

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:

Primož Jamnik

Optimizacija struge Malega grabna na območju Viča, Ljubljana

Diplomska naloga št.: 2957

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor:

viš. pred. mag. Rok Fazarinc

Ljubljana, 20. 6. 2007

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **PRIMOŽ JAMNIK** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»OPTIMIZACIJA STRUGE MALEGA GRABNA NA OBMOČJU VIČA,
LJUBLJANA«.**

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

Ljubljana, 31.05.2007

(podpis)

ZAHVALA:

Vsem, ki so mi kakor koli pomagali pri izdelavi diplomske naloge, bi se rad iskreno zahvalil. Predvsem pa bi se rad zahvalil mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju mag. Roku Fazarincu. Zahvalil bi se tudi Inženiringu za vode in Inštitutu za vode Republike Slovenije, kjer so mi pomagali s podatki, ki sem jih potreboval pri diplomski nalogi.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, dekletu, svojcem, prijateljem in vsem, ki so mi vsa leta študija vedno pomagali in stali ob strani.

Moja zahvala gre tudi Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, kjer sem preživel veliko lepih trenutkov in bil vedno deležen sodelovanja z zaposlenimi na fakulteti.

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 004.42:556.53:627.1+627.4/.5(043.2)
Avtor: Primož Jamnik
Mentor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Somentor: mag. Rok Fazarinc
Naslov: Optimizacija struge Malega grabna na območju Viča, Ljubljana
Obseg in oprema: 51 str., 5 pregl., 24 sl., 4 en.
Ključne besede: urejanje vodotokov, hidravlični model, Ljubljana, poplavno območje, Mali Graben, HEC-RAS, protipoplavni ukrepi.

Izvleček:

Diplomska naloga obravnava vodotok Mali graben, ki je le drugo ime za Gradaščico od Bokalškega jezua do izliva v Ljubljano. V prvem delu naloge je naveden osnovni, topografski, hidrografski in hidrološki opis celotnega območja Malega grabna. V nadaljevanju sledi natančen opis vodotoka na odseku od južne obvoznice pa do izliva v Ljubljano. Opisani so vsi prečni objekti in trenutno stanje na tem delu vodotoka. Za ta odsek je bil izdelan hidravlični računski model s programom HEC-RAS 3.1.3. Obravnavane so bile tri geometrijske variante struge na tem delu Malega grabna z enakim pretokom. S programom so bile izračunane in v samem programu tudi izrisane kote gladin za podani pretok. Obravnavan je bil stalni neenakomerni pretok. Na podlagi informacij o gladinah vode smo v zadnjem delu naloge obravnavali posamezne variante s stališča ureditvenih oziroma protipoplavnih ukrepov. Za vsako varianto so podana ureditvena dela s količinami, ki so potrebna za protipoplavno in sonaravno ureditev tega odseka Malega grabna. Na koncu sledi finančna primerjava ureditvenih variant in analiza ugotovljenih primerjav.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 004.42:556.53:627.1+627.4/.5(043.2)
Author: Primož Jamnik
Supervisor: prof. dr. Matjaž Mikoš
Cosupervisor: mag. Rok Fazarinc
Title: Channel optimisation of the Mali graben in the area of Vič,
Ljubljana
Notes: 51 str., 5 pregl., 24 sl., 4 en.
Key words: river engineering, hydraulic model, Ljubljana, flood area, Mali Graben, HEC-RAS, flood preventive measures.

Abstract:

This diplom deals with stream Mali graben, which is just another name for Gradaščica from Bokalce dam to the outfall into Ljubljanica river. In the first part of the work there are the basic topographical, hydrographical and hydrological descriptions in the whole area of Mali graben, In the continuation there is a precise description of the stream section from south motorway bypass to the outfall into Ljubljanica. All of the transversal objects are described and the current condition of that part of the stream. For this section the hydraulic calculating model was set with the HEC-RAS 3.1.3 programme. Three geometric variants of the riverbed with the same flow are discussed on this part of the Mali graben. With the programme water levels for the subject flow were calculated and drawn. Steady irregular flow was taken into account. Basing on the water levels information in the last part of the work individual variants from the point of view of regulation and flood preventing measures were discussed. For each variant there are regulative works presented with quantities needed for flood prevention and natural settlement of that part of the section of Mali graben. At the end there is the financial comparison of regulating variants and the analysis of established comparisons.

KAZALO VSEBINE:

KAZALO VSEBINE:	vi
SEZNAM SLIK:	viii
SEZNAM PREGLEDNIC:	ix
1.0 UVOD	1
2.0 KRATEK OPIS POREČJA GRADAŠČICE	3
2.1 Osnovne značilnosti porečja	3
2.2 Topografske in hidrografske značilnosti	4
2.3 Hidrološke značilnosti	5
2.4 Poplave	6
3.0 MALI GRABEN	8
3.1 Značilnosti Malega grabna	8
3.1.1 Splošno	8
3.1.2 Lastnosti struge Malega grabna	8
3.1.3 Poplavna ogroženost območja Malega grabna	8
3.1.4 Geomorfološke in geomehanske značilnosti tal	9
3.2 Raba tal	10
3.2.1 Stanovanjska in industrijska raba	10
3.2.2 Prometne površine	11
3.3 Zeleni sistem	12
3.4 Sedanje stanje (topografske in hidromorfološke značilnosti) Malega grabna	13
3.4.1 Od južne ljubljanske obvoznice do mostu na Cesti v Mestni log	13
3.4.2 Od mostu na Cesti v Mestni log pa do mostu na Barjanski cesti	14
3.4.3 Od mostu na Barjanski cesti do izliva v Ljubljanico	15
3.5 Prečni objekti	17
3.5.1 Bokalški jez	17
3.5.2 Most na Cesti v Mestni log	20
3.5.3 Lesena brv na traverzi	21
3.5.4 Most na Mokrški ulici	22
3.5.5 Most na Barjanski cesti	23
3.5.6 Most na Opekarski cesti	24
3.5.7 Most na Hladnikovi cesti	25
4.0 HIDRAVLIČNI RAČUNSKI MODEL ODSEKA MALEGA GRABNA	26
4.1 Uporaba in vnos podatkov v program HEC – RAS 3.1.3 za hidravlični izračun	26
4.1.1 Osnovne lastnosti programa HEC – RAS 3.1.3	26
4.1.2 Geometrija modelov	27
4.1.3 Karakteristični pretok in robni pogoji	30
4.1.4 Umerjanje hidravličnega računskega modela	30
4.2 Rezultati izračuna v programu HEC – RAS 3.1.3	31
4.2.1 Rezultati prve variante	31
4.2.2 Rezultati druge variante	33
4.2.3 Rezultati tretje variante	34

5.0	POSAMEZNI PROTIPOPLAVNI UKREPI IN UREDITVE	35
5.1	Opis predlaganih ureditvenih ukrepov	35
5.1.1	Nadvišanje poti	35
5.1.2	Ureditev dotoka zalednih vod	35
5.1.3	Rušitev in graditev mostov in brvi na istih mestih	36
5.1.4	Protipoplavni nasipi	36
5.1.5	Protipoplavni betonski zidovi	37
5.1.6	Odkop materiala	37
5.1.7	Kamnita zaščita brežin z lomljencem	38
5.1.8	Kamniti pragovi	39
5.1.9	Podporni zid	40
5.2	Količine in stroški gradbenih del	41
5.2.1	Pregled količin in stroškov gradbenih del	41
5.2.2	Ugotovitve	
	Napaka! Zaznamek ni definiran.	
6.0	ZAKLJUČKI	46
	LITERATURA IN VIRI:	47
	PRILOGE:	50

SEZNAM SLIK:

<i>Slika 2.1: Lega povodja Gradaščice v Sloveniji (Šraj, 2005).</i>	3
<i>Slika 2.2: Natančnejši prikaz povodja Gradaščice (Interaktivni naravovarstveni atlas).</i>	4
<i>Slika 2.3: Poplava Malega grabna ob Cesti dveh cesarjev leta 2004 (Visoke vode, 2004).</i>	7
<i>Slika 2.4: Pogled iz letala na poplavljeno Ljubljansko barje iznad Mestnega loga (Melik, 1934).</i>	7
<i>Slika 3.1: Ogrožena območja – poplavna območja (MOL OU, 2002).</i>	9
<i>Slika 3.2: Prostorska zasnova – stanovanjska območja v MOL (MOL, 2007).</i>	10
<i>Slika 3.3: Prostorska zasnova – proizvodnje površine v MOL (MOL, 2007).</i>	11
<i>Slika 3.4: Prostorska zasnova – zeleni sitem v MOL (MOL, 2007).</i>	12
<i>Slika 3.5: Na levem bregu pot, na desnem vrtički (pogled gorvodno). Močna zaraslost in težka dostopnost do vodotoka (foto: Jamnik, december 2006).</i>	14
<i>Slika 3.6: Na levem bregu pot, na desnem naselje Sibirija (pogled dolvodno). Naselje zelo blizu vodotoka. Slika z lesene brvi (foto: Jamnik, december 2006).</i>	15
<i>Slika 3.7: Slika z mostu na Opekarski cesti dolvodno. Naselje zelo blizu vodotoka. Levo Trnovo, desno Rakova Jelša (foto: Jamnik, april 2007).</i>	16
<i>Slika 3.8: Slika z mostu na Hladnikovi cesti dolvodno. Manj zarasle brežine, predvsem leve. Levo Trnovo, desno travniki in vrtički (foto: Jamnik, april 2007).</i>	17
<i>Slika 3.9: Prelivno polje, »nastanek« Malega grabna (foto: Jamnik, april 2007).</i>	18
<i>Slika 3.10: Zapornice na Bokalškem jezcu, za Mestno Gradaščico (spredaj) in za Mali graben (zadaj) (foto: Jamnik, april 2007).</i>	19
<i>Slika 3.11: Most na Cesti v Mestni log. Pogled dolvodno (foto: Jamnik, december 2006).</i>	20
<i>Slika 3.12: Lesena brv na traverzi, v ozadju naselje Sibirija (foto: Jamnik, december 2006).</i>	21
<i>Slika 3.13: Most na Mokrški ulici. Pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).</i>	22
<i>Slika 3.14: Most na Barjanski cesti, pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).</i>	23
<i>Slika 3.15: Most na Opekarski cesti, pogled dolvodno (foto: Jamnik, april 2007).</i>	24
<i>Slika 3.16: Most na Hladnikovi cesti, pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).</i>	25
<i>Slika 4.1: Vnos podatkov o profilu v HEC – RAS (na levi strani tabela, v katero vnašamo podatke in na desni strani izris podanega profila).</i>	28
<i>Slika 4.2: Most na Barjanski cesti, vnešen v hidravlični model programa HEC – RAS. Most med zgornjim in spodnjim profilom.</i>	29
<i>Slika 4.3: Izris situacije Malega grabna v spodnjem delu (P0 – P12) . Vidi se izliv, most na Hladnikovi cesti, most na Opekarski in most na Barjanski cesti (1. varianta).</i>	32
<i>Slika 5.1: Kamniti prag dolvodno od brvi na Mokrški ulici (foto: Jamnik, april 2007).</i>	39

SEZNAM PREGLEDNIC:

<i>Preglednica 2.2: Teoretične in dejanske vodne količine v prerezu Gradaščice pred Šujico – obstoječe stanje (IzVRS, 2004).</i>	5
<i>Preglednica 4.1: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku 170 m³/s (1. var.).</i>	32
<i>Preglednica 4.2: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku 170 m³/s (2. var.).</i>	33
<i>Preglednica 4.3: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku 170 m³/s (3. var.).</i>	34
<i>Preglednica 5.1: Količine in stroški rušitvenih, zemeljskih in zavarovalnih del.</i>	41

1.0 UVOD

Ozemlje Republike Slovenije je izredno bogato z vodami in s tem je posledično povezanih kup prednosti in težav. V naši državi poplave ogrožajo več kot 300 000 ha površin in sicer največ v ozkih dolinah in hudourniških grapah. Kar 8.800 km² površine Slovenije (torej 43.5 odstotka) je izpostavljene delovanju erozijskih procesov (Steinman in Banovec, 2004). Vsako leto pa poplave zalijejo okrog 2300 ha površin. Najobsežnejše poplavno območje pa je Ljubljansko barje in s tem južni del Ljubljane (URSZR, 2007). Katastrofalne poplave povzročijo največ škode ravno na objektih in urbanih površinah. Poplava leta 1990 je povzročila močno obrežno erozijo, uničenih ali poškodovanih je bilo na desetine mostov, industrijskih obratov in na stotine hiš. Skupna škoda je bila ocenjena na več kot 500 milijonov evrov (Mikoš, 2007). Glede na to, da prihaja v zadnjih 20 letih do velikih podnebnih sprememb po celem svetu (suše, orkani, poplave, tornadi, ...), se lahko tudi v naši državi zavedamo, da se bo število poplav in ujm samo še povečevalo. Skrbi tudi dejstvo, da je ogroženih vedno več življenj, dobrin ter imetja in to predvsem zato, ker še vedno s podcenjevanjem in naivnostjo širimo urbana območja.

Poleg aktivnega varstva v obliki gradbenih varstvenih ukrepov (del, objektov in naprav) poznajo vse alpske države tudi pasivno ali preventivno varstvo v obliki negradbeniških ukrepov na podlagi načrtov nevarnih območij (Vodne ujme, 1999). Širjenje urbanih področij je problem vsega sveta. Vse države se ukvarjajo z vplivom vodotoka na posamezne kraje oziroma poizkušajo ugotoviti poplavno ogroženost urbanih področij z različnimi programi in postopki ter ugotavljajo različne možnosti za rešitev teh problemov. Kot primer lahko navedem reko Neckar v Nemčiji v zvezni državi Baden-Wurttemberg. V dveh stoletjih so se urbane površine močno povečale, ravno tako kot v Ljubljani (Pasche, 2007). V Sloveniji je kar veliko poplavnih območij, kjer bi lahko ob poplavi prišlo do velike gmotne škode. Po obsegu površine je najbolj poplavno ogroženo območje ob Muri, ker visoke vode zadržujejo na določenih območjih že precej dotrajani in stari nasipi. Kot sem že omenil, pa je najbolj ogroženo območje v Sloveniji gosto pozidano področje južne Ljubljane.

Ljubljana ima ogroženih okoli 500 ha pozidanih območij. Zadnje poplave leta 1998 so povzročile več kot 150 milijonov tolarjev škode, čeprav so bile v primerjavi z največjimi poplavami leta 1926 komaj omembe vredne. Povodje Gradašnice z Malim grabnom poplavno ogroža celotno dolino pod Polhovim Gradcem ter primestno in mestno območje jugozahodnega in južnega dela Ljubljane (Tavčar, 2005). Zaradi širitve mesta v tem delu se povečujejo prispevna območja in s tem dotok zalednih vod v posamezne vodotoke. Zadrževalne možnosti območja pa se zaradi novih gradenj (južna ljubljanska obvoznica, ...) počasi zmanjšujejo.

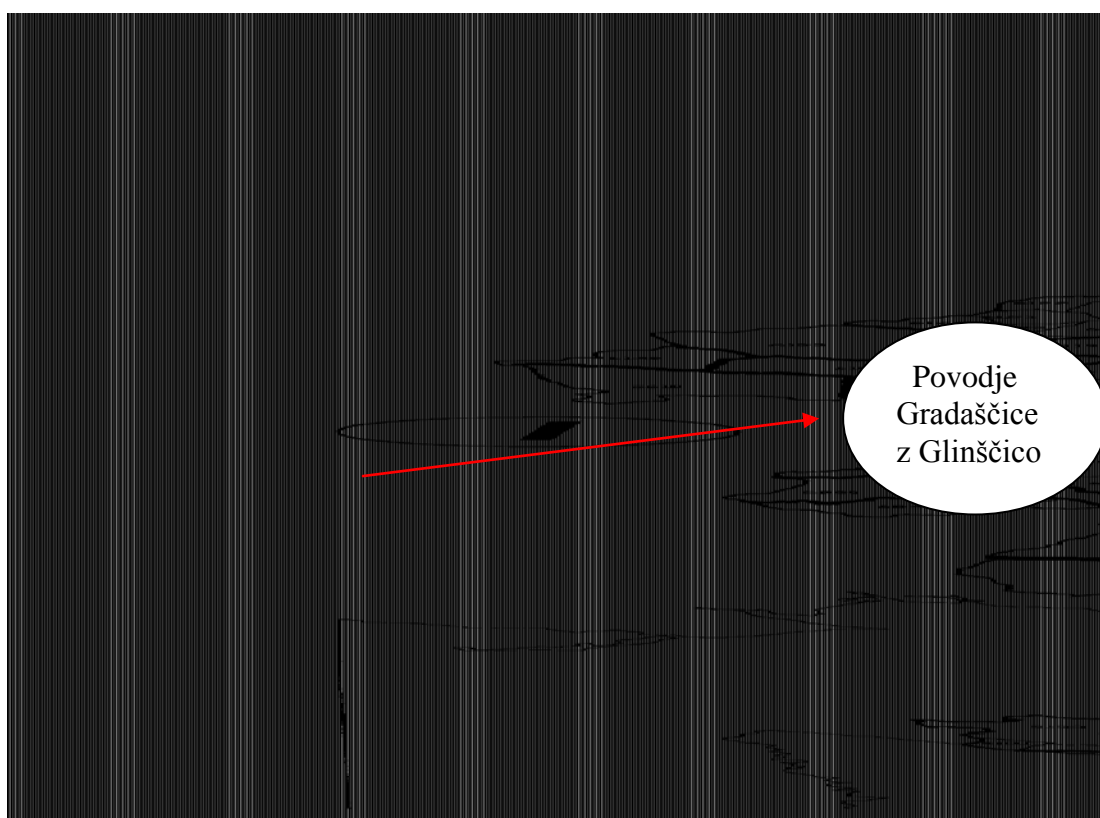
Kljub veliki poplavni ogroženosti Ljubljane je treba koridorje mestnih vodotokov urediti sonaravno. Analiza morfološkega stanja vodotokov v Mestni občini Ljubljana in raziskovalne naloge o ljubljanski hidrografski mreži opozarjajo na slabo ohranjenost morfologije vodotokov v tem območju. Razvoj novega mestnega plana, usmeritve in predlogi za obnovo mesta je zato priložnost za rehabilitacijske ukrepe v ljubljanski hidrografski mreži. V to smer je potrebno usmeriti tudi reševanje problema poplavne ogroženosti, da bodo vsi posegi na vodotoku usmerjeni v sonaravno urejanje vodotokov.

K temu nas obvezujejo tudi leta 2000 sprejete evropske okvirne vodne smernice (Aneks 5), ki v določenem obdobju v vsaki izmed držav podpisnic predvidevajo določen status površinskih voda vodotokov (Bizjak in Mikoš, 2001). Lep primer je reka Emscher v Nemčiji v zvezni državi Severni Rhein – Westphalia, kjer nameravajo v prihodnje že kanalizirano in poplavno urejeno reko Emscher sonaravno rehabilitirati v bolj naravni (vijuge, rastišča,...) videz reke (URRC, 2005). Naravni vodotoki v mestnem okolju so vsekakor tisti privlačni zunanji javni prostor, ki v veliki meri zadovoljuje potrebe mestnega prebivalstva po »naravnem okolju«. Potok ima za mestnega prebivalca pomembno vlogo predvsem zaradi možnosti doživetij in rekreacije (Mikoš in Kavčič, 1998). Potreben je interdisciplinarni pristop k reševanju problema in usklajeno delovanje na celotnem urbanem območju ter sodelovanje lokalnega prebivalstva. V diplomski nalogi smo želeli pokazati tri možnosti protipoplavne ureditve Malega grabna v Ljubljani (območje Viča) z upoštevanjem novih sonaravnih smernic za oživljanje mestnih vodotokov. Obravnavani del obsega Mali graben od južne ljubljanske obvoznice do izliva v Ljubljanico.

2.0 KRATEK OPIS POREČJA GRADAŠČICE

2.1 Osnovne značilnosti porečja

Povodje Gradaščice se razprostira na območju prehoda iz kraškega v nekraški svet. Povirni del tvorijo Polhograjski dolomiti. Razvodnica proti Sori oziroma Poljanščici poteka po grebenih Toškega čela, Ilovega vrha, polhograjske Grmade, Tošča, Mlake, Pasje ravni, Špika nato preko Suhega dola, Golega in Črnega vrha ter dalje po grebenih gričev med Barjem in dolino Horjulke. Reko Gradaščico tvorita dva glavna hudourniška potoka in sicer Božna, ki odmaka severni del zgornjega dela povodja, ter Mala voda, ki se steka iz doline med Prapročami in Korenom. Zgornji del povodja Gradaščice ima izrazito pahljačasto obliko. Ker je padec doline med Polhovim Gradcem in Dobravo velik, se visoke vode kljub poplavam ne zadržujejo. Na poplavnih območjih se pojavljajo sorazmerno močni tokovi. Prispevno območje Gradaščice pod izlivom Šujice je veliko 155,5 km² (IzVRS, 2004).



Slika 2.1: Lega povodja Gradaščice v Sloveniji (Šraj, 2005).

2.2 Topografske in hidrografske značilnosti

Reka Gradaščica je dobila ime ob združitvi dveh glavnih povirnih krakov, Božne in Male vode pri Polhovem Gradcu. Božna, levi povirni krak, odmaka severni del zgornjega dela porečja, Mala voda pa se steka iz ozke doline med Butajново in Šentjoštom. Pred združitvijo dobita oba povirna kraka še nekaj manjših pritokov, med katerimi je iz poplave leta 1924 najbolj znan Mačkov graben. Ostali pomembnejši pritoki, ki se stekajo v dolino Gradaščice med Polhovim Gradcem in Dobrovo, so še Prošca, Belica in Žerovnikov potok. Vsi pritoki, vključno s povirnima krakoma, so hudourniki. Padec doline je med Polhovim Gradcem in Dobrovo precej velik (približno 4,5 promila), zato se visoke vode kljub poplavam ne zadržujejo (Stibilj, 2003).

Največji pritok Gradaščice je Horjulka (Horjulščica) ali Šujica, ki izvira v hribovju pod Šentjoštom. V Gradaščico se izliva tik nad zahodno obvoznico pri Kozarjih. Zaradi oblikovanosti povodja in razširjene doline pri Horjulu je v primerjavi z Gradaščico manj hudourni. Pri Šujici oziroma Dobravi se dolina Gradaščice razširi. Celotno območje med Šujico in Gradaščico je poplavno in tvori naravno retenzijo (naravni zadrževalnik visokih vod) (IzVRS, 2004).



Slika 2.2: Natančnejši prikaz povodja Gradaščice (Interaktivni naravovarstveni atlas).

Na Bokalškem jezcu se Gradaščica razdeli v dva vodotoka in sicer v Mestno Gradaščico (star mlinski kanal) in Mali graben, ki teče nato mimo Kozarjev in Dolgega mosta, mimo Viča ob barjanskem obrobju vse do Ljubljanice, v katero se izliva tik nad Špico. Mali graben je bil na odseku med Dolgim mostom in Ljubljanico v sedemdesetih letih v celoti reguliran. Pri načrtovanju regulacije so že upoštevali delno zadrževanje visokih vod v povodju Gradaščice (suh zadrževalnik na Božni). Mestna Gradaščica je speljana skozi Vrhovce in nato skozi zahodni del Viča kot umetni kanal. Pri križišču Koprskc ulice z Jamovo cesto se vanjo izliva Glinščica in nato tečeta skupaj do Ljubljanice (IzVRS, 2004).

2.3 Hidrološke značilnosti

Zbiranje in stekanje vode v struge vodotokov je odvisno od oblike, nagiba in drugih lastnosti prispevne površine (Osnove hidrologije, 2000). Porečje Gradaščice zavzema velik del Polhograjskega hribovja. Obilne padavine (srednje letne količine od 1600 do 1700mm) in strma pobočja vplivajo na hiter dvig gladine Gradaščice. Vse te razmere pripeljejo do tega, da konica visokovodnega vala doseže nad Bokalškim jezom kar 243 m³/s. V teh hribovjih prihaja do neznanske intenzitete nalivov, kot primer so ombrometerske postaje ob katastrofalnih visokih vodah leta 1926 zabeležile višino dnevnih padavin 300mm. Za Gradaščico je značilen dežno – snežni režim z dvema viškoma in enim izrazitim nižkom. Do nižka pride julija poleti, do dveh viškov pa novembra in decembra ter marca in aprila (Stibilj, 2003).

Visoke vode Gradaščice za prerez nad Bokalškim jezom prikazuje **Preglednica 2.2**. Poleg teoretičnih visokih voda podajamo za ta prerez še dejanske visoke vode.

Preglednica 2.2: Teoretične in dejanske vodne količine v prerezu Gradaščice pred Šujico – obstoječe stanje (IzVRS, 2004).

	Q₁₀₀	Q₅₀	Q₂₀	Q₁₀	Q₅
	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s
Teor.VV	360	321	236	184	138
Dej.VV	243	214	163	139	108

Kljub temu, da Gradaščica rada poplavlja, se ravno zaradi tega konice visokih valov nižajo. Tudi zaradi sovpadanja visokih valov pritokov in same Gradaščice so dejanske visoke vode nižje od teoretičnih. Če bi začeli povečevati korita, urejati manjše jarke in izključno samo povečevali prevodnost za hitrejšo odvodnjo, bi se lahko vrednosti današnjih dejanskih visokih voda približale vrednostim teoretičnih visokih voda. Vsekakor je treba tako stanje obdržati in določenih poplavnih območji ne bi smeli urbanizirati, da bi kljub morebitnim regulacijskim posegom obdržali zadrževanje visokovodnih konic (IzVRS, 2004).

2.4 Poplave

Največje slovensko poplavno območje je na Ljubljanskem barju. Obsežen poplavni svet sega vzdolž Ljubljanice vse od Vrhlike do Ljubljane, kjer je pokrajina zaradi pogostih poplav ohranila vse značilnosti poplavnega območja brez velikih človekovih posegov, ter poplavni svet ob spodnjem toku Gradaščice, na katerega se je zlasti po 2. svetovni vojni razširil južni deli Ljubljane (ZGDS, 2006).

Gradaščica, zdaj del glavnega mesta, ki se nezadržno širi proti jugu in tudi čez južno ljubljansko obvoznico, s črnimi gradnjami predstavlja glede na zgodovino poplav resnično grožnjo, še posebej na območju Malega grabna, kjer segajo stanovanjski objekti prav do reke. Vse od septembra 1933 ob Gradaščici ni bilo večjih poplav, zadnja nekoliko večja je bila novembra 1998. V obdobju od 1885 do 1933 je Ljubljansko barje prizadelo kar pet velikih poplav (novembra 1885, marca 1888, oktobra 1895, septembra 1926 in septembra 1933), odtlej pa posebno hudih poplav ni bilo več (ZGDS, 2006).



Slika 2.3: Poplava Malega grabna ob Cesti dveh cesarjev leta 2004 (Visoke vode, 2004).

Zanimiva je majhna spominska plošča na transformatorski postaji ob viški osnovni šoli, ki kaže višino vode ob poplavah septembra 1926. O njej poroča naslednji zapis: "Po ulicah Ljubljane, predvsem območja Viča, Mirja, Rožne doline, Trnovega, Murgel ter Most, so se prelivali celi potoki, ki so zalili hiše, gospodarska poslopja in druge objekte ter odložili ogromne množine vsakovrstnega materiala, predvsem blata, peska, lesa in izruvanih dreves" (ZGDS, 2006). Kako bi bilo, če bi se ponovila tedanja poplava?



Slika 2.4: Pogled iz letala na poplavljeno Ljubljansko barje iznad Mestnega loga (Melik, 1934).

3.0 MALI GRABEN

3.1 Značilnosti Malega grabna

3.1.1 Splošno

Na Bokalškem jezcu se Gradaščica razdeli na Mestno Gradaščico, ki teče po Viču mimo Trnovega v Ljubljano in na Mali graben, katerega struga poteka po območju Dolgega mostu ter mimo Murgel pa vse do izliva v Ljubljano tik nad Špico. Dolžina Malega grabna od Bokalškega jezcu pa do izliva v Ljubljano je približno 6 km s povprečnim padcem na svoji poti 0,17 odstotka. Vendar Mali graben kljub regulaciji velikokrat poplavlja nižje ležeča območja ob sami strugi. Sama regulacija naj bi prevajala pretok do $170\text{m}^3/\text{s}$ (Stibilj, 2003).

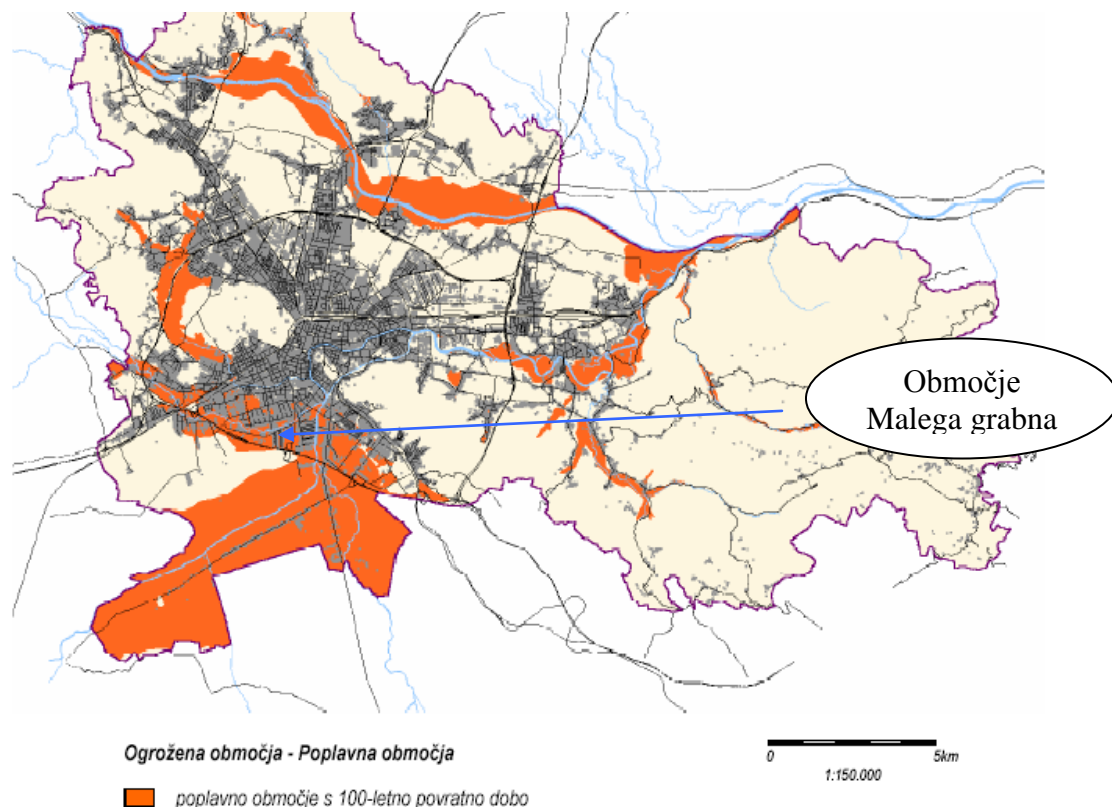
3.1.2 Lastnosti struge Malega grabna

Struga Malega grabna ima dve geološki osnovi. V predelu zgornjega toka, to je vse do Dolgega mostu, je prodnata in postaja vse bolj umirjena, če seveda primerjamo razmere v Polhograjskem hribovju. Od Dolgega mostu pa vse do izliva v Ljubljano pa spet preide v bolj ravninsko oziroma barjansko strugo, ki je danes regulirana s klasičnim trapeznim koritom. Dno profila je urejeno z grobim lomljencem, ki omogoča zamuljenost in zaraslost bregov. Taka struga ustvarja lepo prvotno naravno okolje. Naknadno so bili vanjo umeščeni tudi nizki pragovi, ki ustvarjajo večjo vodno površino ob srednjih in nizkih pretokih ter preprečujejo preveliko prodonosnost. Povprečna širina struge je 10 do 12m (IzVRS, 2004).

3.1.3 Poplavna ogroženost območja Malega grabna

Od leta 1989 dalje se beležijo visoke vode Gradaščice oziroma Malega grabna, ki skoraj vsako leto napolnijo korito reke. V letih 1989, 1990, 1992, 1993, 1994 in 1996 so se pojavile visoke vode med $Q=70\text{ m}^3/\text{s}$ in $Q=110\text{ m}^3/\text{s}$, kar po verjetnosti predstavlja visoke vode med enoletnim in petletnim visokimi vodami. Ob takih dogodkih so poplavljeni predvsem območja tik pod Bokalškim jezcom in območja nad Dolgim mostom, osnovna šola na Bonifaciji, hiše na levem bregu ob Mokrški ulici ter posamezne hiše ob Cesti dveh cesarjev.

Preplavljeno je celotno območje vrtnarije (trikotnik med južno obvoznico, Malim grabnom in Cesto v Mestni log) (IzVRS, 2004).



Slika 3.1: Ogrožena območja – poplavna območja (MOL OU, 2002).

3.1.4 Geomorfološke in geomehanske značilnosti tal

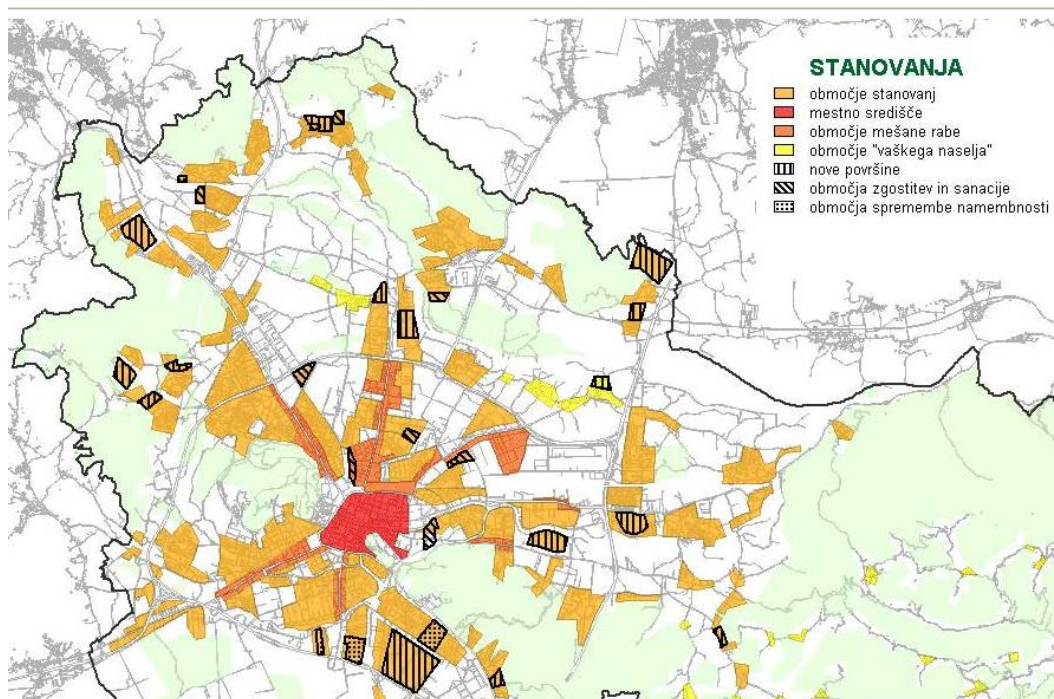
Na območju Malega grabna so tipična barjanska in netipična barjanska tla (zaradi nanosov vodotoka). Relief je skoraj raven z rahlim padcem proti vzhodu. Geomehanske lastnosti tal so slabe (slaba nosilnost, visoka talna voda, sezmična občutljivost, ...), čeprav so zaradi nanosov vodotoka na določenih območjih nekoliko izboljšane. Temeljna tla sestavljajo sive meljaste gline in glinasti melji. Dokaj stisljive heterogene plasti segajo do globine 15 do 20m pod površino terena, kjer pa so sloji savskega peska. Dopusne obremenitve tal so okoli 0,10 – 0,16 kN/cm². Posebno pa je treba paziti pri temeljenju sploh višjih objektov zaradi

precejšnega posedka. Pri urejanju struge (oblikovanje brežin, pragovi,...) pa ta slaba lastnost ne vpliva v gradnjo (Stibilj, 2003).

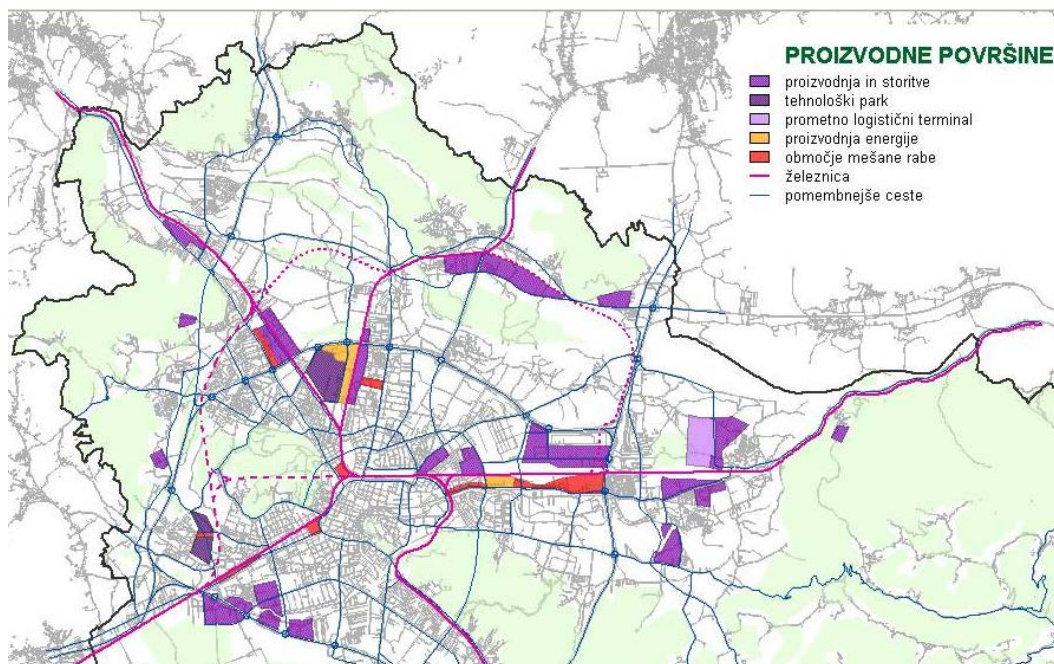
3.2 Raba tal

3.2.1 Stanovanjska in industrijska raba

Na kratki poti do izliva v Ljubljanico Mali graben obteče oziroma preteče veliko manjših in večjih naselij. Prvo večje strnjeno stanovanjsko območje na začetku Malega grabna so Kozarje. Takoj naprej po toku pa sledi malo večje območje stanovanjske rabe in sicer med Lipahovo ulico in Dolгим mostom ter Tomažičevo ulico, Tibilisijsko in Malim grabnom. Naprej pa leži med Barjansko cesto, Cesto v Mestni log, Koprsko ulico in Malim grabnom stanovanjska sooseska Murgle. Nasproti Murgel med južno obvoznico in Malim grabnom pa leži naselje Sibirija. Naprej po toku Malega grabna čez Barjansko cesto se na levem bregu razprostira območje Trnovega. Zadnje naselje med desnim bregom Malega grabna in južno obvoznico pa je del Rakove jelše (slika 3.2).



Slika 3.2: Prostorska zasnova – stanovanjska območja v MOL (MOL, 2007).



Slika 3.3: Prostorska zasnova – proizvodnje površine v MOL (MOL, 2007).

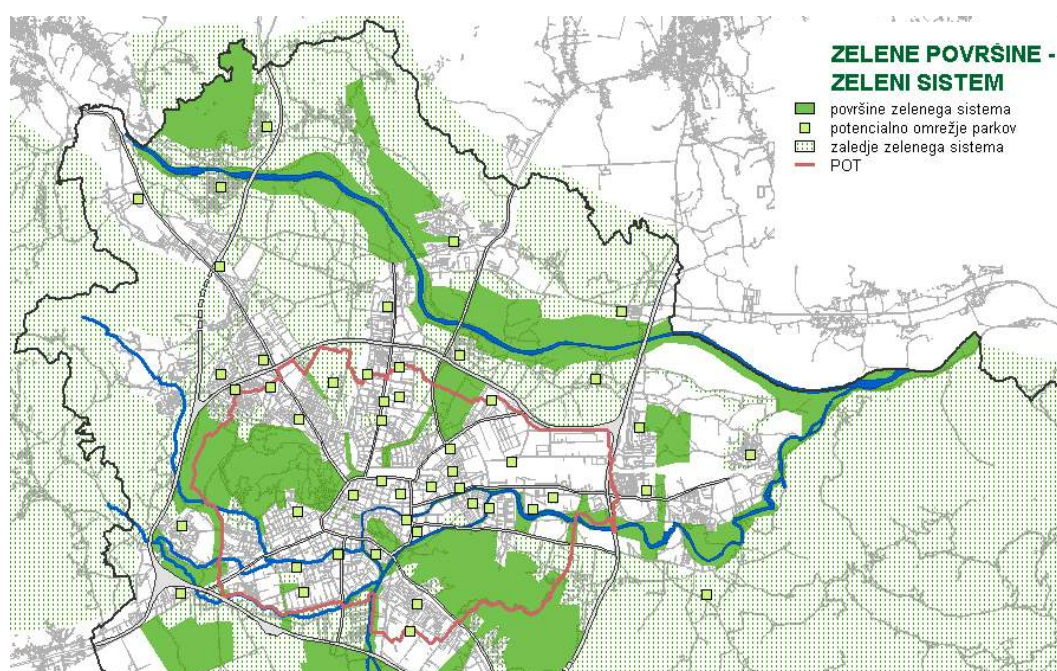
Kot vidimo (slika 3.3), je na območju Malega grabna kar nekaj območij namenjenih proizvodnji. Območja proizvodnje so namenjena nadaljnjemu razvoju in širitvi ter storitvenim dejavnostim. Eno veliko območje je med Koprsko in Tibilisijsko, drugo pa zavzema širše območje Surovine.

3.2.2 Prometne površine

Največja hidravlična ovira na Malem grabnu so premajhne mostne odprtine, ki ob visokih vodah ne prevajajo zadostne količine vode, zato nastajajo zaježitve. Premostitve na Malem grabnu so na Cesti Dolomitskega odreda, Lipahovi ulici, Cesti v Mestni log, Barjanski cesti, Hladnikovi cesti, Opekarski cesti, Dolgem mostu in Mokrški ulici. Poddimenzionirani mostovi in brvi so na Dolgem mostu, brv na traverzi, Mokrški ulici in Opekarski cesti. Avtocestna obvoznica pa na pretočne razmere ne vpliva (IzVRS, 2004).

3.3 Zeleni sistem

Na začetku od Bokalškega jezua pa vse do Dolgega mostu teče Mali graben po območju, namenjenem rekreaciji in preživljanju prostega časa. Te površine so v zelenem sistemu. Gre za območje izključne rabe protora in ne dovoljuje obsežnejših ureditev in spreminjanja obstoječega okolja (slika 3.4). Mali graben teče po tem območju po sorazmerno naravnem koritu. Zaradi kvalitete zemlje se tu ohranjata tradicionalno kmetijstvo in kulturna krajina.



Slika 3.4: Prostorska zasnova – zeleni sistem v MOL (MOL, 2007).

Območje med Malim grabnom in južno obvoznico, ko ta priteče spet na severno stran obvoznice, z majhnimi vmesnimi izjemami ter območje roba Murgel bosta v prihodnje urejeni kot zeleni sistem. Ti območji trenutno nimata ustreznih prostorskih kvalitet in ureditev za zeleni sistem, ampak sta namenjeni za nove pozidave. Z režimom urejanja se predpiše način preureditve degradiranih območij z vidika zelenega sistema ali pa urejanja na novih področjih. Celotno območje struge Malega grabna na severni strani obvoznice in vse do izliva v Ljubljano naj bi uredili z raznimi obvodnimi parki. Gre za ureditev obrežja in bližnje okolice Malega grabna za večnamensko rabo, predvsem za rekreacijo in sproščanje. Ne samo

Mali graben, urediti nameravajo in narediti bolj uporabno celotno okolico vodotoka. Treba je poudariti, da so nekateri deli Malega grabna in nekaj okolice vodotoka že urejeni. Ta območja imajo javni značaj in so izrazito namenska. Prvo tako območje je že takoj na začetku tega odseka. Drugi pas se razprostira od Koprške ulice pa vse do južne obvoznice. Tretji pas pa je malo širši in sicer od Barjanske do Hladnikove ceste; četrto območje, ki spada v območje poudarjenega varstva, pa se razprostira ob sotočju Malega grabna in Ljubljanice (Stibilj, 2003).

3.4 Sedanje stanje (topografske in hidromorfološke značilnosti) Malega grabna

Opisano je sedanje stanje Malega grabna z vsemi prečnimi objekti od južne obvoznice in do izliva v Ljubljanico ter sam Bokalški jez, kjer se vodotok Mali graben tudi začne. Ta del Malega grabna na območju Viča je tudi detaljno in hidravlično obravnavano v diplomski nalogi. Fotografiranje območja je potekalo prvič v decembru 2006 in nato še spomladi, aprila 2007.

3.4.1 Od južne ljubljanske obvoznice do mostu na Cesti v Mestni log

Odsek je v celoti reguliran. Z leti se je regulacijo počasi zaraščalo. Poleg običajne obrežne vegetacije (vrba, jelša..) so se predvsem v zadnjem času močno razbohotile posamezne zajedalske vrste (japonski dresnik), ki preprečujejo sukcesivni razvoj naravnih vrst. Z zaraščanjem so se spremenile hidravlične značilnosti Malega grabna. Dokler se bile rastline gibke, je bil vpliv majhen. Z olesenitvijo pa je praktično popolnoma izločena leva brežina. V korito so bili vgrajeni posamezni kamniti pragovi, ki ustvarjajo bolj razgiban tok in večjo vodno površino ob srednjih in predvsem nizkih pretokih. Ta sprememba načrtovanega profila v primerjavi s preveč bohotno zarastjo bistveno manj vpliva na potek gladin visokih vod. V sušnih obdobjih na tem delu vodo odvezemajo za namakanje pridelovalnih površin vrtnarije (IzVRS, 2004).

Na desnem bregu so vzdolž celotnega odseka kmetijske površine (slika 3.5), na levem pa stanovanjska sooseska. Pot teče ob vodotoku čez celoten ta odsek. Visoke vode nad $Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$ preplavijo trikotnik med Malim grabnom, južno obvoznico in Cesto v Mestni log. Na levem bregu so že bili izvedeni ukrepi po IP VGI januar 2001 (nadvišanje poti), tako da ureditve na tem mestu niso več potrebne. Pri povečanih pretokih pa bi bila na desnem bregu sprva poplavljena gospodarska poslopja, nato pa bi se poplavna voda prelila vzporedno z AC pod viaduktom na Cesti v Mestni log (IzVRS, 2004).



Slika 3.5: Na levem bregu pot, na desnem vrtički (pogled gorvodno). Močna zaraslost in težka dostopnost do vodotoka (foto: Jamnik, december 2006).

3.4.2 Od mostu na Cesti v Mestni log pa do mostu na Barjanski cesti

Ta odsek Malega grabna je reguliran v celoti in je osrednji del Malega grabna. Označuje ga lep barjanski tip. Struga je močno zaraščena z obrežno vegetacijo in v večini nevzdrževana. V strugo so vmeščeni kamniti talni pragovi in to na zahteve ribičev. Ti pragovi ustvarjajo lepe zajezbe in zmanjšujejo prodonosnost ter ustvarjajo prijetno sonaravno okolje. Ob levem bregu

se nadaljuje že prej omenjena pot vse do soseske Murgle, kjer se loči od Malega grabna in preide v sam rob naselja. Na desnem bregu je stanovanjsko naselje (črne gradnje), ki pa je danes že legalizirano (slika 3.6). Levi breg je lepo urejen s travnatimi in športnimi površinami ter z urejenimi stanovanjskimi (Murgle) in poslovnimi (Pošta Slovenije,...) objekti.

Sosesko Murgle pa loči širši obrežni pas, na katerem so travniki in vrtovi. Vzdrževano korito prevaja visoke vode do pretoka okoli $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, mestoma do pretoka $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Najbolj kritično mesto je odsek pri brvi na Mokrški ulici, kjer se Mali graben pri pretoku nad $100 \text{ m}^3/\text{s}$ začne zaježovati zaradi poddimenzioniranega mostu. Na območju mostu je izliv meteorne kanalizacije, skozi katero ob visokih vodah vteka Mali graben. Na profilu 25 je lesena brv, ki jo za prehode uporabljajo prebivalci Sibirijske. Ta brv je ravno tako poddimenzionirana in ustvarja zaježitev (IzVRS, 2004).



Slika 3.6: Na levem bregu pot, na desnem naselje Sibirija (pogled dolvodno).

Naselje zelo blizu vodotoka. Slika z lesene brvi (foto: Jamnik, december 2006).

3.4.3 Od mostu na Barjanski cesti do izliva v Ljubljano

Odsek obsega spodnji tok Malega grabna in je že bil reguliran, kot smo omenili že prej. Vendar se je z leti zaradi zaraslosti in delovanja narave ta regulacija hidravlično spremenila.

Začetni del do mostu na Opekarski cesti je relativno kratek in podoben predhodnim opisom območja. Od mostu na Opekarski cesti naprej pa je Mali graben utesnjen med stanovanjske objekte (slika 3.7) na obeh bregovih, vendar stanovanjski objekti kmalu preidejo samo na levi breg.



Slika 3.7: Slika z mostu na Opekarski cesti dolvodno. Naselje zelo blizu vodotoka.

Levo Trnovo, desno Rakova Jelša (foto: Jamnik, april 2007).

Območje mostu na Opekarski cesti je tudi najbolj kritičen odsek na tem delu Malega grabna. Obstoječi most ima podobno prevodnost kot most na Mokrški ulici (okoli $Q=110-130 \text{ m}^3/\text{s}$). Nad temi pretoki bi se zajezone vode razlile iz korita in preplavile bližnja območja na levem in desnem bregu. Ocenjujemo, da bi bil na levem bregu poplavni pas sorazmerno ozek (do Opekarske ceste), na desnem bregu pa bi se vode stekale prek celotne Rakove Jelše proti Ljubljani. Zaradi pogostih visokih vod so si lastniki hiš tik pod mostom sezidali polne betonske ograje, ki pa ne preprečujejo preplavitev parcel (IzVRS, 2004).

Nadalje proti mostu na Hladnikovi cesti teče na desni strani struge ob stanovanjskih objektih in mimo travniške in vrtnarske površine vse do izliva v Ljubljano. Na levi strani pa se ravno tako vse do izliva razprostira lepo urejena soseka Trnovega z raznimi dostopi do vodotoka. Na tem področju so brežine tudi zaraščene vendar ne tako pretirano kot na gorvodnih območjih. Obrežje je tudi nekoliko bolj urejeno, vsaj na nekaterih delih Malega grabna (slika 3.8).



*Slika 3.8: Slika z mostu na Hladnikovi cesti dolvodno. Manj zarasle brežine, predvsem leve .
Levo Trnovo, desno travniki in vrtički (foto: Jamnik, april 2007).*

3.5 Prečni objekti

3.5.1 Bokalški jez

Vodotok Mali graben se začne na Bokalškem jezu. Nekoč je na tem mestu stal 55 m dolg lesen jez, ki pa ni imel ustreznih zapornic in prodnega izpusta. Številne katastrofalne poplave,

ki so se v desetletjih pripetile, so jez zelo poškodovale in zato je tedanji župana Ljubljane sklenil, da ga je treba obnoviti. Dela je leta 1924 vodil glavni odbor za obdelovanje Barja. Projekt je bil narejen istega leta, izvedli pa so ga v letih 1926 in 1927. Obnovljen jez je imel 47 m dolgo prelivno polje in dve 5 m dolgi zapornični odprtini. Prva zapornica Gradaščica – Mali graben je bila namenjena čiščenju proda, ki se je nabiral za jezovno zgradbo, druga zapornica Gradaščica – Mestna Gradaščica pa za čiščenje kanala ter za odvzem koncesioniranega pretoka takrat $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Jez so kasneje zaradi prekratkega podslapja rekonstruiran in sicer tako, da se je podslapje zvišalo in s tem znižali stopnjo z 1,90 m na 1,50 m (Stibilj, 2003).



Slika 3.9: Prelivno polje, »nastanek« Malega grabna (foto: Jamnik, april 2007).



Slika 3.10: Zapornice na Bokalškem jezu, za Mestno Gradaščico (spredaj) in za Mali graben (zadaj) (foto: Jamnik, april 2007).

Vloga zapornic v današnjih dneh je še vedno taka oziroma podobna kot leta 1927, ko so bile zgrajene. Drugačna pa je vloga zapornice Gradaščica – Mestna Gradaščica. Njena glavna vloga namreč ni več odvzem koncesioniranega pretoka, ampak zagotavljanje nemotene pretoka po strugi kanalizirane Mestne Gradščice. Zapornici so ob rekonstrukciji leta 2002 naredili manjšo odprtino, ki zagotavlja nemoten pretok nizkih voda v Mestno Gradaščico brez dvigovanja zapornic. Ob visokih vodah pa se v Mestno Gradaščico spušča največji možni pretok, ki ga struga še lahko prevaja, in sicer $5 \text{ m}^3/\text{s}$. To pa je izredno pomembna vloga zapornic (Stibilj, 2003).

3.5.2 Most na Cesti v Mestni log

DOLŽINA MOSTU: 50,00 m

ŠIRINA MOSTU: 12,16 m

ZGORNJA KOTA: 296,51 m

SPODNJA KOTA: 294,83 m



Slika 3.11: Most na Cesti v Mestni log. Pogled dolvodno (foto: Jamnik, december 2006).

Most je montažna prednapeta betonska konstrukcija, ki se razpenja prek treh polj razpona 16,0 + 18,0 + 16,0 m. Most ima dve vmesni podpori, ki ju podpirajo po trije okrogli betonski stebri. Premer teh stebrov je 1,0 m in temeljijo na brežinah vodotoka. Pod mostom sta brežini korita zavarovane s kamnito oblogo. Na obeh bregovih je narejen tudi nasip, ki pripelje cesto do mostu. Krajni podpori sta armiranobetonski steni. Prek vseh štirih podpor potekajo prednapeti armiranobetonski nosilci oblike I. Pod levim koncem mostu poteka pot (IzVRS, 2004).

3.5.3 Lesena brv na traverzi

DOLŽINA MOSTU: 23,45 m

ŠIRINA BRVI: 1,00 m

ZGORNJA KOTA: 292,49 m

SPODNJA KOTA: 292,19 m



Slika 3.12: Lesena brv na traverzi, v ozadju naselje Sibirija (foto: Jamnik, december 2006).

Lesena brv na traverzi, ki služi predvsem prebivalcem soseske Sibirija kot bližnjica oziroma prehod do poti in ostalega dela Viča. Kote, ki so navedene so na višjem delu brvi, ker ima brv padec, je na nižjem delu brvi zgornja kota 292,32 m. Na obeh bregovih Malega grabna jo podpirati armiranobetonski podpori. Brv je tudi vpeta v ti dve podpori. Ob večjih pretokih Mali graben leseno brv prelije.

3.5.4 Most na Mokrški ulici

DOLŽINA MOSTU: 20,00 m

ŠIRINA BRVI: 2,00 m

ZGORNJA KOTA: 291,90 m

SPODNJA KOTA: 291,00 m



Slika 3.13: Most na Mokrški ulici. Pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).

Prvotno je na Mokrški ulici stal lesen most na dveh pilotnih podporah in z razpiralom v srednjem polju. Današnji most pa je novejši in namenjen samo pešcem. Nosilna konstrukcija mostu sta dva prednapeta armiranobetonska nosilca pravokotnega prereza, ki ležita na dveh krajnih podporah. Prek teh nosilcev pa so položene montažne armiranobetonske plošče, ki so pohodni sloj. Ta odsek prav pri Mokrški ulici in armiranobetonski brvi pa je zagotovo en bolj kritičnih delov na celotnem Malem grabnu. Most je poddimenzioniran in do zajezev prihaja že pri $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (Stibilj, 2003).

3.5.5 Most na Barjanski cesti

DOLŽINA MOSTU: 61,00 m

ŠIRINA BRVI: 21,10 m

ZGORNJA KOTA: 293,35 m

SPODNJA KOTA: 291,70 m



Slika 3.14: Most na Barjanski cesti, pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).

Konstrukcija mostu na Barjanski cesti je zelo podobna konstrukciji mostu na Cesti v Mestni log. Most pa je precej daljši in širši. Barjanska cesta ima namreč vlogo vpadnice, zato so tudi mostovi širši. Most je sestavljen iz montažnih prednapetih nosilcev, ki so oblike T. Nosilci premoščajo Mali graben v treh razponih dolžine 18,0 + 25,0 + 18,0 m. Vlogo voziščne plošče ima armiranobetonska plošča, zabetonirana je na nosilce profila T. Širina mostu je kar precejšnja, to pa tudi zato, ker je zaradi bližine križišča na njem poleg pločnikov in voznih pasov tudi razvrstilni pas. Most je hidravlično dovolj dobro dimenzioniran (IzVRS, 2004).

3.5.6 Most na Opekarski cesti

DOLŽINA MOSTU: 30,00 m

ŠIRINA BRVI: 9,16 m

ZGORNJA KOTA: 290,72 m

SPODNJA KOTA: 289,72 m



Slika 3.15: Most na Opekarski cesti, pogled dolvodno (foto: Jamnik, april 2007).

Na tem mestu je prvotno stal leseni most, ki pa je bil leta 1968 rekonstruiran. V statičnem pogledu je most sovprežna konstrukcija. Mali graben premošča v treh razponih dolžine 8,0 + 12,0 + 8,0 m. Stoji na dveh armiranobetonskih podporah, ki pa zaradi svoje oblike povzročata slabo prevodnost in sta pri visokih vodah ovira (zaustavljanje vejevja,...). Na tem območju pride do razširitve in potem preide v normalni profil gorvodno in dolvodno od mostu. Prevodnost mostu je podobna kot brvi na Mokrški ulici. Za varnost celotnega območja je potrebno most zamenjati z novim, ki bo prevajal bistveno višje pretoke (IzVRS, 2004).

3.5.7 Most na Hladnikovi cesti

DOLŽINA MOSTU: 36,00 m
ŠIRINA BRVI: 16,00 m
ZGORNJA KOTA: 291,26 m
SPODNJA KOTA: 290,15 m



Slika 3.16: Most na Hladnikovi cesti, pogled gorvodno (foto: Jamnik, april 2007).

Most na Hladnikovi cesti je sestavljen iz montažnih prednapetih nosilcev T in premosti Mali graben v treh enakih razponih dolžine 12 m. Na teh nosilcih je položena betonska plošča in je hkrati voziščna konstrukcija. Most podpira šest 1,20 m širokih okroglih stebrov in dve krajni podpori. Stebri so na robu dna struge. Most s hidravličnega vidika ni problematičen in je ustrezen (IzVRS, 2004).

4.0 HIDRAVLICNI RAČUNSKI MODEL ODSEKA MALEGA GRABNA

4.1 Uporaba in vnos podatkov v program HEC – RAS 3.1.3 za hidravlični izračun

4.1.1 Osnovne lastnosti programa HEC – RAS 3.1.3

Za izdelavo hidravličnega računskega modela smo uporabili računalniški program Hec – Ras 3.1.3 (Hydrologic Engineering Center River Analysis System), ki je bil izdelan pri U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center (HEC) leta 1964 za potrebe Ameriške vojske. Računalniški program je brezplačen in se je tekom let spreminjal in dopolnjeval. Uporabljena verzija v tej nalogi je 3.1.3, ki je bila narejena v maju leta 2005 in je nadgranja in izboljšava verzije 3.1.2.

Program omogoča računanje enodimenzionalnega stalnega in nestalnega neenakomernega toka. Pri izračunu se upošteva samo komponenta hitrosti v osi vodotoka. Glavna procedura programa je rešitev energijske enačbe. Program izračuna oziroma oceni izgube po modelu z Manningovo enačbo, koeficijentoma razširitve in zožitve ter ostalimi geometrijskimi karakteristikami vodotoka. Momentno enačbo pa program uporabi za izračun nenadnih sprememb na vodotoku kot so mostovi, prehodi iz mirnega v deroči tok in podobne nenadne spremembe.

Poleg geometrijskih karakteristik vodotoka moramo za hidravlični izračun podati tudi še hidrotehnične objekte (mostovi, jezovi, prepusti,...) ter robne pogoje. Robni pogoji pa se razlikujejo od režima vodnega toka, glede na velikost Froudevega števila. Za mirni režim je potrebno podati spodnji robni pogoj, za deroči režim zgornjega in za mešani oba robna pogoja.

4.1.2 Geometrija modelov

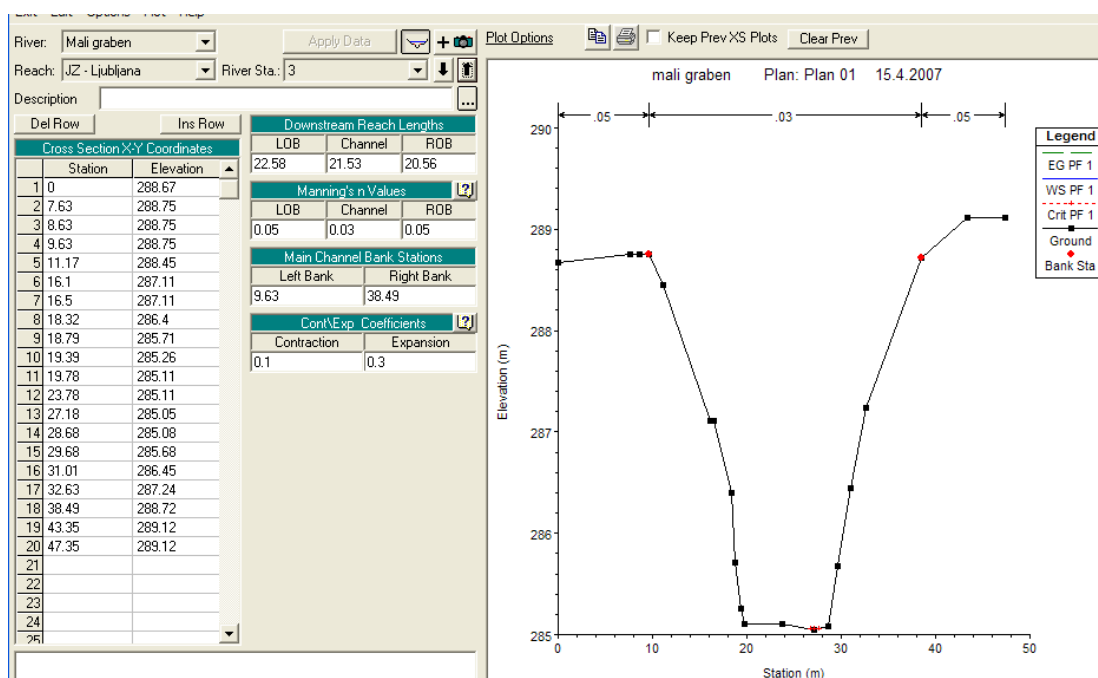
Za izračun računskega modela sem pridobil in uporabil geometrijske podatke na Inštitutu za vode Republike Slovenije (IzVRS). Te geometrijske podatke sem dobil v računalniškem programu AutoCAD. Ravno tako sem na IzVRS pridobil podatke o Manningovih koeficientih in koeficiente razširitev in zožitev.

V programu so uporabljene naslednje geometrijske podatke:

- Podatke iz situacije Malega grabna, ki je bila v merilu 1 : 500;
- Prečne prereze Malega grabna v merilu 1 : 100;
- Vzdolžni prerez Malega grabna v merilu 1 : 500;
- Rasterske slike v TIFF obliki (Target Image File Format).

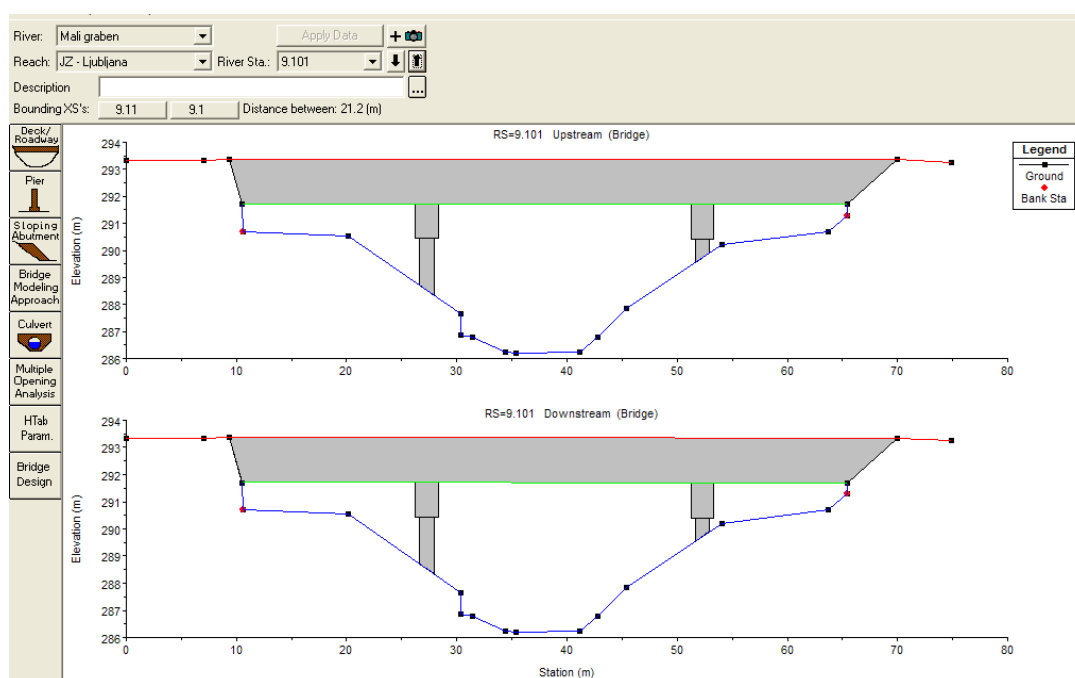
Obravnavano območje Malega grabna v hidravličnem modelu se razteza od južne Ljubljanske obvoznice pa vse do izliva v Ljubljano. V nalogi so obravnavani trije hidravlični modeli. Prvega predstavlja originalna struga, njene podatke sem pridobil od IzVRS. Drugi hidravlični model bo struga povprečne širine 15 m. Struga Malega grabna je zdaj povprečno široka 12 m in v drugem primeru je povečana na 15 m. V tretjem hidravličnem modelu pa širina dna struge ostane enaka, razširi pa se prerez nad koto srednjega toka.

Najprej je bilo treba vnesti v HEC – RAS os vodotoka. Nato začnemo vnašati prečne profile tako, da začnemo na stacionaži 0. Profili (Cross Section) so se vnašali od izliva P01 navzgor do P37 – 2. V HEC – RAS točkovno vnašamo podatke o profilu in sicer za vsako stacionažo struge; tam, kjer se profil začne, je treba podati tudi koto (nadmorsko višino) te točke. Podati je treba tudi Manningove koeficiente izgub ($0,030 - 0,050 \text{ s/m}^{1/3}$) v strugi ter na obeh poplavnih območjih (na levi in desni strani struge) in koeficiente razširitev (0,3) oziroma zožitev (0,1). Določiti moraš tudi rob struge in razdaljo robov struge ter same osi od prejšnjega dolvodnega profila (slika 4.1). Tako je bilo v model vnešenih 162 profilov. Od tega je šest dvojnih zaradi mostov in brvi, med katere so vstavljene mostne konstrukcije. Stacionaža odseka je 3678,7 m. Povprečna razdalja med profili pa je 20 do 40 m.



Slika 4.1: Vnos podatkov o profilu v HEC – RAS (na levi strani tabela, v katero vnašamo podatke in na desni strani izris podanega profila).

Program HEC – RAS ima vgrajene tudi module za izračun premostitev. Tako so v model vnešeni tudi štirje mostovi (Bridge Curvert Data) in dve brvi, ki imajo malo drugačne koeficiente razširitev (0,5) in zožitev (0,3). Pri mostovih je bilo treba vnesti najprej prvi spodnji profil, katerega stacionaža oziroma oblika bo za most prva in začetna, nato pa sem ta profil kar kopiral v zgornjega končnega za most (slika 4.2). Potem se vnese podatke o voziščni konstrukciji mostu s stacionažo in koto zgornjega in spodnjega dela plošče ter na zgornjem in spodnjem profilu, ki smo jih prej podali. Podati je treba tudi širino mostu in koeficient izgub. Program zahteva tudi podatek o razdalji med drugim zgornjim profilom in mostno konstrukcijo na zgornjem delu tako, da sem podal neko minimalno razdaljo med zgornjim profilom in samo konstrukcijo mostu. Podpore mosta se vnaša tako, da najprej določiš stacionažo sredine stebra oziroma opornika, nato pa podaš širino in kote stebra. V primeru, če imamo razširitve stebra, je treba v isti točki navesti prejšnjo širino in tudi novo širino stebra.



Slika 4.2: Most na Barjanski cesti, vnešen v hidravlični model programa HEC – RAS.
Most med zgornjim in spodnjim profilom.

Kot sem že omenil, bo pri prvi varianti za hidravlični model ostala originalna struga, vendar sem že takoj po prvi hidravlični obdelavi modela (prvem izračunu višin vode) spremenil in nadvišal most na Opekarski cesti, brv na Mokrški ulici in leseno brv na traverzah (zaradi zajezev na teh objektih pri izbranem pretoku). Odločil sem se, da je potrebno te objekte v vsakem primeru zamenjati. Te spremembe sem izvedel samo na (kar zadeva objekte na tem odseku) teh treh hidrotehničnih objektih Malega grabna. Te geometrijske spremembe objektov sem potem uporabil pri vseh treh variantah.

Po spremembi teh treh objektov na Malem grabnu sem pri drugi in tretji varianti spreminjal samo obliko profilov, pri drugi na povprečno širino 15 m z dopustnim naklonom brežin ter pri tretji z razširitvijo struge na delu, ki bi bil poplavljen samo, ko bi bile vode višje od srednjega pretoka. Podatke o merjenih normalnih višninah vode v Malem grabnu pa sem dobil od IzVRS, tako da sem potem pri tretji varjanti geometrije izhajal iz teh podatkov.

4.1.3 Karakteristični pretok in robni pogoji

Karakteristični pretok, ki sem ga uporabil v vseh treh hidravličnih računskih modelih, je bil $170 \text{ m}^3/\text{s}$ (Enter Steady Flow Data). To naj bi bil zeleni pretok, kjer Mali graben še ne bi povzročal večje škode. Ta pretok ima začetno točko v prvem gorvodnem profilu, v našem primeru P37 – 2.

Uporabil sem stalni neenakomerni tok in mirni režim toka. Za ta režim toka je treba podati spodnji robni pogoj (Reach Boundary Conditions). Odločil sem se, da bom za spodnji robni pogoj podal znano koto gladine reke Ljubljanice. Spodnji robni pogoj je za vse tri variante enak.

4.1.4 Umerjanje hidravličnega računskega modela

Podatke, ki sem jih pridobil od IzVRS za Manningove koeficiente, so bili umerjeni glede na merjene visoke vode leta 1989 in novembra 1990. Uporabil sem geometrijo modela, izdelano pri IP (VGI, 2001). Z umerjanjem so v IP določeni koeficienti hrapavosti po Manningu $n_G = 0,030 - 0,050 \text{ s/m}^{1/3}$. Sam program HEC – RAS ima tudi tabelo s Manningovimi koeficienti, kjer so opisani pogoji, da določen koeficient ustreza določeni obliki oziroma lastnosti vodotoka. Opisi v tabeli in umirjeni koeficienti so si kar podobni. V vseh variantah sem za kanal vzel Manningov koeficient 0,030, za poplavno območje koeficient 0,050 ali pa 0,100.

Vrednosti koeficientov hidravličnih izgub zaradi zožitev in razširitev toka se vzdolž struge Malega grabna ne spreminjajo. So konstantne in sicer vzamemo 0,1 za zožitve in 0,3 za razširitve. Izjeme pa so seveda mostovi, kjer je koeficient zožitev 0,3 in koeficient razširitev 0,5.

4.2 Rezultati izračuna v programu HEC – RAS 3.1.3

V vseh treh variantah so bili upoštevani v samem hidravličnem modelu nadvišani prečni objekti in sicer most na Opekarski cesti, brv na Mokrški ulici in lesena brv na traverzah, kar smo že omenili.

Rezultati v preglednicah so samo za del med profilom 6.5 in profilom 9.3. To je samo del izpiska za primerjavo na tem odseku, celoten izpis rezultatov za vse tri variante pa je v **prilogi (1.1 - 1.3)**, saj bi celoten izpis zavzel preveč strani v besedilnem delu diplome.

4.2.1 Rezultati prve variante

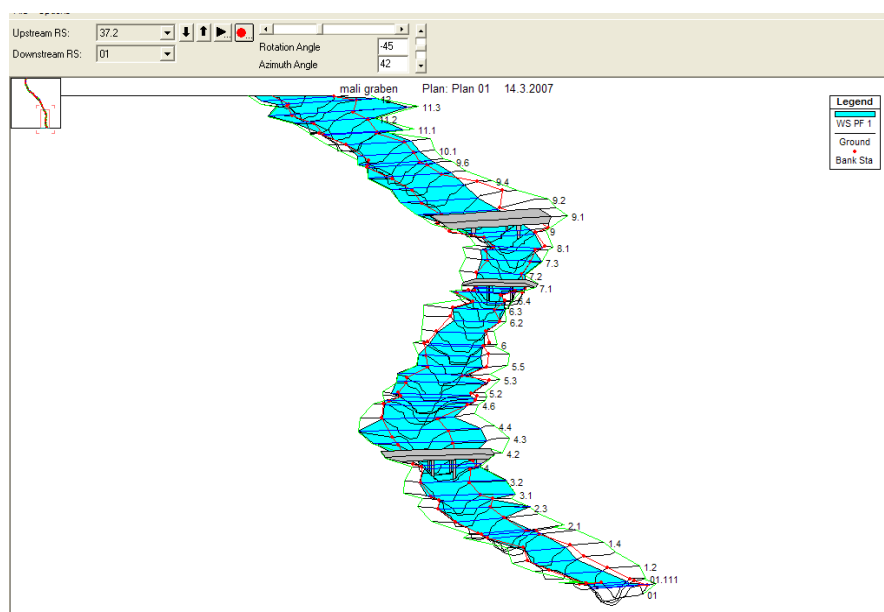
Pri prvi varianti, kjer ostane prvotna struga, pri danem pretoku Mali graben preplavlja na več mestih. Od zgornjega profila 37.2 pa do mostu na Cesti v Mestni log (profil 30) Mali graben skoraj povsod preplavlja na obeh straneh (levo polja, desno naselje) struge, največ pa na profilih 37.1, 35.1 in 32.1. Ne preplavlja pa na odseku med 33 in 30.01 na desni strani struge. V nadaljevanju do lesene brvi prihaja na posameznih mesti do preplavljanja struge, vendar to preplavljanje ni kritično s stališča škode. Drugače pa je na desnem bregu med profilom 21.1 in 22.1, kjer pa prihaja do nevarne višine vode (naselja).

V nadaljevanju je kritično področje, gledano s stališča poplav pri tem pretoku, na levi strani med profiloma 18.3 in 17.1 ter skoraj celoten odsek med profilom 15.0 in profilom 9.5.

Podobno je na desni strani Malega grabna na tem odseku, in sicer med profiloma 17.4 in 15.3 ter med profilom 14.4 in profilom 9.5. V nadaljevanju prihaja do nevarnih preplavitev struge še med profiloma 5.5 in 5.6 ter na območju profila 7.2 (vse na levi strani struge). Na desni strani Malega grabna pa so nevarna poplavna območja še med profiloma 6.3 in 6.1. Proti izlivu v Ljubljanico prihaja še do manjših preplavitev, ki pa ne ogrožajo premoženja. V **preglednici 4.1** (1. varianta) so določeni rezultati med profiloma 9.3 in 6.5 ter mostova na profilu 9.101 (Barjanski) in 7.101 (Opekarski), ki jih po izračunu hidravličnega modela v tabeli izpiše program HEC – RAS 3.1.3. Program izriše tudi situacijo vodotoka ter vzdolžni in prečni prerez struge po končanem izračunu modela.

Preglednica 4.1: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku $170 \text{ m}^3/\text{s}$
 (1. var.).

Profil	Dno kanala	Gladina vode	Kritična gradina	Energ. črta	Padec energ.	Hitrost	Površina	Froudovo število
1.VAR.	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	
9.3	285.73	290.48		290.7	0.00120	2.09	84.25	0.41
9.2	285.83	290.45		290.66	0.00116	2.07	84.58	0.41
9.11	286.2	290.44	288.93	290.64	0.00021	2	85.2	0.43
9.101	Most							
9.1	286.2	290.42		290.62	0.00133	2.02	84.27	0.43
9	285.98	290.27		290.6	0.00204	2.55	66.76	0.53
8.1	285.21	290.22		290.53	0.00171	2.47	68.8	0.48
8	284.86	290.24		290.51	0.00133	2.29	74.58	0.43
7.3	285.22	290.2		290.47	0.00122	2.33	74.82	0.41
7.2	285.22	290.1		290.42	0.00167	2.5	68.44	0.47
7.11	286.15	290.18	288.34	290.38	0.00012	1.96	87.58	0.34
7.101	Most							
7.1	286.15	290.17		290.37	0.00076	1.97	87.26	0.34
7	286.15	290.07		290.35	0.00137	2.36	72.17	0.43
6.5	286.07	290.08		290.34	0.00120	2.28	75.03	0.41



Slika 4.3: Izris situacije Malega grabna v spodnjem delu (P0 – P12). Vidi se izliv, most na Hladnikovi cesti, most na Opekarški in most na Barjanski cesti (1. varianta).

4.2.2 Rezultati druge variante

Pri drugi varianti (širina dna struge povprečno 15 m) so gladine Malega grabna v večini primerov nižje kot pa pri ostalih dveh variantah. Preplavljanja je v primerjavi s prejšno precej manj, čeprav Mali graben tudi pri tej varianti na posameznih mestih preplavi, a to v večini primerov s stališča poplav in materialne škode ni nevarno. Kritična mesta za to varianto so samo preplavljanje na desni strani Malega grabna med profilom 21.1 in profilom 22.1 ter med profiloma 10.1 in 12.2. Pri tej varianti smo s spremembo širine dna struge najbolj znižali gladino Malega grabna. Rezultati za to varianto med profiloma 6.5 in 9.3 so podani v preglednici 4.2.

Preglednica 4.2: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku $170 \text{ m}^3/\text{s}$ (2. var.).

Profil	Dno kanala	Gladina vode	Kritična gradina	Energ. črta	Padec energ.	Hitrost	Površina	Froudovo število
2.VAR.	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	
9.3	285.73	290.14		290.28	0.00068	1.66	102.42	0.32
9.2	285.83	290.12		290.25	0.00058	1.63	104.11	0.3
9.11	286.2	289.88	288.93	290.21	0.00099	2.56	66.52	0.55
9.101								
9.1	286.2	289.78		290.14	0.00249	2.67	63.66	0.58
9	285.98	289.82		290.08	0.00134	2.25	75.66	0.44
8.1	285.21	289.87		290.01	0.00060	1.68	101.08	0.3
8	284.86	289.88		290	0.00048	1.56	108.85	0.27
7.3	285.22	289.87		289.99	0.00045	1.52	111.97	0.26
7.2	285.22	289.84		289.97	0.00053	1.62	105.15	0.29
7.11	286.15	289.67	288.34	289.94	0.00058	2.32	73.8	0.44
7.101								
7.1	286.15	289.63		289.91	0.00136	2.35	72.78	0.44
7	286.15	289.58		289.89	0.00167	2.46	69.1	0.49
6.5	286.07	289.59		289.88	0.00155	2.41	70.47	0.47

4.2.3 Rezultati tretje variante

Ta varianta je po višini gladine vode nekje med 1. in 2. varianto. Kot smo že omenili, se tu dno struge Malega grabna ne razširi, do razširitve na obe strani pa prihaja nad koto srednjega pretoka. Ravno tako kot pri prejšni varianti, vodotok tudi tukaj preplavlja na posameznih mestih, vendar v večini primerov ne nevarno. Kritična mesta pa so med profilom 21.1 in profilom 22.1 na levem bregu. Nadalje med odsekom 15.3 in 17.0 na desni strani vodotoka. V nadaljevanju pa nastopi kritični del na levi strani Malega grabna med profilom 11.1 in profilom 12.2 ter med profiloma 10.1 in 10.2. Rezultati za to varianto na nekaterih profilih so v preglednici 4.3.

Preglednica 4.3: Rezultati programa med odsekom 6.5 in odsekom 9.3. pri pretoku $170 \text{ m}^3/\text{s}$
 (3. var.).

Profil	Dno kanala	Gladina vode	Kritična gradina	Energ. črta	Padec energ.	Hitrost	Površina	Froudovo število
3.VAR.	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	
9.3	285.73	290.21		290.31	0.00060	1.42	119.47	0.29
9.2	285.83	290.19		290.29	0.00058	1.39	121.92	0.29
9.11	286.2	289.94	288.93	290.26	0.00033	2.48	68.56	0.53
9.101								
9.1	286.2	289.9		290.23	0.00215	2.52	67.35	0.54
9	285.98	289.96		290.18	0.00135	2.09	81.23	0.44
8.1	285.21	289.96		290.13	0.00091	1.85	91.75	0.36
8	284.86	289.95		290.13	0.00087	1.87	91.07	0.35
7.3	285.22	289.93		290.1	0.00101	1.85	92.01	0.37
7.2	285.22	289.81		290.05	0.00149	2.2	77.42	0.45
7.11	286.15	289.79	288.34	290.04	0.00018	2.22	77.09	0.41
7.101								
7.1	286.15	289.77		290.03	0.00115	2.23	76.63	0.41
7	286.15	289.74		290.01	0.00149	2.3	73.98	0.46
6.5	286.07	289.76		290	0.00130	2.17	78.46	0.43

5.0 POSAMEZNI PROTIPOPLAVNI UKREPI IN UREDITVE

5.1 Opis predlaganih ureditvenih ukrepov

Detalji ureditvenih ukrepov so narisani v programu AUTO CAD. Prerezi profilov (glavnih) in prečnih objektov na tem odseku Malega grabna so v prilogah od 2.1 do priloge 2.11.

Situacija odseka je v prilogah od 3.1 do priloge 3.6 in vzdolžni prerez v prilogah 4.1 do priloge 4.6.

5.1.1 Nadvišanje poti

Pot, ki potuje po levi strani na nekaterih delih vzporedno z Malim grabnom, je treba nadvišati samo pri 1. varianti, ker jo gladina preplavi. Ta območja pa so med profiloma 17.1 in 18.3 ter med 32.2 in 37.2. Širina nadvišane poti je 4 m, povprečna višina nadvišanja pa je 30 do 50 cm. Pot se nadvišuje po korakih 20 cm (uvaljanje). Nova kota poti je $Q(170\text{m}^3/\text{s}) + 30\text{cm}$. Brežine poti je treba po nadvišanju zatraviti. Naklon brežin je 1:2. Med pofilom 35.2 in pofilom 36.2 levo stran poti zaradi bližine vrtov podpira betonski zid. Nadvišanje je narejeno s kamnolomnega materiala, ki lahko vsebuje tudi glinene delce.

5.1.2 Ureditev dotoka zalednih vod

V 1. varianti je treba v okolici profilov 10.0, 12.0, in 15.0 zaradi nasipa, ki gre čez odtočni kanal za zaledne vode, to vodo odvajati prek nasipa v Mali graben s pomočjo elektropnevmatskega ventila s črpalko.

V ostalih dveh variantah je zaradi odkopov brežin Malega grabna treba sanirati veliko več pritokov zalednih vod. Ti pritoki so melioracijski kanali iz kmetijskih površin, meteorna kanalizacija (betonske cevi) in, kot pri 1. varianti, kanalski dotok zalednih vod iz naselij. Kjer prihajajo ti odtoki iz zaledja, je treba po brežini vodotoka narediti kamnito odtočno muldo, da v času večjih padavin ne bi prihajalo do erozije brežine. Podobno kot pri 1. varianti je treba na mestih, kjer nasip prečka kanal, vstaviti elektropnevmatski ventil s črpalko, ki prek nasipa odvaja zaledne vode v Mali graben. V situaciji priloga 3.1 do priloge 3.6 so ti pritoki iz zaledja v vodotok označeni.

5.1.3 Rušitev in graditev mostov in brvi na istih mestih

Že v samem začetku (hidravličnem modelu) so bili odstranjeni in narejeni na istih mestih novi (na višji koti) prečni objekti, in sicer most na Opekarski cesti, betonsko brv na Mokrški ulici in lesena brv na traverzi na profilu 25.0. Ostali prečni objekti pa so ostali isti. V vseh treh variantah nastopajo prečni objekti enakih dimenzij. Nova spodnja kota teh treh objektov je na $Q(170\text{m}^3/\text{s}) + 50\text{cm}$ in več. Pri vseh treh objektih se je dolžina povečale za približno 10 odstotkov, malo več pa pri leseni brvi (tudi podpora) na profilu 25.0. Za vsemi mostovi je treba narediti 10 m dolgo kamnito zložbo po dnu vodotoka s povprečno debelino lomljenca 60 cm.

Detajli novih in starih mostov ter brvi so v prilogi 2.10 in prilogi 2.11.

5.1.4 Protipoplavni nasipi

Kota krone protipoplavnega nasipa pri vseh treh variantah je $Q(170\text{m}^3/\text{s}) + 30\text{ cm}$. To pomeni, da je 30 cm varnostnega nadvišanja. Širina krone je povprečno 2m, naklon brežin pa 1:2. Nasip se gradi po korakih 20 cm in vsak sloj je treba uvaljati. V vseh variantah je lahko narejen iz odkopanega materiala oziroma iz kamnolomnega materiala, ki lahko vsebuje tudi glinene delce, podobno kot pot. Po končani stabilizaciji mora biti v celoti nasut s humusom in zatravljen. Višina nasipov se giblje od 20 cm pa do 160 cm, vendar je višina nad 100 cm redka.

Po oceni IzVRS izvedba tesnenja za zagotavljanje vodotesnosti nasipov ni potrebna zaradi nizkih nasipov (majhen vodni pritisk na nasip) in zato, ker poplavni valovi na Malem grabnu ne trajajo več kot nekaj ur, tako da nasipi niso izpostavljeni dolgotrajnim vodnim obremenitvam. Območja in oblike nasipov so prikazana v situaciji, v vzdolžnem prerezu vodotoka in v prečnih prerezih, ki so podani v prilogah.

5.1.5 Protipoplavni betonski zidovi

Betonski zidovi se izvedejo le pri 1. varianti, pri ostalih dveh jih ni. Protipoplavni zidovi se izvedejo kot armiranobetonski zid širine 30 cm. Globina temelja mora biti vsaj 1.0 m. Širina pa 50 cm. Omenjeni betonski zid za stabilizacijo leve strani poti ima temelj globok 70 cm. Kota krone zidu je $Q(170 \text{ m}^3/\text{s}) + 30 \text{ cm}$. Lokacije betonski zidov so podane v priloženi situaciji in vzdolžnem prerezu, kot tudi detajli oblike v prečnih prerezih profilov vzdolž vodotoka.

5.1.6 Odkop materiala

Pred samim odkopom je treba na celotnem odseku očistiti grmičevje, vejevje, odstraniti smeti in na območju odkopavanja (2. in 3. varianta) posekati tudi drevje. Podreti je treba posamezne vrtno ali delavniške ute, ki stojijo na mestu odkopa. Odstraniti je treba posamezna dostopna mesta (stopnice) in po izkopu narediti, če je le mogoče na istem mestu, ponovno dostop do vodotoka. Odpadni material je treba odpeljati na bližnjo deponijo, ki je od tega odseka Malega grabna oddaljena največ 5 km.

V 1. varianti bi odkopali le minimalno količino materiala in sicer samo med profiloma 24.3 in 25.1 po odstranitvi lesene brvi na traverzi. V 2. in 3. varianti pa bi kopali vzdolž celotnega odseka Malega grabna, razen pod mostovi na Cesti v Mestni log, Barjanski cesti in Hladnikovi cesti. Namen odkopa pri 2. varianti je, da dosežemo povprečno širino dna struge 15 m. Pri 3. varianti pa bi odkopali nad koto srednjega pretoka, in sicer bi napravili poplavno površino struge vodotoka. V večini primerov, če okolica to omogoča, bi nove brežine odkopali in planirali v naklonu, manjšem od 1:2. Pri 3. varianti je lahko odkop brežine za kamnito zaščito v večini primerov manjši od 1:1. Po odkopu je treba odkopane dele, kjer ne bo kamnite zaščite, močno zatraviti.

Ves material, ki ga ne porabimo za nadvišanje poti in nasipe, je treba odpeljati na najbližjo, največ 5 km odaljeno deponijo. Detajli odkopov so na načrtih prečnih prerezov profilov v prilogah od 2.1 do 2.9.

5.1.7 Kamnita zaščita brežin z lomljencem

Zaradi vlečnih sil vodotoka je treba brežine pri 2. in 3. varianti zavarovati s lomljencem. Največje vlečne sile so na levem in desnem koncu dna struge. Treba je poudariti, da se travno rušo dimenzionira na $\tau_{\max} = 50$ do 80 Pa, kjer pa so vlečne sile večje, je nujna drugačna stabilizacija brežin, v našem primeru kamnita. Vlečne sile vodotoka in računsko debeline zrna ob premiku pri danih silah sem izračunal in podal v prilogah od 6.1 do 6.3 (podani so profili z nekoliko večjimi vrednostmi) za vse tri variante. Za izračun vlečnih sil sem uporabil dve enačbi, ki pa dajeta enak rezultat. Prva (1) je Chezyjeva enačba, druga (2) pa je najbolj znana enačba za račun vlečnih sil, vendar velja, da mora biti globina vode v primerjavi s širino struge relativno majhna. S tretjo (3) enačbo pa sem izračunal računsko debelino zrna, ko se prodni premik zanj začne. Enačbo sem izpeljal iz Stevensove enačbe.

$$\tau_{[N/m^2]} = (V_o^2) * \rho \quad (1)$$

$$\tau_{[N/m^2]} = \rho * h * g * I \quad (2)$$

$$d(\Theta_{cr}, h, I, s) \text{ zač.p.} = (I * h) / (0.047 * (2.65 - 1)) [cm] \quad (3)$$

Največja računsko vrednost zrna je bila le 27 cm (največja debelina) in to v 2. varianti. Kljub majhni vrednosti smo vzeli debeline zrna v spodnjem delu kamnite zaščite okrog 60 cm, po brežini navzgor pa se zmanjša na 30 cm. Tako je pri 2. varianti, pri 3. pa je zaradi oblike izkopa debelina v povprečju povsod kar 60 cm. V 1. varianti bi kamnito zaščito naredili le v okolici profila 25.0 in pri novem mostu na Opekarski cesti.

Stabilnost brežin smo ravno tako kontrolirali z Stevensovo enačbo (4) za računanje stabilnosti brežin proti zdrsu. Računali smo varnostni faktor, ki je moral biti večji od 1. Naklon kamnitih brežin mora biti v večini primerov manjši od naklona 1:1, če pa je naklon večji, je treba lomljenec obbetonirati. Dodatno zavarovanje brežin pa zagotovimo s 2,50 m dolgimi in 15 cm debelimi lesenimi piloti na obeh straneh vodotoka. Zabiti jih je treba ob peti kamnite brežine na vsakih 5 m dolžine. Piloti morajo biti stalno omočeni, da ne bi strohnili in razpadli in s tem izgubili svojo funkcijo.

$$S=(S_m/2)(\sqrt{(\xi^2+4)} - \xi) > 1 \quad (4)$$

Lomljenec se pripelje iz najbližjega kamnoloma, lahko pa uporabimo tudi tistega iz odkopa, če naletimo na takega, ki ima zahtevano debelino in kvaliteto. V prilogah od 2.1 do 2.11 so detajli kamnitih zaščit na glavnih prerezih.

5.1.8 Kamniti pragovi

Na Malem grabnu so na zahtevo ribičev pragove naknadno namestili v vodotok. Njihova naloga je, da zmanjšujejo prodonosnost, zadržujejo vodo ob nizkih gladinah in ustvarijo prijeten videz vodotoka.

Ob razširitvi dna struge pri 2. varianti je treba dograditi in obnoviti pragove. Detajl praga, prečni in v prerezu, je v prilogi 2.9.



Slika 5.1: Kamniti prag dolvodno od brvi na Mokrški ulici (foto: Jamnik, april 2007).

Pragove je treba razširiti na 15 m in jih stabilizirati z 3,50 m dolžimi in 15 cm debelimi lesenimi piloti. Zabijemo jih v dno struge na spodnji strani pragu na dolžini 1,50 m in biti

morajo stalno omočeni. Prečno čez strugo pa so še 30 cm debela debla (trikrat po 5 m dolga), ki še dodatno zadržujejo lomljenec na pragu. Razlika višin na spodnjem delu praga in gorvodno je 75 cm, v globino pa sega 1,0 m. Pod pragom je nujna vsaj enometrska kamnita zaščita zaradi izpodjedanja vode pod pragom. Povprečna debelina zrn je 60 cm.

5.1.9 Podporni zid

Podporni zid naredimo v 2. varianti v okolici profila 6.4 (glej situacijo) na obeh straneh vodotoka in sicer zato, ker smo s razširitvijo struge na 15 m praktično že skoraj dosegli objekt ob Malem grabnu in zato ni možno narediti ustreznih brežin, kot kaže detajl v prilogi 2.9.

Ocenjena dolžina podpornega zidu je na vsaki strani 10 m. Stabilnostni izračun podpornega zidu za različne dimenzije in obremenitve smo naredili in preverili v prilogi 8.1 (zemljina ni pod kotom) in prilogi 8.2 (zemljina je pod kotom). Upoštevali smo obremenitve zemeljskega pritiska na zid, teže podpornega zidu, vzgona in teže vode na temelj zidu v strugi vodotoka (Zemeljska dela, 2005).

Kontrolirali smo, če bi se podporni zid lahko prevrnil okrog točke A, a se je izkazalo, da je konstrukcija proti prevrnitvi odporna. Nato smo kontrolirali lego rezultante sil v temeljni plošči in tlačne napetosti zidu. Pri tej obliki konstrukcije smo ugotovili, da so tlačne napetosti na zemljino manjše od dopustnih ($< 0,10$ do $0,16 \text{ kN/cm}^2$). Pri zdrsuh pa konstrukcija ne ustreza zahtevi kontrole. Rešitev tega problema je jeklen profil IPE 200, ki ga pod zidom zabijemo v zemljino 2,50 m in do polovice zidnega temelja na 1,0 m dolžine zidu.

Na podpornem zidu so na 1,0 m dolžine okrogle odprtine premera 4 cm za iztok zalednih vod, ki se zadržujejo za podpornim zidom. Ležijo 30 cm nad koto srednjega pretoka.

5.2 Količine in stroški gradbenih del

5.2.1 Pregled količin in stroškov gradbenih del

Izračuni količin za vse variante so v prilogah 5.1 do 5.3. Cene (v evrih) so približne in izmišljene. V **preglednici 5.1** primerjamo količine in stroške posameznih variant.

Preglednica 5.1: Količine in stroški rušitvenih, zemeljskih in zavarovalnih del.

	OPIS DEL	1. VARIANTA		2. VARIANTA		3. VARIANTA	
1.0	RUŠITVENA DELA						
1.1	Rušenje mostu in obeh brvi z odvozom materiala na gradbeno deponijo (do 5 km oddaljeno od objektov).	m ²	339.96	m ²	339.96	m ²	339.96
		C/e:	40.00	C/e:	40.00	C/e:	40.00
		Σ=	13598.40	Σ=	13598.40	Σ=	13598.40
1.2	Očiščenje brežin (vejevje, grmičevje, smeti,...) brez večjih dreves (povprečno 5 m brežine). Z odvozom na deponijo do 5 km.	m ²	25390.19	m ²		m ²	
		C/e:	1.20	C/e:		C/e:	
		Σ=	30468.23	Σ=		Σ=	
1.3	Rušenje lesenih ut zaradi odkopa brežin in okolice z odvozom na deponijo do 5 km.	kom		kom	4.00	kom	6.00
		C/e:		C/e:	152.89	C/e:	152.89
		Σ=		Σ=	611.56	Σ=	917.34
1.4	Rušenje dostopov do vodotoka in izdelava novih na istem mestu (material, delo, transport,deponija,...).	kom		kom	9.00	kom	9.00
		C/e:		C/e:	332.65	C/e:	332.65
		Σ=		Σ=	2993.85	Σ=	2993.85
1.5	Rušenje dostopov do vodotoka in izdelava novih na istem mestu (material, delo, transport,deponija,...).	kom		kom	9.00	kom	9.00
		C/e:		C/e:	332.65	C/e:	332.65
		Σ=		Σ=	2993.85	Σ=	2993.85
	SKUPAJ:	44066.63		20197.66		20503.44	

» se nadaljuje ...

... nadaljevanje«

	OPIS DEL	1. VARIANTA		2. VARINATA		3. VARIANTA	
2.0	ZEMELJSKA DELA						
2.1	Odkop in premetavanje materiala za uporabo pri nasipih (v bližini nasipov).	m ³	73.90	m ³	645.92	m ³	858.34
		C/e:	4.18	C/e:	4.18	C/e:	4.18
		Σ=	308.90	Σ=	2699.92	Σ=	3587.86
2.2	Odkop z direktnim nakladanjem na kamion in odvozom na deponijo do 5 km (80% materiala, ki ostane).	m ³		m ³	72474.46	m ³	68422.56
		C/e:		C/e:	7.34	C/e:	7.34
		Σ=		Σ=	531962.54	Σ=	502221.59
2.3	Odkop z enkratnim prekladanjem zaradi oteženega dostopa in odvozom na deponijo do 5km (20% odvečnega materiala).	m ³		m ³	18118.62	m ³	17105.64
		C/e:		C/e:	9.27	C/e:	9.27
		Σ=		Σ=	167959.56	Σ=	158569.28
2.4	Humusiranje, planiranje in zatravitev (nasipov, brežin poti in odkopanih brežin nad kamnitimi zavarovanji).	m ²	7300.05	m ²	55415.75	m ²	83893.75
		C/e:	3.17	C/e:	3.17	C/e:	3.17
		Σ=	23141.16	Σ=	175667.93	Σ=	265943.19
	SKUPAJ:	23450.06		878289.95		930321.92	
3.0	ZAVAROVALNA DELA						
3.1	Projektiranje in graditev podpornega zidu (na obeh straneh) na območju profila 6.4.	m ¹		m ¹	20.00	m ¹	
		C/e:		C/e:	1156.98	C/e:	
		Σ=		Σ=	23139.60	Σ=	
3.2	Kamnita zložba po dnu za mostovi (d=60cm, L=10 m), nabava lomljenca.	m ²	15.00	m ²	900.00	m ²	672.15
		C/e:	10.56	C/e:	10.56	C/e:	10.56
		Σ=	158.40	Σ=	9504.00	Σ=	7097.90
3.3	Graditev nasipov z nabavo materiala in transportom.	m ³	2492.63	m ³		m ³	
		C/e:	27.43	C/e:		C/e:	
		Σ=	68372.84	Σ=		Σ=	

» se nadaljuje ...

... nadaljevanje«

	OPIS DEL	1. VARIANTA		2. VARINATA		3. VARIANTA	
3.4	Graditev nasipov z odkopanim materialom.	m ³	73.90	m ³	645.92	m ³	858.34
		C/e:	15.67	C/e:	15.67	C/e:	15.67
		Σ=	1158.01	Σ=	10121.57	Σ=	13450.19
3.5	Nadvišanje poti z ureditvami dostopov do nje (delo, material, transport).	m ³	1336.03	m ³		m ³	
		C/e:	32.76	C/e:		C/e:	
		Σ=	43768.34	Σ=		Σ=	
3.6	Izdelava protipoplavnega betonskega zidu (armiran beton).	m ¹	611.30	m ¹		m ¹	
		C/e:	120.78	C/e:		C/e:	
		Σ=	73832.81	Σ=		Σ=	
3.7	Graditev mostu in brvi na višji koti (ista lokacija).	m ²	371.48	m ²	371.48	m ²	371.48
		C/e:	1756.87	C/e:	1756.87	C/e:	1756.87
		Σ=	652642.07	Σ=	652642.07	Σ=	652642.07
3.8	Izdelava kamnite zaščite z oteženim dostopom 20% (nabava lomljenca, delo, transport).	m ³		m ³	2697.79	m ³	2572.29
		C/e:		C/e:	36.67	C/e:	36.67
		Σ=		Σ=	98927.96	Σ=	94325.87
3.9	Izdelava kamnite zaščite z urejenim dostopom 80% (nabava lomljenca, delo, transport).	m ³	130.49	m ³	10791.16	m ³	10289.68
		C/e:	33.86	C/e:	33.86	C/e:	33.86
		Σ=	4418.39	Σ=	365388.68	Σ=	348408.56
3.10	Vgradnja pilotov dolžine 2,50 m in deb. 15 cm ob peti kamnitih b., nabava.	kom	36.00	kom	1445.00	kom	1445.00
		C/e:	5.02	C/e:	5.02	C/e:	5.02
		Σ=	180.72	Σ=	7253.90	Σ=	7253.90
3.11	Dograditev in ureditev pragov pri 2.varianti zaradi razširitve dna struge (d _{zrna} = 60 cm). Piloti, prečno deblo, lomljenec, delo, transport, dodaten izkop za temelj pragu.	kom		kom	12.00	kom	
		C/e:		C/e:	278.56	C/e:	
		Σ=		Σ=	3342.72	Σ=	

» se nadaljuje ...

... nadaljevanje«

	OPIS DEL	1. VARIANTA		2. VARINATA		3. VARIANTA	
3.12	Ureditev dotoka zalednih vod (elektropnevmatski ventil s črpalko).	kom	4.00	kom	3.00	kom	3.00
		C/e:	2389.76	C/e:	2389.76	C/e:	2389.76
		Σ=	9559.04	Σ=	7169.28	Σ=	7169.28
3.13	Ureditev dotoka zalednih vod (kanali in prepusti) - planiranje in kamnite zaščite brežin na mestih izpustov.	kom		kom	44.00	kom	44.00
		C/e:		C/e:	35.78	C/e:	35.78
		Σ=		Σ=	1574.32	Σ=	1574.32
	SKUPAJ:	854090.63		1179064.09		1131922.10	
	VSE SKUPAJ:	921607.32		2077551.70		2082747.46	
	NEPREDVIDENA DELA(15%):	138241.10		311632.76		312412.12	
	OSNOVA ZA DDV:	1059848.42		2389184.46		2395159.58	
	DDV(20%):	211969.68		477836.89		479031.92	
	SKUPAJ(evrov):	1271818.10		2867021.35		2874191.50	

Treba je poudariti, da so v cene všteta vsa dela, ki so potrebna, da se določena postavka v izračunu stroškov lahko nemoteno izvede. Všteti so material, morebitno projektiranje, transport, vsa mehanizacija in seveda delo. Pričakovati pa je tudi kar nekaj nepredvidenih del, zato tudi tak odstotek v ceni projekta.

5.2.2 Ugotovitve

Končni rezultati stroškov in materiala so bili pričakovani in sicer zaradi velike količine odkopov in zavarovanj pri 2. in 3. varianti. Najcenejša je prva varianta (1,27 milijona evrov), ostali dve pa predstavljata približno enak strošek (2,86 milijona 2. varianta in 2,87 milijona 3.). Prva varianta najmanj vpliva na okolje, saj ni večjih izkopov in odvozov materiala. Večje število nasipov pri prvi varianti se po zatraitvi hitro spet vključi v prostor. Bolj opazni pa ostanejo protipoplavni zidovi. Pri drugi in tretji varianti pa s številnimi izkopi in zavarovanji ob sami graditvi močno vplivamo na okolje, vendar se po končanih delih in ureditvi struge z okolico zopet vzpostavi urejeno sonaravno stanje, sprememba za razliko od prvotnega stanja pa je veliko bolj opazna kot pa pri 1. varianti. Res pa je, da je za več kot dvakrat večjo ceno gladina Malega grabna tudi do 80 cm (na nekaterih mestih, drugače 30 do 50 cm) nižja kot pri prvi varianti. Kljub nekoliko višji gladini pa bi bil vodotok po protipoplavni ureditvi pri 1. varianti poplavno varen. Manjši poseg v prostor in več kot še enkrat cenejša ureditev dajeta prednost 1. varianti ureditve. Res pa je, da je izvedba 2. in 3. variante predvidena tako, da bi se vodotok lepo vključil v obstoječe okolje in pri enakem pretoku bi pridobili nižjo gladino vode. Pri spreminjanju pretokov v hidravličnem modelu pri 2. in 3. varianti v programu HEC – RAS 3.1.3 smo opazili nekoliko počasnejše spreminjanje gladin vodotoka kot pri 1. varianti. Moja ocena je, da je pri 1. varianti možnost, v primeru širitve prispevnega območja Malega grabna, povečanja gladin tudi zaradi ožje struge nekoliko večja kot pa pri ostalih dveh variantah.

6.0 ZAKLJUČKI

Reka Gradaščica izvira v Polhograjskih dolomitih in ima izrazito hudourniški značaj, kar posledično velja tudi za Mali graben, ki je samo drugo ime za Gradaščico v spodnjem toku, in sicer od Bokalškega jezua naprej do izliva v Ljubljano. Mali graben je skoraj v celoti reguliran, da bi zagotovil pretok $170 \text{ m}^3/\text{s}$, vendar je poplavni pretok precej nižji. Območja v okolici Malega grabna so že skoraj v celoti pozidana. Stanovanjske in obrtniške površine se širijo, nelegalna naselja so legalizirana, Mali graben pa ves čas grozi s poplavami, sploh v zadnjih letih. V primeru ponovitve poplav iz leta 1924 ali 1926 bi bila škoda zelo velika. Struga vodotoka je v večini odsekov močno zaraščena. V vodotok so vstavljeni tudi kamniti pragovi, ki dajejo Malemu grabnu še pester in razgiban tok. V hidravličnem modelu je obravnavan odsek med južno obvoznico in izlivom v Ljubljano. Na tem delu Mali graben ob visokih vodah na veliko območjih poplavlja, so še trije hidravlično neustrezni prečni objekti, in sicer most na Opekarski cesti, betonske brvi na Mokrški ulici in lesene brvi na traverzi. V modelu obravnavam tri variante. Prva z originalno strugo, vendar z nadvišanimi prečnimi objekti, ki ne ustrezajo razmeram. V drugi je bila povprečna širina dna struge 15 m in prav tako nadvišani kritični prečni objekti. Pri tretji varianti pa je dno struge ostalo enako, strugo pa bi razširili nad koto srednjega pretoka in nadvišali kritične objekte. Pri vseh treh variantah so v vseh 162 profilih izračunane gladine vodotoka pri pretoku $170 \text{ m}^3/\text{s}$. Te podatke smo potem uporabili pri protipoplavnih ukrepih. Za vsako varianti so predvideni posamezni protipoplavni ukrepi. Izračunana je vlečna sila pri vseh variantah in prodni premik zrna (debelina). Ob dimenzioniranju kamnite zaščite je nagib zložbe kontroliran s Stevensovo enačbo (stabilnost kamnitih brežin). Izračunana in kontrolirana je tudi stabilnost podpornega zidu, ta je v 2. varianti v območju profila 6.4. Izračunane so vse količine in stroški za posamezna gradbena oziroma protipoplavna dela. Končna ugotovitev je, da je prva varianta cenejša in v času graditve in po njej najmanj vpliva na okolje. Ostali dve pa sta več kot še enkrat dražji in poseg bi bolj vplival na okolje, ampak gladina se ob morebitnem povečanju pretoka pri teh dveh variantah nekoliko počasneje spreminja kot pa pri prvi. Treba je preučiti škodo, ki bi nastala ob morebitnem preplavljanju, in stroške gradnje. Škoda pa bo zaradi širitve urbanih področji vedno večja. Mali graben mora v prvi vrsti ostati poplavno varen in rekreacijsko – sprostitveni park, ki »živi in diha« z ljudmi v okolici.

LITERATURA IN VIRI:

Bizjak, A., Mikoš, M., 2001. Ljubljana, Obnova ali rehabilitacija koridorjev mestnih vodotokov – Urbani izziv, 12, 2/01: 51 - 57.

Brilly, M., Mikoš, M., Šraj, M., 1999. Ljubljana, Vodne ujme – varstvo pred poplavami, erozijo in plazovi: univerzitetni učbenik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 186 str.

Brilly, M., Šraj, M., 2000. Ljubljana, Osnove hidrologije, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: 234 str.

HEC RAS 3.1.3, May 2005.

http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS3.1.3_Release%20Notes.pdf (09.04.2007).

Introduction to HEC RAS, Prepared by Eric Tate Center for Research in Water Resources April 1999.

<http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/grad/tate/research/RASExercise/webfiles/hecras.html> (09.04.2007).

IzVRS, 2004. Ljubljana, Ureditev Malega grabna od izliva do Bokalc odsek 1 od izliva do križanja z AC, Inštitut za vode Republike Slovenije, 189-FR/04: 13 str.

Karta območja povodja Gradaščice, Interaktivni naravoslovni atlas Slovenije - Agencija Republike Slovenije za okolje.

<http://kremen.arso.gov.si/nvatlas2/index.aspx?catalog=nvatlas> (26.03.2007).

Melik, A., Kronika. 1, str. 3 – 8, Ljubljana, Povodnji na Ljubljanskem barju.

<http://www.ljubljanskobarje.si/pdf/melik.pdf> (07.04.2007).

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

Mikoš, M., Kavčič, I. 1998. Ljubljana, Majhni vodotoki v metnem okolju - njihov pomen: *Gradbeni vestnik* 47: 159 – 169.

Mikoš, M. 2007. Problemi in perspektive upravljanja z vodami v Sloveniji z vidika varstva pred poplavami in plazovi.

[http://212.18.47.244/.../c9831c2ffc08d831c12572a500446876/\\$FILE/poplave%20in%20plazovi_%20Mikos.doc](http://212.18.47.244/.../c9831c2ffc08d831c12572a500446876/$FILE/poplave%20in%20plazovi_%20Mikos.doc) (15.03.2007).

MOL, 2002. Vključevanje analiz ranljivosti prostora v različne ravni urejanja prostora. Karta poplavne ogroženosti Ljubljane. MOL, Oddelek za krajinsko arhitekturo, CRP.

http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/prostor/pdf/crp/ranljivost_5.pdf (08.04.2007).

MOL, 2007. Prostorska zasnova MOL: Končno gradivo, Prostorski plan Mestne občine Ljubljane, karte zelenega sistema, stanovanjskih območij in proizvodnih površin.

<http://ppmol.org/urbanizem5/upload/ProstorskaZasnovaMO-koncno-gradivo1.htm> (08.04.2007).

Pasche, E. 2007. Hamburg, Special Aspects of Urban Flood Management, Proceedings Cost Session Aquaterra Conference 2007, Institut fur Wasserbau, Technische Universitat Hamburg – Harburg: 264 str.

Polajnar, J., 2005. Visoke vode v Sloveniji leta 2004, *Ujma* številka 19, 32 - 34.

http://www.sos112.si/slo/tdocs/ujma/2004/visoke_2002.pdf (02.04.2007).

Rojnik, A., 2006. Ljubljana, Ureditev Selške Sore od Dermotovega jezu do Dolenčevega jezu – diplomska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 47 str.

Steinman, F., Banovec, P. 2004. Ljubljana, Hidrotehnika – Vodne zgradbe I - skripta, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo – Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: 126 str.

Stibilj, U., 2003. Ljubljana, Presoja poplavne varnosti s predlogom ureditve Malega grabna v Ljubljani – diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 80 str.

Šraj, M., 2005. Šifrant (karta) padavinskih območji vodotokov Republike Slovenije, Vaja 7 – Hidrologija II.

http://ksh.fgg.uni-lj.si/ksh/studij/vaje_h2/hidrologija2.htm (02.04.2007).

Tavčar, B. 2005. Ljubljana, Ljubljana ni zaščitena pred poplavami – najbolj poplavno ogroženo območje v državi, članek v časopisu Delo.

Tourbier, J.T., Schanze, J. (Eds.). Dresden, Urban River Rehabilitation, International Conference on Urban River Rehabilitation URRC, 21 – 24 September 2005, Dresden (Germany), Leibniz Institute of Ecological and Regional Development: 334 str.

URSZR, 2007. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje za zaščito in reševanje <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=og12.htm> (10.04.2007).

USACE, 2007. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, version 3.1.3, U.S. Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering center. History. <http://www.hec.usace.army.mil/whoweare/history.html> (09.04.2007).

Zemeljska dela, 2005. Ljubljana, Vaje pri predmetu Zemeljska dela v šolskem letu 2004/2005. Vaja 3 – vpliv oblike podpornega zidu na stabilnost in statična presoja podpornega zidu.

ZGDS, 2006. Zveza geografskih društev Slovenije. Poplavna območja v Sloveniji. <http://www.zrc-sazu.si/Zgds/1-6-06.htm> (07.04.2007).

PRILOGE:

Priloga 1: Rezultati programa HEC RAS

- 1.1 Rezultati programa za 1. varianto
- 1.2 Rezultati programa za 2. varianto
- 1.3 Rezultati programa za 3. varianto

Priloga 2: Prečni prerezi na glavnih profilih, mostovi, detajl pragu in podpornega zidu

- 2.1 Prečni prerezi med profilom P0 – 1 do P7 M 1 : 100
- 2.2 Prečni prerezi med profilom P8 do P12 M 1 : 100
- 2.3 Prečni prerezi med profilom P13 do P16 – 1.varianta M 1 : 100
- 2.4 Prečni prerezi med profilom P16 – 2.varinta do P18 M 1 : 100
- 2.5 Prečni prerezi med profilom P19 do P22 – 3.varianta M 1 : 100
- 2.6 Prečni prerezi med profilom P23 do P25 – 2.varianta M 1 : 100
- 2.7 Prečni prerezi med profilom P25 – 3.varinta do P29 M 1 : 100
- 2.8 Prečni prerezi med profilom P31 do P36 – 1. varianta M 1 : 100
- 2.9 Prečni prerezi med profilom P36 – 2. varianta do P37 – 2 + M 1 : 100
detajl pragu + detajl podpornega zidu
- 2.10 Prečni objekti na Malem grabnu 1 M 1 : 100
- 2.11 Prečni objekti na Malem grabnu 2 M 1 : 100

Priloga 3: Pregledna situacija odseka Malega grabna

- 3.1 Situacija od prereza P1 do P6 M 1 : 500
- 3.2 Situacija od prereza P6 do P12 - 1 M 1 : 500
- 3.3 Situacija od prereza P12 - 1 do P17 - 3 M 1 : 500
- 3.4 Situacija od prereza P17 - 3 do P24 M 1 : 500
- 3.5 Situacija od prereza P24 do P32 - 1 M 1 : 500
- 3.6 Situacija od prereza P32 - 1 do P37 - 2 M 1 : 500

Priloga 4: Vzdolžni prerez odseka Malega grabna

- 4.1 Vzdolži prerez med prerezoma P1 do P6 - 2 M 1 : 1000/100
- 4.2 Vzdolži prerez med prerezoma P6 - 2 do P13 M 1 : 1000/100
- 4.3 Vzdolži prerez med prerezoma P13 do P18 - 4 M 1 : 1000/100
- 4.4 Vzdolži prerez med prerezoma P18 - 4 do P28 - 1 M 1 : 1000/100
- 4.5 Vzdolži prerez med prerezoma P28 - 1 do P35 M 1 : 1000/100
- 4.6 Vzdolži prerez med prerezoma P35 do P37 - 2 M 1 : 1000/100

Priloga 5: Izračun količin materiala pri ureditvah za posamezne variante

5.1 Izračun količin 1. varianta

5.2 Izračun količin 2. varianta

5.3 Izračun količin 3. varianta

Priloga 6: Izračun vlečnih sil in prodnega premika zrna

6.1 Izračun 1. varianta

6.2 Izračun 2. varianta

6.3 Izračun 3. varianta

Priloga 7: Stabilnostna analiza kamnitih zaščit, izračun varnosti brežin
med profili

Priloga 8: Izračun obremenitev in kontrole podpornega zidu

8.1 Izračun in kontrola, ko zemljina ni pod kotom

8.2 Izračun in kontrola, ko je zemljina pod kotom