

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Preložnik, M., 2014. Hidravlična analiza reke Savinje skozi Laško s predlogom protipoplavnih ukrepov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M.): 62 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Preložnik, M., 2014. Hidravlična analiza reke Savinje skozi Laško s predlogom protipoplavnih ukrepov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, M.): 62 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO

Kandidat:

MARKO PRELOŽNIK

**HIDRAVLIČNA ANALIZA REKE SAVINJE SKOZI
LAŠKO S PREDLOGOM PROTIPOPLAVNIH UKREPOV**

Diplomska naloga št.: 243/VKI

**HYDRAULIC ANALYSIS OF THE SAVINJA RIVER IN
LAŠKO WITH A PROPOSAL OF FLOOD MEASURES**

Graduation thesis No.: 243/VKI

Mentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Dušan Žagar

Ljubljana, 17. 10. 2014

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVE

Podpisani Marko Preložnik izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom Hidravlična analiza reke Savinje skozi Laško s predlogom protipoplavnih ukrepov.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 2014

Marko Preložnik

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 614.8.084:627.53(497.4)(043.2)

Avtor: Marko Preložnik

Mentor: prof. dr. Matjaž Mikoš

Naslov: Hidravlična analiza reke Savinje skozi Laško s predlogom protipoplavnih ukrepov

Tip dokumentacije: Diplomaska naloga – univerzitetni študij

Obseg in oprema: 62 str., 12 pregl., 41 sl., 4. pril.

Ključne besede: Laško, poplave, pretok, protipoplavna zaščita, protipoplavni zidovi

Izvleček

Diplomska naloga je razdeljena na tri obsežne dele in predstavlja idejni projekt. V prvem delu so opravljene in predstavljene hidravlične izračune reke Savinje skozi Laško za različna stanja. S pomočjo hidravličnih izračunov smo izvedeli, ali so določeni posegi na strugi in izgradnja suhih zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini smotrni. Na podlagi hidravličnih izračunov smo se v drugem delu usmerili v iskanje območji, kjer reka Savinja prestopi bregove. V drugem delu diplome smo določili tudi potrebne višine in dolžine posameznih odsekov protipoplavnih zidov. V zadnjem delu pa smo poskušali najti ustrezno izvedbo teh protipoplavnih zidov. Klasična izvedba betonskih zidov bi zelo spremenila kakovost življenja v centru Laškega. Lamelna zaščita IBS predstavlja alternativo klasični izvedbi zidov, vendar je njena cena do trikrat višja, hkrati pa se s takšno protipoplavno zaščito obrani center Laškega pred poplavami, kvaliteta življenja prebivalcev pa se ne spremeni.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 614.8.084:627.53(497.4)(043.2)
- Author:** Marko Preložnik
- Supervisor:** prof. Matjaž Mikoš, Phd
- Title:** Hydraulic analysis of the Savinja river in Laško with a proposal of flood measures
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 62 p., 12 tab., 41 fig., 4. ann.
- Keywords:** Laško, floods, flow, flood protection, flood walls

Abstract

The diploma thesis is divided into three large parts and presents conceptual project. In the first part are carried out and presented hydraulic analyses of the Savinja river through Laško for different conditions. On the basis of hydraulic analyses we have seen, whether certain interventions on the riverbed, and the construction of a dry pond networks in the Lower Savinja valley are rational. Based on the hydraulic analyses in the second part of thesis we focus on finding areas where river Savinja overflows its banks. Also in this part of a thesis we determine the required height and length of the individual sections of flood walls. In the last part we tried to find the proper execution of these flood walls. Classic execution of concrete walls would change the quality of life in the centre of Laško a lot. IBS flood protection system presents an alternative to the classic execution of flood walls, but the price is up to three times higher, at the same time with this flood protection system the centre of Laško is protected from floods, just as well as the quality of life for residents does not change.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomskega dela se zahvaljujem mentorju, prof. dr. Matjažu Mikošu.

Zahvaljujem se podjetju Hidrosvet d.o.o. za podatke in strokovno pomoč, brez katerih bi bilo dokončanje diplomske naloge veliko težje.

Hvala staršem, ker so mi omogočili študij in mi skozi študijska leta stali ob strani v dobrih in slabih trenutkih.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
2 LAŠKO IN SAVINJA	2
2.1 Laško	2
2.2 Savinja	3
3 POPLAVE REKE SAVINJE.....	5
3.1 Poplave v 20. stoletju	6
3.2 Padavine in povratne dobe.....	7
4 MODEL SAVINJE V PROGRAMU HEC-RAS	8
4.1 Hec-Ras	8
4.2 Obravnavano območje.....	9
4.3 Računanje različnih scenarijev v modelu	11
5 HIDRAVLIČNI IZRAČUNI	12
5.1 Sedanje stanje	14
5.2 Sedanje stanje z ureditvijo in poglobitvijo Udmata.....	16
5.3 Spremenjeni pretoki.....	19
6 PROTIPOPLAVNI UKREPI.....	24
6.1 Ukrepi varstva pred visokimi vodami	24
6.1.1 Reguliranje struge vodotoka.....	24
6.1.2 Lokalna preusmeritev visokih voda.....	25
6.1.3 Zadrževalniki visokih voda	26
6.2 Protipoplavni ukrepi za izboljšanje stanja v Laškem	27
6.2.1 Dolvodni ukrepi.....	27
6.2.2 Gorvodni ukrepi.....	27
6.2.3 Ukrepi v Laškem	27
6.3 Protipoplavni nasipi in zidovi.....	28
6.3.1 Protipoplavni nasipi	28
6.3.2 Protipoplavni zidovi	29
7 MOŽNI PROTIPOPLAVNI UKREPI V LAŠKEM.....	31
7.1 Protipoplavne vreče	31
7.2 Beaver cevni sistemi.....	32
7.3 Panelna zaščita WHS.....	34
7.4 Lamelna zaščita IBS	35

8 PROTIPOPLAVNE REŠITVE V LAŠKEM	38
8.1 Območje iskanja protipoplavnih rešitev.....	40
8.1.1 Območje neposredno pod mostom v Jagoče do zdravilišča	41
8.1.2 Območje od zdravilišča do železniškega mostu.....	42
8.2 Lociranje protipoplavnih zidov	43
8.2.1 Območje od mostu v Jagoče do zdravilišča	43
8.2.2 Območje od zdravilišča do železniškega mostu.....	45
8.3 Možne oblike protipoplavnih zidov	47
8.3.1 Betonski protipoplavni zidovi	47
8.3.2 Možna protipoplavna alternativa v Laškem	50
9 CENOVNO IZVREDNOTENJE PROTIPOPLAVNIH UKREPOV V LAŠKEM	55
10 ZAKLJUČEK.....	58
VIRI.....	59

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Poplave na območju povodja Savinje v 20. stoletju	6
Preglednica 2: Pretoki.....	12
Preglednica 3: Gladina Savinje pri Q_{100} za sedanje stanje.....	15
Preglednica 4: Gladina Savinje pri Q_{100} po spremembi geometrije pri ovinku Udmat	17
Preglednica 5: Prikaz razlike gladin	18
Preglednica 6: Prikaz zmanjšanja pretokov reke Savinje za 100-letno povratno dobo zaradi gorvodnih ukrepov	19
Preglednica 7: Prikaz spremenjenih pretokov	21
Preglednica 8: Prikaz višine vode reke Savinje po spremembi pretokov	22
Preglednica 9: Razlike gladin reke Savinje za spremenjen pretoke pri Q_{100}	23
Preglednica 10: Gladine vode reke Savinje z upoštevanjem nasipov in za pretok Q_{100}	38
Preglednica 11: Razlike gladin reke Savinje z upoštevanjem nasipov in za pretok Q_{100}	39
Preglednica 12: Cenovno iz vrednotenje protipoplavne zaščite v Laškem	56

KAZALO SLIK

Slika 1: Pogled na Laško	3
Slika 2: Reka Savinja	3
Slika 3: Savinja	4
Slika 4: Poplave v Laškem	5
Slika 5: Prikaz območja modela	9
Slika 6: Prikaz območja geometrijskih sprememb	10
Slika 7: Prikaz območja postavitve visokovodnih zidov	10
Slika 8: Shematski prikaz modela	13
Slika 9: Marijagraški ovinek	14
Slika 10: Ovinek pri Udmatu	16
Slika 11: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje za obstoječe stanje	19
Slika 12: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje po izločitvi poplavnosti Celja	20
Slika 13: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje po predvideni izvedbi zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini	21
Slika 14: Prikaz reguliranja struge	25
Slika 15: Pregrada Loče pri Celju	26
Slika 16: Prikaz protipoplavnega nasipa v Vojniku	29
Slika 17: Protipoplavni zidovi v Vojniku	30
Slika 18: Prikaz uporabe protipoplavnih vreč	31
Slika 19: Beaver cevni sistem	32
Slika 20: Primer uporabe Beaver cevne sistema	33
Slika 21: Prikaz zaščite odprtih v objektu	34
Slika 22: Tesnjenje pokrovov	34
Slika 23: Prikaz postavitve protipoplavne zaščite Kölna, Nemčija	36
Slika 24: Prikaz območja postavitve protipoplavne lamelne zaščite v Freudenbergu	36
Slika 25: Prikaz postavljanja protipoplavne lamelne zaščite v Freudenbergu	37
Slika 26: Prikaz območja protipoplavnih ukrepov	40
Slika 27: Prikaz območja od mostu v Jagoče do zdravilišča Laško	41
Slika 28: Prikaz območja od zdravilišča do železniškega mostu	42
Slika 29: Prikaz lociranja visokovodnega zidu na območju med mostom v Jagoče in zdraviliščem	44
Slika 30: Prikaz lociranja visokovodnih zidov na območju od zdravilišča do železniškega mostu	45
Slika 31: Protipoplavni zid v Vojniku	48
Slika 32: Tehnična risba betonskega protipoplavnega zidu	49
Slika 33: Lamelna zaščita Freudenberg	50

Slika 34: Postavitev lamelne zaščite IBS	51
Slika 35: Prikaz delov lamelne zaščite IBS	52
Slika 36: Prikaz delov lamelne zaščite IBS – prečni prerez	52
Slika 37: Lokacija skladiščenja protipoplavne zaščite IBS	53
Slika 38: Skladiščene IBS protipoplavne zaščite v Kölnu.....	54
Slika 39: Prikaz postavitve protipoplavne zaščite IBS v Kölnu.....	54
Slika 40: Lamelna zaščita IBS.....	55
Slika 41: Odvisnost cene od dolžine protipoplavnih zidov	57

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

HEC-RAS Hydrologic Engineering Centers River Analysis System

Q_{100} Pretok s 100-letno povratno dobo

Q_{\max} Maksimalni pretok

km Kilometraža

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

V zadnjem obdobju predstavljajo poplave enega izmed ključnih problemov današnje družbe. Zelo pomembno je, da se zavedamo pomena rek, ki so na začetku civilizacije predstavljale gonilno silo razvoja. V današnjem času pa reke predstavljajo za prebivalce enega največjih naravnih sovražnikov. Ključno pri razumevanju naravnih pojavov, kot so poplave, je dejstvo, da so poplave naravni pojav, ki se dogaja že stoletja. Čedalje večji pomen pa imajo poplave zaradi gmotne škode, ki jo povzročajo. Vedno večja gmotna škoda ni posledica poplav, ampak je posledica urbanizacije na območjih, kjer reke že od nekdaj poplavlajo.

Diplomsko delo je sestavljeno iz treh obsežnih delov, ki so med seboj povezani in skupaj predstavljajo zaključeno celoto.

V delu naloge, v katerem smo opravili hidravlične izračune, smo za reko Savinjo pri pretoku Q_{100} iskali najboljšo možno rešitev za center Laškega. Da bi dobili najboljšo možno situacijo v Laškem, smo v programu HEC-RAS opravili izračune, pri čemer smo za vsak izračun spreminjali geometrijo ter pretoke. Na podlagi zadnjega hidravličnega izračuna, pri katerem smo upoštevali spremenjeni del reke Savinje do vključno ovinka pri Udmatu, prav tako pa smo upoštevali znižanje pretokov zaradi izgradnje suhih zadrževalnikov v spodnji Savinjski dolini. Na podlagi zadnjega izračuna smo se lotili iskanja možnih protipoplavnih ukrepov za center Laškega, in sicer od mostu v Jagoče do železniškega mostu.

Drugi del diplomske naloge smo namenili iskanju območij, kjer reka Savinja prestopi bregov. Na podlagi rezultatov smo se v nadaljevanju lahko lotili reševanje problema, kako obvarovati Laško pred poplavami pri čemer se kakovost življenja ne poslabša.

V zadnjem delu smo se lotil iskanja najboljše možne rešitve protipoplavnih ukrepov za Laško. Zaradi specifične lege centra Laškega je bilo potrebno iskati alternativne oblike klasičnim betonskim zidovom, saj bi ti predstavljali preveliko oviro, da bi bila njihova izgradnja sprejemljiva s strani prebivalcev. V tem sklopu diplomske naloge smo naredili tudi informativno primerjavo cenovne izvedbe možnih protipoplavnih ukrepov. Cenovna primerjava služi temu, da se zavemo, kakšne prednosti in slabosti prinašajo drugačne oziroma boljše izvedbe protipoplavnih ukrepov.

2 LAŠKO IN SAVINJA

2.1 Laško

Laško je od nekdanj neposredno povezano z reko Savinjo, saj leži ob njenem spodnjem toku (slika 1). Savinja predstavlja ločnico med strmim in položnejšim hribovjem. Maloštevilne ravnine v dolinah pa so zapolnjene z njivami ter urbanimi površinami. Znano je dejstvo, da je nastanek in razvoj mesta povezan z rekami, pri čemer Laško ne predstavlja nobene izjeme. Za visoke lege je značilno, da so poraščene z gozdom, za nekoliko nižje lege pa so značilne samotne kmetije, ki so nastale na območjih, kjer so gozd posekali. Ko govorimo o glavnem delu Laškega, neposredno ob reki Savinji, sega gozd do same reke, na določenih delih pa gozd nadomešča parkovni nasad, ki je lepo urejen. Laško in naselje Debro sta med seboj povezana z uličnim sistemom, vendar se Laško zaradi tega ni drastično povečalo, zato spada med mala mesta v Sloveniji. Na večji razvoj mesta sta neposredna vplivala bližina Celja ter prostorska utesnjenost, kljub temu pa so začetki industrije in rudarstva opazni že v 18. in 19. stoletju. Na ožjem območju prevladujejo tekstilna in živilska industrija, ostale panoge pa so se razvile v Rečiški dolini. V zadnjih dvajsetih letih se je mesto močno povečalo, popestrilo in naredilo izjemen napredek na področju delovnih storitev ter proizvodnih programov. Prav tako pa ne smemo pozabiti tistih obrtnih dejavnosti, ki so se ohranile do danes, kljub temu da so se venomer pojavljale nove dejavnosti, ki so predstavljale močno konkurenco. Laško za transport pomeni povezavo med predalpsko in subpanonsko krajino. Ko govorimo o Laškem, ne moremo mimo turizma in njegove vloge za mesto, saj ta panoga predstavlja za Laško gonilno silo razvoja (Sore, 2000).

Statistični podatki občine Laško (Statistični urad republike Slovenije, 2014):

- število prebivalcev: 13.457,
- površina: 198 km²,
- gostota prebivalstva: 68 preb/km².



Slika 1: Pogled na Laško (Turistično društvo Laško, 2013)

2.2 Savinja

Reka Savinja (slika 2) se uvršča med najlepše alpske reke. Porečje reke Savinje se razteza na 1858 km². Reka izvira pod Okrešljem. Reka Savinja spada med hudourniške reke, za katere velja, da so ekstremni pretoki v času obilnih padavin nekaj povsem običajnega. Najbolj veseli dejstvo, da se reka v ekološkem smislu vrača v prvotno stanje, saj je bila v zadnjih dvajsetih letih zaradi urbanih in industrijskih središč zelo onesnažena (Goropevšek, 2011).



Slika 2: Reka Savinja (Porečje Savinje, 2013)

Savinja izvira približno na višini 1280 m. V zgornjem delu Logarske doline Savinje ne bomo našli, saj se voda v prodnih naplavinah porazgubi ter priteče na površje šele v spodnjem delu doline. Reka nadaljuje svojo pot skozi Solčavo do Luč, kjer postane njena struga manj strma ter obrečni pas bolj poraščen, kot je to v alpskem svetu (slika 3). Dolvodno od Luč Savinja teče skozi Ljubno, Mozirje, Polzelo, Šempeter, Žalec in Celje. Vsa našeta mesta ter manjši kraji so z reko tesno povezani tako v slabem kot v dobrem. Ko Savinja zapusti Celje, potuje do Laškega mimo Košnice ter vasi, ki stoji ob cesti in se imenuje Tremarje (Goropevšek, 2011).



Slika 3: Savinja (Porečje Savinje, 2013)

Za Laško je znano, da narava močno omejuje njegovo urbano rast. Pri tem je potrebno dodati, da je na eni strani omejitveni dejavnik sama morfologija terena, na drugi strani pa reka Savinja, ki zavzame velik del nižinskega sveta, poleg tega pa sama reka pokaže še druge omejitvene razsežnosti, ki se pokažejo ob poplavih. Ko reka zapušča Laško, se ji v marijagraškem ovinku z leve pridruži reka Lahomnica. Pot nato nadaljuje proti Rimskim Toplicam, kjer ima reka povsem drugačen značaj, saj se prikaže kot mehka in spokojna. V Zidanem Mostu se Savinja združi z reko Savo (Goropevšek, 2011).

3 POPLAVE REKE SAVINJE

Za reko Savinjo velja, da se manjše poplave pojavljajo skoraj vsako leto, vendar so tudi obsežne poplave dokaj pogoste. Pri večjih poplavah prihaja do velike gmotne škode, prav tako niso izključene človeške žrtve. Za obsežne poplave reke Savinje je ključnega pomena, da imajo njeni pritoki in Savinja sama hudourniški značaj, omeniti pa moramo še klimatske razmere. Poleg tega da se pojavljajo zelo hude poplave zaradi prej navedenih razlogov, je potrebno upoštevati, da nastane zelo velika gmotna škoda predvsem zaradi poseljenosti neposredno ob reki na poplavnih ravninah (slika 4). Za reko Savinjo je značilno, da poplavlja predvsem v času jesenskega ter spomladanskega deževja. Njeni pritoki prestopijo bregove ob močnih nalivih v poletnem času. Ker imajo pritoki reke in Savinja hudourniški značaj, to pomeni, da imajo ob visokih vodah veliko rušilno moč. Ta rušilna moč se večkrat pokaže s podrtimi drevesi, premeščenimi velikimi količinami materiala in podrtimi mostovi (Metelko Skutnik, 2011).



Slika 4: Poplave v Laškem (Vrabec, 2014)

3.1 Poplave v 20. stoletju

Preglednica 1: Poplave na območju povodja Savinje v 20. stoletju (Metelko Skutnik, 2011)

Čas poplave	Območje	Vzroki	Posledice
November 1901	Večji del porečja Save	Dolgotrajno jesensko deževje	Poplavljen je bil večji del Celja
Maj 1910	Štajerska	Močne padavine	Povsem uničena setev, več smrtnih žrtev
November, december 1923	Del porečja Save, Savinje in Krke	Dolgotrajno deževje	Obsežne poplave ob Savi
November 1925	Del porečja Savinje, Drave in Mure s pritoki	Močne padavine	Poplave ob večjih rekah z vasmimi in večjimi mesti: Celje, Murska sobota, Maribor, Ljutomer, .)
Avgust 1926	Del porečja Savinje, Drave in Mure s pritoki	Močna neurja, divjanja hudournikov	Številne poškodbe na železniškem omrežju
September 1933	Ljubljansko barje, kraška polja na Notranjskem in Dolenjskem, ob spodnji Savi in Savinji	deževje	Velike poplave na kraških poljih, poplavljen vasi in mesta ob večjih rekah, več smrtnih žrtev
Junij 1954	Porečje Savinje	Močno neurje, divjanje hudournikov, zemeljski plazovi	Poplavljen Celje, 22 smrtnih žrtev
November 1990	Savinja, Kamniška Bistrica in Sora s pritoki	Dolgotrajno deževje, divjanje hudournikov, zemeljski plazovi	Poplavljen velik del Celja, 2 smrtni žrtvi
November 1998	Večji del porečja Save	Dolgotrajno deževje, divjanje hudournikov, zemeljski plazovi	Poplavljen del Celja

Kot prikazuje preglednica 1, vidimo, da se je v 20. stoletju na porečju Savinje zgodilo devet obsežnejših poplav. Najprej omenimo poplavo v Celju leta 1933, v kateri sta bila porušena jezova pri Polzeli in v Nazarjah. V tej poplavi je bilo Celje odrezano od sveta, saj so bili porušeni vsi mostovi. Naslednja obsežna poplava se je zgodila leta 1954, v kateri je ugasnilo 22 življenj. Posledice poplav iz let 1990 in 1998 so bile podobne. Do poplav leta 1990 so prebivalci Celja živeli v prepričanju, da so varni pred visoko vodo s povratno dobo 300 let, vendar so se njihova prepričanja v noči iz 1. na 2. november v trenutku razblinila, ko je Savinja s sabo nosila njihovo imetje (Metelko Skutnik, 2011).

3.2 Padavine in povratne dobe

Kadar govorimo o poplavah, se dotaknemo dveh pojmov, in sicer:

- padavine in
- povratne dobe.

Za razumevanje nastanka poplav in njihovih intenzitet je potrebno, da se zavedamo splošnih lastnosti padavin. Prav tako je potrebno, da se le-te definirajo z določeno jakostjo, ki jo ponazarjajo povratne dobe.

Padavine so širok pojem, med katere spadajo dež, toča, sneg, rosenje, sodra, babje pšeno, ledene iglice ipd. Enostavno lahko razložimo, da padavine nastanejo z dviganjem vlažnega zraka, pri čemer se zračne mase ohlajajo in to povzroči kondenzacijo vodnih hlapov. S hlajenjem se povečuje relativna vlažnost do točke, ko postane zrak popolnoma zasičen. Poznamo tri vrste padavin, in sicer: konvektivne, orografske in ciklonske padavine. Značilnost konvektivnih padavin je, da se pojavljajo predvsem v poletnem obdobju, in sicer zaradi dviganja segrelih zračnih mas na lokalnem območju. Orografske padavine nastajajo ob pobočju planin zaradi dviganja zračnih mas. Ciklonske padavine pa povzročijo ciklon, kar pomeni območje nizkega zračnega pritiska. Pri razumevanju in analiziranju padavin moramo upoštevati še vplive različnih parametrov. Ti parametri pa so: geografska širina, bližina morja, relief, gozdovi in večja mesta (Brilly in Šraj, 2005).

Z napovedovanjem vremena se ukvarja uporabna meteorologija na podlagi numeričnih izračunov. V Sloveniji nastanejo močni nalivi, ko se vlažen in topel zrak močno in trajno dviguje, ti močni nalivi pa predstavljajo največjo nevarnost, saj so sestavni del neurij, le-te pa je težko napovedati. Najmočnejše padavine poznamo v Sloveniji jeseni, kadar se lahko sočasno pojavi dvigovanje zraka v ciklonskem območju ter dvigovanje zraka zaradi gorovji. Eden izmed ekstremov takšnega pojava se je zgodil v septembru 2007 (Meze, 2008).

Bistveno pri razumevanju padavin in odtoka je dejstvo, da 1-, 2-, 5-, 10-letne padavine ne povzročijo vedno 1-, 2-, 5-, 10-letnih odtokov. To odstopanje je posledica razmer na povodju, saj je lahko povodje presušeno ter polno vegetacije, kar doprinese k nizkim odtokom, na drugi strani pa lahko imamo pomrznjeno zemljo brez vegetacije in vsa padla voda tudi odteče. (Kompore, 1991).

4 MODEL SAVINJE V PROGRAMU HEC-RAS

Hidravlične račune lahko opravimo z različnimi programi in služijo kot osnova za urejanje poplavne varnosti ogroženih območij. Izračuni so bili opravljeni v programu HEC-RAS. Vse vhodne podatke smo pridobili pri podjetju Hidrosvet, in sicer naslednje projekte:

- Izdelava kart razredov poplavne in z njimi povezane erozijske nevarnosti za potrebe priprave OPN Občine Laško, Hidrosvet d.o.o., 2011. Investitor elaborata je Občina Laško, izdelovalec pa Hidrosvet d.o.o..
- Zagotavljanje poplavne varnosti na porečju Savinje – lokalni ukrepi (Ureditev Savinje pod Laškim – 1. faza od km 13+438 do km 13+841), Hidrosvet d.o.o., 2013. Investitor projekta je Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, izdelovalec pa Hidrosvet d.o.o..
- Ureditev Savinje pod Laškim od km 10+138 do km 14+296 (rednik1, 2), Hidrosvet d.o.o., 2002. Investitor projekta je Ministrstvo za okolje in prostor, izdelovalec Hidrosvet d.o.o..

4.1 Hec-Ras

HEC-RAS je program, ki ga je za potrebe enodimenzijskih (1D) izračunov razvil U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering. S pomočjo računalniškega programa HEC-RAS smo v našem primeru izračunali različna gladinska stanja, pri čemer smo spreminjali vhodne podatke. Pri hidravličnem izračunu reke Savinje skozi Laško je imela ključno vlogo geometrija (površje, teren, oblikovnost struge in poplavna območja), saj smo glede na njene spremembe na posameznih odsekih dobili različna gladinska stanja. Iz programa HEC-RAS smo razbrali tudi potrebno višino protipoplavnih zidov.

V programu HEC-RAS smo izračunali naslednje poplavne scenarije:

- sedanje stanje,
- znižanje dna struge v ovinku pri Udmatu,
- zmanjšanje pretokov zaradi gorvodnih ukrepov,
- postavitev protipoplavnih zidov.

4.2 Obravnavano območje

Območje obravnave je razdeljeno na tri dele, in sicer na območje modela (slika 5), območje geometrijskih sprememb (slika 6) ter območje, kjer so predvideni visokovodni zidovi (slika 7). Prvo in najboljše območje sega od Tremerij do izliva reke Savinje v Savo. Drugo območje, kjer smo opravili geometrijske popravke v modelu, sega od železniškega mostu v Laškem do ovinka pri Udmatu. Tretje območje pa je del, za katerega smo predvideli visokovodne zidove, in to je območje od mosta v Jagoče do železniškega mostu v Laškem. Torej se to zadnje območje obdelave razteza čez središče kraja, kjer je potrebno zaščititi urbanizirane površine.

Območje od mostu v Jagoče do ovinka pri Udmatu je prikazano na prilogi A. Dolžine teh odsekov so:

- območje modela: 20.462 m,
- območje geometrijskih sprememb: 2.646 m,
- območje protipoplavnih ukrepov: 1.779 m.



Slika 5: Prikaz območja modela (Atlas okolja, 2014)



Slika 6: Prikaz območja geometrijskih sprememb (Atlas okolja, 2014)



Slika 7: Prikaz območja postavitve visokovodnih zidov (Atlas okolja, 2014)

4.3 Računanje različnih scenarijev v modelu

V diplomski nalogi smo računali različne scenarije ob poplavah reke Savinje v Laškem.

- 1.) V prvem primeru smo računali gladino reke Savinje za sedanje stanje.
- 2.) V drugem primeru smo izračunali gladino Savinje tako, da smo model za sedanje stanje spremenili v območju od marijagraškega ovinka pa do ovinka pri Udmatu.
- 3.) V tretjem primeru je geometrija modela ostala enaka, le pretok se je zmanjšal zaradi gorvodnih ukrepov (suhi zadrževalniki, izločitev poplavnosti Celja).
- 4.) V četrtem primeru smo v model vnesli protipoplavne zidove na območju Laškega od mostu v Jagoče do železniškega mostu. Protipoplavne zidove smo načrtovali in v nadaljevanju določili potrebno dolžino ter najvišjo in najnižjo višino zidu, da bi še dodatno povečali poplavno varnost Laškega.

Z računanjem različnih scenarijev smo želeli prikazati, kakšni so vplivi lokalnih ukrepov na višino poplavne vode Savinje v centru Laškega. Z analizo smo pokazali, da se lahko gladina v Laškem drastično zniža že zaradi ukrepov, ki so narejeni dolvodno in gorvodno. Z določenimi ukrepi, kot so suhi zadrževalniki in znižanje ter ureditev struge pri Udmatu, ustvarimo pogoje, da nam v centru Laškega ni potrebno postavljati visokih protipoplavnih zidov, s katerimi bi ob visokih vodah Savinjo zadržali v strugi. Protipoplavni zidovi višine 2 m ali več najverjetneje ne bi bili sprejemljivi za prebivalce Laškega.

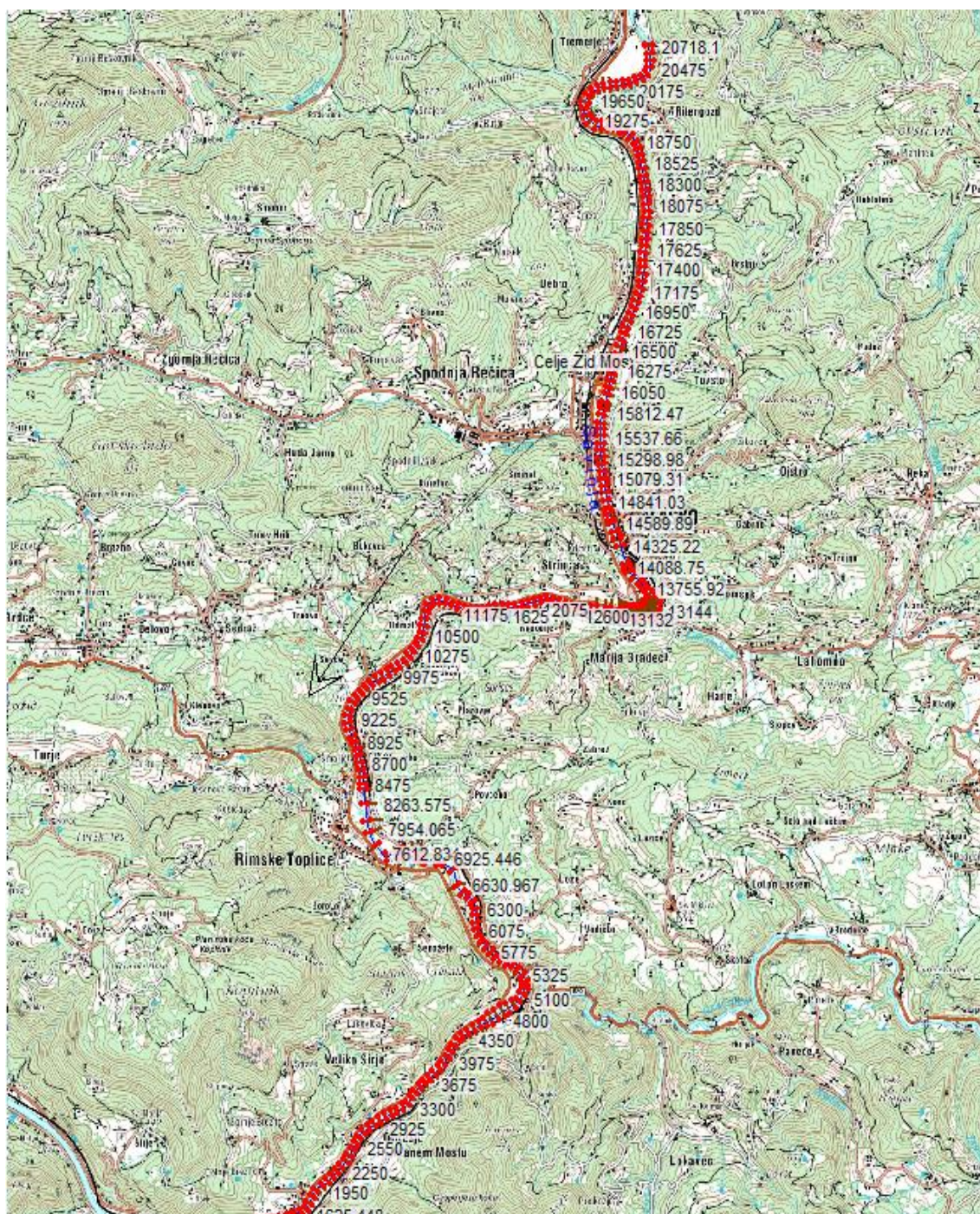
5 HIDRAVLIČNI IZRAČUNI

Kot smo predstavili v prejšnjem poglavju, smo hidravlične izračune opravili v programu HEC-RAS. Prav tako smo omenili, da smo računali 4 različne scenarije, v katerih smo za vsak scenarij popravili določene geometrijske podatke, pretoke ter različne koeficiente. V nadaljevanju bo nazorno prikazan vsak izračun posebej ter primerjava višine vode Savinje v Laškem glede na sedanje stanje. Pri računanju različnih scenarijev smo računali s pretoki, ki so prikazani v preglednici 2. Podatke smo pridobili v hidrološki študiji Savinja od vtoka Pake do izliva v Savo brez povodja Voglajne (Vodnogospodarski inštitut, 1994).

Preglednica 2: Pretoki (Vodnogospodarski inštitut, 1994)

	Q100
	[m ³ /s]
Savinja do Rečice	1389
Savinja pod Rečico	1398
Savinja do VP Laško	1400
Savinja do Lahomnice	1400
Savinja pod Lahomnico	1410

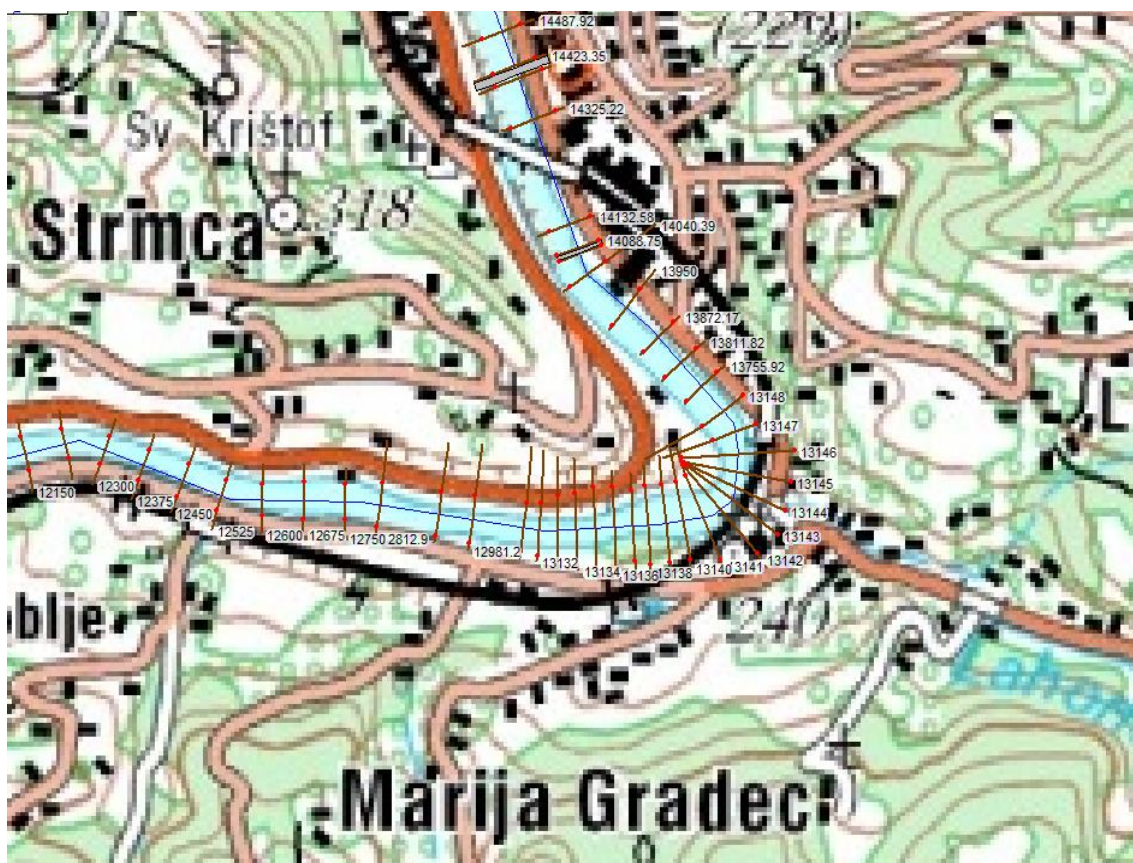
Pri računanju scenarijev smo izhajali iz prvotnega modela v programu HEC-RAS. Ta prvotni model je bil narejen v sklopu elaborata Izdelava kart razredov poplavne in z njimi povezane erozijske nevarnosti za potrebe priprave OPN Občine Laško, Hidrosvet d.o.o., 2011. Investitor elaborata je Občina Laško, izdelovalec pa Hidrosvet d.o.o.. V vsakem scenariju, kjer smo spreminjali pretoke ali geometrijo, smo izhajali iz modela, ki je bil narejen v zgoraj omenjenem elaboratu. Shematski prikaz modela je predstavljen na sliki 8.



Slika 8: Shematski prikaz modela (Hidrosvet, 2011)

5.1 Sedanje stanje

Prvi hidravlični izračun, ki smo ga naredili v programu HEC-RAS, je izračun za sedanje stanje. Za dejanski prikaz obstoječega stanja smo morali osnovni model iz elaborata 2011 spremeniti v območju marijagraškega ovinka. Te spremembe so bile potrebne, ker so bila na tem območju izvedena dela, s katerimi se je premaknila os struge ter s tem skrajšala za 72,34 m. Prav tako so bila izvedena dela na brežinah reke. Podatke o opravljenih delih smo pridobili v projektu PID: Zagotavljanje poplavne varnosti na porečju Savinje – lokalni ukrepi (Ureditev Savinje pod Laškimi – 1. faza od km 13+438 do km 13+841), Hidrosvet d.o.o., 2013. Investitor projekta je bilo Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, izdelovalec pa Hidrosvet d.o.o.. Del modela, ki smo ga popravili, je marijagraški ovinek, ki ga prikazuje slika 9.



Slika 9: Marijagraški ovinek (Hidrosvet, 2011)

Pridobljene rezultate v vsaki iteraciji smo primerjali s prvim primerom, torej nam primer za sedanje stanje služi kot osnova. Vse pridobljene podatke smo primerjali na območju od mostu v Jagoče km 15+865 do železniškega mostu km 14+086.

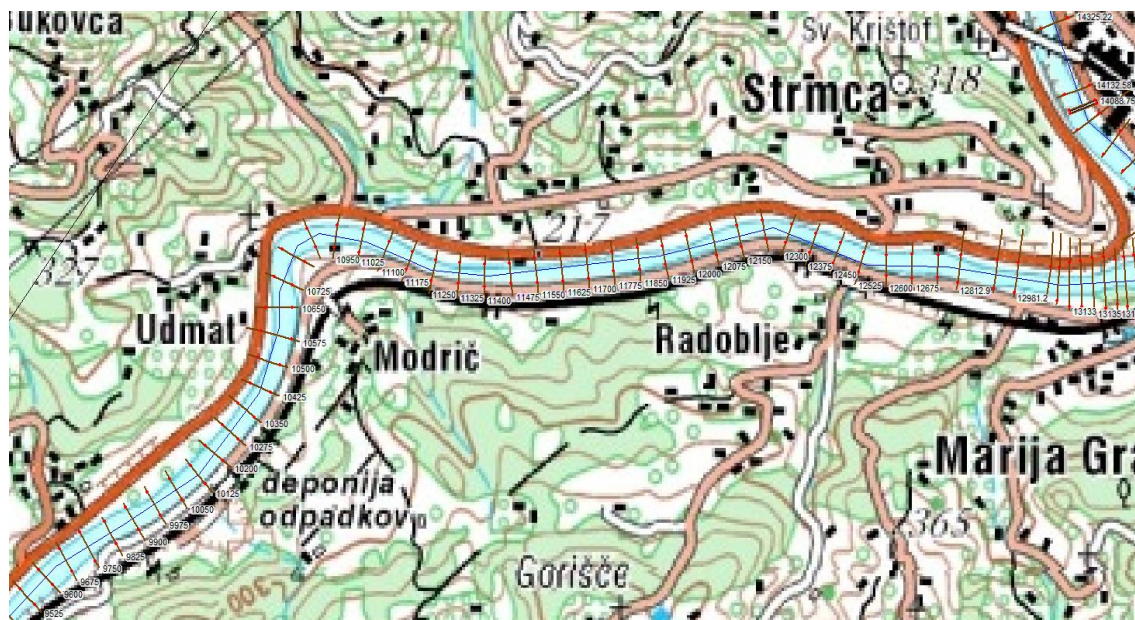
Preglednica 3: Gladina Savinje pri Q_{100} za sedanje stanje

Stacionaža	Pretok [m ³ /s]	Kota gladine vode [m]
15865	Bridge	
15851	1389	223.19
15812.47	1389	223.18
15750.6	1389	223.14
15661.41	1389	223.06
15598.48	1389	223.09
15537.66	1389	222.98
15442.25	1389	222.94
15378.59	1389	222.80
15298.98	1389	222.75
15228.73	1389	222.51
15150.47	1400	222.49
15079.31	1400	222.52
15075	Bridge	
15060	1400	222.48
14997.01	1400	222.38
14924.46	1400	222.30
14841.03	1400	222.12
14756.53	1400	222.02
14706.47	1400	222.04
14624.64	1400	221.97
14589.89	1400	222.00
14487.92	1400	221.92
14423.35	1400	221.84
14420	Bridge	
14400	1400	221.83
14325.22	1400	221.74
14132.58	1400	221.58
14088.75	1400	221.60
14086	Bridge	

Preglednica 3 prikazuje kote gladine Savinje za Q_{100} in sedanje stanje. Iz preglednice lahko razberemo, da je kota gladine Savinje pri mostu v Jagoče – 223,19 m, kota gladine pri železniškem mostu pa – 221,60 m. Preglednica 3 bo v nadaljevanju služila kot referenčna preglednica, s katero bomo primerjali vse pridobljene rezultate. Iz preglednice lahko razberemo, da je pritok Rečice med profiloma km 15+228 in km 15+150. Tako, da smo do Rečice vzeli pretok Q_{100} Savinje, ki je $1389 \text{ m}^3/\text{s}$, pod Rečico pa $1400 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.2 Sedanje stanje z ureditvijo in poglobitvijo Udmata

Drugi hidravlični izračun, ki smo ga naredili v programu HEC-RAS, je izračun za prvo predvideno stanje, pri čemer je bilo potrebno spremeniti geometrijo sedanjega stanja z ovinkom pri Udmatu. Kljub temu da je ovinek pri Udmatu v zavarovanem območju, smo se odločili, da bomo račun izvedli s poglobitvijo struge, saj poglobitev struge gorvodno predstavlja zadostno znižanje gladine. Podatke za poglobitev struge smo pridobili v projektu IDP: Ureditve Savinje pod Laškim do km 10+138 do km 14+296 (rednik1, 2), Hidrosvet d.o.o., 2002. Investitor projekta je bilo Ministrstvo za okolje in prostor, izdelovalec Hidrosvet d.o.o.. Območje, na katerem je bilo potrebno narediti spremembe glede na model iz sedanjega stanja, prikazuje slika 10.



Slika 10: Ovinek pri Udmatu (Hidrosvet, 2011)

Rezultate, ki smo pridobili pri spremembi ovinka pri Udmatu, prikazuje preglednica 4.

Preglednica 4: Gladina Savinje pri Q_{100} po spremembi geometrije pri ovinku Udmat

Stacionaža	Pretok [m ³ /s]	Kota gladine vode [m]
15865	Bridge	
15851	1389	223.06
15812.47	1389	223.05
15750.6	1389	223.00
15661.41	1389	222.91
15598.48	1389	222.94
15537.66	1389	222.81
15442.25	1389	222.77
15378.59	1389	222.62
15298.98	1389	222.56
15228.73	1389	222.29
15150.47	1400	222.27
15079.31	1400	222.30
15075	Bridge	
15060	1400	222.26
14997.01	1400	222.14
14924.46	1400	222.05
14841.03	1400	221.82
14756.53	1400	221.69
14706.47	1400	221.71
14624.64	1400	221.61
14589.89	1400	221.64
14487.92	1400	221.55
14423.35	1400	221.46
14420	Bridge	
14400	1400	221.43
14325.22	1400	221.30
14132.58	1400	221.09
14088.75	1400	221.11
14086	Bridge	

Preglednica 5: Prikaz razlike gladin

PROFILI	SEDANJE STANJE	1. PREDVIDENO STANJE	ZNIŽANJE GLADINE
[m]	[m]	(UDMAT) [m]	[m]
15865			
15851	223.19	223.06	0.13
15812.47	223.18	223.05	0.13
15750.6	223.14	223	0.14
15661.41	223.07	222.91	0.16
15598.48	223.09	222.94	0.15
15537.66	222.98	222.81	0.17
15442.25	222.94	222.77	0.17
15378.59	222.8	222.62	0.18
15298.98	222.75	222.56	0.19
15228.73	222.51	222.29	0.22
15150.47	222.49	222.27	0.22
15079.31	222.52	222.3	0.22
15075			
15060	222.48	222.26	0.22
14997.01	222.38	222.14	0.24
14924.46	222.3	222.05	0.25
14841.03	222.12	221.82	0.3
14756.53	222.02	221.69	0.33
14706.47	222.04	221.71	0.33
14624.64	221.97	221.61	0.36
14589.89	222	221.64	0.36
14487.92	221.92	221.55	0.37
14423.35	221.84	221.46	0.38
14420			
14400	221.83	221.43	0.4
14325.22	221.74	221.3	0.44
14132.58	221.58	221.09	0.49
14088.75	221.6	221.11	0.49
14086			

V preglednici 5 smo prikazali, kaj pomenijo ukrepi v ovinku pri Udmatu za gladinsko stanje Savinje pri Q_{100} . Iz preglednice je nazorno razvidno, da se dolvodni ukrepi poznajo v tistem delu, ki nas je v diplomski nalogi zanimal (od mosta v Jagoče do železniškega mosta). V preglednici 5 je nazorno prikazano, kako se dolvodni ukrep izklinja na obravnavanem območju, saj je razlika v gladini vode pri železniškem mostu 0,49 m, pri mostu v Jagoče pa le še 0,13 m.

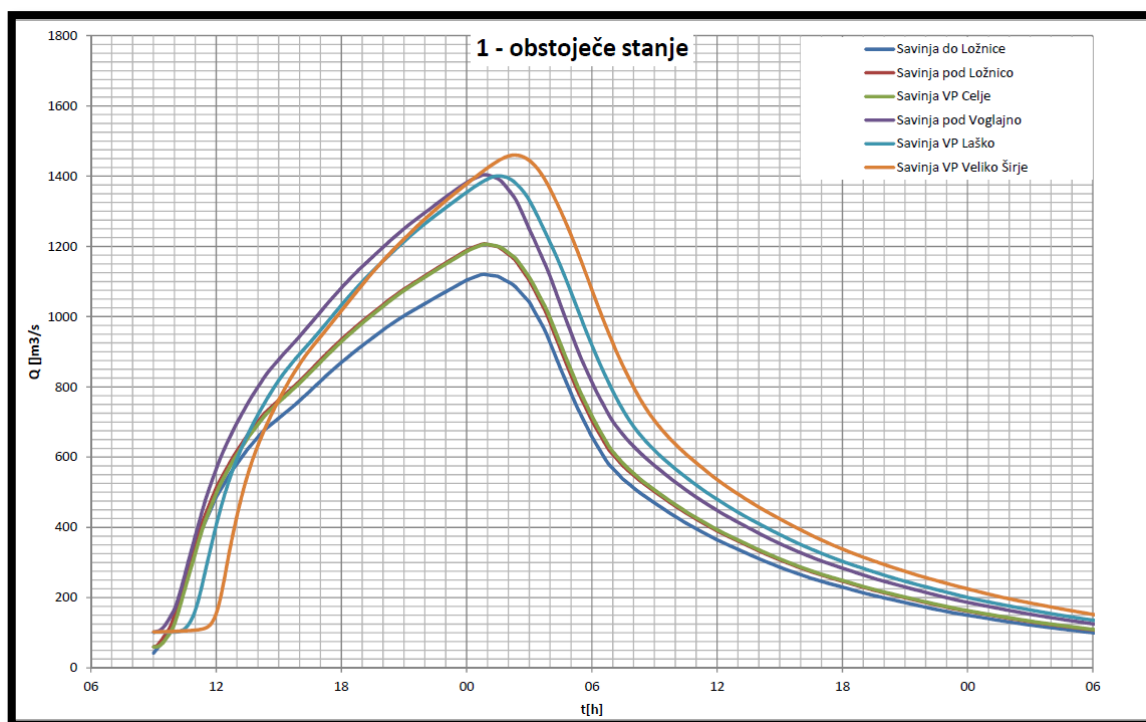
5.3 Spremenjeni pretoki

Ta primer predstavlja zadnji računski primer, pri katerem smo upoštevali različne ukrepe za znižanje gladine Savinje. V tem primeru je geometrija v modelu HEC-RAS ostala enaka kot v prejšnjem primeru, le pretoki so se zmanjšali zaradi predvidenih gorvodnih ukrepov. Zmanjšanje pretokov smo upoštevali na podlagi Analize poplavnih valov Savinje od Ložnice do izliva v Savo in hidravlične presoje (Hidrosvet, 2014).

Preglednica 6: Prikaz zmanjšanja pretokov reke Savinje za 100-letno povratno dobo zaradi gorvodnih ukrepov (Hidrosvet, 2014)

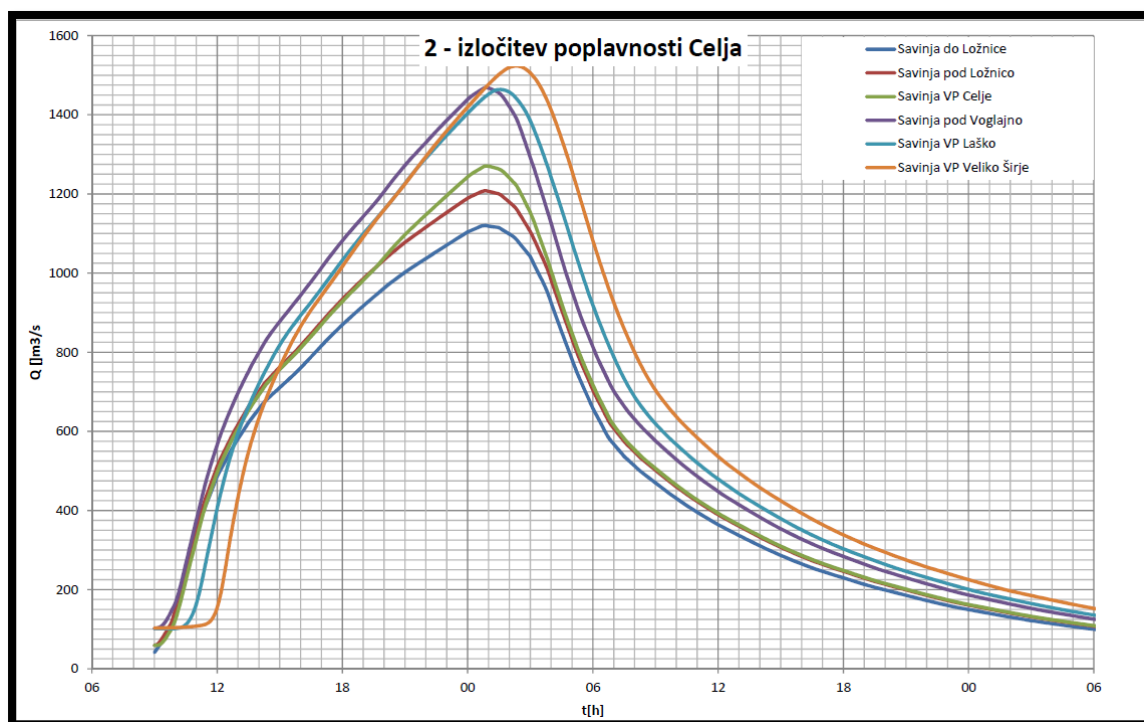
	1. obstoječe stanje	2. vpliv izločitve poplavnosti Celja	3- ureditve po DPN SSD	4.1 zadrževanje na porečju Savinje	4.2 Zadrževanje na porečju Savinje in Ložnice	5. ureditve po DPN SSD + izločitev poplavnosti Celja
<i>Savinja do Ložnice</i>	1120	1120	824	1107	1107	824
<i>Savinja VP Celje</i>	1206	1271	879	1193	1163	942
<i>Savinja VP Laško</i>	1400	1464	1076	1387	1358	1139
<i>Savinja VP Veliko Širje</i>	1460	1523	1137	1447	1418	1200

Iz preglednice 6 smo za nadaljnje računanje uporabili podatek v stolpcu 5, in sicer Savinja do VP Laško 1139 m³/s. Če primerjamo s preglednico 2, vidimo, da se je pretok s 1400 m³/s zmanjšal na 1139 m³/s. Kako je bil izračunan pretok 1139 m³/s, pa prikazuje slika 11, ki smo jo pridobili v istem dokumentu.



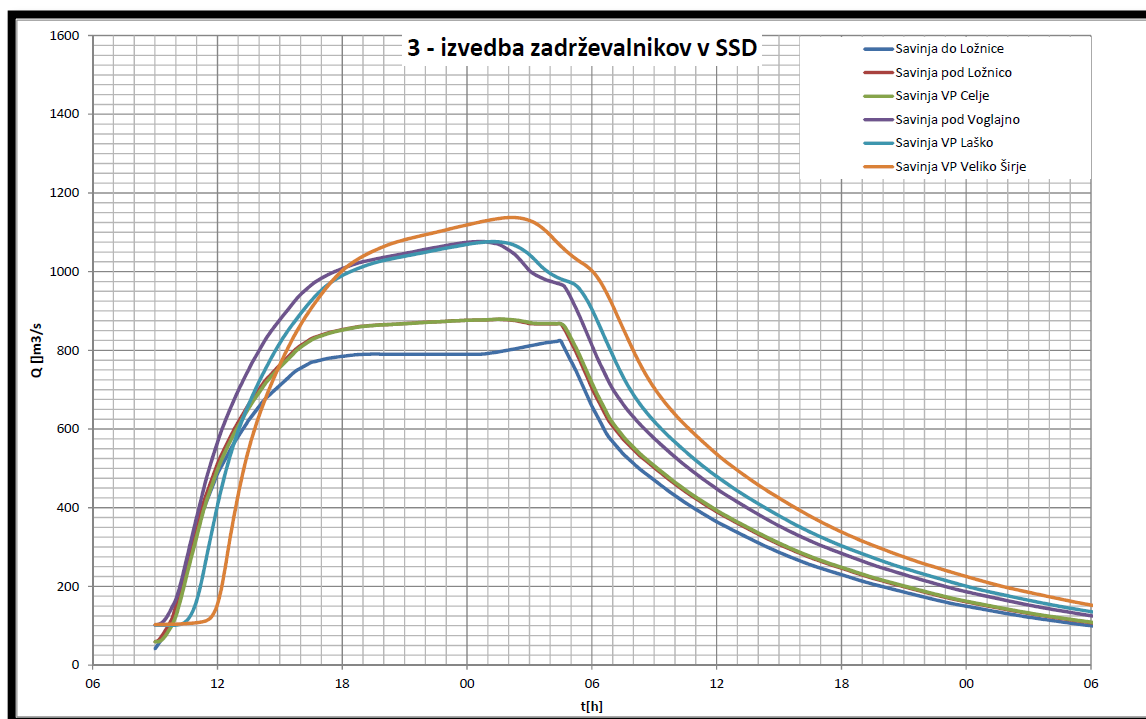
Slika 11: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje za obstoječe stanje (Hidrosvet, 2014)

Slika 11 prikazuje pretoke za obstoječe stanje za različne odseke Savinje. V diplomskem delu je prišel v poštev odsek Savinja VP Laško. Za to območje vidimo, da je pretok Q_{100} za obstoječe stanje $1400 \text{ m}^3/\text{s}$, kar prikazuje svetlo modra krivulja.



Slika 12: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje po izločitvi poplavnosti Celja (Hidrosvet, 2014)

Slika 12 prikazuje, kako se spremeni pretok dolvodno zaradi lokalnih ukrepov gorvodno. Iz grafa je razvidno, da se je pretok Q_{100} s $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ povečal na $1464 \text{ m}^3/\text{s}$. Iz tega vidimo, da se je zaradi določenih ukrepov obvarovalo Celje, vendar se je posledično poslabšala situacija v Laškem. Ker se zaradi lokalnih ukrepov v strugi in na brežinah rešijo določena območja, dolvodna območja pa so nato izpostavljena še slabšim razmeram, se takšnim ukrepom poskušamo izogniti, kjer je to mogoče. Če nismo omejeni s prostorom, se poskuša dolvodne kraje varovati s suhimi zadrževalniki, s katerimi se zmanjša konica visokovodnega vala. Slika 13 nam prikazuje, kakšne so razmere v Laškem, če upoštevamo samo predvideno izvedbo suhих zadrževalnikov v spodnji Savinjski dolini. Vidimo, da se pretok Q_{100} Savinje v Laškem zmanjša zaradi vpliva suhих zadrževalnikov s $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ na $1076 \text{ m}^3/\text{s}$.



Slika 13: Prikaz pretokov Q_{100} reke Savinje po predvideni izvedbi zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini (Hidrosvet, 2014)

Pri tem scenariju smo izbrali pretoke, ki so posledica poplavne izločitve Celja ter izgradnje suhih zadrževalnikov v spodnji Savinjski dolini. Če za vodomerno postajo VP Laško združimo oba vpliva, dobimo pretok $1139 \text{ m}^3/\text{s}$. Prvotni pretok iz preglednice 2 je zmanjšan s $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ na $1139 \text{ m}^3/\text{s}$. Torej se je pretok Q_{100} zmanjšal za $261 \text{ m}^3/\text{s}$. Prav tako smo vse pretoke iz preglednice 2 zmanjšali za to vrednost in so prikazani v preglednici 7.

Preglednica 7: Prikaz spremenjenih pretokov

	Q100
	[m^3/s]
Savinja do Rečice	1128
Savinja pod Rečico	1137
Savinja do VP Laško	1139
Savinja do Lahomnice	1139
Savinja pod Lahomnico	1149

Za račun v tem primeru smo uporabili geometrijo iz prejšnjega računa – glej poglavje 5.2 (sedanje stanje s spremembo Udmata), pri čemer smo spremenili pretoke. Pretoke, ki smo jih uporabili, smo prikazali v preglednici 7. Višina vode v tem računu je prikazana v preglednici 8.

Preglednica 8: Prikaz višine vode reke Savinje po spremembi pretokov

Stacionaža	Pretok	Kota gladine vode
	[m ³ /s]	[m]
15865	Bridge	
15851	1128	222.37
15812.47	1128	222.35
15750.6	1128	222.3
15661.41	1128	222.2
15598.48	1128	222.23
15537.66	1128	222.09
15442.25	1128	222.05
15378.59	1128	221.91
15298.98	1128	221.85
15228.73	1128	221.64
15150.47	1139	221.59
15079.31	1139	221.62
15075	Bridge	
15060	1139	221.59
14997.01	1139	221.46
14924.46	1139	221.37
14841.03	1139	221.13
14756.53	1139	221.01
14706.47	1139	221.01
14624.64	1139	220.88
14589.89	1139	220.9
14487.92	1139	220.82
14423.35	1139	220.74
14420	Bridge	
14400	1139	220.71
14325.22	1139	220.55
14132.58	1139	220.33
14088.75	1139	220.34
14086	Bridge	

Preglednica 9: Razlike gladin reke Savinje za spremenjen pretok pri Q_{100}

PROFILI	SEDANJE STANJE	1. SPREMENJENI PRETOKI	ZNIŽANJE GLADINE
[m]	[m]	[m]	[m]
15865			
15851	223.19	222.37	0.82
15812.47	223.18	222.35	0.83
15750.6	223.14	222.3	0.84
15661.41	223.07	222.2	0.87
15598.48	223.09	222.23	0.86
15537.66	222.98	222.09	0.89
15442.25	222.94	222.05	0.89
15378.59	222.8	221.91	0.89
15298.98	222.75	221.85	0.9
15228.73	222.51	221.64	0.87
15150.47	222.49	221.59	0.9
15079.31	222.52	221.62	0.9
15075			
15060	222.48	221.59	0.89
14997.01	222.38	221.46	0.92
14924.46	222.3	221.37	0.93
14841.03	222.12	221.13	0.99
14756.53	222.02	221.01	1.01
14706.47	222.04	221.01	1.03
14624.64	221.97	220.88	1.09
14589.89	222	220.9	1.1
14487.92	221.92	220.82	1.1
14423.35	221.84	220.74	1.1
14420			
14400	221.83	220.71	1.12
14325.22	221.74	220.55	1.19
14132.58	221.58	220.33	1.25
14088.75	221.6	220.34	1.26
14086			

Kot vidimo, razlike gladin Savinje kažejo podobno sliko kot v prejšnjem primeru (poglavje 5.2), le da je za sedanje stanje ta razlika veliko večja, saj se je spremenil vhodni podatek, in sicer pretok Q_{100} reke Savinje. Zaradi dolvodnih ukrepov, ki so bili narejeni v prejšnjem scenariju, še vedno opazimo, da se znižanje vodne gladine gorvodno zmanjšuje, kar je prikazano v preglednici 9.

6 PROTIPOPLAVNI UKREPI

6.1 Ukrepi varstva pred visokimi vodami

Kot navaja Mikoš (2000), se za dimenzioniranje struge vodotoka najprej določi Q_{\max} (maksimalni pretok). Q_{\max} predstavlja pretok, ki ga mora urejena struga prevajati brez kakršnih koli posledic za okoliška območja. Glavni cilj urejanja vodotokov je prav to, da struga vodotoka odvaja Q_{\max} , brez povzročanja škode na okoliških območjih. Glavni ukrepi varstva pred visokimi vodami so:

- reguliranje struge vodotoka,
- lokalna preusmeritev visokih voda,
- zadrževalniki visokih voda.

6.1.1 Reguliranje struge vodotoka

Kot navaja Mikoš (2000), je bistveno to, da se odvajanje Q_{\max} zagotovi s pomočjo gradbenih ukrepov. Če obstoječa struga ne zagotavlja ustrezne prevodnosti, se ta lahko poveča s pomočjo naslednjih ukrepov:

- povečanje površine prečnega prereza (izkopi, visokovodni nasipi),
- sprememba hidravličnega radija (hidravlično ugodnejši prerez),
- sprememba hrapavosti površin prereza,
- sprememba padca dna struge.

Nekatere inženirske rešitve, kot so obrežni zidovi ali pokrite kinete, so estetsko in krajinsko težko sprejemljive, zato je njihova izvedba možna samo v redkih primerih. Pri teh posegih je ključno, da se ohranja naravna delitev med aktivno strugo in poplavno ravnico. Pri dimenzioniranju je potrebno upoštevati dodatno varnostno višino vsaj 0,5 m za primere: udarca valov, obilnega plavja ter stoječih valov. Pri večjih padcih vodotoka ter pod mostovi se varnostna višina poveča na 1 m do 1,5 m. Ko se odločamo za obliko pretočnega prereza, je potrebno poiskati kompromis med pogoji varstva krajine ter hidravličnimi zahtevami. Kadar nimamo opravka s pravilno oblikovanim poplavnim območjem, uporabimo dvodimenzijski model, saj je hidravlični izračun zahtevnejši. Na sliki 14 je prikazana ureditev struge reke Kamniške Bistrice in predstavlja eno izmed možnosti njenega reguliranja.



Slika 14: Prikaz reguliranja struge (Kamničan.si, 2014)

6.1.2 Lokalna preusmeritev visokih voda.

Kot navaja Mikoš (2000), lokalna preusmeritev visokih voda predstavlja alternativno možnost, da se lahko v določenih primerih odločimo zanjo in ne za regulacijo struge, če so za regulacijo potrebni preobsežni ukrepi. Prav tako se problemi pri regulaciji z visokimi vodami samo prenesejo dolvodno, kjer se razmere zaradi regulacijskih ukrepov gorvodno samo še poslabšajo. Glavni namen pri lokalni preusmeritvi visokih voda je ta, da se zaradi nje ukrepi pred visokimi vodami na glavni strugi zmanjšajo ali pa povsem odpadejo. Ena izmed oblik lokalnega preusmerjanja visokih voda so »poplavne mulde«, ki delujejo tako, da se v njih preusmerijo visoke vode. Bistvo teh muld je, da začnejo delovati le od določenih pretokov naprej. Kadar v strugi vladajo normalne razmere, mulde sploh ne delujejo, niso potopljene.

6.1.3 Zadrževalniki visokih voda

Kot navaja Mikoš (2000), s potencialnimi visokovodnimi zadrževalniki dosežemo to, da se v glavni strugi zmanjša načrtovani pretok. Ta ukrep deluje po principu, da se del visoke vode preusmeri v območje, ki je namenjen zadrževanju visokih voda. Pri zadrževalnikih je pomembno, da se talni izpust dimensionira tako, da ne vpliva na običajne pretoke in je njegovo delovanje povezano z visokimi pretoki. Izvedba zadrževalnikov v Sloveniji ni najbolj preprosta, saj je njihova izvedba v ravninskem svetu zahtevna, v hribovitem svetu pa jih je težko umestiti v prostor, da bi omogočali zadrževanje večjih prostornin. Pri dimensioniranju zadrževalnikov je pomembno, da se zavedamo pomembnosti poznavanja celotnega hidrograma odtoka, ne samo največjega pretoka. Z izgradnjo pregrade se lahko pridobi določena zadrževalna prostornina, vendar je pri tem pomembno, da se pregrado ustrezno umesti v prostor (slika 15).



Slika 15: Pregrada Loče pri Celju (Delo, 2014)

6.2 Protipoplavni ukrepi za izboljšanje stanja v Laškem

Da bi se kraj, v našem primeru Laško, obvaroval pred poplavami, lahko problem rešimo tako, da se različni ukrepi izvedejo na različnih območjih:

- dolvodni ukrepi (regulacija),
- gorvodni ukrepi (suhi zadrževalniki),
- ukrepi, kjer želimo razlivanja omejiti (protipoplavni nasipi, zidovi).

6.2.1 Dolvodni ukrepi

To so ukrepi, ki so narejeni ali še bodo narejeni pod železniškim mostom v Laškem. Med te ukrepe uvrščamo že izvedeno regulacijo Savinje v marijagraškem ovinku ter predvideno regulacijo od marijagraškega ovinka do vključno ovinka pri Udmatu. Zavedamo se, da je dolvodne ukrepe pri Udmatu skoraj nemogoče umestiti v prostor, vendar pa bi nam ta regulacija prinesla konkretno znižanje gladine Savinje v Laškem, zato je nismo mogli zanemariti kot možne rešitve.

6.2.2 Gorvodni ukrepi

Kadar v našem primeru obdelave govorimo o gorvodnih ukrepih, mislimo na predvidene suhe zadrževalnike v spodnji Savinjski dolini. Ti zadrževalniki še niso v gradnji, vendar so predvideni s prostorskim planom. Izgradnja suhih zadrževalnikov je ključna za poplavno varnost Laškega, saj bo zaradi izgradnje ter vpliva zadrževalnikov konica visokih voda Savinje zmanjšana za $261 \text{ m}^3/\text{s}$ v Laškem.

6.2.3 Ukrepi v Laškem

Ukrepi v Laškem predstavljajo enega ključnih problemov, ki jih želimo rešiti v diplomski nalogi. Za te ukrepe velja, da še niso narejeni. Da bi bila njihova umestitev v prostor mogoča, je potrebno pred zidovi ali nasipi v Laškem najprej narediti dolvodne regulacije ter gorvodno suhe zadrževalnike. Brez predhodnih ukrepov bi bilo potrebno dimenzionirati takšne višine protipoplavnih zidov, da bi prebivalcem predstavljali ovire. Prebivalci Laškega se s takšno rešitvijo gotovo ne bi strinjali. V nadaljevanju diplomske naloge se bomo osredotočili predvsem na ukrepe v centru Laškega (od mostu v Jagoče do železniškega mostu), ter predstavili možne alternative nasipom, saj zaradi prostorske stiske njihova izvedba ni sprejemljiva.

6.3 Protipoplavni nasipi in zidovi

V tem poglavju se bomo posvetili predvsem protipoplavnim zidovom. Ker sta bila prva dva ukrepa že upoštevana pri računih, jih tukaj ne bomo podrobneje obravnavali.

Laško zaradi svojih geografskih omejitev nima veliko možnosti poseljevanja, prav tako pa so zaradi istega razloga protipoplavni ukrepi specifični. Da bi v centru Laškega postavili oviro v obliki protipoplavnega zidu ali nasipa, ni mogoče, tako da je edina možnost, da se Laško obvaruje visoke vode ta, da se združijo vsi trije ukrepi. To pomeni, da bi se za naš primer dimenzionirali protipoplavni zidovi ob pogoju, da se uredi ovinek pri Udmatu in da se naredijo suhi zadrževalniki v spodnji Savinjski dolini. Vendar, da bi se ti ukrepi dopolnjevali je skoraj nemogoče, saj spada ovinek pri Udmatu v zavarovano območje (Natura 2000), prav tako pa so zadrževalniki v spodnji Savinjski dolini za sedaj samo predvideni.

6.3.1 Protipoplavni nasipi

Kot navaja Blažič (2010), je glavni namen protipoplavnih nasipov ta, da se prepreči razlivanje visokih voda po območjih, kjer visokih voda ne želimo. Ena od najpomembnejših stvari, ki jih moramo upoštevati, ko se odločamo za protipoplavne nasipe, je, da se zaradi nasipov posledično hitrost poplavnega vala poveča in ga z njimi ne zadržujemo. Prej omenjena vpliva postavitve protipoplavnih zidov pa razmere dolvodno samo še poslabšata. Glavni deli protipoplavnega nasipa so:

- podlaga, na katero se temelji nasip,
- telo nasipa,
- krona nasipa,
- območje pred in za nasipom.

Krona nasipa je vrh nasipa, njena višina je tolikšna, da preprečuje razlivanje visokih voda. To pomeni, da mora biti krona nasipa postavljena nekoliko višje, kot je višina visokovodnega vala. To razliko imenujem varnostno nadvišanje. Za poplave je pomembna ne samo kota visokovodnega vala, ampak tudi njegovo trajanje. Če visoke vode trajajo dalj časa, se poveča možnost, da bi nasip popustil, zato je pomembno, da se njegovo stanje stalno spremlja. Na sliki 16 je prikazan protipoplavni zemeljski nasip v Vojniku.



Slika 16: Prikaz protipoplavnega nasipa v Vojniku

6.3.2 Protipoplavni zidovi

Kadar govorimo o klasični obliki protipoplavnih zidov, mislimo na betonske zidove. Ti zidovi nam predstavljajo alternativo zemeljskim nasipom in jih načrtujemo na območjih, kjer smo omejeni s prostorom. Na območju Laškega imamo težave pri umestitvi zemeljskih nasipov v prostor, zato se nam kot edina možnost postavljajo zidovi, ki so lahko betonski ali različne njegove izpeljanke. Na primeru iz Vojnika vidimo, da se na območjih, kjer imamo dovolj prostora, odločimo za protipoplavne nasipe. V strogem delu naselja, kjer smo omejeni s poselitvijo, pa alternativo nasipom predstavljajo protipoplavni zidovi. Slika 17 prikazuje protipoplavne zidove v Vojniku.



Slika 17: Protipoplavni zidovi v Vojniku

7 MOŽNI PROTIPOPLAVNI UKREPI V LAŠKEM

V tem poglavju se bomo posvetili različnim oblikam protipoplavnih zidov ter njihovim alternativam. Kot smo predstavili v prejšnjem poglavju, se največkrat odločamo za protipoplavne nasipe ali betonske protipoplavne zidove, saj predstavljajo tudi najcenejšo izvedbo protipoplavnih ukrepov. Ko govorimo o alternativah, pa mislimo predvsem na oblike, ki smo jih spoznali preko podjetja PAL inženiring (na njihovih spletnih straneh in preko osebnih kontaktov):

- protipoplavne vreče,
- Beaver cevni sistemi,
- panelna zaščita WHS,
- lamelna zaščita IBS.

7.1 Protipoplavne vreče

Vsi vemo, da so protipoplavne vreče najenostavnejša rešitev pri preprečevanju poplavljanja (slika 18). Prav tako pa so tudi najcenejša in izvedbeno zelo enostavna izbira.



Slika 18: Prikaz uporabe protipoplavnih vreč (Politikis, 2014)

Vreče iz jute, polnjene s praškastim polimerom, predstavljajo izboljšano obliko vreč, poljenih s peskom. Pri vrečah iz jute je najpomembnejše to, da se njihova teža iz 350 g poveča na približno 20 kg zaradi absorpcijske vode. Drugače pa je njihova uporaba enaka kot uporaba vreč, poljenih s peskom.

Lastnosti absorpcijskih protipoplavnih vreč (PAL inženiring – Protipoplavne vreče, 2014):

- nepogrešljive pri poplavah,
- možnost takojšne uporabe,
- vakuumsko pakirane,
- biološko razgradljive,
- popolnoma nestrupene,
- interventnim ekipam olajšajo delo,
- primerne za domačo uporabo.

Vreče ostanejo še 90 dni delno polnjene. Te vreče se lahko pogojno ponovno uporabijo, pri čemer jih predhodno osušimo na soncu. Vreče imajo dve posebnosti, in sicer, če se polnijo z morskovo vodo, se napolnijo le do polovice, ter pri polnjenju z vodo temperature pod 5°C jih je potrebno polniti pod pritiskom (PAL inženiring – Protipoplavne vreče, 2014).

7.2 Beaver cevni sistemi

Beaver cevni sistem predstavlja izboljšano različico protipoplavnih vreč. Prikazan je na slikah 19 in 20. Tudi za ta sistem velja enako kot pri vrečah, da je medij za polnjenje voda (PAL inženiring – Beaver cevni sistem, 2014).



Slika 19: Beaver cevni sistem (PAL inženiring – Beaver cevni sistem, 2014)

Lastnosti Beaver cevnega sistema so (PAL inženiring – Beaver cevni sistem, 2014):

- sistem se lahko polni iz hidranta,
- napolni se lahko s poplavno vodo z uporabo črpalk,
- elementi se lahko spajajo do poljubne dolžine,
- sistem se dobro prilagaja terenu,
- protipoplavna zaščita od višine 0,5 do 1,3 m,
- enostavna namestitvev,
- za shranjevanje ni potrebno veliko prostora.



Slika 20: Primer uporabe Beaver cevnega sistema (PAL inženiring – Beaver cevni sistem, 2014)

7.3 Panelna zaščita WHS

Pri panelni zaščiti WHS je pomembno predvsem to, da z njo zaščitimo posamezne dele objekta. Pri tem sistemu govorimo o dveh možnih zaščitah, in sicer:

- zaščita odprtih v objektih (slika 21),



Slika 21: Prikaz zaščite odprtih v objektu (PAL inženiring – Panelna zaščita WHS, 2014)

- tesnjenje pokrovov (slika 22).



Slika 22: Tesnjenje pokrovov (PAL inženiring – Panelna zaščita WHS, 2014)

Na splošno za sistem WHS velja, da (PAL inženiring – Panelna zaščita WHS, 2014):

- gre za enostavno namestitev,
- sistem popolnoma tesni,
- se popolnoma prilagaja odprtina na objektu,
- namestitev ne terja dodatnih stroškov.

7.4 Lamelna zaščita IBS

Lamelna zaščita, kot je predstavljena na spletnih straneh podjetja PAL inženiring, predstavlja protipoplavno zaščito, katere lastnosti so (PAL inženiring – Lamelni sistem IBS, 2014):

- hitra in enostavna namestitev,
- sistem, ki popolnoma tesni,
- omogoča protipoplavno zaščito do višine 6 metrov,
- deluje po principu ladijskih vratc,
- namestitev brez dodatnih stroškov.

Za sistem IBS velja, da je njegova uporaba možna ne samo pri posameznih objektih, ampak tudi za zavarovanje obsežnejših območij (PAL inženiring – Lamelni sistem IBS, 2014).

Za uspešno uporabo te protipoplavne zaščite sta v nadaljevanju prikazana dva primera, kjer se je ta oblika protipoplavne zaščite pokazala za ustrezno v:

- Kölnu,



Slika 23: Prikaz postavitve protipoplavne zaščite Kölna, Nemčija (PAL inženiring – Protipoplavna zaščita IBS, 2014)

- Freudenbergu.



Slika 24: Prikaz območja postavitve protipoplavne lamelne zaščite v Freudenbergu (PAL inženiring – Protipoplavna zaščita IBS, 2014)



Slika 25: Prikaz postavljanja protipoplavne lamelne zaščite v Freudenbergu (PAL inženiring - Protipoplavna zaščita IBS, 2014)

Na slikah 23, 24 in 25 je prikazana izvedba postavitve protipoplavne zaščite IBS. Takšen sistem, kot je narejen v kraju Freudenberg, je skoraj identičen, kot bi ga uporabili mi kot možno obliko protipoplavnih ukrepov v Laškem.

8 PROTIPOPLAVNE REŠITVE V LAŠKEM

Vse hidravlične izračune, ki smo jih opravili v sklopu diplomske naloge, je bilo nujno opraviti, da bi lahko na njihovi podlagi predstavili idejno zasnovo protipoplavnih ukrepov. Zadnji hidravlični izračun (preglednica 10), ki ga bomo predstavili v tem poglavju, je samo spremenjena zadnja oblika izračuna, pri čemer so vneseni protipoplavni zidovi. Ti protipoplavni zidovi povzročijo malenkosten dvig vodne gladine Savinje, ki pa smo ga nato tudi upoštevali. V prilogi D smo na vzdolžnem prerezu prikazali, kako različni ukrepi vplivajo na vodno gladino reke Savinje.

Preglednica 10: Gladine vode reke Savinje z upoštevanjem nasipov in za pretok Q_{100}

Stacionaža	Pretok [m ³ /s]	Kota gladine vode [m]
15865	Bridge	
15851	1128	222.39
15812.47	1128	222.36
15750.6	1128	222.3
15661.41	1128	222.21
15598.48	1128	222.24
15537.66	1128	222.1
15442.25	1128	222.07
15378.59	1128	221.93
15298.98	1128	221.87
15228.73	1128	221.66
15150.47	1139	221.58
15079.31	1139	221.64
15075	Bridge	
15060	1139	221.61
14997.01	1139	221.45
14924.46	1139	221.38
14841.03	1139	221.11
14756.53	1139	221.01
14706.47	1139	221
14624.64	1139	220.87
14589.89	1139	220.9
14487.92	1139	220.82
14423.35	1139	220.74
14420	Bridge	
14400	1139	220.71
14325.22	1139	220.54
14132.58	1139	220.33
14088.75	1139	220.34
14086	Bridge	

Preglednica 11: Razlike gladin reke Savinje z upoštevanjem nasipov in za pretok Q_{100}

PROFILI	BREZ UPOŠTEVANJA	Z UPOŠTEVANJEM	SPREMEMBA GLADINE
	NASIPOV (spremenjeni pretoki)	NASIPOV	
[m]	[m]	[m]	[m]
15865			
15851	222.37	222.39	-0.02
15812.47	222.35	222.36	-0.01
15750.6	222.3	222.3	0
15661.41	222.2	222.21	-0.01
15598.48	222.23	222.24	-0.01
15537.66	222.09	222.1	-0.01
15442.25	222.05	222.07	-0.02
15378.59	221.91	221.93	-0.02
15298.98	221.85	221.87	-0.02
15228.73	221.64	221.66	-0.02
15150.47	221.59	221.58	0.01
15079.31	221.62	221.64	-0.02
15075			
15060	221.59	221.61	-0.02
14997.01	221.46	221.45	0.01
14924.46	221.37	221.38	-0.01
14841.03	221.13	221.11	0.02
14756.53	221.01	221.01	0
14706.47	221.01	221	0.01
14624.64	220.88	220.87	0.01
14589.89	220.9	220.9	0
14487.92	220.82	220.82	0
14423.35	220.74	220.74	0
14420			
14400	220.71	220.71	0
14325.22	220.55	220.54	0.01
14132.58	220.33	220.33	0
14088.75	220.34	220.34	0
14086			

Iz preglednice 11 je razvidno, da je sprememba zaradi upoštevanja protipoplavnih zidov minimalna oz. zanemarljiva glede na zadnji izračun, pri katerem še ni upoštevanih protipoplavnih zidov. Na podlagi rezultatov smo se v nadaljevanju diplomske naloge usmerili v iskanje ustreznih protipoplavnih rešitev za izbrano lokacijo, in sicer od mostu v Jagoče do železniškega mostu v centru Laškega.

8.1 Območje iskanja protipoplavnih rešitev

Celotno območje iskanja protipoplavnih rešitev je nazorno prikazano v prilogi B, v prilogi C pa so na tem območju natančno narisani še protipoplavni zidovi. Shematično pa je območje prikazano na sliki 26. Celoten model, na katerem smo opravili hidravlične izračune, obsega veliko večje območje. Da smo lahko pridobili podatke za ta odsek, smo spreminjali vhodne podatke v modelu tako dolvodno do ovinka pri Udmatu kot gorvodno do Celja. Na podlagi vhodnih sprememb v modelu smo prišli do rezultatov (gladine visokih voda) na območju iskanja protipoplavnih rešitev.



Slika 26: Prikaz območja protipoplavnih ukrepov (podlaga: Atlas okolja, 2014)

Na območju, ki ga prikazuje slika 26, torej od mostu v Jagoče do železniškega mostu, bomo predstavili možno protipoplavno zaščito. Če pogledamo specifiko Laškega, lahko to območje razdelimo na dve manjši območji:

- območje neposredno pod mostom v Jagoče do zdravilišča in
- območje od zdravilišča do železniškega mostu.

8.1.1 Območje neposredno pod mostom v Jagoče do zdravilišča

Območje smo odmerili od mostu v Jagoče do zdravilišča Laško in je prikazano na sliki 27. Zanj velja, da ni tako gosto poseljeno in ima z vidika protipoplavnih rešitev potencialna razlivna območja. Kljub temu da bi razlivna območja lahko predpostavili tako na levem kot na desnem bregu Savinje, se zanje nismo odločili. In čeprav je na desnem bregu nakupovalni center zgrajen tako, da omogoča poplavljanje garažne hiše, smo, kot bo prikazano v nadaljevanju, ta del obvarovali pred poplavami, saj smo s tem ohranili velik del površin, ki se lahko uporabijo za gradnjo in jim pri tem ni potrebno postavljati določenih omejitev. Zavedati pa se je treba, da ob ekstremnem vremenskem pojavu lahko poplavna voda preseže pretok Q_{100} in takrat bo to območje poplavljeno.



Slika 27: Prikaz območja od mostu v Jagoče do zdravilišča Laško (Atlas okolja, 2014)

8.1.2 Območje od zdravilišča do železniškega mostu

Območje, ki je prikazano na sliki 28, je glede poplavne varnosti bolj problematično, saj je na njem veliko večja koncentracija urbanizacije. Prav tako za to območje velja, da nima nobenih potencialnih razlivnih območij, ki bi jih lahko izkoristili. Kot smo prikazali v nadaljevanju, je bilo to območje veliko težje obvarovati pred visokimi vodami, zato je bilo potrebno predvideti veliko več visokovodnih zidov.



Slika 28: Prikaz območja od zdravilišča do železniškega mostu (Atlas okolja, 2014)

8.2 Lociranje protipoplavnih zidov

Tudi pri prikazu lociranja protipoplavnih zidov smo si celotno območje razdelili na dve podobmočji. V nadaljevanju je prikazana pozicija visokovodnega zidu. Poleg tega smo določili dolžine in višine protipoplavnih zidov, ki bi bili potrebni, da bi se Laško od mostu v Jagoče do železniškega mostu obvarovalo pred poplavami. Ti protipoplavni zidovi bi imeli svojo funkcijo pod pogojem, da se sočasno uredijo naslednji ukrepi, ki smo jih upoštevali v hidravličnih izračunih:

- marijagraški ovinek, ki je že izveden,
- ureditev in poglobitev odseka od marijagraškega ovinka do vključno ovinka pri Udmatu,
- zadrževanje vode v suhih zadrževalnikih v Spodnji Savinjski dolini.

Če bi se zgoraj naštetih ukrepi izvedli, potem bi predvideni zidovi obvarovali Laško pred stoletnim pretokom, če pa bi bil izpuščen samo en ukrep, ti zidovi ne bi imeli nobenega pomena. V tem podglavju bomo predstavili posamezno umeščanje visokovodnih zidov v prostor. V nadaljevanju diplomskega dela pa je predstavljena tudi izvedba, kjer mislimo predvsem na klasične betonske visokovodne zidove ter možne alternative.

8.2.1 Območje od mostu v Jagoče do zdravilišča

Na prvem območju, ki je prikazano na sliki 29, smo predvideli visokovodni zid le na desnem bregu Savinje. Na levem bregu smo predpostavili razlivno območje, ki se razprostira vse od struge reke pa do stranske ceste, ki poteka ob vzpetini. To razlivno območje ni potrebno zagraditi, saj je definirano z lastno morfologijo. Na desnem bregu Savinje smo predpostavili visokovodni zid, kljub temu da je spodnja etaža (parkirišče) nakupovalnega centra že zgrajena in sprojektirana tako, da je ob visokih vodah poplavljen. Kljub temu da je nakupovalno središče zgrajeno tako, da prenese morebitne poplave, smo se odločil, da ima to območje prevelik potencial z vidika urbanizacije, da bi dopustili, da bi ob visokih vodah bilo to območje pod vodo. Prav tako je pomembno, da se zavedamo, da če ne bi predpostavili protipoplavnega zidu, bi bilo to območje brez možnosti poselitve. Poselitev bi bila mogoča le pod posebnimi pogoji, saj hidravlični izračuni pokažejo, da so kljub vsem naštetim pogojem urejanja struge in zadrževanja visokovodnih potrebni visokovodni zidovi v višini 1 m.



Slika 29: Prikaz lociranja visokovodnega zidu na območju med mostom v Jagoče in zdraviliščem
(podlaga: Atlas okolja, 2014)

Protipoplavni zid, ki je prikazan na sliki 29, ima naslednje specifikacije:

- njegova dolžina je 291,61 m,
- njegova višina, kjer je upoštevano varnostno nadvišanje (0,5 m), je 1,5 m.

8.2.2 Območje od zdravilišča do železniškega mostu

To območje je z vidika lociranja protipoplavnih zidov zahtevnejše, saj ni tako omejeno z lastno morfologijo, prav tako pa je močno urbanizirano in je potrebno ob visokih vodah preprečiti večjo gmotno škodo. Preden se lotimo bolj natančnega definiranja visokovodnih zidov, bomo predstavili celotno podobmočje (slika 30).



Slika 30: Prikaz lociranja visokovodnih zidov na območju od zdravilišča do železniškega mostu
(podlaga: Atlas okolja, 2014)

Kot je prikazano na sliki 30, smo morali na tem podobmočju predvideti 3 odseke visokovodnih zidov. Na desnem bregu smo predpostavili visokovodni zid, s katerim smo zaščitili mestni park ter nekaj objektov, ki so znotraj tega območja. Kljub temu da bi pogojno lahko dopustili razlivanje vode na tem območju, smo se odločil, da ga varujemo pred pretokom Q_{100} .

Protipoplavni zid, ki je prikazan na sliki 30, na desnem bregu Savinje, ima naslednje specifikacije:

- njegova dolžina je 605,16 m,
- njegova višina, pri kateri je upoštevano varnostno nadvišanje (0,5 m), je 1,5 m.

Na levem bregu Savinje smo predvideli visokovodni zid v dveh delih, pri čemer je zelo pomembno, da ta dva dela varujeta objekte pred visokimi vodami.

Najprej bomo opisali prvi del zidu, ki smo ga predvideli pred glavnim mostom v Laškem. Ta del zidu je potreben za zaščito nekaterih objektov, saj je le na tem odseku voda ob stoletnem pretoku prestopi bregove. Pri takšnem odseku visokovodnega zidu je poleg varovanja objektov zelo pomembno tudi to, da se preprečuje, da bi na eni točki voda vdrla v naseljeni del Laškega in ne bi imela kje odtekati, ker bi bila ujeta v kaseti.

Protipoplavni zid, ki je prikazan na sliki 30, na levem bregu Savinje pred glavnim mostom v Laškem, ima naslednje specifikacije:

- njegova dolžina je 68,36 m,
- njegova višina, pri kateri upoštevamo varnostno nadvišanje (0,5 m), je 0,8 m.

Drugi visokovodni zid pod glavnim mostom v centru Laškega je daljši, njegova potrebna višina pa ni velika, saj sega visokovodni val pri stoletnem pretoku le 20 cm nad brežino reke. Glavna funkcija tega dela visokovodnega zidu je, da ščiti del urbanizacije in da v času visokih voda cesta ni preplavljena.

Protipoplavni zid, ki je prikazan na sliki 30, na levem bregu Savinje pod glavnim mostom v Laškem, ima naslednje specifikacije:

- njegova dolžina je 194,44 m,
- njegova višina, pri kateri upoštevamo varnostno nadvišanje (0,5 m), je 0,7 m.

8.3 Možne oblike protipoplavnih zidov

Protipoplavni zidovi predstavljajo lokalno rešitev določenega odseka pred poplavami. Zelo pomembno je, da se odločimo za protipoplavne zidove, kadar:

- smo omejeni s prostorom,
- nimamo možnosti zadrževanja visokovodnih konic gorvodno,
- ne poslabšamo situacij ob visokih vodah v krajih, ki ležijo dolvodno ob reki.

Na primeru Laškega vidimo, da se brez visokovodnih zidov ne da preprečiti preplavljanja visokih voda. Kljub temu da smo za preprečitev poplav v Laškem predvideli tako gorvodne kot dolvodne ukrepe, se stoletne vode v Laškem ne da zadržati v strugi.

V tem poglavju se bomo dotaknili izbire protipoplavnih zidov, saj z upoštevanjem varnostnega nadvišanja, ki smo ga izbrali (0,5 m), ti zidovi dosegaajo 1,5 m. Zaradi te višine je pomembno omeniti tudi umestitev teh zidov v prostor. Ta problem se bolj dotika krajinskega oblikovanja, vendar je zelo pomembno, da se že v začetni fazi projektiranja odločimo za določen tip izvedbe.

V nadaljevanju diplomske naloge smo predstavili klasično obliko visokovodnih zidov ter njeno alternativo.

8.3.1 Betonski protipoplavni zidovi

Kadar govorimo o visokovodnih zidovih, najprej pomislimo na armiranobetonske zidove, saj so najpogostejša izbira protipoplavnih ukrepov. Ena izmed negativnih lastnosti teh zidov je, da predstavljajo oviro v prostoru, kar predstavlja največjo težavo pri umestitvi v Laškem. Laško ima zelo specifično lokacijo, saj leži neposredno ob reki Savinji in ga z obeh dveh strani obdajajo hribovja. Zaradi prostorske stiske so betonski visokovodni zidovi nesprejemljivi za prebivalce. Pri umestitvi protipoplavnih ukrepov je zelo pomembna tudi analiza sprejemljivosti teh ukrepov v prostoru. Na sliki 31 je prikazan betonski protipoplavni zid v Vojniku.

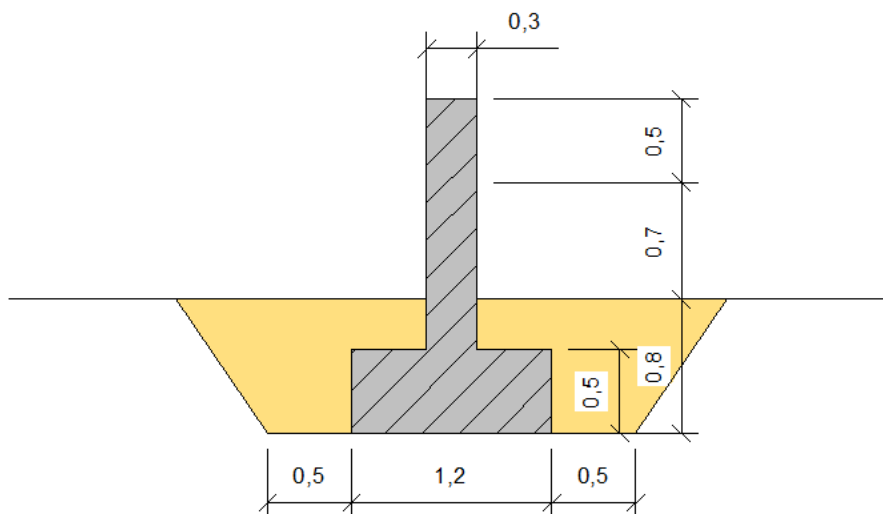


Slika 31: Protipoplavni zid v Vojniku

Da je bila v Vojniku najboljša možna rešitev betonski protipoplavni zid, obstaja več razlogov:

- gorvodno ni možnosti zadrževanja visokovodnih konic,
- razmere dolvodno se ne poslabšajo drastično,
- zaradi morfologije ti betonski zidovi ne predstavljajo ovir v prostoru.

Če primerjamo pogoje, ki so obstajali za postavitve teh zidov v Vojniku, vidimo, da je situacija v Laškem popolnoma drugačna. Na sliki 32 je prikazana tehnična risba betonskega protipoplavnega zidu z najvišjo sprejemljivo višino za prebivalce.



Slika 32: Tehnična risba betonskega protipoplavnega zidu

Na sliki 32 je prikazana konstrukcija betonskega protipoplavnega zidu. Kot vidimo, je pri teh zidovih zelo pomembno temeljenje, saj preprečuje, da bi se ob visokih vodah zid porušil. Najvišja sprejemljiva višina zidu s starani krajinarjev in prebivalcev je 1,5 m. Na sliki 32 vidimo nekaj pomembnih podrobnosti:

- globina temeljenja je 0,8m,
- širina temelja 1,2 m,
- višina temelja 0,5 m,
- širina odkopa na vsaki strani od temelja je vsaj 0,5 m.

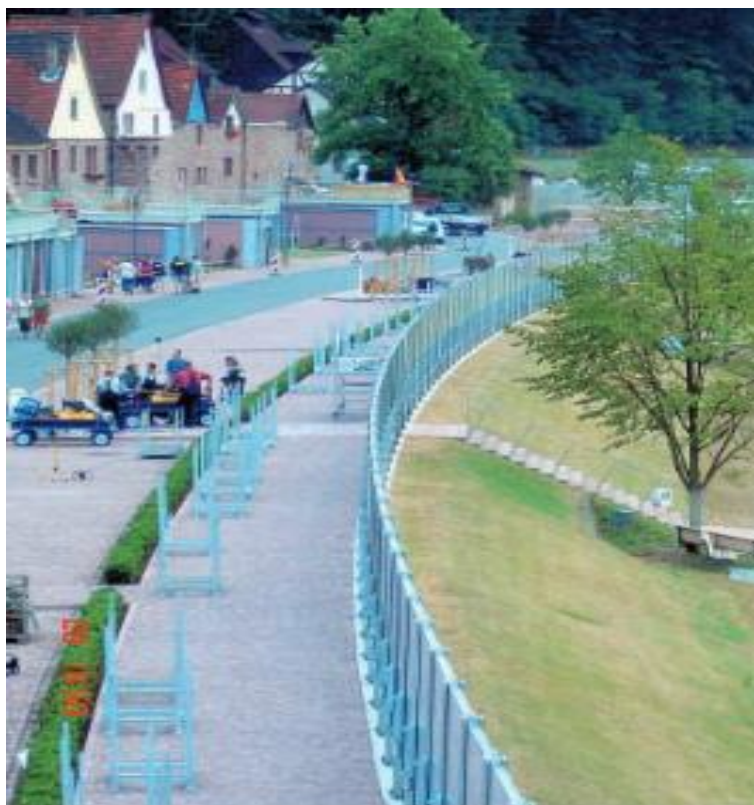
Zgornja tehnična risba predstavlja osnovno obliko visokovodnega zidu, ki preprečuje razlivanje vode do 1,5 m. Ta višina je sestavljena iz 1,0 m višine visoke vode in 0,5 m varnostne višine. Varnostna višina predstavlja rezervo, če bi visoka voda preseгла pretoke, na katere je bil visokovodni zid dimenzioniran.

8.3.2 Možna protipoplavna alternativa v Laškem

Pri dimenzioniranju protipoplavnih ukrepov je zelo pomembno, da se poleg pravilnega dimenzioniranja zidu upošteva tudi njegova umestitev v prostor – kar je glavni razlog, da je potrebno za Laško najti drugačno rešitev. Za betonski protipoplavni zid v Laškem velja, da je glede dimenzioniranja povsem mogoča izbira, težave pa nastanejo zaradi njegove umestitve v prostor:

- predstavlja zid višine do 1,5 m,
- dolino vizualno razdeli na dva dela,
- današnji obrečni prostor bi dobil povsem drug pomen.

Zaradi zgoraj naštetih problemov, ki bi jih prinesla postavitve betonskega protipoplavnega zidu v Laškem, se moramo osredotočiti na alternative. Možna alternativa mora glede dimenzioniranja predstavljati enako varnost, z vidika umeščanja v prostor pa mora biti tako za krajinarje kot za prebivalce veliko bolj sprejemljiva. Ena izmed možnih alternativ je rešitev, ki jo predstavlja podjetje PAL inženiring, in sicer lamelni sistem IBS (slika 33).



Slika 33: Lamelna zaščita Freudenberg (PAL inženiring - Protipoplavna zaščita IBS, 2014)

Pri lamelni zaščiti IBS so za uporabo in funkcionalnost le-te pomembni:

- napovedovanje poplav (časovni potek),
- značilnosti povodja (koeficient odtoka),
- značilnost padavin (intenziteta in trajanje),
- razpoložljiva delovna sila.

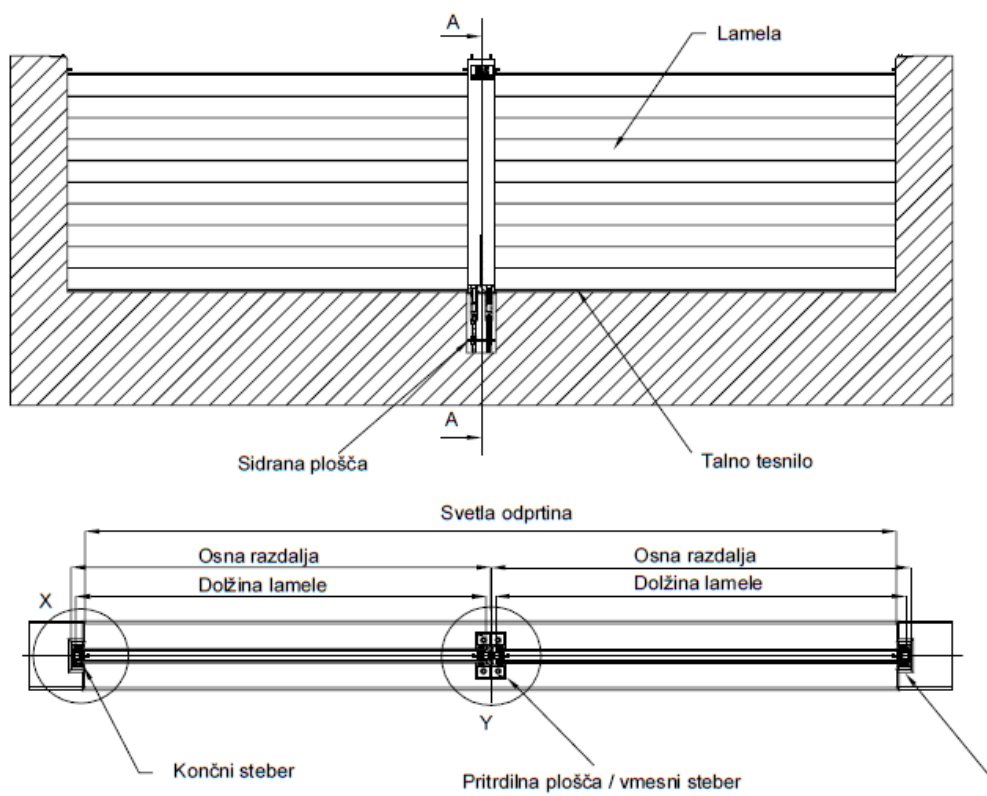
Za postavitev protipoplavne lamelne zaščite IBS potrebujemo dovolj časa, zato je ključnega pomena, da je prvo opozorilo izdano dovolj hitro, da imajo prebivalci, civilna zaščita in prostovoljni gasilci čas za njeno postavitev (slika 34). Bolje je, da se protipoplavna zaščita postavi, čeprav reka Savinja ne bi dosegla Q_{100} . V teh primerih pomeni postavljanje protipoplavne zaščite IBS vajo.



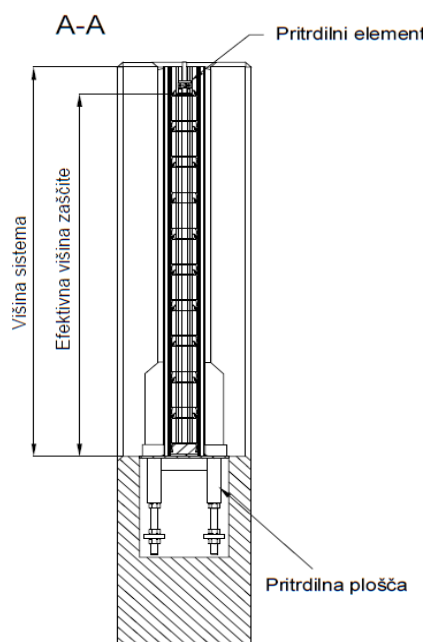
Slika 34: Postavitev lamelne zaščite IBS (PAL inženiring, 2014)

Sestavni deli lamelne zaščite IBS (PAL inženiring, 2014), ki so predstavljeni na slikah 35 in 36, so:

- lamela,
- končni steber,
- pokrov končnega stebra,
- pritrdilna plošča,
- vmesni steber,
- pritrdilni element,
- tesnila.



Slika 35: Prikaz delov lamelne zaščite IBS (PAL inženiring, 2014)



Slika 36: Prikaz delov lamelne zaščite IBS – prečni prerez (PAL inženiring, 2014)

Težava protipoplavne zaščite IBS se pojavi pri njenem skladiščenju. V Laškem bi bilo potrebno skladiščiti tako vmesne in končne stebre z vsemi njihovimi dodatki kot tudi čisto vse lamele s tesnili. Na sliki 37 smo prikazali dve možni lokaciji za skladiščenje IBS protipoplavne zaščite v kontejnerjih. Izbrali smo dve območji, saj mislimo, da je postavitve lamelne zaščite IBS hitrejša, če se elementi prinašajo iz dveh skladišč.

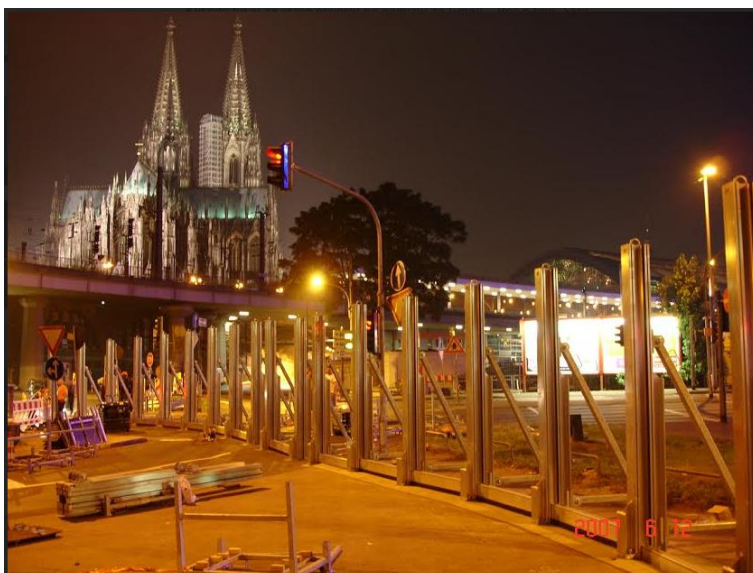


Slika 37: Lokacija skladiščenja protipoplavne zaščite IBS (podlaga: Atlas okolja, 2014)

Za zaščito poplavnih območji je zelo pomembno, da imamo usposobljeno delovno silo in da je potek informaciji od vremenoslovcev, merilnih postaj do delovne sile hiter. Na slikah 38 in 39 je prikazano, kako je skladiščena protipoplavna zaščita IBS v Kölnu ter kako poteka njena postavitve.



Slika 38: Skladiščene IBS protipoplavne zaščite v Kölnu (PAL inženiring, 2014)



Slika 39: Prikaz postavitve protipoplavne zaščite IBS v Kölnu (PAL inženiring, 2014)

9 CENOVNO IZVREDNOTENJE PROTIPOPLAVNIH UKREPOV V LAŠKEM

Eno ključnih vlog pri izbiri protipoplavnih ukrepov igra cena. Kljub temu da je kakšen projekt z vidika poplavne varnosti ter okoljske sprejemljivosti povsem mogoč, se investitorji zanj ne odločijo zaradi cene. Težave pa se lahko pojavijo po preteku določenega časovnega obdobja, saj cena in dolgoročnost izbranega ukrepa največkrat nista sorazmerna in so potrebne prezgodne obnove.

Za zaključek diplomskega dela bomo predstavili cenovno primerjavo dveh protipoplavnih ukrepov v Laškem, da dobimo občutek, kakšna je povezava med ceno in kompromisi, ki jih je potrebno sprejeti zaradi nje.

Na podlagi podatkov, ki smo jih pridobili pri podjetju PAL inženiring d.o.o., smo naredili cenovno primerjavo lamelne zaščite IBS za dolžino 1159,57 m visokovodnih zidov z armiranobetonskim zidom, pri čemer smo za vse zidove upoštevali višino 1,2 m.

Armiranobetonski zid (slika 32):

- višina = 1,2 m, pri čemer upošteevamo višino 0,7 m za zadrževanje Q_{100} ter 0,5 m varnostnega nadvišanja,
- dolžina = 1159,57 m, pri čemer smo vse dele zidov združili v celoto.

Lamelna zaščita IBS (slika 40):

- višina = 1,2 m,
- dolžina = 1159,57 m.



Slika 40: Lamelna zaščita IBS (PAL inženiring, 2014)

Pri ceni za armiranobetonski zid smo upoštevali izkope za temelje, vgrajevanje betona, armaturo ter zasipe v prvotno stanje. Po pogovoru s strokovnjaki smo določil ceno, pri kateri so upoštevana še določena odstopanja, ki jih je pri gradbenih delih potrebno upoštevati, in ta cena znaša 445 EUR/m'.

Za lamelno zaščito IBS smo glede na podatke, ki smo jih pridobili pri podjetju PAL inženiring d.o.o., določili ceno, ki upošteva:

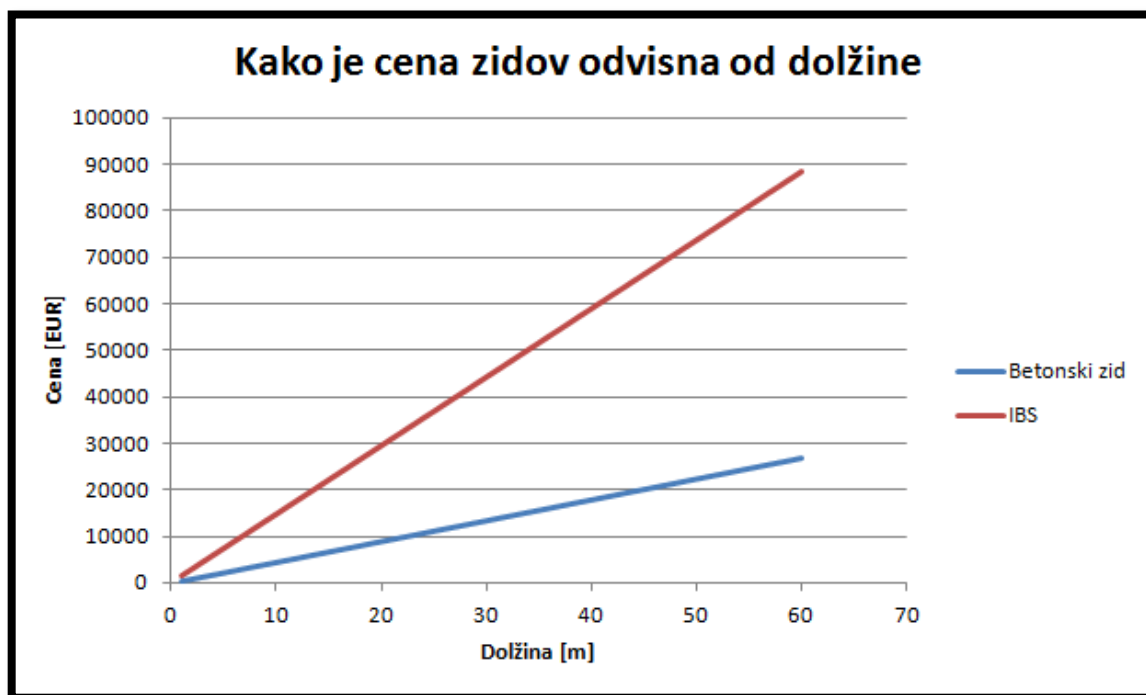
- odstranljivo protipoplavno zaščito (lamele, končni stebrički, vmesni stebrički, talno tesnilo ter tesnilni material elementov),
- zaščitne pokrove končnih stebrov,
- kovinske zabojske in vozičke za shranjevanje in transport zapornih elementov.

Cena za lamelno zaščito IBS, ki smo jo določili iz izračunov podjetja PAL inženiring d.o.o., znaša 1470 EUR/m'.

V preglednici 12 je prikazana razlika v ceni za tekoči meter in za vse protipoplavne zidove v Laškem. Vidimo lahko, da je lamelna zaščita IBS več kot trikrat dražja od klasičnih armiranobetonskih zidov. Če torej želimo ohraniti nivo kakovosti življenja prebivalcev Laškega, je potrebno za protipoplavne ukrepe plačati trikrat več.

Preglednica 12: Cenovno izvrednotenje protipoplavne zaščite v Laškem

	Betonski zidovi	Lamelna zaščita IBS
Višina protipoplavne zaščite [m]	1.2	1.2
Dolžina protipoplavne zaščite [m]	1159.57	1159.57
Cena na tekoči meter [EUR/m']	445	1470
Cena za vse zidove [EUR]	516008.65	1704567.9



Slika 41: Odvisnost cene od dolžine protipoplavnih zidov

Slika 41 prikazuje graf, ki kaže odvisnost cene od dolžine tako armiranobetonskih zidov kot tudi lamelne zaščite IBS. Kot lahko vidimo, se razlika v ceni z dolžino samo povečuje, kar pomeni, da daljše območje, kot imamo, večja je razlika v ceni med armiranobetonskimi zidovi in lamelno zaščito IBS.

Kljub temu da je lamelna zaščita IBS veliko dražja kot klasična oblika betonskih zidov, smo se odločili zanjo, saj tako ohranimo kakovost življenja v Laškem na enaki ravni, pri tem pa določena območja obvarujemo pred visokimi vodami.

10 ZAKLJUČEK

Diplomsko delo z naslovom *Hidravlična analiza reke Savinje skozi Laško s predlogom protipoplavnih ukrepov* je zasnovano in izdelano kot idejni projekt. V diplomskem delu smo obravnavali vse faze, ki jih je potrebno obdelati pri projektiranju konkretnih protipoplavnih ukrepov.

V prvem delu diplome smo se lotili hidravličnih izračunov s programom HEC-RAS. Naredili smo hidravlične izračune za sedanje stanje, za stanje, pri katerem smo upoštevali poglobitev struge pri ovinku Udmat, ter predvideno stanje – v tem delu smo upoštevali še izgradnjo suhih zadrževalnikov v Spodnji Savinjski dolini. Na zadnjem izračunu, pri katerem smo upoštevali izgradnjo suhih zadrževalnikov, temelji nadaljevanje diplomske naloge.

V drugem delu naloge smo na podlagi hidravličnih izračunov ter geometrije, ki smo jo pridobili v podjetju Hidrosvet d.o.o., določili območja, kjer Savinja v Laškem ob stoletnih vodah prestopi bregove. Na območjih, kjer reka Savinja prestopi bregove, smo predvideli protipoplavne zidove, določil njihovo dolžino ter potrebno višino, pri kateri smo upoštevali tudi varnostno nadvišanje.

V tretjem delu diplomskega dela pa smo zaradi specifične lege Laškega iskali ustrezno izvedbo protipoplavnih zidov, saj je bila naša želja obvarovati Laško pred poplavami, ob tem pa nismo želeli zmanjšati kakovost življenja prebivalcev centra Laškega. Prišli smo do zaključka, da armiranobetonskih zidov ne bi bilo smotrno postaviti, zato smo se odločili za lamelno zaščito IBS, o kateri smo se izobrazili preko podjetja PAL inženiring d.o.o..

V zaključku naloge smo predstavili tudi cenovno primerjavo med armiranobetonskimi zidovi in lamelno zaščito IBS. V tem poglavju smo naredili površinsko cenovno primerjavo, pri čemer smo poenotili vse zidove na višino 1,2 m ter na podlagi te poenostavitve dobili okvirno ceno izvedbe vseh protipoplavnih zidov, ki bi obvarovali Laško visokih voda med mostom v Jagoče ter železniškim mostom. V zadnjem poglavju predlagamo tudi, da se je bolj smotrno odločiti za dražjo protipoplavno zaščito in s tem ohraniti kvaliteto življenja na enaki ravni, kot je sedaj.

VIRI

Atlas okolja. 2014. Agencija RS za okolje .

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 25. 3. 2014.)

Blažič, B. 2010. Protipoplavna zaščita jugozahodnega dela Ljubljane. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Blažič): 93 str.

Brilly, M. in Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 308 str.

Delo. 2014. VODPREG. <http://www.delo.si/druzba/znanost/kako-varne-so-vodne-pregrade-v-sloveniji.html/> (Pridobljeno 15. 5. 2014.)

Goropevšek, B. 2011. Savinja: polet nad reko. Nazarje. Argos: 42–49.

Hidrosvet d.o.o. 2002. Ureditev Savinje pod Laškim od km 10+138 do km 14+296 (rednik1, 2). Idejni projekt. Celje, Ministrstvo za okolje in prostor; Ljubljana: loč. pag.

Hidrosvet d.o.o. 2011. Izdelava kart razredov poplavne in z njimi povezane erozijske nevarnosti za potrebe priprave OPN Občine Laško. Elaborat. Ljubljana, Občina Laško; Laško: loč. pag.

Hidrosvet d.o.o. 2013. Naročanje digitalnih obrazcev – Ministrstvo za infrastrukturo in prostor, Geodetska uprava Republike Slovenije. Osebna komunikacija. (24. 7. 2013.)

Hidrosvet d.o.o. 2013. Zagotavljanje poplavne varnosti na porečju Savinje – lokalni ukrepi (Ureditev Savinje pod Laškim – 1. faza od km 13+438 do km 13+841). Projekt izvedenih del. Celje, Nivo Eko; Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: loč. pag.

Hidrosvet d.o.o. 2014. Analiza poplavnih valov Savinje od Ložnice do izliva v Savo in hidravlične presoje – IZVO-R. Osebna komunikacija. (15. 7. 2014.)

Kamničan.si. 2014. <http://www.kamnican.si/uradno-odprtje-protipoplavnega-nasipa-ob-vodotoku-kamniske-bistrice-v-smarci/> (Pridobljeno 25. 4. 2014.)

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Hidrološka, hidravlična kakovostna in ekonomska problematika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, VTOZD Gradbeništvo in geodezija, Inštitut za zdravstveno hidrotehniko: 509 str.

Metelko Skutnik, V. 2011. O poplavah na Savinji. Savinja: polet nad reko. Nazarje. Argos: 76–79.

Meze, M. 2008. Analiza padavinskih razmer septembra 2007 v zahodni Sloveniji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Meze): 89 str.

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

PAL inženiring – Beaver cevni sistem. 2014. http://pal-inzeniring.si/protipoplavna_zascita/z_vodo_proti_vodi_beaver_cevni_sistemi/ (Pridobljeno 19. 6. 2014.)

PAL inženiring – Lamelni sistem IBS. 2014. http://palinzeniring.si/protipoplavna_zascita/lamelna_zascita_ibs/ (Pridobljeno 15. 5. 2014.)

PAL inženiring. 2014. Lamelna zaščita IBS (online). Za: Preložnik, M. 5. 9. 2014. Osebna komunikacija.

PAL inženiring – Panelna zaščita WHS. 2014. http://pal-inzeniring.si/protipoplavna_zascita/panelna_zascita_whs/ (Pridobljeno 3. 7. 2014.)

PAL inženiring – Protipoplavne vreče. 2014. http://pal-inzeniring.si/uploads/pal/public/document/21-flyer_fps_sl.pdf (Pridobljeno 17. 6. 2014.)

PAL inženiring – Protipoplavna zaščita IBS. 2014. http://pal-inzeniring.si/protipoplavna_zascita/lamelna_zascita_ibs/ (Pridobljeno 6. 7. 2014.)

PAL inženiring – Protipoplavna zaščita IBS. 2014. http://pal-inzeniring.si/uploads/pal/public/document/14-koeln_skupno_sl.pdf (Pridobljeno 10. 7. 2014.)

PAL inženiring – Protipoplavna zaščita IBS. 2014. http://pal-inzeniring.si/uploads/pal/public/document/16-freudenberg_sl.pdf (Pridobljeno 14. 7. 2014.)

Politikis. 2014. <http://www.politikis.si/?p=116703> (Pridobljeno 17. 6. 2014.)

Porečje Savinje. 2013. http://www.porecje-savinje.si/Reka_Savinja/O_Savinji/ (Pridobljeno 17. 12. 2013.)

Porečje Savinje. 2013. http://www.porecje-savinje.si/Reka_Savinja/O_Savinji/ (Pridobljeno 20. 12. 2013.)

Sore, A. 2000. Laško z bližnjo okolico. Laško. Prireditveni center: 11–14.

Statistični urad republike Slovenije. 2014. <http://www.lasko.si/sl/statisticni-podatki> (Pridobljeni 22. 8. 2014.)

Turistično društvo Laško. 2013. <http://www.turisticnodrustvo-lasko.si/galerija.php> (Pridobljeno 16. 12. 2013.)

Vodnogospodarski inštitut, p.o. 1994. Savinja od vtoka Pake do izliva v Savo brez povodja Voglajne. Hidrološka študija. Ljubljana, MOP Ljubljana, Ljubljana: loč. pag.

Vrabc, B. 2014. Občina Laško. <http://www.lasko.si/sl/novice-kategorija/390-poplava-v-laskem> (Pridobljeno 8. 2. 2014.)

PRILOGE

- Priloga A Pregledna situacija celotnega območja M 1:5000 (podlaga: Hidrosvet, 2013)
- Priloga B Situacija območja protipoplavnih ukrepov M 1:5000 (podlaga: Hidrosvet, 2013)
- Priloga C Situacija območja protipoplavnih ukrepov in prikaz lege protipoplavnih zidov M 1:5000 (podlaga: Hidrosvet, 2013)
- Priloga D Vzdolžni profil območja, kjer so predvideni protipoplavni ukrepi M 1:2500/100