobili 11 točk vzdolž odseka na poseljenem območju ob Savinji. Točke merjenja so prikazane na sliki 14, gladine VV pa v preglednici 6. Na treh območjih nismo našli sledi, tako da tu nimamo gladin VV. Ta območja so:

- območje dolvodno od nakupovalnega središča Tuš do Zdravilišča Laško,
- območje zdraviliškega parka,
- območje dolvodno od gostišča Bezgovšek.

Za meritve gladin VV smo dobili tri poligonske točke, s katerimi smo določili vseh 11 sledi VV. Podatki o poligonskih točkah so prikazani v preglednici 5.

poligonska točka	višina [m]	opis
točka 1	225,20	cestni most v Jagoče
točka 2	222,21	cestni podhod pod železnico pri Zdravilišču Laško
točka 3	221,78	cestni most v Laškem

Preglednica 5, podatki o poligonskih točkah

Na območju okoli cestnega mostu v Jagoče smo uporabili poligonsko točko 1, s katero smo izmerili tri sledi VV. Ena sled je bila na stanovanjskem objektu gorvodno od mostu, druga je bila označba na tleh, tretja pa je bila sled na trgovskem objektu.

S pomočjo druge poligonske točke smo določili gladino VV v okolici Zdravilišča Laško, sled pa je bila na kotlovnici zdravilišča ob sotočju Savinje in Rečice.

Tretja poligonska točka nam je služila za določitev največ sledi VV, in sicer kar šest. Štiri sledi VV so bile na stanovanjskih objektih, od tega ena gorvodno od mostu in tri dolvodno, dve sta bili gospodarskih objektih, ena izmed njiju je bila gorvodno od cestnega mostu na Kulturnem centru Laško, druga pa dolvodno od mostu na skladišču Pivovarne Laško.

Zadnja točka gladine VV je bila izmerjena na VP Laško.

Vse točke smo določili s pomočjo nivelirja LEICA NA724 in nivelirne late. Točke VV smo določevali z nivelmanom, izhodiščne točke pa so bile omenjene poligonske točke. Končni nivelman ni smel odstopati za več kot ± 2 cm; če je bila napaka večja, smo meritev ponovili.

6.2. TOČKE MERJENJA GLADIN POPLAV 1998 IN 2007

Za umerjanje matematičnih modelov smo morali dobiti točke višin Savinje med poplavami leta 1998 in 2007. S točkami iz leta 1998 bomo lahko umerili matematični model iz prve različice, s tistimi iz leta 2007 pa mode iz druge različice.

Poplava leta 1998 je bila že izmerjena, tako da smo točke dobili v digitalni obliki, višino vode v poplavi 2007 pa smo izmerili sami. Na sliki 14 so prikazane lokacije merjenja, v preglednici 6 pa višina visoke vode in stacionaža, ki smo ji pripisali določene višine.

profil	kilometraža	VV 1998 [m]	VV 2007 [m]
20	0.8+13.53	221,00	
21	0.8+42.40		220,41
26	1.0+68.76	221,48	
28	1.2+07.42	221,79	
30	1.2+99.10		221,19
M - 31	1.3+54.09	222,09	
32	1.3+92.71		221,39
33	1.5+83.83	222,11	221,53
M - 34	1.6+82.16	222,37	221,62
36	1.8+48.89		221,71
38	1.9+31.23	222,42	
39	1.9+65.28		221,92
50	2.3+14.31	222,62	
55	2.4+34.24	222,94	222,15
63	2.6+37.95	223,27	
74	2.9+81.05		222,76
78	3.1+01.80		222,83
82	3.2+14.86		223,04
84	3.2+71.28	223,60	

Preglednica 6, višine VV leta 1998 in 2007



Slika 14, točke merjenja visoke vode

6.3. HIDROLOŠKE KOLIČINE

Uporabljene so bile vodne količine, povzete po hidrološki študiji Savinja od vtoka Pake do izliva v Savo brez povodja Voglajne (VGI, C-158. september 1994). Uporabljene podatke o pretokih povzemamo v preglednici 7.

	Q₁₀₀ [m ³ /s]	Q₅₀ [m ³ /s]	Q₂₀ [m ³ /s]	Q₁₀ [m ³ /s]	Q₅ [m ³ /s]
Savinja do Rečice	1.389	1.257	1.070	931	792
Savinja do VP Laško	1.400	1.267	1.078	939	798
Savinja od Lahomnice	1.410	1.276	1.086	945	804
Rečica do Savinje	75	65	53	44	35
Lahomnica do Savinje	140	119	95	77	60

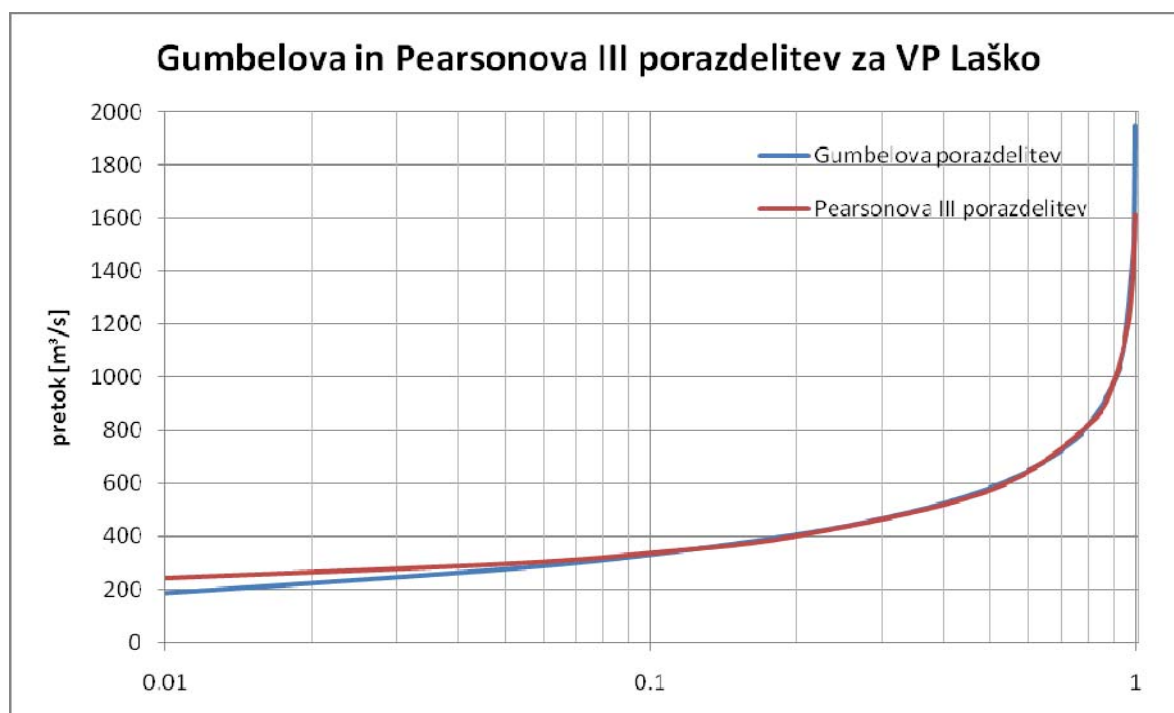
Preglednica 7, uporabljene vodne količine

6.3.1. HIDROLOŠKE KOLIČINE Z UPOŠTEVANJEM VSEH NAJVEČJIH LETNIH PRETOKOV MED LETOMA 1908 IN 2007 NA VP LAŠKO

Zaradi starejših podatkov stoletnih vod smo se odločili, da izdelamo nove porazdelitve VV z upoštevanjem največjih letnih pretokov za vsa leta opazovanja na VP Laško od leta 1908 do vključno leta 2007.

Nove porazdelitve smo izračunali zaradi poplav v letih 1998 in 2007, dobili smo nekoliko večje hidrološke količine. Izbrali smo si Gumbelovo in Pearsonovo III-porazdelitev, ki sta dali zelo primerljive in tudi pričakovane rezultate. Porazdelitvi sta prikazani na grafikonu 5, novejša vodna količina za VP Laško obeh porazdelitev pa v preglednici 8.

- 32 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.



Grafikon 5, Gumbelova in Pearsonova III-porazdelitev za VP Laško

	F(z) faktor frekvence	Gumbel	Pearson III
		pretok [m ³ /s]	pretok [m ³ /s]
Q₅	0,80	820,48	823,15
Q₁₀	0,90	977,36	986,73
Q₂₀	0,95	1.127,55	1.138,32
Q₂₅	0,96	1.174,64	1.187,78
Q₅₀	0,98	1.315,73	1.333,15
Q₁₀₀	0,99	1.467,81	1.490,84

Preglednica 8, pretoki VV za VP Laško za Gumbelovo in Pearsonovo III-porazdelitev

Za analize pa smo kljub temu uporabili vodne količine, povzete po hidrološki študiji Savinja od vtoka Pake do izliva v Savo brez povodja Voglajne (VGI, C-158. september 1994), ki so navedene v preglednici 7, saj nismo imeli podatkov o pretokih za izračun novih porazdelitev vodnih količin za Savinjo do vtoka Rečice in Savinje od vtoka Lahomnice. Prav tako nismo imeli novih podatkov o pritokih Rečice in Lahomnice.

6.4. UMERJANJE MODELOV

Umerjali bomo samo prvo in drugo različico matematičnih modelov, saj imamo za njiju že izmerjene profile in določene tako pretoka kot tudi potek gladin visokih voda. Tretja različica pa je model, za katerega bomo analizirali le, kakšne bi bile visoke vode v primeru marijagraške regulacije, zato bomo privzeli umerjeno drugo različico, torej bomo uporabili koeficiente hrapavosti s tega modela.

Modela iz prve različice bomo umerjali glede na visoke vode 5. novembra 1998, model iz druge različice pa glede na visoke vode 19. septembra 2007.

Za osnovo smo vzeli koeficient hrapavosti $n_G = 0,034$ za glavno strugo in $n_G = 0,1$ za poplavna območja na oseh Savinje, Rečice in Lahomnice. Za poplavna območja pustimo koeficient nespremenjen, v glavni strugi pa ga umerjamo glede na visoke vode iz let 1998 in 2007.

Določili smo še, da morajo biti koeficienti hrapavosti znotraj mej: $n_G = 0,020 \div 0,100$. Pri teh koeficientih višina vode v modelu in merjene višine niso smele odstopati za več kot ± 3 cm.

V splošnem nam te meje niso povzročale težav, razen v enem primeru v prvi različici, ko kljub najmanjšemu mogočemu koeficientu nismo dosegli željene višine. Težaven je bil prvi prečni profil, v katerem je bila merjena višina za 18 cm nižja kot izračunana, kljub minimalno predpostavljenemu koeficientu hrapavosti.

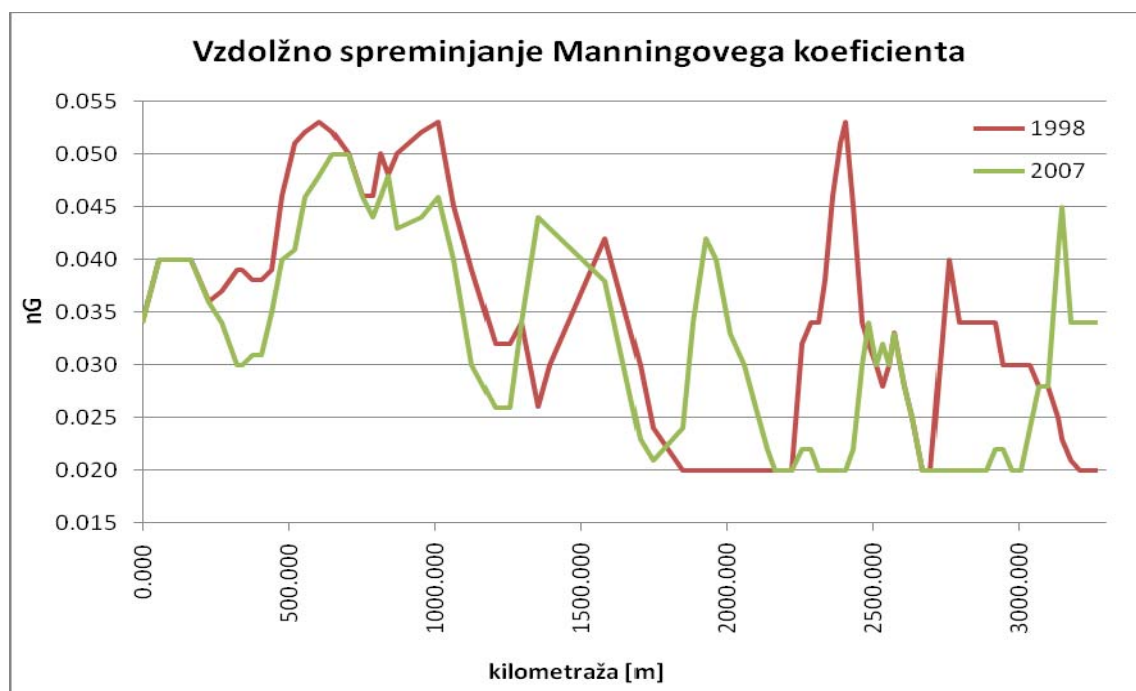
V koeficientu hrapavosti n_G smo upoštevali vse koeficiente izgub, tudi lokalne izgube oziroma izgube zaradi zožitve in razširitve, saj smo za celoten odsek uporabili prednastavljene vrednosti (default values), za koeficient zožitve 0,1 in za koeficient razširitve 0,3.

V prvi različici smo dobili koeficiente hrapavosti v mejah $[0,020 \div 0,053]$, v drugi pa $[0,020 \div 0,050]$. Vidimo, da so koeficienti znotraj mej primerljivi, vendar se glede na same profile nekoliko razlikujejo. Razlog za takšna odstopanja je v zgornjem delu struge zagotovo izvedena regulacija struge in s tem zmanjšana hrapavost, dolvodno pa bi lahko bil razlog za drugačne koeficiente zaraščenost struge, drugačen letni čas poplav, manjši pretok v letu 2007. Vzdolžno spreminjanje koeficienta hrapavosti n_G iz obeh variant je prikazano na grafikonu 6.

- 34 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

Na pritokih smo pustili privzete vrednosti koeficientov, saj na teh odsekih nimamo merjenih točk visoke vode, gre pa tudi za zelo kratke odseke, s katerih potrebujemo samo pretoke, saj na njih ne bomo analizirali visokih vod.

Umerjeni koeficienti hrupavosti so prikazani v preglednici 9. Var. 1 predstavlja umerjeno prvo različico matematičnega modela, to je iz leta 1998, var. 2 pa drugo različico iz leta 2007.



Grafikon 6, prikaz spreminjanja Manningovega koeficienta v vzdolžnem profilu za leti 1998 in 2007

kilometraža	koeficient hrapavosti		kilometraža	koeficient hrapavosti		kilometraža	koeficient hrapavosti	
	1998	2007		1998	2007		1998	2007
0.0+00.00	0,034	0,034	1.9+31.23	0,020	0,042	2.9+81.05	0,030	0,020
0.0+57.74	0,040	0,040	1.9+65.28	0,020	0,040	3.0+10.03	0,030	0,020
0.1+10.12	0,040	0,040	2.0+15.51	0,020	0,033	3.0+40.31	0,030	0,024
0.1+64.45	0,040	0,040	2.0+61.66	0,020	0,030	3.0+71.89	0,028	0,028
0.2+25.30	0,036	0,036	2.1+00.51	0,020	0,026	3.1+01.80	0,028	0,028
0.2+70.71	0,037	0,034	2.1+40.92	0,020	0,022	3.1+25.60	0,025	0,041
0.3+21.55	0,039	0,030	2.1+67.83	0,020	0,020	3.1+50.62	0,023	0,045
0.3+42.07	0,039	0,030	2.1+84.19	0,020	0,020	3.1+82.64	0,021	0,034
0.3+74.42	0,038	0,031	2.2+03.40	0,020	0,020	3.2+14.86	0,020	0,034
0.4+08.11	0,038	0,031	2.2+22.80	0,020	0,020	3.2+43.87	0,020	0,034
0.4+40.86	0,039	0,035	2.2+56.25	0,032	0,022	3.2+71.28	0,020	0,034
0.4+78.64	0,046	0,040	2.2+89.76	0,034	0,022			
0.5+20.26	0,051	0,041	2.3+14.31	0,034	0,020			
0.5+57.28	0,052	0,046	2.3+38.55	0,038	0,020			
0.6+08.21	0,053	0,048	2.3+64.46	0,046	0,020			
0.6+49.38	0,052	0,050	2.3+90.63	0,051	0,020			
0.7+04.07	0,050	0,050	2.4+09.87	0,053	0,020			
0.7+51.22	0,046	0,046	2.4+34.24	0,045	0,022			
0.7+86.67	0,046	0,044	2.4+67.36	0,034	0,030			
0.8+13.53	0,050	0,046	2.4+88.46	0,032	0,034			
0.8+42.40	0,048	0,048	2.5+14.25	0,030	0,030			
0.8+73.05	0,050	0,043	2.5+37.75	0,028	0,032			
0.9+55.97	0,052	0,044	2.5+58.31	0,030	0,030			
1.0+12.41	0,053	0,046	2.5+74.42	0,033	0,033			
1.0+68.76	0,045	0,040	2.6+10.26	0,028	0,028			
1.1+29.93	0,039	0,030	2.6+37.95	0,025	0,025			
1.2+07.42	0,032	0,026	2.6+73.94	0,020	0,020			
1.2+56.15	0,032	0,026	2.7+01.43	0,020	0,020			
1.2+99.10	0,034	0,034	2.7+32.27	0,030	0,020			
1.3+54.09	0,026	0,044	2.7+63.80	0,040	0,020			
1.3+92.71	0,030	0,043	2.7+97.13	0,034	0,020			
1.5+83.83	0,042	0,038	2.8+25.60	0,034	0,020			
1.6+82.16	0,030	0,023	2.8+57.58	0,034	0,020			
1.7+46.75	0,024	0,021	2.8+89.33	0,034	0,020			
1.8+48.89	0,020	0,024	2.9+20.63	0,034	0,022			
1.8+83.57	0,020	0,034	2.9+50.31	0,030	0,022			

Preglednica 9, umerjeni koeficienti hrapavosti v prvi in drugi varianti

7. VISOKE VODE Q_{100}

Za analizo visokih vod Q_{100} bomo uporabili vse tri različice modelov in primerjali, kakšen je pretok Savinje Q_{100} brez regulacije, z regulacijo pri Zdravilišču Laško in še z regulacijo marijagraškega ovinka.

Iz hidroloških količin imamo podatek, kolikšen je pretok Savinje pri Q_{100} in kolikšen je pretok njenih pritokov, ki so vključeni v model (preglednica 7).

S programom HEC-RAS smo naredili analize za vse tri modele, rezultati višine vode pa so prikazani v preglednici 11.

Robne pogoje za modele smo dobili iz projektov marijagraškega ovinka. Pridobljeni so bili kot višina stoletne VV v našem zadnjem dolvodnem profilu. V1 in v2 sta za neregulirano stanje, v3 pa za regulirano stanje marijagraškega ovinka. Robni pogoji so prikazani v preglednici 10. Te smo pripisali zadnjemu dolvodnemu profilu, kot ga zahteva program.

	robni pogoji [m]
Q100 v1	220,17
Q100 v2	220,17
Q100 v3	219,63

Preglednica 10, spodnji robni pogoji za model Savinje

Višine vode Q_{100} v1 veljajo za matematični model prve različice, Q_{100} v2 za drugi model in Q_{100} v3 za tretji, popolnoma reguliran model.

Če primerjamo višine vodostajev iz drugega in tretjega modela oziroma modela z dokončanima regulacijama pri Q_{100} , dobimo rezultate, ki pozitivno vplivajo na znižanje vodostaja. Tako vidimo, da so v prvi različici višine vode najvišje.

Regulacija pri zdravilišču znižuje gladine vode od začetka regulacije gorvodno do konca modela. Višina vode se pri istih pretokih tako zniža tudi za 42 cm. Na območju samega zdravilišča, zaradi katerega je bila regulacija tudi pogoj, pa je znižanje med 15 in 35 cm.

Dolvodno regulacija iz drugega modela ne vpliva bistveno, čeprav se gladina visoke vode zniža do 20 cm, kar bi lahko bila tudi napaka umerjanja modela.

Model iz tretje različice pa da v primerjavi s popolnoma neregulirano strugo precej boljše rezultate, saj zniža gladine na celotnem odseku. Gladina se v tem primeru zniža med 40 in 108 cm. Minimalen spust gladine je na območju cestnega mostu v Jagoče, najbolj pa se gladina zniža na območju železniškega in cestnega mostu v Laškem. Tudi dolvodno od železniškega mostu je padec gladine vsaj 50 cm. Na območju okoli zdravilišča, glede na drugo različico, gladina pade še za dodatnih 30 do 45 cm.

Pri zdajšnjem stanju, to je pri izvedeni regulaciji pri Zdravilišču Laško, bi regulacija marijagraškega ovinka prinesla še dodatnih 14 do 92 cm znižanja visokih vod. Najmanjši padec je seveda v zgornjem delu modela, najbolj pa marijagraška regulacija vpliva na območje v samem središču Laškega, to je v območju obeh mostov, cestnega in železniškega.

profil	kilometraža	Q100 v1	Q100 v2	Q100 v3
1	0.0+00.00	220,17	220,17	219,63
2	0.0+57.74	220,20	220,20	219,67
3	0.1+10.12	220,22	220,22	219,72
4	0.1+64.45	220,36	220,36	219,78
5	0.2+25.30	220,41	220,41	219,82
6	0.2+70.71	220,48	220,46	219,84
7	0.3+21.55	220,53	220,50	219,90
8	0.3+42.07	220,54	220,51	219,93
9	0.3+74.42	220,62	220,59	219,97
10	0.4+08.11	220,64	220,61	220,00
11	0.4+40.86	220,69	220,65	220,01
12	0.4+78.64	220,76	220,72	220,03
13	0.5+20.26	220,76	220,71	220,01
14	0.5+57.28	220,78	220,73	220,00
15	0.6+08.21	220,76	220,68	220,01
16	0.6+49.38	220,82	220,74	220,03
17	0.7+04.07	220,92	220,85	220,08
18	0.7+51.22	220,96	220,89	220,15
19	0.7+86.67	221,00	220,93	220,18
20	0.8+13.53	221,01	220,93	220,20
21	0.8+42.40	221,00	220,92	220,21
22	0.8+73.05	221,03	220,93	220,22
24	0.9+55.97	221,34	221,22	220,37
25	1.0+12.41	221,36	221,22	220,44
26	1.0+68.76	221,48	221,31	220,51
27	1.1+29.93	221,60	221,41	220,57
28	1.2+07.42	221,79	221,58	220,72
29	1.2+56.15	221,85	221,62	220,78
30	1.2+99.10	221,90	221,69	220,82
31	1.3+54.09	222,09	221,93	221,05
32	1.3+92.71	222,02	221,87	220,95
33	1.5+83.83	222,12	222,04	221,22
34	1.6+82.16	222,34	222,13	221,40
35	1.7+46.75	222,42	222,20	221,51
36	1.8+48.89	222,45	222,25	221,62
37	1.8+83.57	222,43	222,25	221,64
38	1.9+31.23	222,46	222,34	221,78

... se nadaljuje

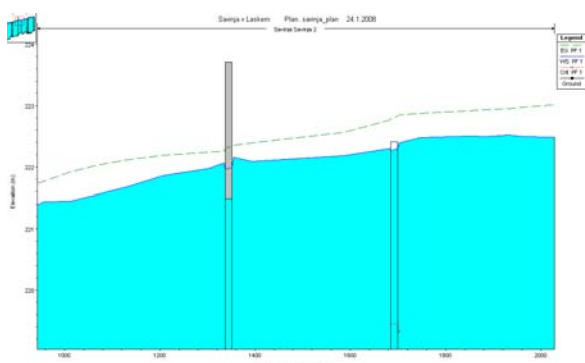
profil	kilometraža	Q100 v1	Q100 v2	Q100 v3
39	1.9+65.28	222,44	222,35	221,80
40	2.0+15.51	222,43	222,39	221,87
41	2.0+61.66	222,44	222,43	221,92
42	2.1+00.51	222,45	222,45	221,95
43	2.1+40.92	222,48	222,49	222,00
44	2.1+67.83	222,56	222,56	222,09
45	2.1+84.19	222,57	222,57	222,11
46	2.2+03.40	222,59	222,59	222,13
47	2.2+22.80	222,59	222,60	222,14
48	2.2+56.25	222,53	222,52	222,05
49	2.2+89.76	222,59	222,56	222,12
50	2.3+14.31	222,58	222,58	222,16
51	2.3+38.55	222,69	222,64	222,23
52	2.3+64.46	222,75	222,67	222,27
53	2.3+90.63	222,81	222,68	222,28
54	2.4+09.87	222,86	222,71	222,32
55	2.4+34.24	222,91	222,67	222,28
56	2.4+67.36	223,08	222,73	222,35
57	2.4+88.46	223,09	222,74	222,36
58	2.5+14.25	223,10	222,86	222,49
59	2.5+37.75	223,09	222,90	222,54
60	2.5+58.31	223,08	222,91	222,55
61	2.5+74.42	223,12	222,92	222,57
62	2.6+10.26	223,24	223,03	222,69
63	2.6+37.95	223,28	223,02	222,69
64	2.6+73.94	223,35	223,03	222,70
65	2.7+01.43	223,36	223,05	222,72
66	2.7+32.27	223,42	223,06	222,73
67	2.7+63.80	223,50	223,16	222,84
68	2.7+97.13	223,52	223,19	222,88
69	2.8+25.60	223,58	223,19	222,96
70	2.8+57.58	223,62	223,36	223,08
71	2.8+89.33	223,65	223,38	223,14
72	2.9+20.63	223,66	223,28	223,00
73	2.9+50.31	223,66	223,29	223,15
74	2.9+81.05	223,70	223,30	223,07
75	3.0+10.03	223,73	223,31	223,09

... nadaljevanje

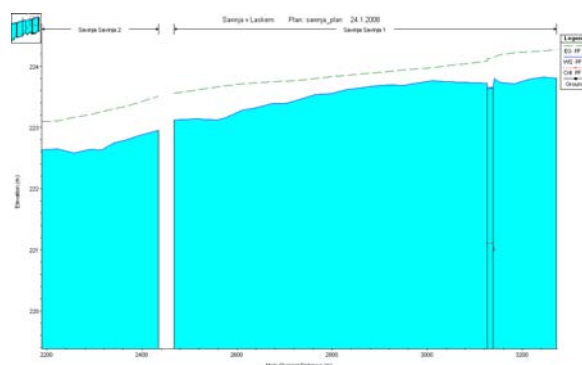
profil	kilometraža	Q100 v1	Q100 v2	Q100 v3
76	3.0+40.31	223,71	223,29	223,07
77	3.0+71.89	223,71	223,30	223,08
78	3.1+01.80	223,70	223,34	223,11
79	3.1+25.60	223,77	223,44	223,24
80	3.1+50.62	223,71	223,36	223,15
81	3.1+82.64	223,69	223,37	223,15
82	3.2+14.86	223,76	223,52	223,30
83	3.2+43.87	223,80	223,58	223,38
84	3.2+71.28	223,78	223,57	223,38

Preglednica 11, VV pri Q₁₀₀ v vseh treh različicah

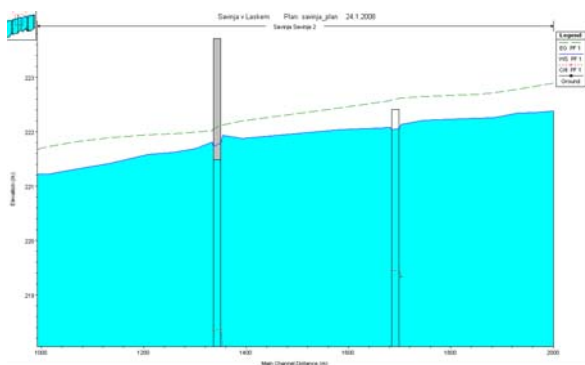
Velik vpliv na stanje VV pa imajo tudi mostovi. Pri vseh treh mostovih je v vzdolžnem profilu pri Q₁₀₀ vidno, da vplivajo na zaježitev Savinje. To je prikazano na spodnjih slikah mostov. Na slikah 15, 17 in 19 sta prikazana železniški in cestni most v Laškem, na slikah 16, 18 in 20 pa cestni most v Jagoče. Na slikah je viden tudi padec gladin zaradi regulacij. Sliki 15 in 16 sta brez regulacije, sliki 17 in 18 sta z regulacijo pri zdravilišču, na slikah 19 in 20 se vidijo tudi vplivi regulacije marijagraškega ovinka. Vsi vzdolžni prerezi so prikazani tudi v prilogi 15.1.



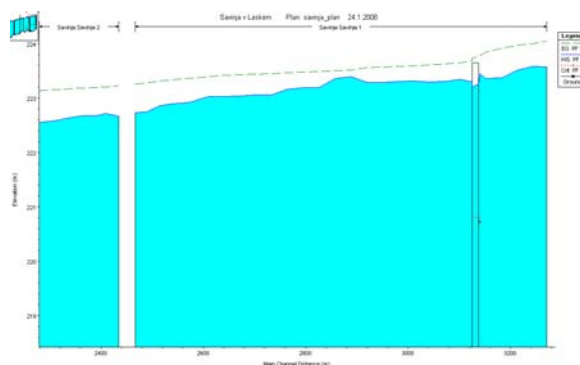
Slika 15, vzdolžni prerez mostov v1



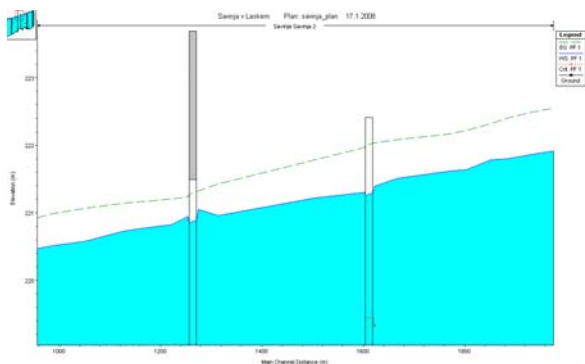
Slika 16, vzdolžni prerez mostov v1



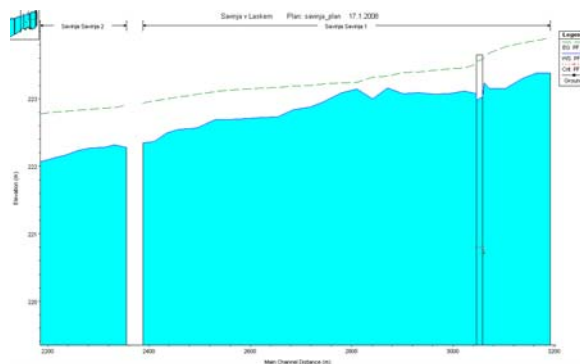
Slika 17, vzdolžni prerez mostov v2



Slika 18, vzdolžni prerez mostov v2



Slika 19, vzdolžni prerez mostov v3



Slika 20, vzdolžni prerez mostov v3

Regulacije znižajo gladine na celotnem odseku struge, pri mostovih pa se pri tako velikem pretoku ($Q_{100} = 1.400 \text{ m}^3/\text{s}$) struga še vedno zajezi, s tem pa se gladina gorvodno od mostov minimalno dvigne.

Zaradi regulacije se pri mostovih zniža gladina visokih vod. Najvišji upad je zaradi prve regulacije pri cestnem mostu v Jagoče in znaša 33 cm. Nadaljnja regulacija marijagraškega ovinka prinese še dodatnih 20 cm upada in skupaj znaša 53 cm. Regulacija pri zdravilišču na dolvodna mostova ne vpliva pomembno, saj se gladina zniža za okoli 21 cm. Glavni vpliv na ta dva mostova ima druga regulacija, ki naj bi glede na prvotno stanje znižala gladine stoletnih vod za 104 cm pri železniškem mostu in za 94 cm pri cestnem mostu v Laškem. Višine vode so prikazane v preglednici 12.

	kilometraža	Q100 v1 [m]	Q100 v2 [m]	razlika [m]	Q100 v3 [m]	razlika [m]
železniški most	1.3+44.09	222,09	221,93	-0,16	221,05	-1,04
cestni most v Laškem	1.6+92.16	222,34	222,13	-0,21	221,40	-0,94
cestni most v Jagoče	3.1+32.61	223,77	223,44	-0,33	223,24	-0,53

Preglednica 12, padec gladin pri mostovih

8. VPLIV MOSTOV PRI Q_{100}

V tem poglavju bomo analizirali vse mostove na našem odseku Savinje. Kot smo opisali v poglavju o modelu Savinje, imamo vzdolž osi Savinje tri mostove, in sicer:

- železniški most v Laškem KM 1.3+44.09
- cestni most v Laškem KM 1.6+92.16
- cestni most v Jagoče KM 3.1+32.61

Modele smo pripravili tako, da smo v vseh treh različicah, se pravi pred katero koli regulacijo, z regulacijo pri zdravilišču in z obema regulacijama, pripravili modele z manj mostovi. Tako smo dobili modele brez, z enim ali dvema mostovoma. Vseh modelov skupaj je sedem, različice z mostovi pa so naslednje:

1. brez mostov
2. cestni most v Jagoče
3. cestni most v Laškem
4. železniški most v Laškem
5. cestni most v Jagoče, cestni most v Laškem
6. cestni most v Jagoče, železniški most v Laškem
7. cestni most v Laškem, železniški most v Laškem.

Vse te modele smo primerjali z osnovnimi modeli v vseh treh različicah, ko imajo modeli vse omenjene mostove. Za osnovo smo vzeli model iz druge različice, saj ta prikazuje zdajšnje stanje.

V omenjenih modelih smo uporabili znane vodne količine in robne pogoje, saj analiziramo vplive mostov glede na stoletne vode Q_{100} , ki so prikazane v preglednici 7. Za te vodne količine pa imamo tudi robne pogoje, ki so zapisani preglednici 9.

Pri analizi modelov smo se osredinili predvsem na dva dela, s katerima bi lahko prikazali, kakšen vpliv ima posamezen most oziroma kombinacija mostov na potek gladine pri Q_{100} , pri zdajšnjem stanju, to je v drugi različici, v drugem delu pa smo hoteli ugotoviti, kakšen vpliv imajo regulacije in mostovi skupaj na višino stoletnih vod.

8.1. REZULTATI ANALIZ

Kakor smo si zastavili modele za analizo, bomo predstavili tudi rezultate teh analiz. V prvem delu bomo pogledali, kako vplivajo posamezni mostovi in skupina mostov na višino vode. Drugi del pa bo primerjava različic osnovnih modelov, kjer bomo pregledali, kaj prinesejo različne regulacije v kombinaciji z mostovi oziroma brez njih.

8.2. VPLIV POSAMEZNIH MOSTOV NA MODELU DRUGE RAZLIČICE – SEDANJE STANJE

Kot smo omenili, smo si za osnovni model, s katerim bomo primerjali vse rezultate, izbrali model druge različice. To je model, ki predstavlja zdajšnje stanje Savinje v Laškem. Za primerjavo smo izdelali sedem modelov, ki so predstavljeni zgoraj. V tem poglavju bomo uporabili vse modele razen dveh. To sta modela, ko imamo na Savinji samo cestni most v Laškem, in model, ko imamo samo cestni most v Jagočah. Tako smo se odločili, ker nam kombinacije mostov dajejo seštevek padca gladin, zato jih pri tej analizi ne potrebujemo, saj jih lahko kombiniramo tako, da seštejemo padec gladin in dobimo njihovo kombinacijo.

- 44 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

Vpliv posameznega mostu smo prikazali v preglednicah. Za vsak most smo povzeli vpliv šestih profilov dolvodno in šestih gorvodno. S temi rezultati lahko lepo sklepamo o dolvodnem in gorvodnem vplivu mostu.

8.2.1. CESTNI MOST V JAGOČE

Preglednica 13 prikazuje stanje na območju cestnega mostu v Jagoče, kjer je lepo vidno, da ta most, kot tudi preostala, nima nobenega dolvodnega vpliva. Vpliv gorvodno pa je dokaj očiteno. Most v Jagočah zajezi reko in s tem zviša gladino kar za 8 do 10 cm. V preglednici je padec gladin zaradi zajeze označen zeleno. Ker se model konča 150 m gorvodno od mostu, nimamo podatkov o tem, na kakšni razdalji gorvodno od mostu ta še ima vpliv. To bomo lahko opazili pri primerjavah gladin dolvodnih mostov.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
73	2.9+50.31	223,29	223,29	0,00
74	2.9+81.05	223,30	223,30	0,00
75	3.0+10.03	223,31	223,31	0,00
76	3.0+40.31	223,29	223,29	0,00
77	3.0+71.89	223,30	223,30	0,00
78	3.1+01.80	223,34	223,34	0,00
cestni most v Jagoče				
79	3.1+40.60	223,44	223,36	-0,08
80	3.1+50.62	223,36	223,27	-0,09
81	3.1+82.64	223,37	223,27	-0,10
82	3.2+14.86	223,52	223,44	-0,08
83	3.2+43.87	223,58	223,51	-0,07
84	3.2+71.28	223,57	223,50	-0,07

Preglednica 13, primerjava VV, če ni cestnega mostu v Jagoče

8.2.2. CESTNI MOST V LAŠKEM

Vpliv dolvodnega cestnega mostu v Laškem je prikazan v preglednici 14. V tej preglednici je prikazan tudi gorvodni vpliv, kar se v preglednici 13 ni dalo prikazati. Gorvodni vpliv je prikazan tri profile dolvodno in tri gorvodno od cestnega mostu v Jagoče.

Kot je vidno, je vpliv cestnega mostu v Laškem manjši od vpliva cestnega mostu v Jagoče. Gorvodno od laškega mostu se reka zajezi, vendar le za 3 do 4 cm. Dolvodno pa prav tako kot pri prejšnjem primeru ni vpliva mostu. Gorvodni vpliv sega do zadnjega prečnega profila, kjer se višina vode zmanjša za okoli 2 cm, kar je vidno tudi v preglednici 14.

V preglednici 15 je prikazan primer za različico, da je na celotnem odseku le železniški most. Obravnavamo torej primer zajezbe obeh cestnih mostov. Zajezba cestnega mostu v Laškem ostane ista, poveča pa se gladina gorvodno od cestnega mostu v Jagočah. Vidimo, da se gladina pri tem mostu dvigne še za dodatnih 8 do 10 cm, kar je višina, ki je bila analizirana pri različici, ko obravnavamo samo jagoški most. Celotna zajezba pri cestnem mostu v Jagoče je tako med 10 in 12 cm.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
28	1.2+07.42	221,58	221,58	0,00
29	1.2+56.15	221,62	221,62	0,00
30	1.2+99.10	221,69	221,69	0,00
31	1.3+54.09	221,93	221,93	0,00
32	1.3+92.71	221,87	221,87	0,00
33	1.5+83.83	222,04	222,04	0,00
cestni most v Laškem				
34	1.7+02.16	222,13	222,09	-0,04
35	1.7+46.75	222,20	222,17	-0,03
36	1.8+48.89	222,25	222,21	-0,04
37	1.8+83.57	222,25	222,22	-0,03

... se nadaljuje

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
28	1.2+07.42	221,58	221,58	0,00
29	1.2+56.15	221,62	221,62	0,00
30	1.2+99.10	221,69	221,69	0,00
31	1.3+54.09	221,93	221,93	0,00
32	1.3+92.71	221,87	221,87	0,00
33	1.5+83.83	222,04	222,04	0,00
cestni most v Laškem				
34	1.7+02.16	222,13	222,09	-0,04
35	1.7+46.75	222,20	222,17	-0,03
36	1.8+48.89	222,25	222,21	-0,04
37	1.8+83.57	222,25	222,22	-0,03

... se nadaljuje

- 46 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

... nadaljevanje

38	1.9+31.23	222,34	222,31	-0,03
39	1.9+65.28	222,35	222,32	-0,03
76	3.0+40.31	223,29	223,27	-0,02
77	3.0+71.89	223,30	223,28	-0,02
78	3.1+01.80	223,34	223,31	-0,03
cestni most v Jagoče				
79	3.1+40.60	223,44	223,42	-0,02
80	3.1+50.62	223,36	223,34	-0,02
81	3.1+82.64	223,37	223,35	-0,02

Preglednica 14, primerjava VV, če v Laškem ni cestnega mostu

... nadaljevanje

38	1.9+31.23	222,34	222,31	-0,03
39	1.9+65.28	222,35	222,32	-0,03
76	3.0+40.31	223,29	223,27	-0,02
77	3.0+71.89	223,30	223,28	-0,02
78	3.1+01.80	223,34	223,31	-0,03
cestni most v Jagoče				
79	3.1+40.60	223,44	223,33	-0,11
80	3.1+50.62	223,36	223,24	-0,12
81	3.1+82.64	223,37	223,25	-0,12

Preglednica 15, primerjava VV, če na Savinji ni cestnih mostov

8.2.3. ŽELEZNIŠKI MOST V LAŠKEM

Za zadnjo analizo smo primerjali še visoke vode, če v Laškem ne bi bilo železniškega mostu. Višine vode so prikazane v preglednici 16, kjer vidimo, da naredi železniški most zajezbo, primerljivo s cestnim mostom v Jagoče. Najvišja višina zajezbe, ki nastane za njim, je 10 cm. Dolvodno tudi tu ni vpliva. V preglednici 16 vidimo, da most vpliva na območje do konca našega modela, vendar se vpliv počasi zmanjšuje. Pri cestnem mostu v Jagočah se vpliv zmanjša za polovico, tako da je gladina tukaj manjša za 4 do 5 cm.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
25	1.0+12.41	221,22	221,22	0,00
26	1.0+68.76	221,31	221,31	0,00
27	1.1+29.93	221,41	221,41	0,00
28	1.2+07.42	221,58	221,58	0,00
29	1.2+56.15	221,62	221,62	0,00
30	1.2+99.10	221,69	221,69	0,00
železniški most v Laškem				
31	1.3+54.09	221,93	221,83	-0,10
32	1.3+92.71	221,87	221,77	-0,10
33	1.5+83.83	222,04	221,95	-0,09
cestni most v Laškem				
34	1.67+02.16	222,13	222,04	-0,09
35	1.7+46.75	222,20	222,12	-0,08
36	1.8+48.89	222,25	222,17	-0,08

...				
76	3.0+40.31	223,29	223,25	-0,04
77	3.0+71.89	223,30	223,26	-0,04
78	3.1+01.80	223,34	223,29	-0,05
cestni most v Jagoče				
79	3.1+40.60	223,44	223,40	-0,04
80	3.1+50.62	223,36	223,31	-0,05
81	3.1+82.64	223,37	223,31	-0,06

Preglednica 16, primerjava VV, če v Laškem ni železniškega mostu

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
25	1.0+12.41	221,22	221,22	0,00
26	1.0+68.76	221,31	221,31	0,00
27	1.1+29.93	221,41	221,41	0,00
28	1.2+07.42	221,58	221,58	0,00
29	1.2+56.15	221,62	221,62	0,00
30	1.2+99.10	221,69	221,69	0,00
železniški most v Laškem				
31	1.3+54.09	221,93	221,83	-0,10
32	1.3+92.71	221,87	221,77	-0,10
33	1.5+83.83	222,04	221,95	-0,09
cestni most v Laškem				
34	1.7+02.16	222,13	222,00	-0,13
35	1.7+46.75	222,20	222,08	-0,12
36	1.8+48.89	222,25	222,13	-0,12

...				
76	3.0+40.31	223,29	223,23	-0,06
77	3.0+71.89	223,30	223,24	-0,06
78	3.1+01.80	223,34	223,27	-0,07
cestni most v Jagoče				
79	3.1+40.60	223,44	223,28	-0,16
80	3.1+50.62	223,36	223,19	-0,17
81	3.1+82.64	223,37	223,19	-0,18

Preglednica 17, primerjava VV, če na Savinji ni mostov

8.2.4. STRUGA SAVINJE BREZ MOSTOV

Preglednica 17 prikazuje višino visokih vod Savinje, če na našem obravnavanem odseku ne bi bilo nobenega mostu. Dolvodno od zadnjega, to je železniškega mostu, ni – tako kot že prej – nobenega vpliva. Vplivanje pa je gorvodno. Prej smo predstavili, kakšen vpliv ima vsak most

- 48 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.
-

zase, v preglednici 17 je primerjava višin vode z modela, če na Savinji ni mostov. Iste rezultate bi dobili, če bi sestavili vplive vsakega mostu posebej.

Od železniškega do cestnega mostu v Laškem ni nobenih sprememb. Prve spremembe se poznajo gorvodno od cestnega mostu. Tu se gladina, glede na železniški most, zniža za dodatne 3 do 4 cm, kolikor znaša tudi zaježba zaradi tega mostu. Najvišji padec gladin je gorvodno od cestnega mostu v Jagoče, kjer višina vode, glede na prejšnja mosta, pade še za dodatnih 8 do 10 cm. Tako celotna zaježba zaradi vseh treh mostov tukaj znaša 16 do 18 cm.

8.3. VPLIV REGULACIJ NA ZAJEZBO ZARADI MOSTOV

V drugem delu zaježb zaradi mostov bomo analizirali, ali imajo regulacije kakršen koli vpliv na te zaježbe. Tako bomo v zgoraj navedenih različicah osnovnih modelov analizirali, ali so padci gladin večji ali manjši pri že izvedenih regulacijah.

Tu bomo analizirali zgolj vsak most zase v vsaki različici regulacije, saj se enako kot pri prejšnji različici vplivi mostov seštevajo.

8.3.1. CESTNI MOST V JAGOČE

V preglednici 18 vidimo, kakšne razlike povzročajo različne regulacije na zaježbo zaradi mostov. Pri cestnem mostu v Jagočah se zaradi regulacij zaježba povečuje. Kot vidimo v primeru brez regulacij, je zaježba v prvi različici 7 do 8 cm, po prvi izvedeni regulaciji 8 do 10 cm in po vseh končanih regulacijah 9 do 11 cm. Rezultati kažejo, da se zaradi regulacij gorvodno od mostu zaježba povečuje, čeprav je razlika med prvotnim in končnim stanjem le 4 cm.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ v1 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v2 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v3 [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ v1 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v2 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v3 [m]	razlika [m]
73	2.9+50.31	223,66	223,66	0,00	223,29	223,29	0,00	223,15	223,15	0,00
74	2.9+81.05	223,70	223,70	0,00	223,30	223,30	0,00	223,07	223,07	0,00
75	3.0+10.03	223,73	223,73	0,00	223,31	223,31	0,00	223,09	223,09	0,00
76	3.0+40.31	223,71	223,71	0,00	223,29	223,29	0,00	223,07	223,07	0,00
77	3.0+71.89	223,71	223,71	0,00	223,30	223,30	0,00	223,08	223,08	0,00
78	3.1+01.80	223,70	223,70	0,00	223,34	223,34	0,00	223,11	223,11	0,00
cestni most v Jagoče										
79	3.1+40.60	223,77	223,70	-0,07	223,44	223,36	-0,08	223,24	223,14	-0,10
80	3.1+50.62	223,71	223,63	-0,08	223,36	223,27	-0,09	223,15	223,04	-0,11
81	3.1+82.64	223,69	223,61	-0,08	223,37	223,27	-0,10	223,15	223,05	-0,10
82	3.2+14.86	223,76	223,69	-0,07	223,52	223,44	-0,08	223,30	223,21	-0,09
83	3.2+43.87	223,80	223,73	-0,07	223,58	223,51	-0,07	223,38	223,30	-0,08
84	3.2+71.28	223,78	223,71	-0,07	223,57	223,50	-0,07	223,38	223,30	-0,08

Preglednica 18, primerjava VV zaradi regulacij pri cestnem mostu v Jagočah

8.3.2. CESTNI MOST V LAŠKEM

Glede na gorvodni most pri Jagočah se zaježba pri cestnem mostu v Laškem z regulacijami zmanjšuje. Najmanj vpliva ima most pri izvedeni regulaciji pri zdravilišču, kjer je zaježba 3 do 4 cm in je pol manjša kot pred regulacijo. Regulacija ovinka pri Marija Gradcu pa poveča zaježbo cestnega mostu za 2 cm, vendar je še vedno manjša kot pred obema regulacijama.

Torej imata tako prva kot tudi druga regulacija minimalen pozitiven vpliv na zaježbo cestnega mostu v Laškem.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ v1 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v2 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v3 [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ v1 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v2 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v3 [m]	razlika [m]
28	1.2+07.42	221,79	221,79	0,00	221,58	221,58	0,00	220,72	220,72	0,00
29	1.2+56.15	221,85	221,85	0,00	221,62	221,62	0,00	220,78	220,78	0,00
30	1.2+99.10	221,90	221,90	0,00	221,69	221,69	0,00	220,82	220,82	0,00
31	1.3+54.09	222,09	222,09	0,00	221,93	221,93	0,00	221,05	221,05	0,00
32	1.3+92.71	222,02	222,02	0,00	221,87	221,87	0,00	220,95	220,95	0,00
33	1.5+83.83	222,12	222,12	0,00	222,04	222,04	0,00	221,22	221,22	0,00
cestni most v Laškem										
34	1.7+02.16	222,34	222,27	-0,07	222,13	222,09	-0,04	221,40	221,34	-0,06
35	1.7+46.75	222,42	222,36	-0,06	222,20	222,17	-0,03	221,51	221,46	-0,05
36	1.8+48.89	222,45	222,39	-0,06	222,25	222,21	-0,04	221,62	221,57	-0,05
37	1.8+83.57	222,43	222,38	-0,05	222,25	222,22	-0,03	221,64	221,59	-0,05
38	1.9+31.23	222,46	222,41	-0,05	222,34	222,31	-0,03	221,78	221,74	-0,04
39	1.9+65.28	222,44	222,38	-0,06	222,35	222,32	-0,03	221,80	221,76	-0,04

Preglednica 19, primerjava VV zaradi regulacij pri cestnem mostu v Laškem

8.3.3. ŽELEZNIŠKI MOST V LAŠKEM

Pri železniškem mostu pa je zajezba kombinacija prejšnjih primerov. Iz preglednic vidimo, da različne regulacije prinesejo drugačen vpliv. Prva, pri zdravilišču, poveča zajezbo železniškega mostu, druga, pri Marija Gradcu, pa jo zmanjša, glede na stanje pred regulacijami.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ v1 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v2 [m]	brez mostu		Q ₁₀₀ v3 [m]	brez mostu	
			Q ₁₀₀ v1 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v2 [m]	razlika [m]		Q ₁₀₀ v3 [m]	razlika [m]
25	1.0+12.41	221,36	221,36	0,00	221,22	221,22	0,00	220,44	220,44	0,00
26	1.0+68.76	221,48	221,48	0,00	221,31	221,31	0,00	220,51	220,51	0,00
27	1.1+29.93	221,60	221,60	0,00	221,41	221,41	0,00	220,57	220,57	0,00
28	1.2+07.42	221,79	221,79	0,00	221,58	221,58	0,00	220,72	220,72	0,00
29	1.2+56.15	221,85	221,85	0,00	221,62	221,62	0,00	220,78	220,78	0,00
30	1.2+99.10	221,90	221,90	0,00	221,69	221,69	0,00	220,82	220,82	0,00
železniški most v Laškem										
31	1.3+54.09	222,09	222,00	-0,09	221,93	221,83	-0,10	221,05	220,97	-0,08
32	1.3+92.71	222,02	221,93	-0,09	221,87	221,77	-0,10	220,95	220,87	-0,08
33	1.5+83.83	222,12	222,04	-0,08	222,04	221,95	-0,09	221,22	221,15	-0,07
34	1.6+82.16	222,34	222,26	-0,08	222,13	222,04	-0,09	221,40	221,34	-0,06
35	1.7+46.75	222,42	222,35	-0,07	222,20	222,12	-0,08	221,51	221,46	-0,05
36	1.8+48.89	222,45	222,38	-0,07	222,25	222,17	-0,08	221,62	221,57	-0,05

Preglednica 20, primerjava VV zaradi regulacij pri železniškem mostu v Laškem

8.4. POVZETEK VPLIVA REGULACIJ

Regulacije v nekaterih primerih pripomorejo k manjši zaježitvi, v nekaterih pa ne. Most v Jagočah je tak primer, saj so regulacije narejene dolvodno od mostu, in tu voda poveča hitrost, most pa ne dovoljuje večjega pretoka od obstoječega. Gorvodno je zaradi tega zastajanje večje. Razvidno je tudi, da pretok mostu ni dovolj velik, saj pozroča preveliko zaježbo v primerjavi s cestnim mostom v Laškem, saj se pri laškem mostu zaradi regulacije zaježba zniža. Zaježba je velika še pri železniškem mostu, vendar ta most ni primerljiv s preostalima, saj ima železniški most dvakrat več opornikov, štiri, medtem ko jih imata cestna mostova vsak po dva, poleg tega so železniški oporniki tudi širši.

Vidimo, da regulacije pri stoletnih vodah vplivajo na samo zaježbo mostov, čeprav je ta izredno majhna pri zelo velikih pretokih. V tabelah vidimo, da se v vseh treh primerih zaježba spremeni za največ 3 cm, pri nekaterih pozitivno, pri drugih pa negativno.

- 52 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer. _____

Izvedena regulacija pri zdravilišču, glede na prejšnje stanje, zniža zaježbo samo na cestnem mostu v Laškem za okoli 3 cm, pri preostalih mostovih pa se ta minimalno poveča.

Glede na zdajšnje stanje marijagraška regulacija pozitivno vpliva samo na železniški most, medtem ko se pri cestnih mostovih zaježba poveča za največ 2 cm.

9. VPLIV PLAVJA NA MOSTNIH OPORNIKIH PRI Q_{100}

Za analizo plavja na mostih opornikih smo izbrali model Savinje iz druge različice, to je model, ki opisuje trenutno stanje. Analizirali bomo zajezbo gorvodno od mostnih opornikov, ki jo povzroča plavje, ki se zagozdi ob opornike.

Analizo bomo opravili pri pretoku Q_{100} . Pretok za to stanje je prikazan v preglednici 7. Robni pogoj v zadnjem profilu za stanje Q_{100} v2 je zapisan v preglednici 10 in znaša 220,17 m. Analizo bomo opravili za vsak most posebej, tako da bomo predpisali plavje za vse opornike določenega mostu. Za konec bomo izvedli še analizo za primer, da predpišemo plavje za vse prej omenjene mostne opornike.

Plavje, ki smo ga predpisali opornikom, se razlikuje glede na mostne opornike. Pri cestnih mostovih smo predpisali drugačno plavje kot pri železniškem mostu. Širina in premer plavja za cestna mostova sta zapisana v preglednici 21. Ker plavje enakih dimenzij, kot smo jih uporabili pri cestnih opornikih, ni dalo rezultatov pri železniškem mostu, smo zanj predpisali večje dimenzije. Plavje, predpisano za železniški most, je navedeno v preglednici 22. Primer zagozdenega debela je prikazan na sliki 21.



Slika 21, deblo, zagozdeno za mostni opornik

širina	8 m
višina	3 m

Preglednica 21, dimenzije plavja pri cestnih mostovih

- 54 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

širina	12 m
višina	3 m

Preglednica 22, dimenzije plavja pri železniškem mostu

9.1. VPLIV PRI CESTNEM MOSTU V JAGOČE

Dimenzionirano plavje smo predpisali dvema mostnima opornikoma v sami strugi Savinje. Po izvedenem računu in primerjanju rezultatov z osnovnim modelom druge različice, ko plavja ni, smo dobili rezultate, ki so prikazani v preglednici 23. Višina VV zaradi plavja, zagozdenega za mostne opornike, gorvodno od mostu tako znaša med 5 in 6 cm.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	plavje	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
73	2.9+50.31	223,33	223,33	0,00
74	2.9+81.05	223,35	223,35	0,00
75	3.0+10.03	223,36	223,36	0,00
76	3.0+40.31	223,34	223,34	0,00
77	3.0+71.89	223,35	223,35	0,00
78	3.1+01.80	223,38	223,38	0,00
cestni most v Jagoče				
79	3.1+25.60	223,49	223,54	-0,05
80	3.1+50.62	223,41	223,47	-0,06
81	3.1+82.64	223,42	223,48	-0,06
82	3.2+14.86	223,56	223,61	-0,05
83	3.2+43.87	223,61	223,66	-0,05
84	3.2+71.28	223,61	223,66	-0,05

Preglednica 23, primerjava VV, če se pri cestnem mostu v Jagoče zagozdi plavje

9.2. VPLIV PRI CESTNEM MOSTU V LAŠKEM

Enako plavje kot v primeru cestnega mostu v Jagoče smo predpisali tudi cestnemu mostu v Laškem. Ob oba mostna opornika naj bi se zagostilo dimenzionirano plavje. Rezultati, ki smo jih dobili v tem primeru, se nekoliko razlikujejo od prejšnjih, saj je zajezba VV zaradi plavja pri cestnem mostu v Laškem večja. Višina VV se v tem primeru dvigne za 7 do 8 cm. Posledice zajezbe so vidne do konca našega modela, kjer je višina VV višja za 3 do 4 cm. Rezultati za primer cestnega mostu v Laškem so prikazani v preglednici 24.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	plavje	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
28	1.2+07.42	221,66	221,66	0,00
29	1.2+56.15	221,70	221,70	0,00
30	1.2+99.10	221,76	221,76	0,00
31	1.3+54.09	222,00	222,00	0,00
32	1.3+92.71	221,95	221,95	0,00
33	1.5+83.83	222,10	222,10	0,00
cestni most v Laškem				
34	1.7+02.16	222,19	222,26	-0,07
35	1.7+46.75	222,26	222,34	-0,08
36	1.8+48.89	222,37	222,44	-0,07
37	1.8+83.57	222,34	222,41	-0,07
38	1.9+31.23	222,42	222,49	-0,07
39	1.9+65.28	222,43	222,50	-0,07

Preglednica 24, primerjava VV, če se pri cestnem mostu v Laškem zagostijo plavje

9.3. VPLIV PRI ŽELEZNIŠKEM MOSTU V LAŠKEM

Postopek je tudi v tem primeru enak kot v prejšnjih primerih cestnih mostov, le da tu predpišemo plavje, ki je drugače dimenzionirano, za štiri opornike železniškega mostu. Drugačne dimenzije plavja smo predpisali zaradi drugačnih dimenzij mostnih opornikov.

- 56 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

Rezultati so v tem primeru primerljivi z rezultati pri cestnem mostu v Jagoče. Zajezba plavja gorvodno od železniškega mostu je 6 cm. Vpliv, ki ga povzroča ta zajezba, sega prav tako do konca našega modela, kjer znaša 3 cm. Rezultati so prikazani v preglednici 25.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	plavje	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
25	1.0+12.41	221,31	221,31	0,00
26	1.0+68.76	221,40	221,40	0,00
27	1.1+29.93	221,49	221,49	0,00
28	1.2+07.42	221,66	221,66	0,00
29	1.2+56.15	221,70	221,70	0,00
30	1.2+99.10	221,76	221,76	0,00
železniški most v Laškem				
31	1.3+54.09	222,00	222,06	-0,06
32	1.3+92.71	221,95	222,01	-0,06
33	1.5+83.83	222,10	222,16	-0,06
34	1.8+83.57	222,19	222,25	-0,06
35	1.9+31.23	222,26	222,32	-0,06
36	1.9+65.28	222,37	222,42	-0,05

Preglednica 25, primerjava VV, če se pri železniškem mostu v Laškem zagozdi plavje

9.4. VPLIV PLAVJA NA VSEH MOSTNIH OPORNIKIH

V tem primeru smo predpisali plavje na vseh prej omenjenih mostnih opornikih. Zanimalo nas je, ali se vplivi posameznega plavja pri mostnih opornikih seštevajo. Rezultati so pokazali, da se, vendar ne smemo izvesti analize vsakega mostu posebej in sešteti rezultatov, kajti sešteti vplivi niso tako veliki. Železniški most zaradi plavja naredi zajezbo 6 cm, skupaj s cestnim mostom v Laškem gorvodno pa zajezi Savinjo in dvigne višino VV za 9 cm. Pred cestnim mostom v Jagoče je višina VV zaradi plavja pri dolvodnih mostovih višja za 5 cm, gorvodno pa se višina VV zaradi plavja dvigne še za dodatnih 5 cm in tako znaša 10 cm. Rezultati za ta primer so prikazani v preglednici 26.

profil	kilometraža	Q ₁₀₀ [m]	plavje	
			Q ₁₀₀ [m]	razlika [m]
25	1.0+12.41	221,31	221,31	0,00
26	1.0+68.76	221,40	221,40	0,00
27	1.1+29.93	221,49	221,49	0,00
28	1.2+07.42	221,66	221,66	0,00
29	1.2+56.15	221,70	221,70	0,00
30	1.2+99.10	221,76	221,76	0,00
železniški most v Laškem				
31	1.3+54.09	222,00	222,06	-0,06
32	1.3+92.71	221,95	222,01	-0,06
33	1.5+83.83	222,10	222,16	-0,06
cestni most v Laškem				
34	1.8+83.57	222,19	222,28	-0,09
35	1.9+31.23	222,26	222,35	-0,09
36	1.9+65.28	222,37	222,45	-0,08

...

76	3.0+40.31	223,34	223,39	-0,05
77	3.0+71.89	223,35	223,40	-0,05
78	3.1+01.80	223,38	223,43	-0,05
cestni most v Jagoče				
79	3.1+25.60	223,49	223,59	-0,10
80	3.1+50.62	223,41	223,51	-0,10
81	3.1+82.64	223,42	223,52	-0,10

Preglednica 26, primerjava VV, če se zagotdi plavje pri vseh mostnih opornikih

10. VPLIV REGULACIJE PRI ZDRAVILIŠČU LAŠKO

Preverili bomo, kakšen vpliv ima izvedena regulacija struge Savinje gorvodno od Zdravilišča Laško. Ta je bila dokončana poleti leta 2007 ter je po naši analizi in povodnji jeseni leta 2007 že prinesla željene rezultate.

Regulirani odsek, na podlagi katerega je bil narejen matematični model Savinje iz druge različice, se glede na naš model začne pri profilu 48, ki je na KM 2.2+56.25, konča pa pri cestnem mostu v Jagoče. Skupna regulacija tega odseka je 870 m. Pri regulaciji se struga premakne bolj v levo, se razširi, os Savinje pa ostane nespremenjena. Reguliran je bil tako levi kot tudi desni breg struge vzdolž celotnega odseka.

Za osnovni model smo v tem poglavju izbrali model iz prve različice, to je model pred izvedeno katero koli regulacijo. Rezultate bomo primerjali z modelom po izvedeni regulaciji pri zdravilišču, pogledali pa bomo še, kolikšen padeč gladin pri določenih pretokih se zgodi še zaradi regulacije marijagraškega ovinka.

10.1. STANJE PRED REGULACIJO

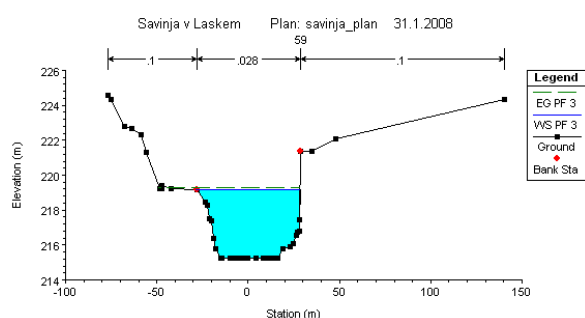
Za analizo modela smo izbrali meje pretokov, znotraj katerih smo predvideli, da bi se lahko kritično prelivali čez brežine struge. Zgornja meja je bila petletna povratna doba Savinje v Laškem, ki znaša $Q_5 = 798 \text{ m}^3/\text{s}$, za katero smo ugotovili, da je precej previsoka. Za spodnjo mejo pa smo izbrali $Q_i = 100 \text{ m}^3/\text{s}$. Osnovni korak znotraj teh mej je bil $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Tako smo dobili ožjo mejo, znotraj katere smo korak še zmanjšali. Meja, ki smo jo zdaj predvideli, je bila med 300 in $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Naslednji korak je bil $10 \text{ m}^3/\text{s}$, s katerim smo mejo zmanjšali, končno pa smo ga še zmanjšali na $2 \text{ m}^3/\text{s}$, s katerim smo tudi določili najmanjši pretok, pri katerem se Savinja prelije prekovsaj enega brega.

Za robne pogoje smo uporabili znano gladino v zadnjem profilu našega modela. Te gladine smo dobili tako, da smo prvotno gladino predvideli kot običajno gladino, ki je znašala 212,85 cm, če je bil padec gladine v zadnjih modelih prevelik, pa smo gladino dvignili za toliko, da je bil padec v zadnjih prerezih stalen. Tako dobljeni robni pogoji so navedeni v preglednici 27.

Q [m ³ /s]	robni pogoji [m]
322	215,20
740	216,60
772	216,65

Preglednica 27, robni pogoji

Kritični pretok za prelivanje tako znaša $Q_k = 322 \text{ m}^3/\text{s}$. Težavni profil je profil 59 na KM 2.5+37.75, pri katerem se visoka voda prelije preko levega brega. Kritični profil pri pretoku Q_k je prikazan na sliki 22.



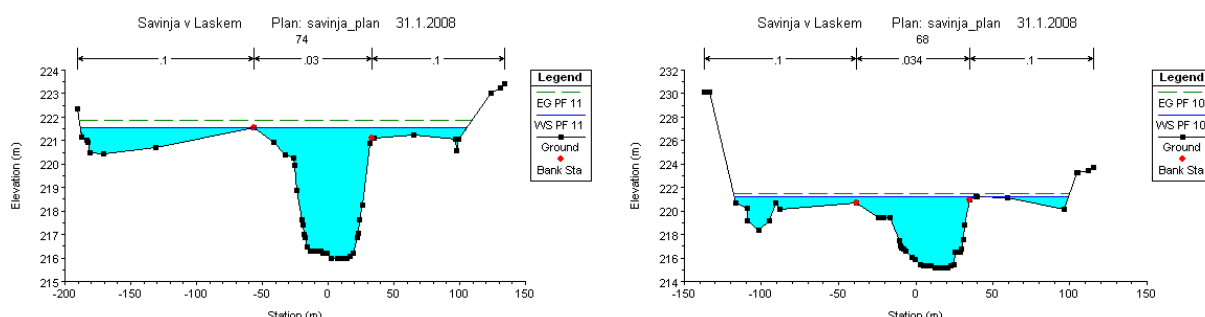
Slika 22, kritični profil 54, preden se začne prelivanje

Za preplavitev celotnega levega brega, t. i. Farovškega travnika, smo celotni postopek še enkrat ponovili, vendar smo tokrat iskali večje pretoke. Zanimalo nas je, pri katerem pretoku bo celotno omenjeno področje preplavljeno.

Analiza tega dela da pretok, ki poplavi celotni levi del območja. Pretok $Q_{kl} = 772 \text{ m}^3/\text{s}$ je pretok, ki preplavi celotni levi del, ne pa samo nekaterih delov tega območja. Zadnji profil, ki je preplavljen, je profil 74 na KM 2.9+81.05.

Desni breg analiziramo enako. Kritični profil na tej strani je profil 68 na KM 2.7+79.13. Pretok celotne preplavitve desnega brega znaša $Q_{kd} = 740 \text{ m}^3/\text{s}$.

Oba kritična profila sta prikazana na slikah. Slika 23 prikazuje profil 74, ki je kritičen za levi breg Savinje, na sliki 24 pa je profil 68, ki je zadnji preplavljen na desnem bregu.



Slika 23, profil 74, preplavitev celotnega levega brega Slika 24, profil 68, preplavitev celotnega desnega brega

10.2. STANJE PO REGULACIJI

Za to stanje bomo uporabili matematični model druge različice. To je model po regulaciji pri zdravilišču.

Os in prečni profili se na tem odseku regulacije po stacionaži ne spreminjajo. Regulirani so samo prečni profili od 48 do 79, na tem odseku pa bomo analizirali spremembe pri istih pretokih kot v zgornjem primeru, ko regulacije še ni bilo.

Za osnovo bomo uporabili pretoke, ki so navedeni v preglednici 28.

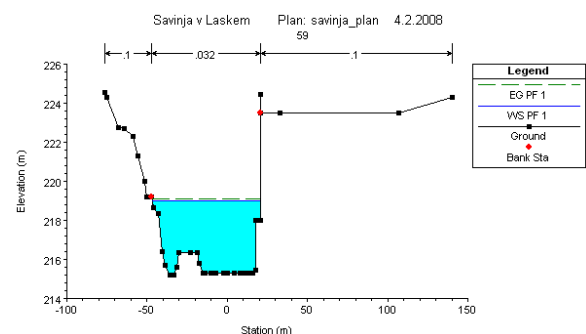
	Q_k [m ³ /s]	Q_{kl} [m ³ /s]	Q_{kd} [m ³ /s]
pretok Savinje v Laškem	322	772	740

Preglednica 28, kritični pretoki pred regulacijo

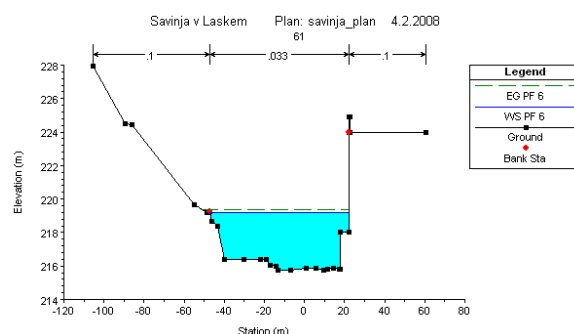
Robni pogoji pri zgoraj navedenih pretokih ostajajo enaki kot pri prejšnji analizi pred regulacijo, saj ne vplivajo izraziteje kot na 5 profilov gorvodno od zadnjega profila. Pri novih pretokih s tem ne spreminjajo razmer visokih vod na obravnavanem odseku modela.

Prvi kritični pretok Q_k je pred regulacijo povzročal težave, saj se je voda v profilu 59 začela prelivati. Pri istem pretoku zdaj vidimo, da se pri istem profilu to ne zgodi, je pa profil na

levem bregu spremenjen. To pomeni, da ta profil ni več kritičen, po pregledu preostalih profilov pa smo ugotovili, da se voda v nobenem primeru ne preliva. Tako tudi pretok $Q_k = 322 \text{ m}^3/\text{s}$ ni več kritičen, kar se vidi na sliki 25.



Slika 25, profil 59 po izvedeni regulaciji pri Q_k

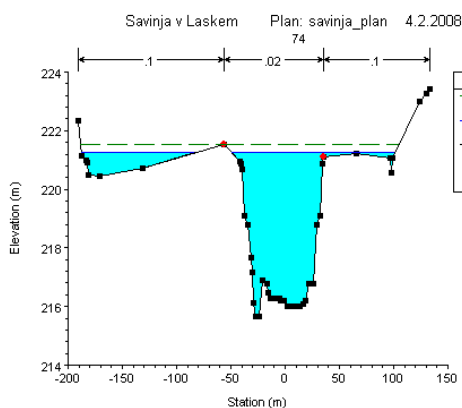


Slika 26, kritični profil 61 pri Q_{k_po} po izvedeni regulaciji

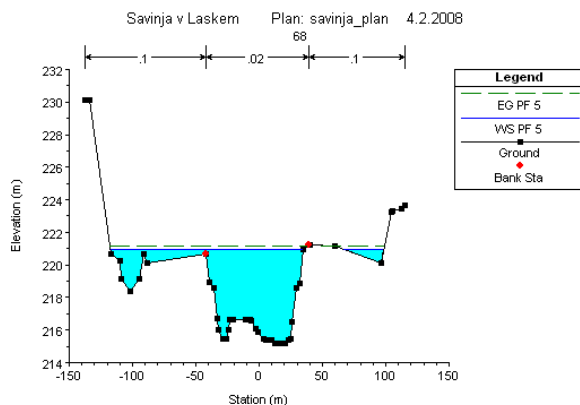
Da bi ugotovili, kateri profil je kritičen oziroma kakšen je po izvedeni regulaciji kritičen pretok, pri katerem se voda začne prelivati, smo pretok postopoma povečevali, da smo dobili prvi profil, pri katerem voda prestopi bregove. Ta pretok je $Q_{k_po} = 367 \text{ m}^3/\text{s}$, nastopi pa dva profila gorvodno od prejšnjega kritičnega profila. To je profil 61 na KM 2.5+74.42 (slika 26). Če primerjamo še kritična pretoka, ugotovimo, da smo z regulacijo povečali tudi kritični pretok, in sicer za $45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Podobno analizo naredimo še za popolno preplavitev levega in desnega brega. Pričakujemo, da bodo tudi tu vrednosti pretokov nekoliko višje.

Najprej vstavimo v model prej dobljene pretoke, to sta Q_{kl} in Q_{kd} . Pri prej dobljenem pretoku za povsem preplavljen levi breg vidimo, da po regulirani strugi ta ni popolnoma pod vodo, kar je vidno tudi iz slike 27. Pri povsem preplavljenem levem bregu pretok Savinje znaša $Q_{kl_po} = 884 \text{ m}^3/\text{s}$, kritičen prerez pa ostane profil 74. Pretok se tu po regulaciji najbolj zviša, večji od Q_{kl} je za $102 \text{ m}^3/\text{s}$.



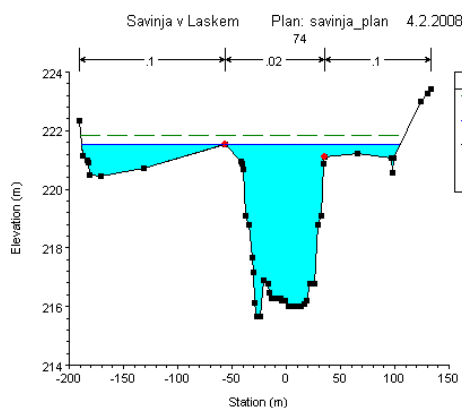
Slika 27, profil 74, po regulaciji pri Q_{kl}



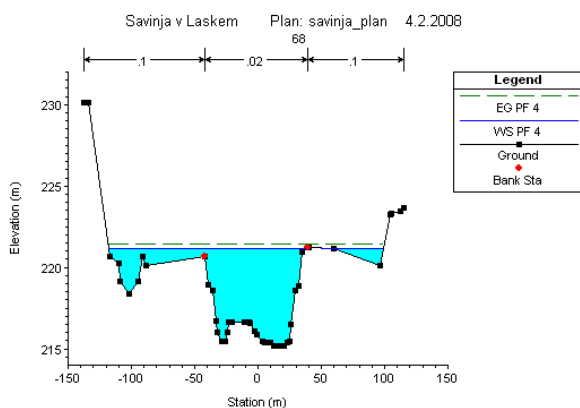
Slika 28, profil 68, po regulaciji pri Q_{kd}

Pri desnem bregu je situacija zelo podobna. Kritični profil se prav tako kot na levi strani tudi tu ne spremeni in ostaja profil 68, kritični pretok za preplavitev desnega brega pa se zviša za $62 \text{ m}^3/\text{s}$ in znaša $Q_{kd_po} = 802 \text{ m}^3/\text{s}$, kar je za $2 \text{ m}^3/\text{s}$ manj, kot znaša Q_5 . Na sliki 28 je prikazan prerez po regulaciji pri pretoku Q_{kd} .

Na spodnjih slikah sta sliki kritičnih profilov na levem (slika 29) in desnem bregu (slika 30) pri kritičnih pretokih Q_{kl_po} in Q_{kd_po} .



Slika 29, profil 74, preplavitev celotnega levega brega po regulaciji



Slika 30, profil 68, preplavitev celotnega desnega brega po regulaciji

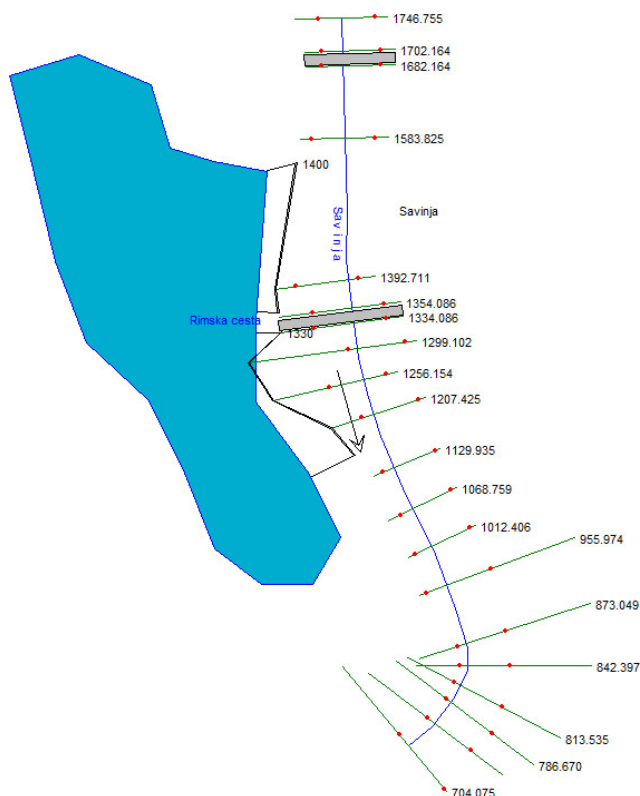
11. VPLIV DEPRESIJE NA DESNEM BREGU SAVINJE PRI POKOPALIŠČU

V tem poglavju bomo preverili še, kakšen vpliv ima depresija na desnem bregu Savinje pri železniškem mostu. S pomočjo programa HEC-RAS bomo obdelali matematični model zdajšnjega stanja Savinje, vendar bomo pri analizi depresije uporabili nestalni tok. Za analizo bomo simulirali septembrsko poplavo iz leta 2007. Simulacija bo trajala 48 ur, to je od 18. septembra ob 00.00 do 19. septembra ob 23.00.

Za osnovo smo izbrali model iz druge različice z nekaj prilagoditvami. Ker za analizo ne potrebujemo celotnega modela, smo ga zmanjšali. Tako smo dobili krajši model, katerega celotna dolžina je 1.042,68 m. Glede na naš izhodiščni model se začne na KM 0.7+04.08 in konča na KM 1.7+46.76. Tako vsebuje 18 prečnih profilov, vključena pa sta tudi oba mostova na tem odseku, tako železniški kot tudi cestni most v Laškem. Prej uporabljenih pritokov Rečice in Lahomnice nismo upoštevali, saj nimata iztokov na tem odseku Savinje. Model odseka je prikazan na sliki 26.

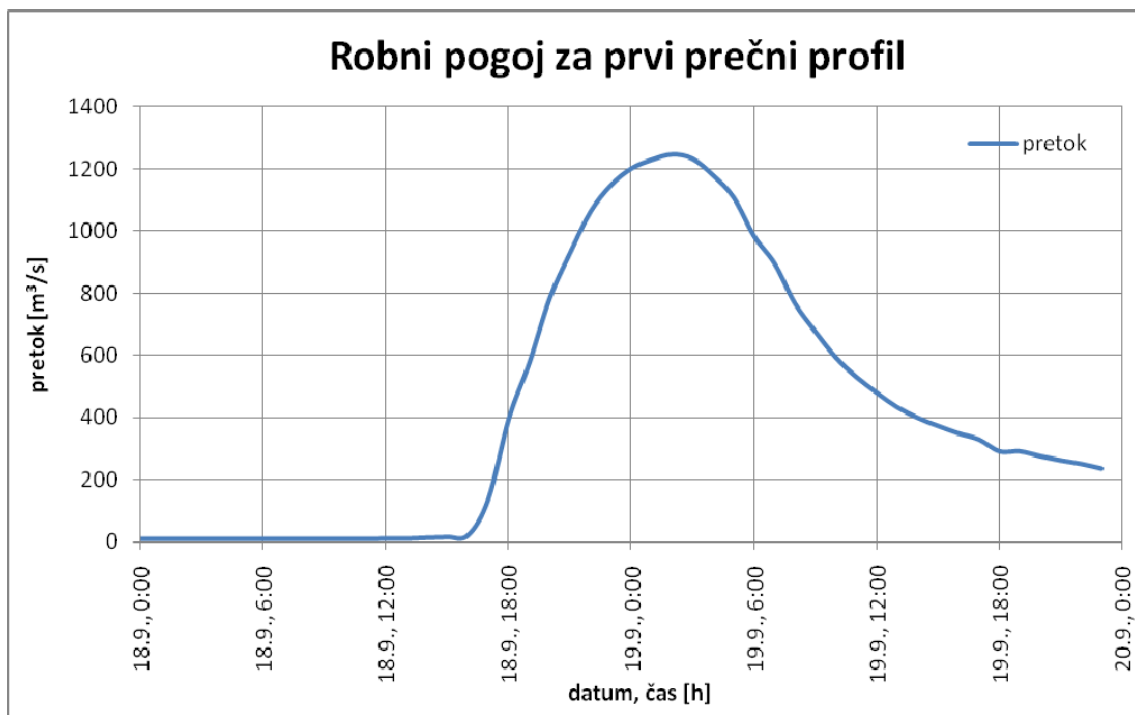
Dodatna objekta, ki smo ju vključili v ta model, sta depresija in dva preлива, ki so na desnem bregu Savinje. Depresija obsega območje naselja na Rimski cesti in pokopališča v Laškem, velika pa je 58.335,40 m². Njena najnižja nadmorska višina je 218,8 m. Zasnovana je tako, da višina glede na pretok raste linearno. Preлива, preko katerih se polni depresija, sta, kot smo omenili, na desnem bregu, in sicer prvi gorvodno od železniškega mostu dolžine 194 m in je nižji, najnižja kota je 219,73 m, drugi pa je dolvodno od mostu, njegova dolžina je 170 m, najnižja kota pa 220,00 m.

Za analizo smo izdelali tudi kontrolni model, to je model brez depresije in prelivov. Ta model bomo uporabili zgolj za primerjavo rezultatov.

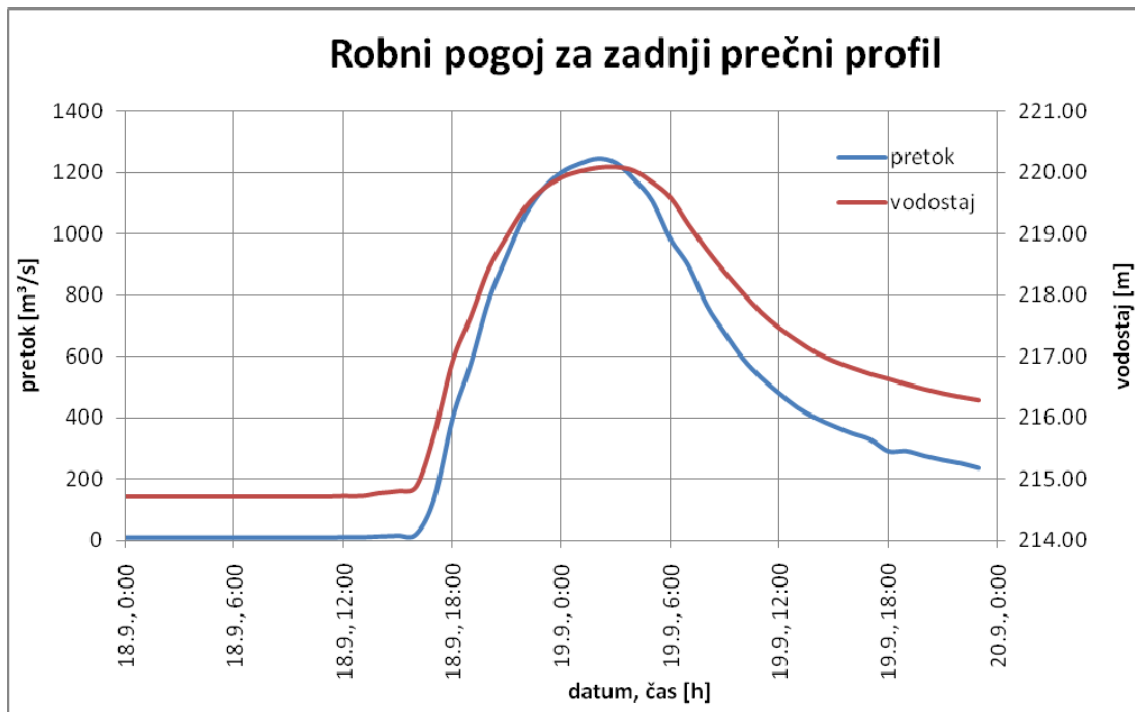


Slika 31, model odseka z depresijo in s prelivoma

Treba je bilo vnesti tudi robne pogoje za model. Potrebovali smo robni pogoj za prvi prečni profil, v katerega smo vnesli merjene pretoke na VP Laško, ki so prikazani na grafikonu 7. Robni pogoj za zadnji profil vsebuje podatke o pretoku in vodostaj Savinje. Pretoke poznamo, saj so enaki kot na VP Laško, višino Savinje pa smo dobili tako, da smo vzeli robni pogoj, ki je bil izmerjen na VP Laško, in odšteli razliko VV med višino, izmerjeno na VP Laško, in višino VV v zadnjem profilu. Višino VV v obeh profilih smo dobili z merjenjem sledi v poplavi leta 2007. Robni pogoj za zadnji profil je prikazan v grafikonu 8.



Grafikon 7, robni pogoj za prvi prečni profil, pretok Savinje na VP Laško



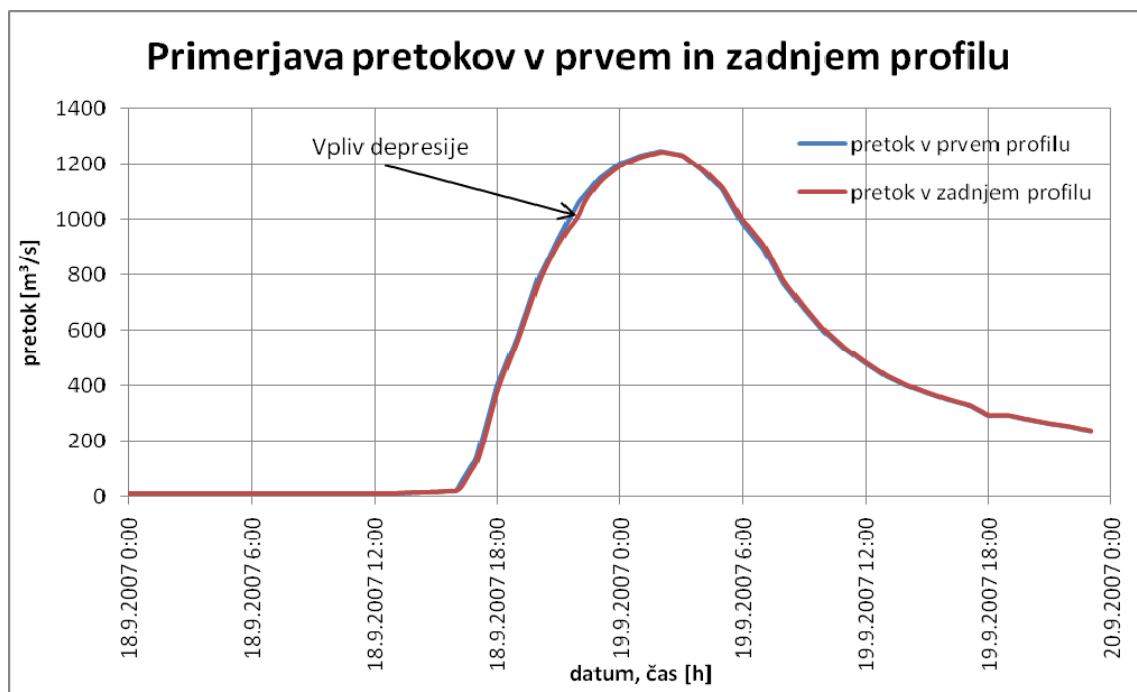
Grafikon 8, robni pogoj za zadnji prečni profil, pretok Savinje in vodostaj

11.1. KONTROLNI MODEL

Po analizi kontrolnega modela smo dobili rezultate, ki kažejo, da se pretok brez depresije in prelivov vzdolž modela ne spremeni. Izstopni pretok v zadnjem profilu je enak vstopnemu robnemu pogoju, ki je prikazan na grafikonu 7. Tudi konica pretoka se časovno ne spremeni in je še vedno ob 2.00.

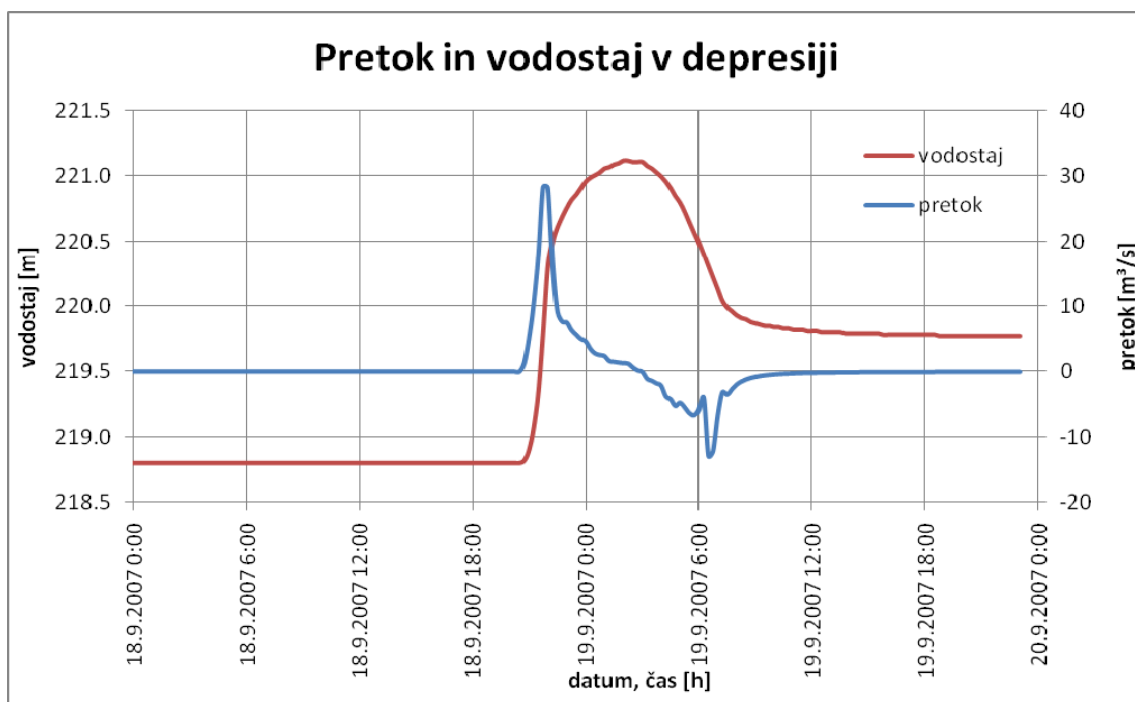
11.2. VPLIV DEPRESIJE

Po analizi kontrolnega modela analiziramo še naš model z depresijo in s prelivoma. Po primerjavi rezultatov vidimo, da se je pretok v zadnjem profilu minimalno zmanjšal, in sicer za $2,56 \text{ m}^3/\text{s}$, tako da je v zadnjem profilu znašal $1.243,92 \text{ m}^3/\text{s}$. Tudi konica vala je 10 minut pozneje kot v vhodnem profilu. Oba pretoka, tako za prvi kot tudi za drugi profil, sta prikazana na grafikonu 9.



Grafikon 9, primerjava pretokov v prvem in zadnjem profilu

Na grafikonu je lepo viden tudi vpliv depresije pri pretoku v zadnjem profilu, kjer krivulji malenkostno odstopata.



Grafikon 10, pretok in vodostaj v depresiji

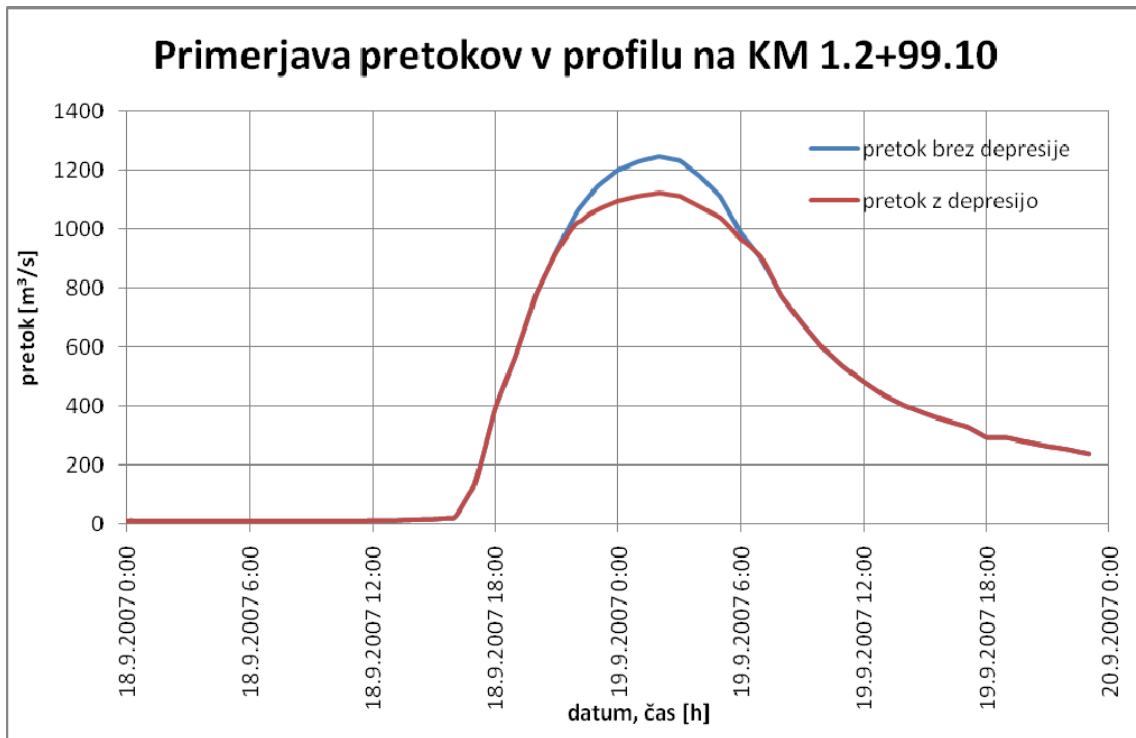
Iz grafikona 10 dobimo podatek, kdaj se je začela depresija polniti, kakšen je bil pretok vanjo in kakšen je bil vodostaj v njej. Savinja je začela teči v depresijo oziroma vodostaj Savinje je dosegel najnižjo koto prelivov ob 20.30. Depresija in Savinja sta se izenačili po približno 1 uri in 45 minutah, največji pretok v depresijo pa je znašal 28,28 m³/s. Najvišji vodostaj je bil dosežen ob 2.10, kar ne odstopa od največjega vodostaja Savinje na VP Laško, znašal pa je 221,12 m.

Vpliv depresije je viden tudi na profilih, vzporednih z depresijo. Največjo spremembo pretokov je mogoče videti na profilu na KM 1.2+99.10, ki je prikazana na grafikonu 11. Konica pretoka se v tem profilu zniža kar za 123,84 m³/s in znaša 1.121,93 m³/s.

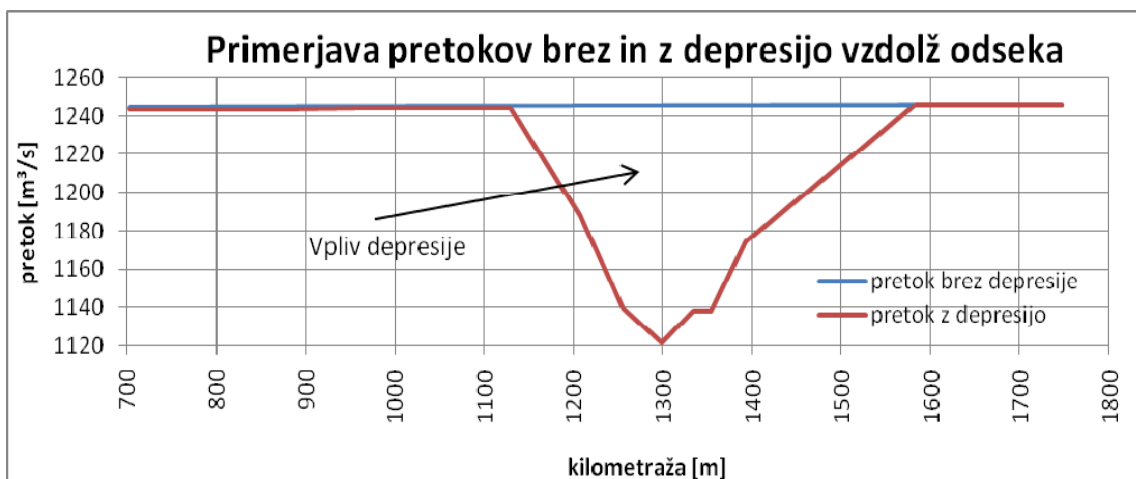
Vzdolžen vpliv depresije je prikazan na grafikonu 12, kjer so prikazane spremembe pretokov vzdolž obravnavanega odseka. Razlika med krivujama je lepo vidna ob depresiji, kjer se

zmanjšajo pretoki v sami strugi. Največjo razliko pretokov smo navedli zgoraj, razlika višine VV pa je prav tako v tem profilu, KM 1.2+99.10, in sicer 11 cm.

Vzdolžem vpliv znižanja gladine VV je prikazan v prilogi 15.4.



Grafikon 11, primerjava pretokov v profilu KM 1.2+99.10



Grafikon 12, primerjava pretokov brez in z depresijo vzdolž obravnavanega odseka

12. MINIMALNI PRETOK SAVINJE

V tem poglavju bomo analizirali še vse kritične pretoke vzdolž celotnega modela. Pregledali bomo, kje in pri katerih pretokih se voda začne prelivati. Analiza bo podobna, kot je bila v poglavju, v katerem smo preverjali, kakšen je vpliv regulacije pri zdravilišču.

Za izhodiščni model smo si izbrali zdajšnje stanje Savinje, to je stanje po izvedeni regulaciji pri Zdravilišču Laško, saj nas zanima, pri katerih pretokih se začne prelivanje Savinje. Kritična mesta in kritične pretoke bomo nato še primerjali z modelom po regulaciji marijagraškega ovinka. Tako bomo ugotovili, kaj nam prinese omenjena regulacija še pri točno določenih pretokih.

12.1. KRITIČNI PRETOKI

Najprej bomo poiskali prvi kritični pretok, to je pretok, pri katerem se poplavljanje najprej začne. Tako kot v prejšnjih primerih določimo meje, znotraj katerih bomo iskali ta pretok. Že v prejšnji analizi smo ugotovili, da Savinja v zgornjem toku našega modela začne poplavlmati pri $Q = 367 \text{ m}^3/\text{s}$, zato bomo za osnovo vzeli ta pretok, ki ga bomo povečevali. Spodnji robni pogoj pri omenjen pretoku je 215,40 m. Preostali robni pogoji so navedeni v preglednici 29.

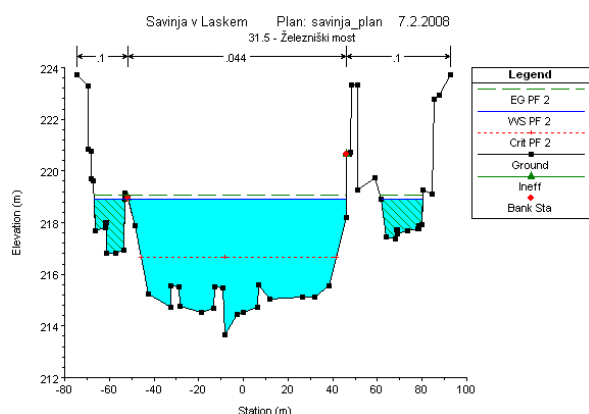
Treba je še omeniti, da smo pri pripravi modelov za analizo najmanjših pretokov pri nasipih na levi in desni strani bregov uporabili funkcijo »Ineffective flow areas«, s katero ne upoštevamo vode, ki še ni prelila bregov, čeprav je v prečnih prerezih videti, kot da jih je.

Pri zgornjem omenjenem kritičnem pretoku Q vidimo, da se začne prelivanje samo že v prej obravnavanem delu Savinje. Ker pa smo ta del pri Zdravilišču Laško že obdelali, se bomo bolj posvetili dolvodnemu prelivanju. Obravnavali bomo območje od zdraviliškega parka dolvodno.

- 70 Košak, M. 2008. Analiza pretočnih razmer Savinje v Laškem
Dipl. nal. – UNI. Ljubljana. UL, FGG, Odd. za gradbeništvo. Hidrotehnična smer.

Za osnovo smo izbrali korak po $100 \text{ m}^3/\text{s}$ vse do Q_5 , ki znaša $798 \text{ m}^3/\text{s}$. Po prvotni analizi znotraj teh mej smo pretoke še zmanjšali na korak po $20 \text{ m}^3/\text{s}$ in tako smo dobili spodnjo mejo pretoka, ki je kritičen pri najbolj kritičnem profilu. Ta pretok je znašal $Q_{k1} = 582 \text{ m}^3/\text{s}$. Kritični profil je profil 31, ki je tik za železniškim mostom v Laškem. Profil je v našem modelu na KM 1.3+54.09. Pretok, ki je večji od Q_{k1} nam zalije levi cestni podvoz pod železnico. Prvi kritični profil je prikazan na sliki 32.

Čeprav gre pri omejenem profilu za prvo prelitje Savinje in zalitje cestnega podvoza, ne ogroža stanovanjskih objektov, ki pa jih ogroža v nadaljnjih primerih.

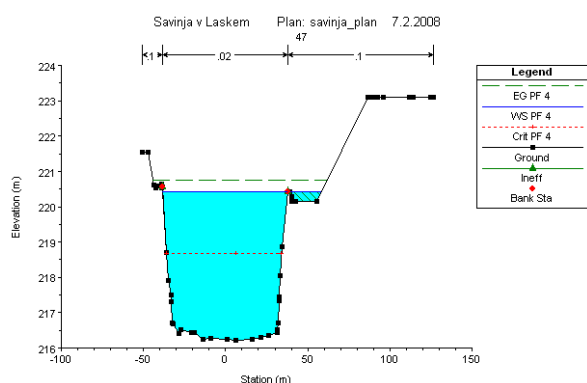


Slika 32, prvi kritični profil 31 pri kritičnem pretoku Q_{k1}

Nadaljnji profili, kjer se voda prelije, se vidijo že na zgornjem primeru. Kritična sta predvsem profila 19 in 47. Pri prvem se voda prelije pri nasipu dolvodno od Pivovarne Laško, kjer so tudi stanovanjski objekti, pri drugem pa zalije zdraviliški park in objekte ob cesti Laško–Celje.

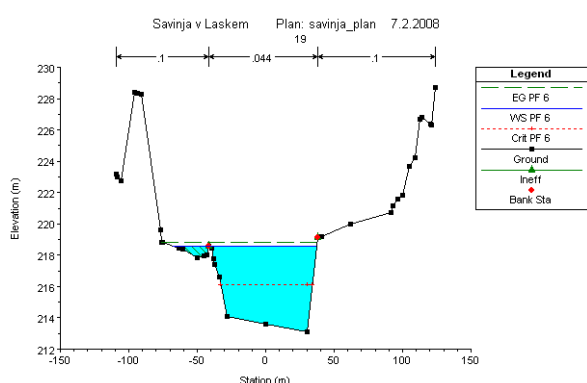
Pri profilu 47, to je na KM 2.2+22.80, Savinja naslednjič poplavi. Pretok, pri katerem se to zgodi, je večji od prvega kritičnega pretoka Q_{k1} za slabih $150 \text{ m}^3/\text{s}$ in znaša $Q_{k2} = 730 \text{ m}^3/\text{s}$. To je tudi pretok, do katerega je Laško varno pred poplavami, če odštejemo prej omenjeni podvoz in v prejšnjem poglavju omenjena travnika na levem in desnem bregu gorvodno od zdravilišča. S preplavitvijo desnega nasipa dolvodno od zdravilšča Savinja poplavi tako cesto Laško–Celje kot tudi objekte ob njej. S prestopitvijo bregov v profilu 47 Savinja preplavi

celotni desni breg od Zdravilišča Laško do vključno Kulturnega centra v Laškem, saj po preplavitvi nima več prepreke, ki bi vodo zadrževala v strugi. Kritični profil 47 s kritičnim pretokom Q_{k2} je prikazan na sliki 33.



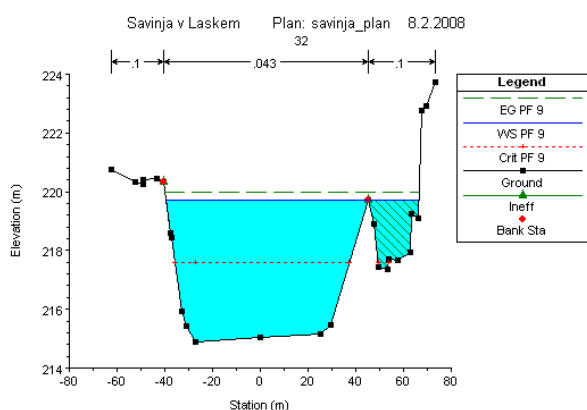
Slika 33, kritični profil 47 pri kritičnem pretoku Q_{k2}

Naslednja preplavitev se zgodi že pri malo večjem pretoku od Q_{k2} . Kritični profil je na KM 0.7+86.67, to je že prej omenjeni profil 19. Preplavitev desnega brega Savinje se zgodi pri pretoku $Q_{k3} = 780 \text{ m}^3/\text{s}$. Po preplavitvi voda zalije nekaj stanovanjskih objektov in gostišče. S tem postane neprevozen tudi podvoz pod železnico za Marija Gradec in Lahomno. Profil 19 pri pretoku Q_{k3} je na sliki 34.



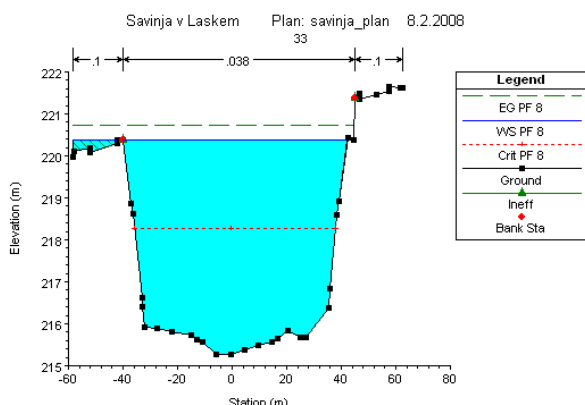
Slika 34, kritični profil 19 pri kritičnem pretoku Q_{k3}

Za določitev preostalih kritičnih pretokov sta nam ostala še dva primera. Na modelu vidimo, da se pri naslednjem pretoku voda prelije čez desni breg Savinje med obema mostovoma, cestnim in železniškim. Ta preplavitev nasipa zalije celotno naselje Rimska cesta, desni podvoz pod železnico na cesti Laško–Rimske Toplice in spodnji del pokopališča Laško. To se zgodi pri pretoku $Q_{k4} = 803 \text{ m}^3/\text{s}$, ko Savinja prelije profil 32 na KM 1.3+92.71. Q_{k4} je za $5 \text{ m}^3/\text{s}$ večji od petletnih visokih vod Q_5 . Prelitje profila 32 pri pretoku Q_{k4} je prikazano na sliki 35.



Slika 35, kritični profil 32 pri kritičnem pretoku Q_{k4}

Pri naslednji kritični preplavitvi je pretok že večji od Q_5 . Območje, ki ga Savinja preplavi, je Trubarjevo nabrežje med cestnim in železniškim mostom na levem bregu. Pri tej preplavitvi je kritičen profil 33, KM 1.5+83.83, pretok pa je $Q_{k5} = 918 \text{ m}^3/\text{s}$. Ta profil je prikazan na sliki 36.



Slika 36, kritični profil 33 pri kritičnem pretoku Q_{k5}

Pretoka Q_{k4} in Q_{k5} lahko zaradi premajhnega števila profilov med cestnim in železniškim mostom v Laškem odstopata. Znotraj omenjenih mostov sta na razdalji 328 m samo dva profila, kar lahko pomeni, da pravih kritičnih profilov z minimalnimi višinami nasipov sploh ni. Zato vzamemo zadnja kritična pretoka kot maksimalna pretoka znotraj odseka med mostovoma.

V preglednici 29 smo povzeli še vse kritične pretoke, pri katerih se zgodijo preplavitve omenjenih območij znotraj obravnavanega odseka.

	profil	pretok [m ³ /s]	vodostaj [m]	robni pogoji [m]	opis območja
Q_{k1}	31	582	218,93	216,00	levi podvoz pod železniškim mostom
Q_{k2}	47	730	220,42	216,60	preliv desnega nasipa dolvodno od Zdravilišča Laško, zdraviliški park
Q_{k3}	19	780	218,57	216,68	preliv levega nasipa dolvodno od Pivovarne Laško
Q_{k4}	32	803	219,71	216,75	preplavitev desnega nasipa, zalitje Rimske ceste in cestnega podvoza pod železnico
Q_{k5}	33	918	220,37	217,20	preplavitev levega brega med cestnim in železniškim mostom

Preglednica 29, pregled vseh kritičnih pretokov, vodostajev in robnih pogojev

12.2. KRITIČNI PRETOKI PO REGULACIJI MARIJAGRAŠKEGA OVINKA

Kritične pretoke pri trenutnem stanju Savinje bomo primerjali še s stanjem, kakršno naj bi bilo po izvedeni regulaciji marijagraškega ovinka. Najprej bomo primerjali prečne profile v zdajšnjem stanju s prečnimi profili v reguliranem stanju pri kritičnih pretokih Q_{k1} do Q_{k5} , da bomo ugotovili, kolikšen je padec gladin zaradi regulacije. Pri drugi primerjavi pa bomo primerjali iste profile s kritičnimi pretoki v zdajšnjem stanju in s kritičnimi pretoki v reguliranem stanju.

V prvem primeru smo uporabili iste pretoke kot pri prejšnji analizi, to je od Q_{k1} do Q_{k5} , robni pogoji pa so se zaradi regulacije spremenili. Prikazani so v preglednici 30.

	robni pogoji [m]
Q_{k1}	215,40
Q_{k2}	216,10
Q_{k3}	216,15
Q_{k4}	216,30
Q_{k5}	216,70

Preglednica 30, robni pogoji pri reguliranem stanju za Q_{k1} do Q_{k5}

Rezultati pri istih pretokih kot pred regulacijo dajo nove, nižje vodostaje, kar pomeni, da regulacija marijagraškega ovinka prinese občutno znižanje vodostajev, za katere smo v prejšnjih primerih ugotovili, da so kritični. Okoli železniškega mostu je gladina po regulaciji nižja za 114 cm, najmanjše znižanje gladine pa je pri profilu 47, in sicer 27 cm, kjer se prelije desni nasip zdraviliškega parka. Vodostaji pred regulacijo in po njej ter njihova razlika so prikazani v preglednici 31.

	profil	pretok [m ³ /s]	pred regulacijo		po regulaciji	
			vodostaj [m]		vodostaj [m]	razlika [m]
Q_{k1}	31	582	218,93		217,79	-1,14
Q_{k2}	47	730	220,42		220,15	-0,27
Q_{k3}	19	780	218,57		217,29	-1,28
Q_{k4}	32	803	219,71		218,52	-1,19
Q_{k5}	33	918	220,37		219,56	-0,81

Preglednica 31, vodostaji pred regulacijo in po njej ter njihova razlika pri kritičnih pretokih Q_{k1} do Q_{k5}

V drugem delu bomo preverili, kakšni so še lahko pretoki pri prej omenjenih kritičnih profilih, da se voda ne preliva.

Pri profilih 19 in 31 te analize ne bomo izvajali, saj regulacija Savinje pri Marija Gradcu predvideva protipoplavne ukrepe, ki vključujejo gradnjo nasipov vzdolž regulacije, ki so vsaj 40 cm višji od vodostaja pri stoletnem pretoku Savinje Q₁₀₀ po regulaciji, ki znaša 1.400 m³/s.

Tako nam ostanejo kritični profili 47, 32 in 33. Kot prvega smo obravnavali profil 47, ki je bil v prejšnjem primeru najbolj kritičen, tudi po regulaciji pa se je tam gladina najmanj znižala. Po regulaciji znaša kritični pretok Q_{k2_po} = 813 m³/s. Ugotovimo, da se lahko po regulaciji pretok v tem profilu zviša za 83 m³/s, preden se voda prelije čez nasip.

Tudi preostala profila imata kritičen pretok višji. Pri profilu 32 ta znaša Q_{k4_po} = 1.128 m³/s in je za 325 m³/s večji od Q_{k4}, pretok pri profilu 33 pa je Q_{k5_po} = 1.186 m³/s, kar je za 268 m³/s več kot v primeru pred regulacijo.

Povzeti robni pogoji, kritični pretoki in vodostaji po regulaciji ter za primerjavo pretoki pri istih profilih pred regulacijo so prikazani v preglednici 32.

	profil	robni pogoji [m]	po regulaciji		pred regulacijo	
			pretok [m ³ /s]	Vodostaj [m]	pretok [m ³ /s]	razlika [m ³ /s]
Q_{k2_po}	47	216,35	813	220,42	730	-83
Q_{k4_po}	32	217,80	1.128	219,71	803	-325
Q_{k5_po}	33	218,05	1.186	220,37	918	-268

Preglednica 32, robni pogoji, pretoki in vodostaji v kritičnih profilih po regulaciji in pretok pred njo

13. NAPOTKI ZA NAPREJ

V diplomski nalogi smo obdelali majhen del vpliva VV na razmere v Laškem. Poleg tega smo analizirali spremembe, ki bi jih prinesle morebitne regulacije Savinje na obravnavanem odseku. Mogoča je še nadaljnja analiza Savinje, ki bi obravnavala vodotok kot celoto, ne pa samo en del.

Na samem odseku, ki smo ga obravnavali, bi bila mogoča podrobna analiza mostov v središču mesta, to sta železniški in cestni most v Laškem. Lahko bi analizirali, kako določeni tipi mostov vplivajo na zajetje Savinje gorvodno od vsakega mostu posebej.

Mogoča je še analiza vseh pritokov Savinje v Laškem, tako večjih kot tudi manjših, in vpliv pritokov na Savinjo, pa tudi vpliv Savinje na pritoke.

Analize s poglobljanjem struge bi bile nesmiselne, saj je dno struge Savinje skozi Laško skalnato.

Nasprotno bi lahko izvedli analizo pretokov z dvigom nasipov na levi in desni strani struge, tako da se Savinja sploh ne bi razlivala po naseljenih površinah v Laškem.

Zanimiva bi bila še analiza, kako vplivajo zadrževalniki v Zgornji in Spodnji Savinjski dolini na razmere VV v Laškem, za koliko je mogoče zmanjšati največji pretok in ali je sploh mogoče, da pretoki skozi Laško po urejeni regulaciji marijagraškega ovinka ne bi presegli vrednosti, ki so bile izračunane v poglavju 12 in so prikazane v preglednici 32.

14. ZAKLJUČEK

Namen diplomske naloge je bil ugotoviti, ali nam regulacija pri Zdravilišču Laško in regulacija marijagraškega ovinka prineseta kakšne rezultate. Rezultati so spodbudni, saj smo ugotovili, da regulacije prinesejo željene rezultate oziroma znižanje gladin VV.

Pri analizi VV pri Q_{100} smo ugotovili, kaj nam sploh prinašajo regulacije. Po prvi izvedeni regulaciji se v okolici zdravilišča gladina VV pri Q_{100} zniža za do 42 cm, po drugi izvedeni regulaciji pa je padec še dodatnih 30 do 45 cm. Na dolvodne razmere pa ta regulacija ne vpliva. Marijagraška regulacija vpliva na celotni obravnavani odsek, znižanje VV glede na prvotno stanje pa je tudi do 108 cm. Pri mostnih opornikih pri Q_{100} je padec gladin zaradi regulacij različen. Največji je pri železniškem mostu v Laškem, ki znaša glede na prvotno stanje 104 cm, najmanjši pa pri cestnem mostu v Jagočah, 53 cm.

Analize samih mostnih opornikov so nam pokazale, kako mostovi vplivajo na zajezbo Savinje. Železniški most zajezi strugo in dvigne gladino za 10 cm, cestni most v Laškem za 4 cm in cestni most v Jagoče prav tako kot železniški za 10 cm. Vplivi regulacij na znižanje gladin pri mostnih opornikih niso pomembni. Razlika pri različnih regulacijah znaša med 2 in 3 cm.

Analizirali smo še vpliv plavja na mostne opornike, kar je dalo zelo podobne rezultate. Zajezba za mostovi je bila med 6 in 8 cm, treba pa je ponoviti, da smo predpisali drugačne dimenzije plavja za železniški most in za cestna mostova zaradi dimenzij mostnih opornikov.

Vpliv regulacije pri Zdravilišču Laško je prinesel znižanje prelivnega pretoka za $45 \text{ m}^3/\text{s}$ in znaša $367 \text{ m}^3/\text{s}$. Za celotno preplavitev levega in desnega brega med Zdraviliščem Laško in cestnim mostom v Jagoče je po regulaciji pretok višji kar za $102 \text{ m}^3/\text{s}$ in znaša $884 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za analizo vpliva depresije pri pokopališču smo uporabili nestalni tok, s katerim smo simulirali poplavo leta 2007. Sam vpliv depresije je zanemarljiv, saj je akumulacija premajhna. Tako se pretok ob sami depresiji zmanjša za $123,84 \text{ m}^3/\text{s}$ in znaša $1.121,93 \text{ m}^3/\text{s}$,

vendar se izstopni pretok v primerjavi z vstopnim zmanjša le za 2,56 m³/s. Znižanje gladine VV je imelo vpliv samo na območju depresije, kjer se je ta znižal za 11 cm.

Prikazali smo še najmanjše pretoke, pri katerih se zgodi prelivanje na različnih delih obravnavanega območja. Prvi kritični pretok pri zdajšnjem stanju je pri 582 m³/s, pri pretoku 918 m³/s pa so poplavljeni vsa področja ob Savinji. Z regulacijo se te količine še povečajo. Prvi kritični pretok se poveča za 83 m³/s, da pa so poplavljeni vsa področja, se mora pretok povečati kar za 268 m³/s, takrat znaša 1.186 m³/s.

S pomočjo vseh analiz lahko sklepamo, da nam regulacije prinesejo rezultate in zmanjšanje pretokov, prav tako je očitno, da bi lahko stanje še izboljšali, in sicer z drugačnimi mostovi, zadrževalniki v Savinjski dolini in drugimi ukrepi.

VIRI

- Agencija Republike Slovenija za okolje, Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije (obdobje 1961–1990).
- Agencija Republike Slovenija za okolje, Vodomerna postaja Laško, vodostaj in pretok, 26. 10.–5. 11. 1990.
- Agencija Republike Slovenija za okolje, Vodomerna postaja Laško, vodostaj in pretok, 31.10.–20.11.1998.
- Agencija Republike Slovenija za okolje, Vodomerna postaja Laško, vodostaj in pretok, 18. 9.–19. 9. 2007.
- Agencija Republike Slovenija za okolje, Vodomerna postaja Laško, pretok, maksimalni letni pretoki za obdobje 1908–2007 .
- Breznik, M. 1990. Poplave v novembru 1990. Vodna ujma. Zbornik referatov. November 1990: str. 27–30.
- Brilly, M. in Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG: str. 44–55.
- Brilly, M., Vidmar, A. in Šraj, M. 1999. Ravni hidrografskih razvodnic in šifrant hidrografskih razvodni. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FGG.
- Dolinar, M. 1999. Obilne padavine ob poplavah jeseni 1998. Ujma 13: str. 151–159.
- Fazarinc, R. 2007. Ni kriva le narava, Novi tednik, št. 79, str. 4.
- Savinja od vtoka Pake do izliva v Savo brez povodja Voglajne. 1994. Hidrološka študija, VGI, C-158, september 1994.
- Občina Laško. 2007. Dostopno na: <http://www.lasko.si/content/view/164/110/lang/> (14. 12. 2007).
- Kolbezen, M. 1991. Hidrološke značilnosti novemberske visoke vode leta 1990. Ujma 5: str. 16–18.
- Kolbezen, M. 1991. Velike poplave in povodnji na slovenskem I. Ujma 5: str. 146–149.
- Kolbezen, M. 1992. Velike poplave in povodnji na slovenskem II. Ujma 6: str. 214–219.

- Kolbezen, M. 1993. Velike poplave in povodnji na slovenskem III, Povodenj v porečju Savinje junija 1954. Ujma 7: str. 81–84.
- Kolbezen, M. 1994. Velike poplave in povodnji na slovenskem IV, Poplave leta 1964 in 1965. Ujma 8: str. 81–87.
- Kolbezen, M. in Škerjanc, K. 1990. Katastrofalne visoke vode v Sloveniji 1. novembra 1990. Vodna ujma. Zbornik referatov. 1990: str. 27–30.
- Križnik, J. 1995. Pozdrav iz Laškega. Slovenski vodar 1. 1995: str. 26.
- Leskovšek, A. 2002. Poplavno območje kot omejitveni dejavnik za prostorski razvoj Laškega: diplomsko delo, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, FF, Oddelek za geografijo: str. 34–46.
- Marinček, M. 1998. Vodna ujma 1998 na vodnem območju Savinje in Sotle. Poplavna karta Laško: str. 72–73.
- Mikoš, M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik 53: str. 342–351.
- Repe, B. 2002. Soil degradation threat to Slovenia's landscapes. Acta geographica 42: str. 99–121.
- Steinman, F. in Banovec, P. Š.l. 2004/2005. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I. Univerza v Ljubljani, FGG: str. 13
- Wikipedia (2007). Dostopno na: http://sl.wikipedia.org/wiki/Geografija_Slovenije (21. 11. 2007).
- Wikipedia (2007). Dostopno na: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Savinja> (21. 11. 2007).
- Wikipedia (2007). Dostopno na: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Slovenija> (21. 11. 2007).

PRILOGE