

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:

Verdnik, N., 2013. Hidravlične lastnosti Meže pri Ravnah na Koroškem. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Müller, M.): 35 str.

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:

Verdnik, N., 2013. Hidravlične lastnosti Meže pri Ravnah na Koroškem. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Stinman, F., co-supervisor Müller, M.): 35 pp.

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

**PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GRADBENIŠTVO (UN)**
GRADBENIŠTVO / MODUL
HIDROTEHNIKA

Kandidat:

NEVEN VERDNIK

**HIDRAVLICNE LASTNOSTI MEŽE PRI RAVNAH NA
KOROŠKEM**

Diplomska naloga št.: 86/B-GR

**RIVER MEŽA HYDRAULIC CHARACTERISTICS AT RAVNE
NA KOROŠKEM**

Graduation thesis No.: 86/B-GR

Mentor:

prof. dr. Franci Steinman

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

astis. Matej Müller

Ljubljana, 24. 09. 2013

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani NEVEN VERDNIK izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»HIDRAVLIČNE LASTNOSTI MEŽE PRI RAVNAH NA KOROŠKEM«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 16.9.2013

Neven Verdnik

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	556.536:627.51(497.4 Meža)(043.2)
Avtor:	Neven Verdnik
Mentor:	prof.dr. Franci Steinman
Somentor:	asist. Matej Müller
Naslov:	Hidravlične lastnosti Meže na odseku pri Ravnah na Koroškem
Tip dokumenta:	diplomsko delo univerzitetni študij B
Obseg in oprema:	35 str., 2 pregl., 5 graf., 21 sl., 5 en.
Ključne besede:	Meža, urejanje vodotokov, 1D hidravlično modeliranje, HEC-RAS.

Izvleček

Posledice vse pogostejših poplav odpirajo vprašanja na temo, kako ukrepati, oz. kako se pripraviti na poplavne dogodke in kako zmanjšati škodo zaradi le-teh. V hidravličnem inženirstvu za zmanjševanje poplavne nevarnosti in za napovedovanje obsega poplav opravljajo hidravlične analize, ki se izvajajo z matematičnimi in fizičnimi modeli. Fizični modeli zagotavljajo največjo zanesljivost določanja hidravličnih razmer, vendar so v praksi ponavadi redki zaradi stroškov pri izgradnji in se uporabljajo le za najzahtevnejše primere hidravlične analize. V praksi prevladujejo matematični modeli, ki so z razvojem računalnikov vse bolj v uporabi. V nalogi je predstavljeno enodimenzionalno (1D) hidravlično modeliranje odseka reke Meže pri Ravnah na Koroškem obstoječega stanja, primerjava hidravličnih razmer pred in po izvedbi predvidenih protipoplavnih ukrepov ter analiza vplivov mostnih konstrukcij na hidravlične razmere. Model je izdelan s hidravličnim matematičnim orodjem HEC-RAS, za pripravo geometrije pa je bilo uporabljeno programsko orodje ESRI ArcGIS z razširitvijo HEC-GeoRAS. To omogoča pripravo digitalnega modela terena s pomočjo LIDAR podatkov, na podlagi tega pa pripravo prostorskih podatkov o geometriji rečnega korita in poplavnih površin. Rezultati so predstavljeni z grafikoni, ki predstavljajo pretočnost struge vzdolž celotnega obravnavanega odseka Meže.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 556.536:627.51(497.4 Meža)(043.2)
Author: Neven Verdnik
Supervisor: Prof. Dr. Franci Steinman Ph.D.
Cosupervisor: asist. Matej Müller
Title: River Meža hydraulic characteristics at Ravne na Koroškem
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 35 p., 2 tab., 5 graf., 21 fig., 5 eq.
Key word: Meža, urejanje vodotokov, 1D hidravlično modeliranje, HEC-RAS.

Abstract

The consequences of more and more frequent floods raise the question of how to act or prepare for flooding and how to reduce the consequential damage. In hydraulic engineering, hydraulic analysis performed by mathematical and physical models are being used for reducing flood danger. Physical models guarantee the highest accuracy in specifying hydraulic conditions but these models are rarely used in practice because of additional costs and are used only for the most demanding examples of hydraulic analysis. Mathematical models prevail in practice and have been used regularly as a result of computer development. In this assignment one-dimensional hydraulic model of the reach of river Meža near Ravne na Koroškem in current state, comparison of hydraulic conditions before and after applying flood-defense mechanisms and the analysis of influence of bridge sections on hydraulic circumstances. Model is performed by HEC-RAS, a hydraulic mathematical tool and for geometrical preparation ESRI ArcGIS with expansion HEC-GeoRAS has been used. This provides the preparation of a digital field model by means of LIDAR data and on this basis the preparation of field data about river channel geometry and flood surfaces. Results are presented through graphs that represent cross section conveyance at the specific reach of river Meža.

ZAHVALA

Za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu in somentorju asist. Mateju Mülleru.

Še posebej bi se rad zahvalil svoji družini ter dekletu Neji, ki so mi skozi vsa leta študija stali ob strani, me spodbujali in verjeli vame.

»Ta stran je namenoma prazna.«

KAZALO VSEBINE

POPRAVKI	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	III
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.IV
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION.....	VI
ZAHVALA.....	VII
1 UVOD	1
2 METODE DELA IN HIDRAVLIČNO MODELIRANJE.....	3
2.1 Splošno o hidravličnih modelih.....	3
2.2 Orodje za hidravlično modeliranje	3
2.3 Priprava podatkov z GIS orodji za 1D hidravlični model	7
3 OBRAVNAVANO OBMOČJE MEŽE	10
3.1 Osnovne značilnosti povodja Meže.....	10
3.2 Opis obravnavanega območja.....	11
3.3 Poplavna ogroženost obravnavanega območja za obstoječe stanje	13
3.4 Predvideni ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti na obravnavanem odseku.....	13
3.5 Geometrijski podatki	14
3.5.1 Geometrija terena – LIDAR	14
3.5.2 Geometrija struge – geodetska izmera.....	15
3.5.3 Mostne konstrukcije	15
3.6 Hidrološki podatki.....	16
4 HIDRAVLIČNA ANALIZA OBRAVNAVANEGA OBMOČJA.....	18
4.1 Vzpostavitev hidravličnega modela.....	18
4.2 Robni pogoji	22
4.3 Umerjanje modela	23
5 ANALIZA REZULTATOV	25
5.1 Pretočnost struge na obravnavanem odseku Meže za sedanje stanje	25
5.2 Vpliv predvidenih ukrepov na pretočnost struge.....	27
5.3 Vpliv mostnih konstrukcij na hidravlične razmere.....	28
5.3.1 Vpliv mostnih konstrukcij na pretočnost struge	28
5.3.2 Vpliv mostnih konstrukcij na gladine pri visokovodnih razmerah	29
6 ZAKLJUČEK	31
VIRI.....	33
PRILOGE	34

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz uporabniškega vmesnika v programskem okolju HEC-RAS 4.1	4
Slika 2: Grafični prikaz parametrov energijske enačbe.....	5
Slika 3: Primer prikaza slojev na območju obdelave.....	7
Slika 4: Model terena v obliki nepravilne triagonalne mreže TIN, predstavljen na ortofoto posnetku... 8	
Slika 5: Prikaz lokacije obravnavanega območja	10
Slika 6: Prikaz obravnavanega območja na ortofoto posnetku.....	11
Slika 7: Prikaz obravnavanega območja s fotografijami s terena na ortofoto podlagi	12
Slika 8: Poplave na reki Meži 5.11.2012.....	13
Slika 9: Model terena izdelan s pomočjo tehnologije LIDAR.	14
Slika 10: Primer prečnih profilov iz idejnega projekta na Meži za obstoječe in predvideno stanje.....	15
Slika 11: Mostne konstrukcije na obravnavanem območju.	16
Slika 12: Prikaz HEC-GeoRas vmesnika z obstoječo geometrijo na digitalnem modelu terena.....	19
Slika 13: Prikaz razširjenega PP profila v programu HEC-RAS.....	20
Slika 14: Primer izdelave mostu v programu HEC-RAS	20
Slika 15: Posnetek modeliranega mostu v naravi.	21
Slika 16: 3D prikaz geometrije obravnavanega območja v programu HEC-RAS.	21
Slika 17: Primer določevanja pretočnosti prečnih profilov za obstoječe stanje.	25
Slika 18: Prikaz izpostavljenih območij na ortofoto posnetku.	26
Slika 19: Grafikon pretočnosti Meže za predvideno stanje ter primerjava z obstoječim stanjem.	27
Slika 20: Primerjava gladin za železniški most pri Dobrijah.	29
Slika 21: Primerjava gladin pri mostu lokalne ceste.	30

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Hidrogrami Meže in Mislinje za poplavni dogodek 2012 (od 5.11. do 7.11.2012).....	22
Grafikon 2: Q-H krivulja, privzeta za spodnji robni pogoj.	23
Grafikon 3: Grafikon pretočnosti Meže za obstoječe stanje.	26
Grafikon 4: Primerjava prečnih profilov za obstoječe ter predvideno stanje.	28
Grafikon 5: Spremembe pretočnosti zaradi vpliva mostnih konstrukcij.	29

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pretoki z različnimi povratnimi dobami.	17
Preglednica 2: Primerjalne gladine za umerjanje hidravličnega numeričnega modela.	24

1 UVOD

Voda, vir življenja. Človeštvo se je vedno zavedalo kako pomemben del življenja predstavlja čista voda, zato je bil odnos naših prednikov do vode in narave nasploh izredno spoštljiv. Vsak vodotok, izvir ali druga oblika vode je bil nekoč svetega pomena in je predstavljal ključ za preživetje. Ljudje so se že od nekdaj naseljevali ob rekah, potokih in drugih vodnih virih, ki so jih potrebovali za življenje. Njihovi posegi v okolje zaradi nizke tehnološke razvitosti nikoli niso presegali sposobnosti naravnih procesov, ki so ohranjali naravni tok življenja. S prihodom industrializacije in razvoja sodobne družbe pa je začel človek vse intenzivneje in globlje posegati v delovanje našega planeta. Krivda za to ni samo na strani tehnološkega razvoja, pač pa tudi oz. predvsem na odnosu človeka, do svojega bivalnega okolja.

Slovenija sodi med najbolj vodnate pokrajine na zemlji. Njena površina predstavlja le tisočino površine Evrope, pri tem pa je delež odтока iz njenega ozemlja večji od odstotka skupnega Evropskega površinskega odтока (BAT in sod., 2003). Letne količine padavin v Sloveniji se gibljejo med 2000-3000 mm/leto v gorskem severozahodu delu pokrajine in do 800 mm/leto na ravninskem severovzhodnem delu, kar v povprečju na državni ravni znaša 1600 mm/leto. Porazdelitev padavin je pogojena s površinsko razgibanostjo, letnim časom in podnebnimi lastnostmi, tako največ padavin pade v severozahodnem Alpskem svetu, najmanj pa na področju Panonske nižine na severovzhodu, ter Krasa in primorja na jugozahodnem delu države.

Velike količine padavin, predvsem v obliki močnejših nalivov in daljših padavinskih obdobj ter obdobja taljenja snega, so posledica za povečan površinski odtok, ki v primeru, ko rečne struge niso več sposobne prevajati danih pretokov, privede do poplav. Poplave so naraven pojav, ki je že od nekdaj prisoten in je ključen pri ustvarjanju življenskega okolja. Za primer so v času Egipčanov z Nilometri v poplavnih obdobjih merili gladine reke Nil in na podlagi višin določali davke za ljudstvo, ki je živelo v okolici vodotoka. Višji nivoji so predstavljali obsežnejše poplave, večje količine nanosa nove rodovitne zemlje in posledično boljši pridelek, za kar so vladarji določili višji davek, kot pri nizkih vodostajih.

V sedanosti imajo lahko poplave katastrofalne posledice in jih pogosto opredeljujemo kot naravne nesreče. Razlogi za to tičijo deloma v podnebnih spremembah, predvsem pa je vzrok neupoštevanje poplav kot sestavnega dela pokrajin ter neupoštevanja tega dejstva pri načrtovanju rabe prostora. V preteklosti so se naselja in infrastruktura izogibala poplavnim območjem, kasneje pa so se zaradi interesov kapitala, nezavedanja oz. neobveščenosti ljudi o poplavnih območjih, prostorske stiske ter nedosledne rabe prostora na področju poplav, začela širiti v poplavni prostor. S tem se je škodni potencial (tj. pričakovana poplavna škoda) zelo povečal.

Škoda zaradi poplav na področju Slovenije je v zadnjih šestih letih že tretjič preseгла vrednost 200 milijonov evrov. Poplave Drave novembra 2012 so prizadele 109 slovenskih občin, kar je več kot polovica, poškodovanih je bilo 3600 stanovanjskih objektov, 650 gospodarskih in upravnih objektov ter deset izobraževalnih ustanov. Sproženih je bilo tudi več kot petsto zemeljskih plazov (Triglav Čekada, in sod., 2013).

Posledice poplav odpirajo vprašanja na temo, kako ukrepati, oz. kako se pripraviti na poplavne dogodke in kako zmanjšati škodo zaradi le-teh. Znanost zaenkrat še ne zna dolgoročno natančno napovedovati časa in obsega poplav, lahko pa predvidi kraj in čas nastopa visokih voda na podlagi izkušenj, arhivskih meritev, aktivnih meritev hidrometeoroloških parametrov ter analiz prognostičnih modelov. V uporabi so različni opozorilni sistemi, s katerimi se (razen za hudourniške poplave) lahko za nekaj dni v naprej predvidijo pojavi poplav in nanje opozori prebivalstvo in pristojne službe.

Tema diplomskega dela je preučevanje obstoječega stanja ob poplavah ter primerjava predvidenih protipoplavnih ukrepov na območju reke Meže pri Ravnah na Koroškem. Z različnimi protipoplavnimi ukrepi predvsem poskušamo zmanjšati verjetnost pojava poplav na poplavnih območjih, ne moremo ga pa izničiti, saj bo možnost poplav vedno obstajala.

Najboljši protipoplavni ukrepi so zagotovo preventivni ukrepi v obliki upoštevanja poplav pri načrtovanju rabe prostora oziroma preprečevanje širitve mest in infrastrukture v poplavni prostor.

2 METODE DELA IN HIDRAVLIČNO MODELIRANJE

2.1 Splošno o hidravličnih modelih

Za analiziranje poplavne nevarnosti in projektiranje protipoplavnih ukrepov je na obravnavanem vodotoku treba podrobno preučiti pojav visokih voda v obvodnem prostoru. Hidravlične razmere vodotokov se v praksi določajo s pomočjo uporabe fizičnih in numeričnih hidravličnih modelov. Fizični modeli zagotavljajo največjo zanesljivost določanja hidravličnih razmer in se za najzahtevnejše primere izdelujejo v laboratorijih ter predstavljajo obravnavane vodotoke v pomanjšanem merilu. Numerični hidravlični modeli pa se izdelujejo s programskimi orodji, ki jih je potrebno ustrezno izbrati glede na zahtevano natančnost in zahtevnost hidravličnega računa.

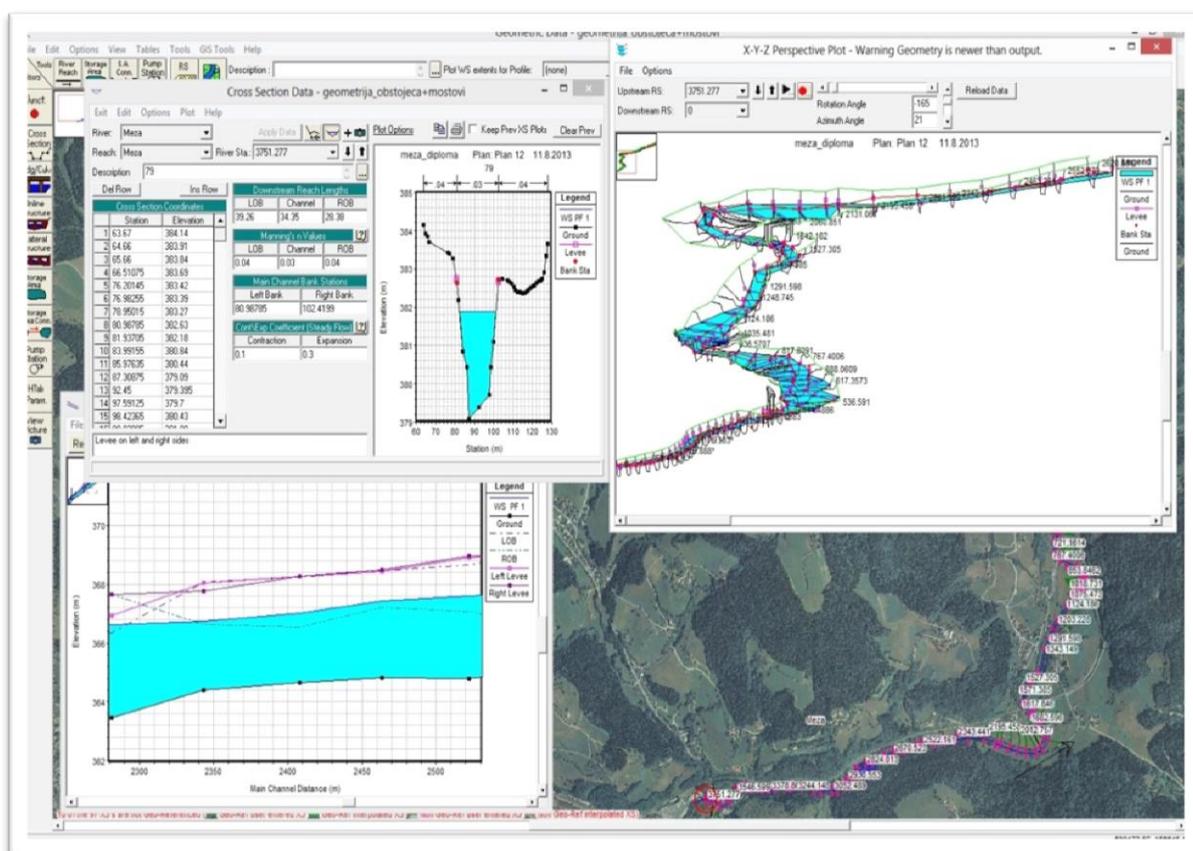
Pri najenostavnejših analizah hidravličnih razmer v odprtih vodotokih, lahko za izračun uporabimo poenostavljene enačbe (npr. Manningova enačba), sicer pa se poslužujemo razpoložljivih programskih orodij kot so PRLAX, IMP89, HEC-RAS, MIKE FLOOD, PCFLOW2D, FLO-2D ipd.. Enodimenzionalne (1D) modele lahko uporabljamo za modeliranje stalnega in nestalnega toka v rečni strugi, kjer prevladuje tok v eni smeri, oz. lahko takšno stanje predpostavimo. V primerih, ko je za tok značilna tudi prečna komponenta, npr. ko se zraven toka v strugi dodatno pojavi še tok v obvodnem prostoru, poplavnih območjih, suhih rokavih, kanalih, depresijah, ipd. pa je treba uporabiti dvodimenzionalen (2D) model. O kvazi dvodimenzionalnem modeliranju pa govorimo takrat, ko z enodimenzionalnim (1D) modelom zajemamo tudi obvodna oz. poplavna območja, za katera pa moramo predhodno poznati pot poplav in le-te modeliramo kot dodatne veje rečnega toka. Kadar je za tok značilna še tretja komponenta hitrosti, npr. tok v stoječih vodah, tok v morju, tok ob raznih hidrotehničnih objektih ipd., pa je potrebno uporabiti tridimenzionalne (3D) modele (Steinman, 2010).

2.2 Orodje za hidravlično modeliranje

HEC-RAS

Strokovni center inženirskih enot ZDA za področje hidrologije površinskih in podzemnih voda (*Center of Expertise for the U.S. Army Corps of Engineers in the technical areas of surface and groundwater hydrology*) v sodelovanju z Ameriškim centrom za hidrologijo (*Hydrologic Engineering Center - HEC*), že od leta 1968 razvija programsko opremo za hidravlične analize. Začetni program HEC-2 je bil namenjen Ameriški vojski in je omogočal izvajanje računov enodimenzionalnega stalnega toka. Kasneje je programska oprema postala javno dostopna in brezplačna. Istočasno so začeli razvijati nove verzije, ki omogočajo vse več možnosti na različnih področjih modeliranja. S svojim

preprostimi uporabniškimi vmesniki, mnogimi razširitvami in rednimi posodobitvami, pa programska oprema HEC velja za precej razširjeno in dobro sprejeto programsko opremo na področju hidravlike in mnogih drugih področjih. Za diplomsko nalogo je bilo uporabljeno programsko orodje HEC-RAS (*River analysis system*) verzije 4.1, ki omogoča hidravlične simulacije stalnih in nestalnih enodimenzionalnih (1D) tokov s prosto gladino (*Steady Flow, Unsteady Flow Simulation*), analizo transporta plavin (*Steady Transport/Movable Boundary Computations*) in kvalitete vode, ki zajema tudi modeliranje temperature vode (*Water Quality Analysis*). Program prav tako omogoča analizo vpliva objektov v vodotoku, kot so npr. mostovi, prepusti, jezovi, kanali, nasipi, druge ovire, ipd.. Uporaben je tudi na področju t.i. kvazi dvodimenzionalnega modeliranja, kjer se uporabljajo tehnike, ki zadovoljivo simulirajo razlitje vode na širše poplavno območje. Rezultate analiz programskega orodja HEC-RAS prikaže v grafični in tabelarični obliki za posamezne prečne prereze in celotni rečni sistem, možna pa je tudi osnovna tridimenzionalna vizualizacija rečnega korita in okolice v obliki medsebojno povezanih prečnih profilov in rezultatov analiz. Uporabnost programa in vizualizacija rezultatov je bistveno večja, odkar so bili razviti vmesniki oz. razširitve, ki skrbijo za komuniciranje in prenos podatkov med različnimi GIS in CAD orodji (npr. ArcGIS, AutoCAD Map3D, idr.).



Slika 1: Prikaz uporabniškega vmesnika v programskem okolju HEC-RAS 4.1

V diplomski nalogi smo se omejili na enodimenzionalno (1D) hidravlično modeliranje, kjer smo s pomočjo programskega orodja HEC-RAS izračunali vodostaje ob različnih pretokih ob upoštevanju

stalnega neenakomernega toka. V nadaljevanju so pojasnjena osnovna teoretična ozadja za enodimenzionalno hidravlično dimenzioniranje povzeta po hidravličnem priročniku (*River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*) programa HEC-RAS. (HEC-RAS 2, 2010.)

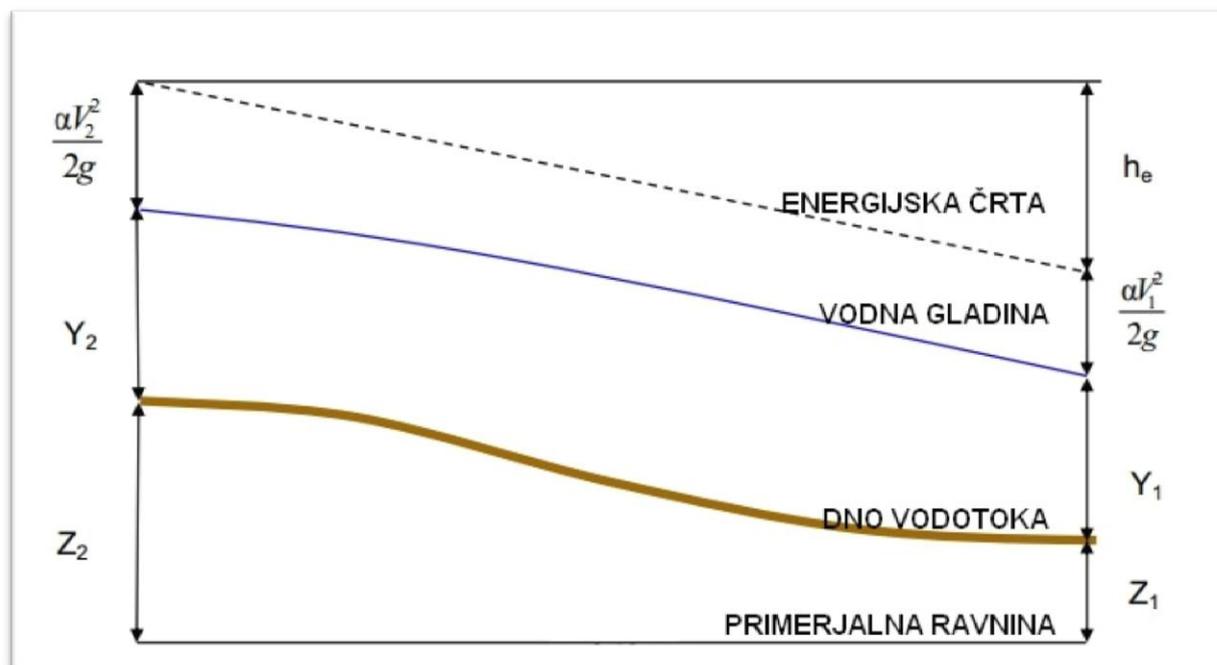
Analiza hidravličnih lastnosti v HEC-RASu uporablja enodimenzionalno energijsko enačbo:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Z_1 - Y_1 - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (1)$$

Kjer oznake pomenijo:

$Z_{1,2}$	razdalja najnižje točke obravnavanega profila do primerjalne ravnine,
$Y_{1,2}$	globina vode v prečnem profilu 1 oz. 2,
$V_{1,2}$	povprečna hitrost v profilu 1 oz. 2,
$\alpha_{1,2}$	Corriollisov koeficient porazdelitve hrapavosti po prečnem profilu 1. oz. 2,
g	težnostni pospešek,
h_e	energijske izgube med profili,

Posamezni parametri so predstavljeni na sliki:



Slika 2: Grafični prikaz parametrov energijske enačbe.

Razlika energijske črte (h_e) med prečnima profiloma sestavljajo izgube zaradi hrapavosti ter spremembe kinetične energije zaradi razširitve ali zožitve prečnega prereza. Določimo ga s sledečo enačbo:

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

Kjer oznake pomenijo:

L	razdalja med profiloma,
\bar{S}_f	povprečni energijski padec zaradi hrapavosti,
C	koeficient razširitve ali zožitve.

Srednja razdalja med prečnimi profili je določena po sledeči enačbi:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (3)$$

Kjer oznake pomenijo:

L_{lob}	razdalja med profiloma leve brežine,
L_{ch}	razdalja med profiloma osi vodotoka,
L_{rob}	razdalja med profiloma desne brežine,
\bar{Q}_{lob}	povprečni pretok med deloma profilov na levi brežini,
\bar{Q}_{ch}	povprečni pretok med deloma profilov na osi vodotoka,
\bar{Q}_{rob}	povprečni pretok med deloma profilov na desni brežini.

Povprečni padec energije zaradi hrapavosti \bar{S}_f se določi po sledeči enačbi:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (4)$$

Kjer oznake pomenijo:

Q	pretok med prečnima profiloma,
K	prevodnost vodotoka med obravnavanima profiloma.

Prevodnost vodotoka se določi po sledeči enačbi:

$$K = \frac{1}{n_g} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

Kjer oznake pomenijo:

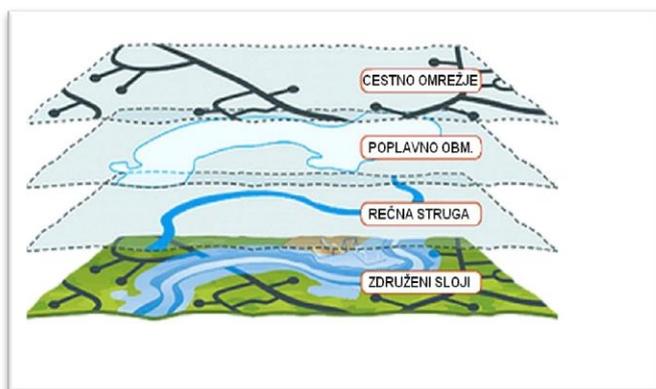
A	površina prečnega prereza,
n_g	Manningov koeficient hrapavosti za prečni profil,
R	hidravlični radij.

Račun gladin pri enodimenzionalnem modeliranju v primeru mirnega toka poteka gorvodno, iz spodnjega profila v naslednjega, z iterativno metodo imenovano standardna metoda koraka. Za spodnji oz. iztočni profil tako potrebujemo spodnje robne pogoje, ki predstavljajo znane oz. merjene vrednosti

pretokov ali gladin. S pomočjo Manningove enačbe, koeficienta razširitve ali zožitve in karakteristike geometrijskih lastnosti vodotoka so ocenjene izgube na obravnavanem odseku.

2.3 Priprava podatkov z GIS orodji za 1D hidravlični model

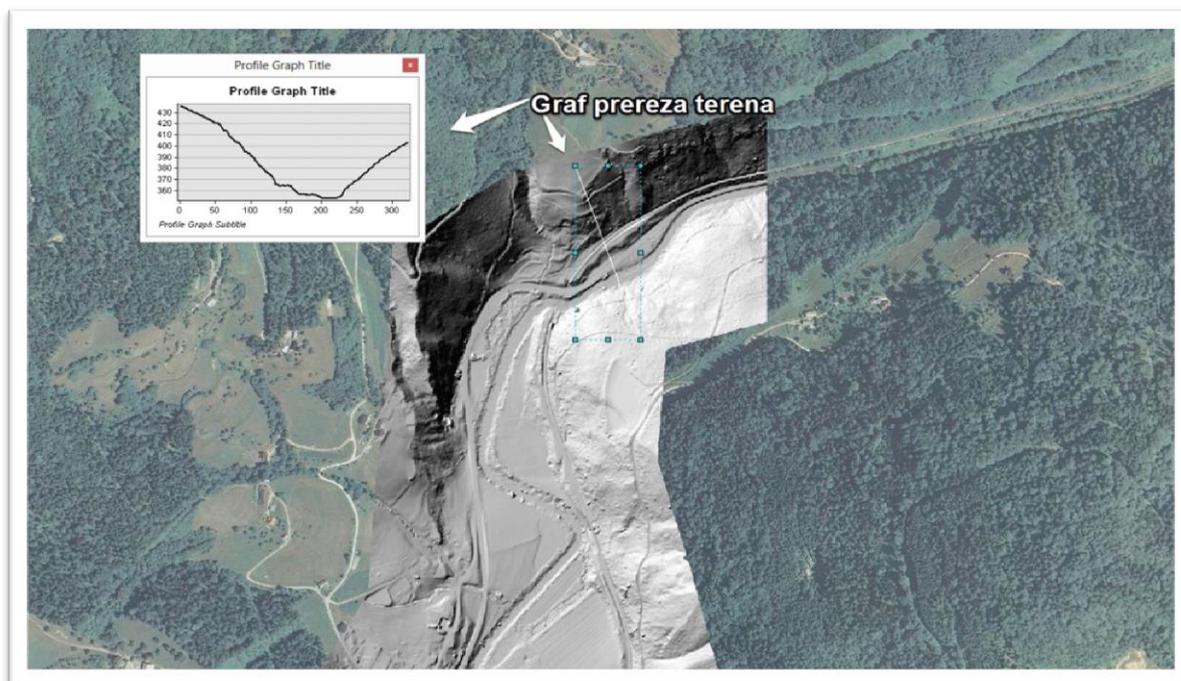
Pri matematičnem modeliranju si vse pogosteje pomagamo z GIS (geografski informacijski sistemi) tehnologijami, ki predstavljajo računalniško podprt podatkovni sistem, za zajemanje, prikazovanje, analizo in obdelavo prostorsko referenciranih podatkov. Podatke lahko razdelimo na poljubno število slojev, ki lahko predstavljajo naravne značilnosti oz. sloje, ki predstavljajo družbene značilnosti prostora. Pri hidravličnem modeliranju operiramo z velikimi količine prostorskih podatkov kot so rastrski ali vektorski zapisi digitalnih modelov terena, topografske karte, rečne mreže, raba tal, infrastrukturni prikazi ipd. (Rak, 2006), ki jih uporabljamo kot pomoč pri pripravi vhodnih podatkov, Manningovih koeficientov, vizualizacijo terenskih podatkov, pripravo prečnih profilov ali računske mreže ter za analizo in prikaz rezultatov. GIS orodja se lahko enostavno integrira v različna programska orodja za hidravlično analizo. S tem se izboljša operiranje, preglednost in uporabnost teh orodij istočasno pa je možno rezultate hidravličnih analiz predstaviti na obstoječih GIS podatkovnih slojih in s tem pripraviti uporabniku prijaznejši pregled rezultatov hidravličnih analiz.



Slika 3: Primer prikaza slojev na območju obdelave

GIS orodja se v hidravličnem modeliranju izkažejo kot najbolj uporabna pri pripravi topografskih podatkov, ki predstavljajo oblikovanost površja oz. terena. Model terena sestavimo iz točkovnih podatkov površja, ki jih je možno pridobiti na več načinov, kot so LIDAR (*Light Detection and Ranging*) tehnologija zajema površja, fotogrametrija, terestrične meritve, ipd.. Vrsto topografskih podatkov in njihovo natančnost izberemo glede na želeno natančnost hidravličnih analiz, v splošnem pa velja, da bol natančno zajeta geometrija omogoča natančnejše hidravlične analize in rezultate.

Za potrebe diplomske naloge je bila geometrija obravnavanega območja izdelana na podlagi digitalnega modela terena. Digitalni model terena je bil izdelan s pomočjo GIS orodja ArcGIS (razvil ga je Ameriški inštitut ESRI (*Environmental System Research Institute*)). Viri topografskih podatkov za potrebe diplomske naloge so bili pridobljeni s pomočjo podatkov LIDAR tehnologije snemanja površja v obliki ASCII točkovne podatkovne baze, s katerimi je bilo zajeto širše območje v okolici obravnavanega vodotoka. Z orodjem ArcGIS smo iz ASCII točk ustvarili model terena v obliki nepravilne triagonalne mreže TIN (triangulated irregular network), ki predstavlja površinsko razgibanost obravnavanega območja. Vsi podatkovni sloj je spodaj predstavljen na georeferenciranem ortofoto posnetku obravnavanega območja.



Slika 4: Model terena v obliki nepravilne triagonalne mreže TIN, predstavljen na ortofoto posnetku.

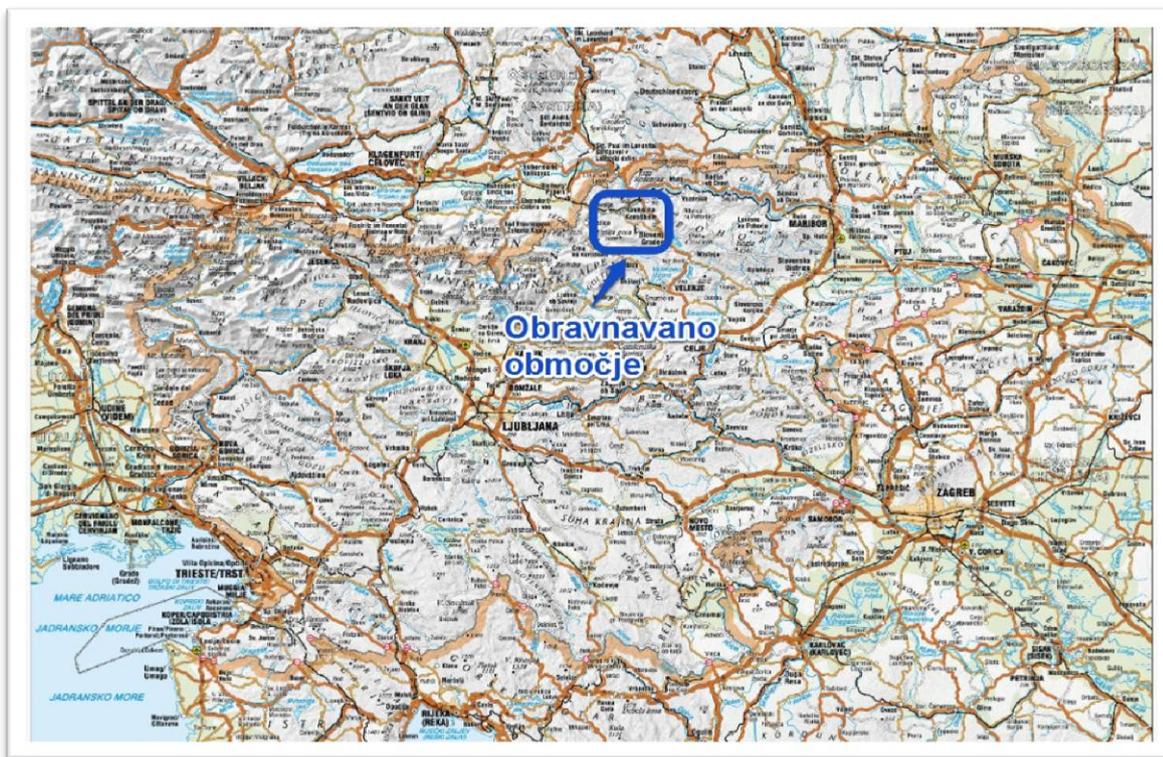
Programsko orodje ArcGIS nam na področju hidravličnega modeliranja ponuja dodatne razširitve oz. vtičnike, ki so izdelani tako, da uporabniku nudijo dodatne funkcije, ki so neposredno povezane s programsko opremo za hidravlično analizo. Uporabnik ima tako na obravnavanem področju dela več možnosti in enostavnejše pogoje za obdelavo podatkov in prikazovanje rezultatov, s tem pa se izboljša tudi kvaliteta analiz.

Za potrebe diplomske naloge je bila uporabljena razširitev HEC-GeoRAS (*točka 4.1*), ki povezuje programska orodja ArcGIS in HEC-RAS (*točka 2.3*). Razširitev nudi obsežno zbirko orodij za pripravo vhodnih geometrijskih podatkov za hidravlični model. Natančnost analiz temelji predvsem na natančnosti digitalnega modela terena. S HEC-GeoRAS razširitvijo pripravljeno geometrijo se lahko neposredno uvozi v HEC-RAS, ter dopolni, kjer je treba še manjkajoče hidravlične podatke, kot so

robni pogoji, podatki prečnih profilov mostnih konstrukcij, ipd.. Dobljene rezultate lahko skupaj z geometrijskimi podatki izvozimo nazaj v programsko okolje ArcGIS s pomočjo razširitve HEC-GeoRAS, kar nam nudi veliko boljšo prostorsko predstavo. Na obstoječih GIS podlagah lahko tako prikažemo rezultate hidravličnih analiz, izrisa obravnavanega območja in poplavnih površin v prostorski obliki, izrisa mrež izobat in izotah (linij ki povezujejo točke z enako globino in hitrostjo vode). S pomočjo teh podatkov lahko za različne simulacije poplavnih scenarijev predvidimo potek poplav, izdelamo karte poplavne nevarnosti ter s tem izboljšamo prostorsko načrtovanje, ukrepanje v primeru poplav ter projektiranje protipoplavnih ukrepov. (Rak, 2006).

3 OBRAVNAVANO OBMOČJE MEŽE

Obravnvano območje leži na severu države v Koroški regiji, ob Avstrijski meji. Zemljepisno podobo Koroške ustvarjajo z gozdovi pokriti hribi Pohorja ter gore in sicer Karavanke, Kamniško-Savinjske Alpe ter tri rečne doline: Dravska, Mežiška in Mislinjska dolina.



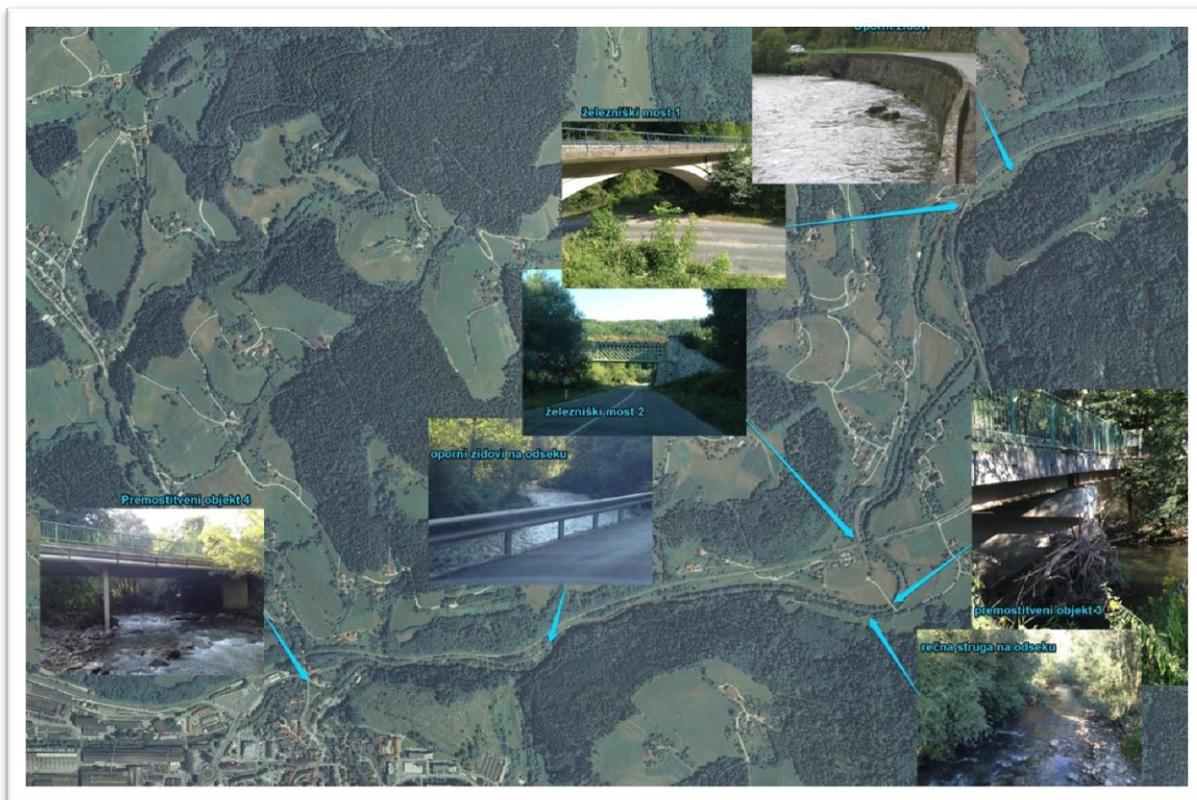
Slika 5: Prikaz lokacije obravnavanega območja¹

3.1 Osnovne značilnosti povodja Meže

Reka Meža izvira na meji med Karavankami in Kamniško Savinjskimi alpami na pobočjih Olševe pod Maroldčevim vrhom (1490 m n.v). Po približno 1,2 km dolgi poti po Avstriji priteče na ozemlje Slovenije, kjer se po 42 km v okolici Dravograda izliva v reko Dravo. Od izvira do Črne na Koroškem je Meža zelo podobna tipični alpski reki, saj ima velik padec, skoraj 1000 m v 13 km toka. Tok se od Črne naprej umiri, pretok se poveča zaradi številnih pritokov (Bistra, Topla, Helenski potok, Repov potok, Kopriva,...), rečna struga se razširi in reka prične s procesom meandriranja. V tem delu so bregovi Meže pretežno travnate površine, na večjih prodnatih trasah pa najdemo naselja Prevalje in Ravne na Koroškem. Na odseku Poljana-Prevalje pa se pojavi tudi zamočvirjen teren. Na odseku med Ravnami in Podklanecem se dolina zoži, prav tako rečna struga, tok pa postane hitrejši. Na odseku od Podklanca dolvodno Meža priteče na ravno dolino, ki so jo ustvarile reka Drava, Meža in Mislinja,

¹ (Atlas okolja, 2013)

Pri stacionaži 6,2+44,00 km se omenjeno polje počasi zoži, kjer so brežine ponovno ojačane z opornimi zidovi med strugo in cesto ter cesto in železnico (slika 7), ki poteka na višjem nivoju. Oporni zidovi so spodjedeni in poškodovani. V tem delu reka dobi tri večje pritoke iz okoliških vasi in nadaljuje tok po desnem robu soteske, kjer se pojavijo tud skalnati bloki, ki so zasuli rečno strugo, vendar je ta našla novo pot med in pod njimi. V zadnjem delu obravnavanega območja, s stacionažo 8,0+58,00 km, najprej reka teče po naplavinskem polju pred pričetkom naselja Ravne na Koroškem, ki je že gosteje poseljeno. Z začetkom mestne infrastrukture postane večji del struge reguliran, bregovi so porasli z grmičevjem, dno pa vseskozi ostaja podobne sestave iz prodnatih naplavin. Na območju je še zadnji obravnavani premostitveni objekt regionalne ceste (slika 7), ki reko preči tik pred zaključkom obravnavanega območja pri stacionaži 8,3+70,00 km. (Hojnik, 2006)



Slika 7: Prikaz obravnavanega območja s fotografijami³ s terena na ortofoto podlagi⁴

³ (Foto: Avtor)

⁴ (Atlas okolja, 2013)

3.3 Poplavna ogroženost obravnavanega območja za obstoječe stanje

Prirastki prebivalstva in širjenje dejavnosti v regiji je bistveno vplivalo na poplavno ogroženost. V splošnem lahko trdimo, da se je poplavna varnost na obravnavanem območju v zadnjih desetletjih poslabšala, predvsem na račun širitve poselitve in gospodarske infrastrukture v območja z veliko poplavno nevarnostjo. Vzroki za takšno ravnanje so zelo ozke doline, kjer ni primernih zemljišč za poseljevanje, industrijo in pripadajočo infrastrukturo ter za kmetijske dejavnosti. Reka je v preteklosti že bila regulirana, predvsem s poglobljanjem rečne struge in gradnjo opornih zidov v poseljenih območjih ter v ozkih dolinah. K poplavni ogroženosti prav tako prispevajo nevezdrževane obstoječe regulacije, kjer so oporni zidovi spodjedeni, na mostnih konstrukcijah in v njihovi okolici se nahajajo velike količine nakopičenega plavja, rečne brežine pa so zaraščene z gostim grmičevjem in drevjem. Zaradi tega je pretočnost struge danes bistveno manjša kot je bila v preteklosti, razmere ob visokovodnih dogodkih pa bistveno slabše. Na sliki 8 so vidne posledice poplav Meže leta 2012.



Slika 8: Poplave na reki Meži 5.11.2012⁵

3.4 Predvideni ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti na obravnavanem odseku

V idejnem projektu za posege na reki Meži (Hojnik, 2006), so predvideni protipoplavni ukrepi skoraj na celotnem odseku obravnavanega območja, razen v območju mesta Ravne na Koroškem, kjer je že obstoječa regulacija in je predvidena le obnova, oz. čiščenje le-te. Protipoplavni ukrepi za izboljšanje pretočnosti so predvideni pri železniškem mostu 1 (slika 7), kjer se z večjim lokom izboljša natok na most. Za strugo je v večjem delu obravnavanega območja predviden trapezni profil s širino dna $b = 13-16,00$ m in naklonom spodnjega dela korita $m = 1:1$ ter zgornjega dela $m = 1 : 1,50$, v predelih, kjer je pretočnost najnižja, pa so predvideni nasipi za varovanje bregov. Predvideni ukrepi za izboljšanje stabilnosti brežin pa vključujejo obbetoniranje obstoječih opornih zidov, ohranjajo se le področja, kjer so bregovi stabilni in visoki, v celotni dolžini struge pa je predvidena utrditev brežin s kamnitim

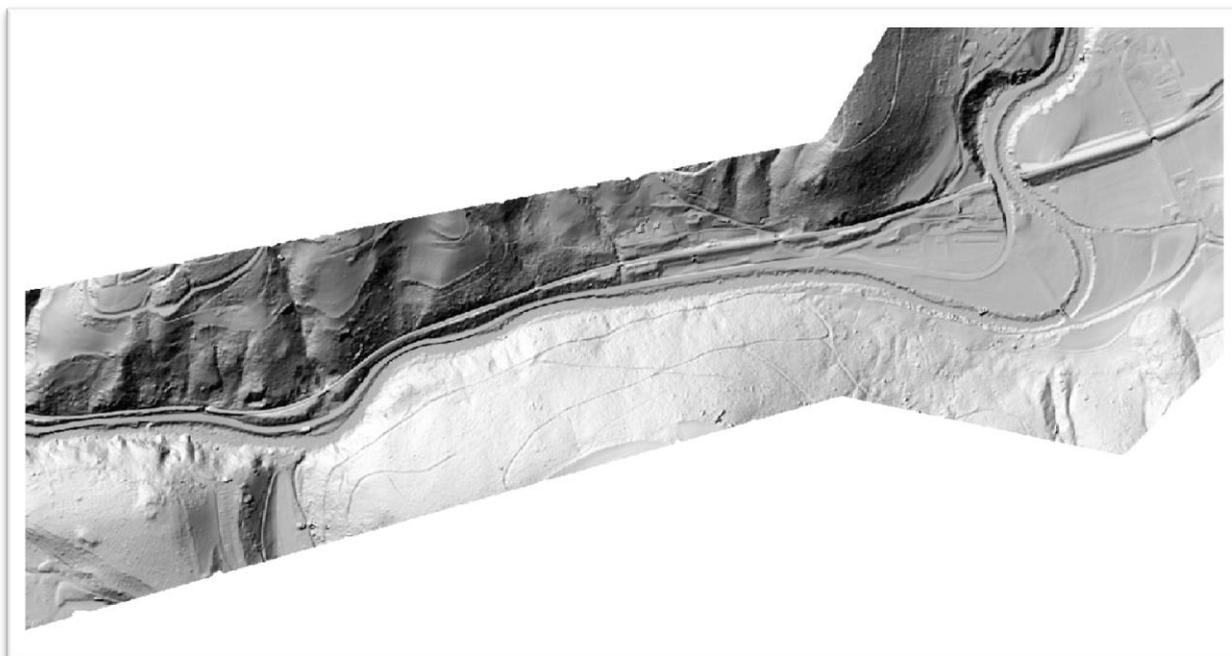
⁵ Foto: ARSO, 2012

zavarovanjem iz zloženega lomljenca. Količine so odvisne od obremenitve brežin, na najbolj obremenjenih odsekih je lomljenec betoniran. Niveleta struge se v splošnem ohranja oz. se prilagaja obstoječemu dnu s tem, da se na določenih mestih odstranijo naplavine in poglobi dno. Predvideno je tudi vzdrževanje pretočnosti s košenjem brežin in odstranjevanjem nakopičenega plavja vsaj enkrat letno.

3.5 Geometrijski podatki

3.5.1 Geometrija terena – LIDAR

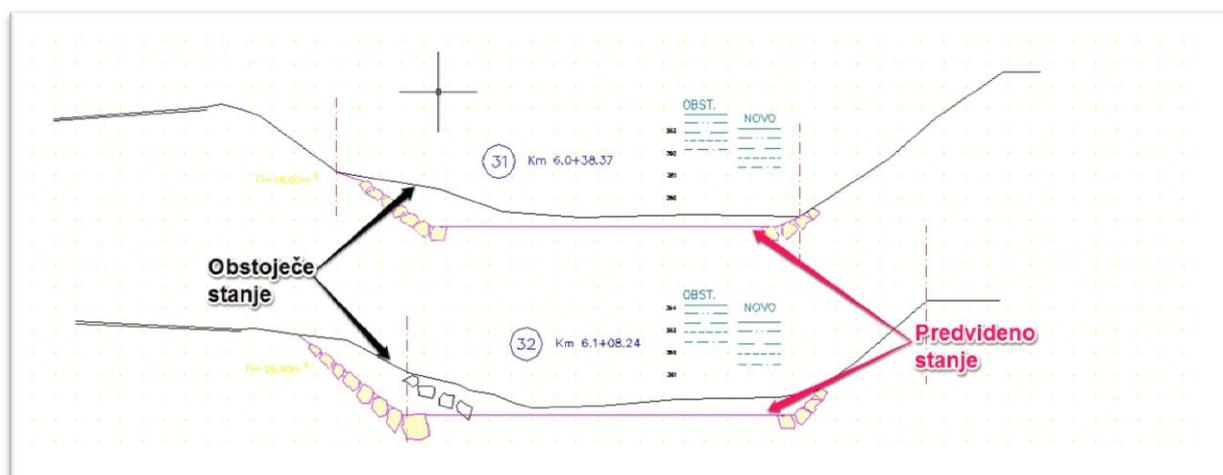
Podatki, ki so bili uporabljeni za digitalni model terena, so bili pridobljeni s pomočjo LIDAR tehnologije (*Light Detection and Ranging*), ki predstavlja zelo natančno metodo daljinskega zaznavanja. Podatki o oblikovnosti površja se zajemajo s pomočjo laserskega tipala, ki je pritrjeno na različna plovila, najpogosteje letala, ali helikopterje. Baza pridobljenih podatkov snemanja, ki predstavljajo topografijo terena, je zapisana s točkami v obliki XYZ koordinat terena iz katerih se s pomočjo različnih programskih orodji lahko po različnih metodah generira digitalni model terena. V primeru diplomske naloge je bil uporabljen model TIN (mreža neenakih trikotnikov) na spodnji sliki, ustvarjen v programskem okolju ArcGIS. Z modelom prikažemo topografijo terena tako, da program poveže točke, katerih koordinate XYZ so poznane, v mrežo neenakih trikotnikov. Tak zapis imenujemo vektorski, saj je geometrija terena s pomočjo interpolacije definirana po celotnem obravnavanem območju in ne samo v izmerjenih točkah.



Slika 9: Model terena izdelan s pomočjo tehnologije LIDAR.

3.5.2 Geometrija struge – geodetska izmera

Podatki o geometriji struge in bližnje okolice so bili pridobljeni iz idejnega projekta na reki Meži (Hojnik, 2006), kjer so bile za potrebe izboljšanja poplavne varnosti in stabilnosti struge izvedene terenske meritve struge, prav tako pa so za račun hidravličnih razmer v predvidenem stanju bili uporabljeni prečni profili (v nadaljevanju PP) v katerih so zajeti predvideni ukrepi za izboljšanje poplavne varnosti, iz omenjenega projekta. Podatki so bili izrisani v obliki PP v programskem okolju AutoCAD. Primer PP za obstoječe in predvideno stanje je prikazan na sliki 10.



Slika 10: Primer prečnih profilov iz idejnega projekta na Meži za obstoječe in predvideno stanje.

3.5.3 Mostne konstrukcije

Na obravnavanem območju reke Meže so bile v modelu upoštevane tudi štiri mostne konstrukcije in sicer dva železniška mostova, most lokalne ceste ter most regionalne ceste. Geometrijski podatki za omenjene mostove so bili pridobljeni iz podatkov geodetskih meritev idejnega projekta na Meži.



Slika 11: Mostne konstrukcije na obravnavanem območju⁶.

3.6 Hidrološki podatki

Površina vodozbirnega zaledja reke Meže znaša 566 km². Srednji letni pretok sQs znaša 7,16 m³/s večji del toka (29km) pa Meža teče na nadmorskih višinah med 573 m.n.v. pri Črni na Koroškem ter 362 m.n.v. pri izlivu v Dravogradu. Reka ima mešani snežni-dežni režim s primarnimi viški pomladi ter sekundarnimi jeseni, ko se pretoki gibljejo med 10-15 m³/s. Začetki hidroloških opazovanj na reki Meži segajo v leto 1954, ko je začela delovati vodomerna postaja v Otiškem Vrhju. Merodajne vrednosti visokih vod za določena mesta na reki Meži so prikazane v spodnji tabeli. Vsi navedeni podatki so povzeti po hidrološki študiji Meže in Mislinje s Suhadolnico (Kovačič, 2005).

⁶ (Foto: Avtor)

	F (km ²)	Q ₅ (m ³ /s)	Q ₁₀ (m ³ /s)	Q ₂₀ (m ³ /s)	Q ₅₀ (m ³ /s)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)
PREVALJE pod Šentanelsko reko	217	113	145	180	226	269
PREVALJE do Barbarskega potoka	230	116	149	185	232	276
DOBJA VAS pod Barbarskim potokom	242	121	155	192	241	287
RAVNE do Zelenbreškega potoka	248	121	156	193	242	388
RAVNE pod Zelenbreškim potokom	270	125	161	200	250	298
RAVNE do Suhe	270	125	161	200	250	298
RAVNE pod Suho	280	128	164	204	255	304
RAVNE do Kotuljke	280	128	164	204	255	304
DOBRIJE pod Kotuljko	300	131	169	210	263	313

Preglednica 1: Pretoki z različnimi povratnimi dobami.

Kjer pomeni:

Q₅ pretok s povratno dobo 5 let,

Q₁₀ pretok s povratno dobo 10 let,

Q₂₀ pretok s povratno dobo 20 let,

Q₅₀ pretok s povratno dobo 50 let,

Q₁₀₀ pretok s povratno dobo 100 let,

F celotna površina vodozbirnega zaledja do prereza vodomerne postaje.

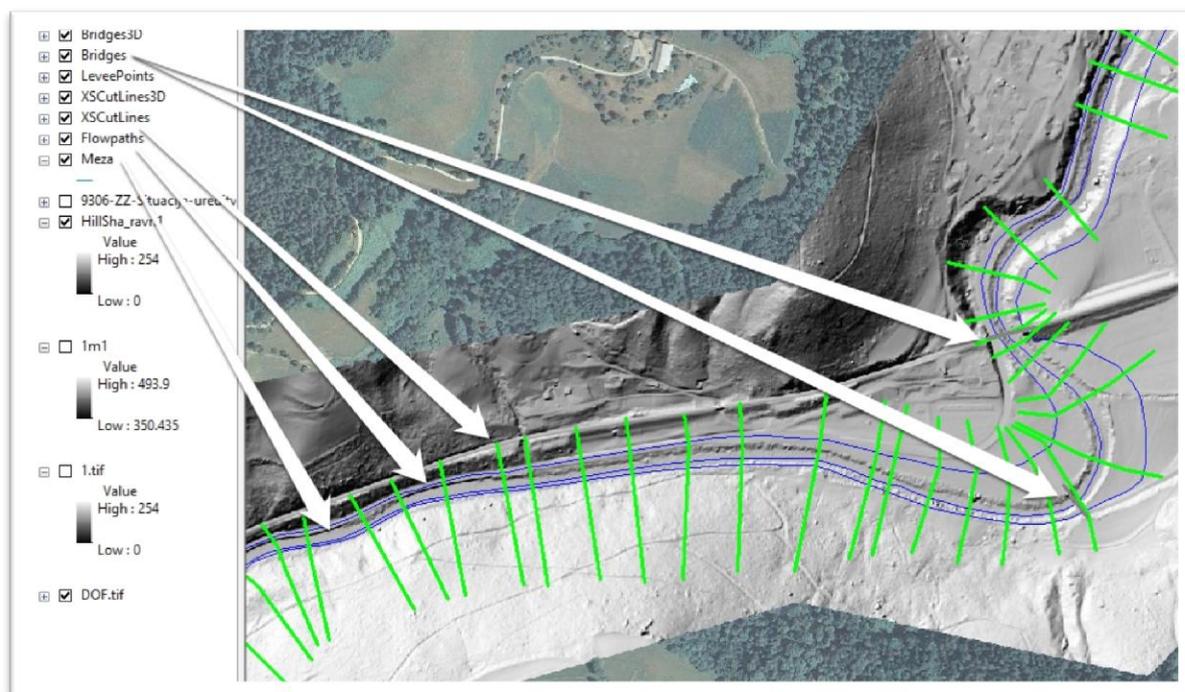
4 HIDRAVLIČNA ANALIZA OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

Na obravnavanem odseku je bila narejena hidravlična analiza za obstoječe stanje in za predvideno projektirano stanje. Analizirana je bila sprememba pretočnosti glede na obstoječe stanje ter glede na predvideno projektirano stanje, prav tako pa je bil v analizo zajet vpliv mostnih konstrukcij. V diplomski nalogi je bil za analizo izbran enodimenzionalen (1D) model, saj je zaradi geometrije obravnavanega območja (ozke doline), mogoče predpostaviti, da prevladuje tok le v smeri glavne osi struge. Model je bil umerjen na merjene gladine ob visokovodnem dogodku leta 2012.

4.1 Vzpostavitev hidravličnega modela

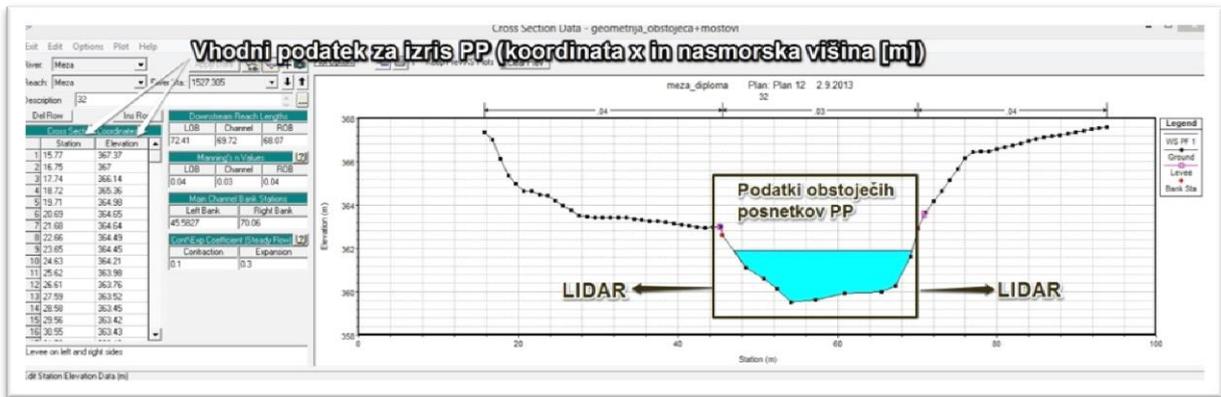
S pomočjo razširitve HEC-GeoRAS v programskem okolju ArcGIS so bili na podlagi obstoječega digitalnega modela terena (DTM) izdelanega iz podatkov pridobljenih z LIDAR tehnologijo (*točka 3.5.1*), pripravljene geometrijski vhodni podatki obravnavanega območja za nadaljnjo analizo v programskem orodju HEC-RAS. Za pripravo geometrijskih podatkov pa so bila uporabljena naslednja orodja HEC-GeoRASa, prikazana na sliki 12:

- Potek glavnega rečnega kanala (*Creating River Centerline*)
- Potek linij rečnega toka in linij bregov (*Stream Centeline, Bank Lines*)
- Potek linij toka izven rečnega kanala (*Flow Path Centerlines*)
- Potek linij prečnih profilov (*XC -Cross Section Cutlines*)
- Pozicioniranje mostov/prepustov (*Bridge/Culverts*)



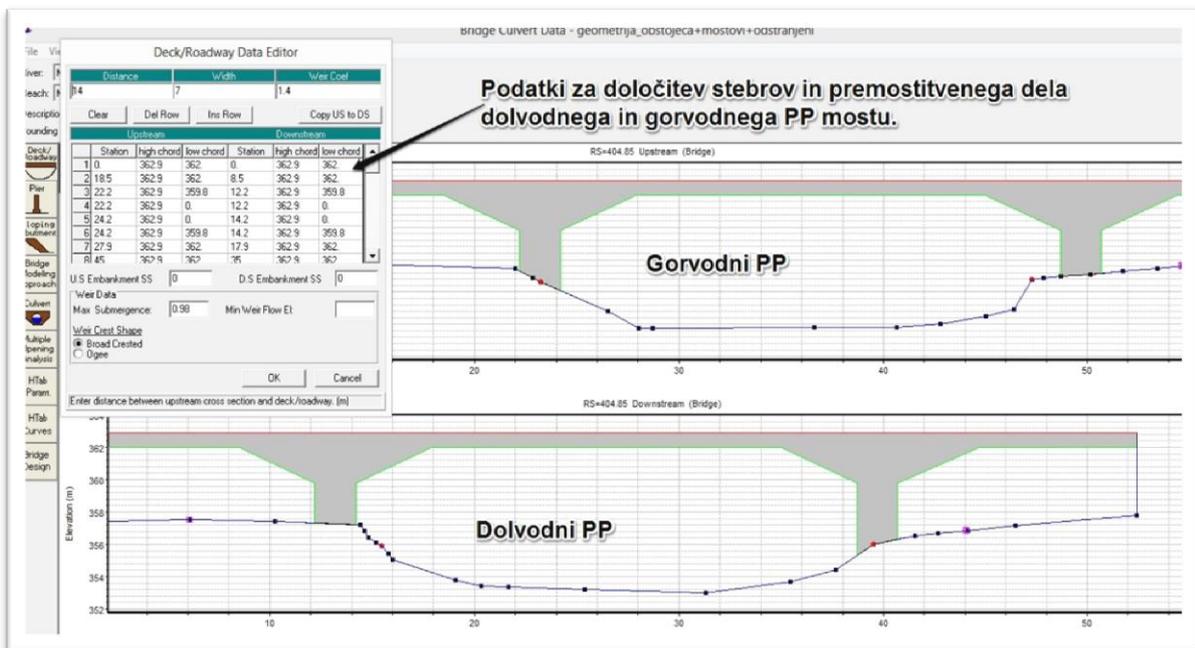
Slika 12: Prikaz HEC-GeoRAS vmesnika z obstoječo geometrijo na digitalnem modelu terena.

Izdelana geometrija iz LIDAR meritev na območju rečne struge ne zajema rečnega dna, saj pri pridobivanju LIDAR podatkov laserski žarki ne prodrejo skozi vodno gladino, ampak se od le-te odbijejo. Za opis rečnega dna so tako bili uporabljeni obstoječi posnetki PP idejnega projekta na Meži (Hojnik, 2006). Ker so PP zajemali podatke le do rečnih brežin, oz. nasipov, za ustrezno analizo hidravličnih lastnosti pa potrebujemo širše območje v okolici vodotoka (predvsem na ravninskih delih), je bilo PP potrebno razširiti. Obstoječi profili so bili prevedeni na zapis, ki ga program HEC-RAS lahko prebere in je v obliki koordinate x in pripadajoče nadmorske višine h , ter v Excelu združeni z obstoječimi PP terena, pridobljenimi s pomočjo vmesnika HEC-GeoRAS. Razširjen PP profil v programu HEC-RAS je prikazan na sliki 13, prikaz združevanja PP v programskem orodju Excel, pa je dodan kot priloga A. Razširjeni PP so bili pripravljene tako za obstoječe stanje kot za predvidene ukrepe.



Slika 13: Prikaz razširjenega PP profila v programu HEC-RAS

Pri vzpostavitvi modela so bile upoštevane tudi mostne konstrukcije, katerih tlorisna pozicija je bila določena z razširitvijo HEC-GeoRAS. Za določitev pozicije mostu v tlorisni situaciji, programski vmesnik izdelava dva PP z medsebojno oddaljenostjo enako širini mostu, lokacijo le-teh pa se določi z vnosom oddaljenosti od gorvodnega in dolvodnega PP vodotoka. Naknadno se pozicija stebrov in premostitvene konstrukcije dopolni v programu HEC-RAS, s pomočjo vmesnika za konstruiranje premostitvenih objektov, prikazanega na spodnji sliki.



Slika 14: Primer izdelave mostu v programu HEC-RAS



Slika 15: Posnetek⁷ modeliranega mostu v naravi.

Rezultat opisanih postopkov je v hidravličnem modelu zajeta geometrija obstoječega in predvidenega stanja, ki jo je v HEC-RASu možno prikazati v tridimenzionalni oblik, na sliki spodaj.



Slika 16: 3D prikaz geometrije obravnavanega območja v programu HEC-RAS.

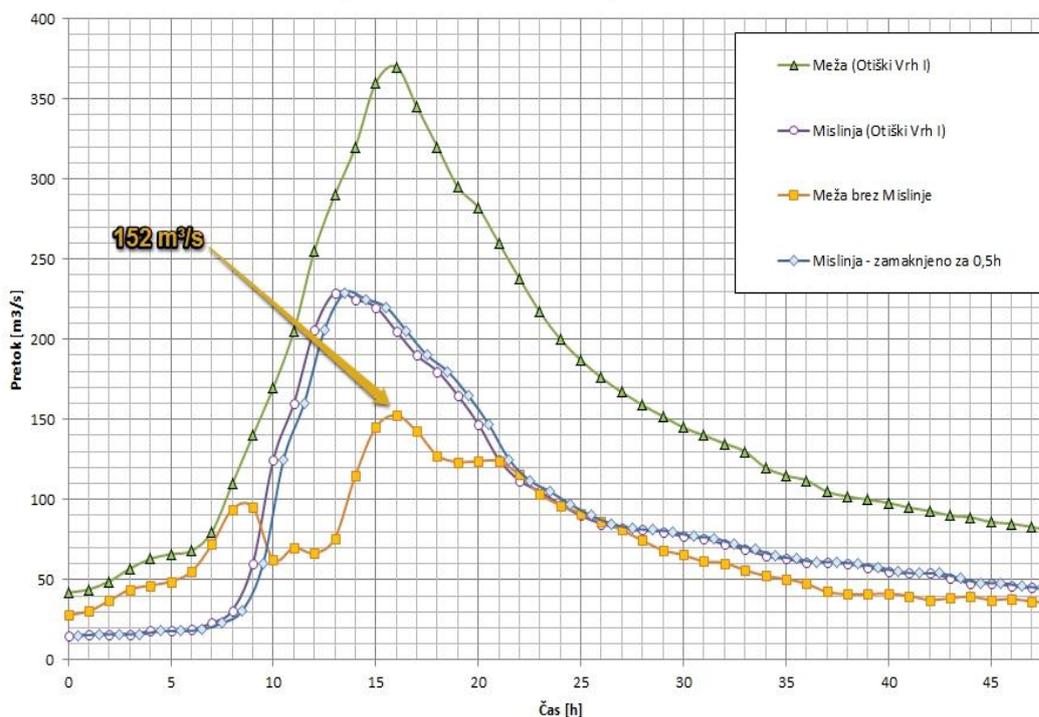
⁷ (Foto: Avtor)

4.2 Robni pogoji

Pri hidravličnem modeliranju so robni pogoji, zraven natančnih geometrijskih podatkov ter reprezentativnih koeficientov hrapavosti, ključnega pomena za hidravlično modeliranje.

Za določitev le-teh, so bili uporabljeni podatki Agencije Republike Slovenije za Okolje (ARSO) iz poplavnega dogodka med 5. in 7. novembrom leta 2012. Iz pridobljenih podatkov pretokov vodomernih postaj so bili določeni pretoki na spodnjem delu obravnavanega območja reke Meže. Spodaj je prikazan izdelan hidrogram, na katerem so z rjavo barvo prikazane vrednosti pretokov za Mežo, merjenih na vodomerni postaji Otiški Vrh I, ki se nahaja za sotočjem Meže z Mislinjo. Vrednosti pretokov za Mežo brez Mislinje so pridobljene tako, da se od skupnega pretoka na sotočju odšteje vpliv Mislinje, ki je izražen s podatki vodomerne postaje, ki se prav tako imenuje Otiški Vrh I in se nahaja približno 2km gorvodno od sotočja Meže in Mislinje.

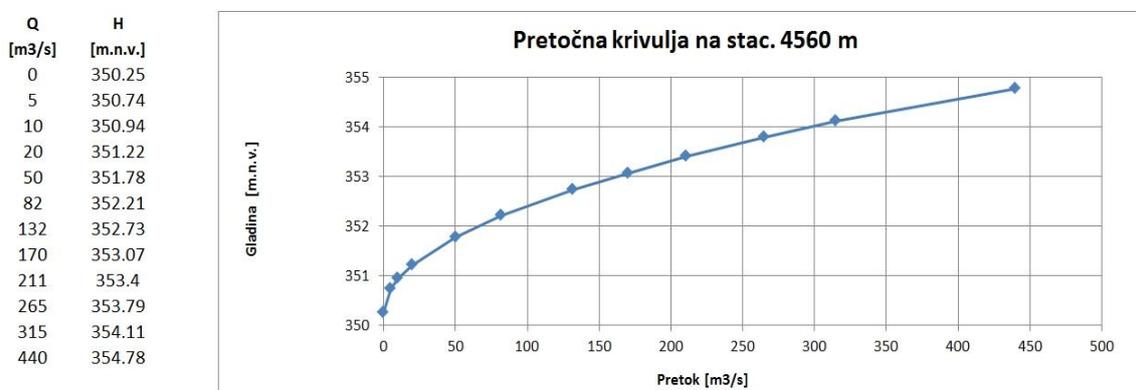
**Hidrogrami Meže in Mislinje za poplavni dogodek 2012
(od 5.11. do 7.11.2012)**



Grafikon 1: Hidrogrami Meže in Mislinje za poplavni dogodek 2012 (od 5.11. do 7.11.2012)

Konica hidrograma pred sotočjem Meže in Mislinje na reki Meži tako znaša $152 \text{ m}^3/\text{s}$ in predstavlja zgornji robni pogoj, podan kot konstanten pretok. Po primerjavi pridobljenih rezultatov z vrednostmi merodajnih visokih vod (točka 3.6), lahko ugotovimo, da je pretok iz obravnavanega poplavnega dogodka, primerljiv z velikostnim redom visokih vod, s povratno dobo 10 let (Q_{10}). Za spodnji robni

pogoj je bila v program HEC-RAS vnesena pretočna Q-H krivulja, katere podatki so povzeti po rezultatih hidravličnega modela iz študije na reki Meži (Müller in sod., 2012).



Grafikon 2: Q-H krivulja, privzeta za spodnji robni pogoj.

4.3 Umerjanje modela

Pri umerjanju hidravličnega računskega modela so bili določeni Manningovi koeficienti (n_g) na območju struge. Model je bil umerjen glede na merjene gladine iz visokovodnega dogodka med 5. in 7. novembrom leta 2012 (meritve gladin Drave ob poplavnem dogodku novembra 2012, (VGP Drava, 2012), ko so na podlagi terenskih meritev, sledi, fotografij ter podatkov vodomernih postaj določili najvišje gladine omenjenega visokovodnega dogodka na različnih odsekih rek Meže, Mislinje ter Drave. Iz pridobljenih podatkov so bile obravnavane štiri točke meritev vzdolž obravnavanega območja, kjer so bile primerjane gladine meritev in gladine izračunane z modelom v HEC-RASu. Določanje vrednosti koeficientov ima velik vpliv na hidravliko vodotoka, zato je bil za čim bolj natančno začetno oceno koeficientov hrapavosti, opravljen terenski ogled. Na podlagi terenskega ogleda je bil določen material v strugi. S pomočjo strokovnih vrednosti iz literature programskega orodja HEC-RAS (HEC-RAS 2, 2010), ter literature za določanje Manningovih vrednosti (n_g) (Hicks, Mason, 1998) je bila za strugo ocenjena vrednost Manninogovega koeficienta (n_g) med 0.029 in 0.03. Vrednost $n_g = 0.029$ je bila ocenjena na odseku, ki teče skozi poseljeno območje Raven na Koroškem, saj je tam rečna struga obzidana z betonskimi zidovi, dno struge pa je sestavljeno iz drobnega proda. Na preostalem delu obravnavanega območja je bila predpostavljena vrednost koeficienta $n_g = 0.03$, saj se sestava struge skorajda ne spreminja in je vzdolž celotnega obravnavanega območja stavljena iz prodnatega nanosa.

Primerjava gladin v tabeli spodaj pokaže zadovoljivo ujemanje merjenih in izračunanih vodostajev.

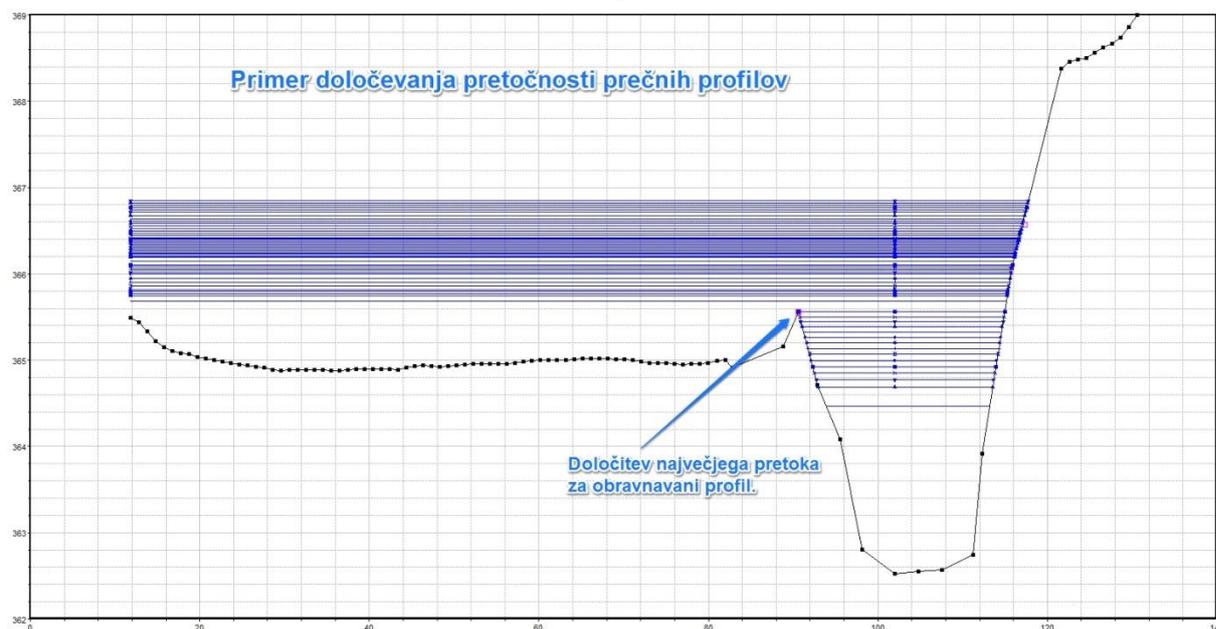
TOČKA	GK_Y	GK_X	H-IZMÉRJENA [m.n.v.]	DATUM	STACIONAŽA [m]	PROFIL [merjeno gorvodno]	H-MODEL [m.n.v.]	ΔH [m]
12	497,782,032	155,859,585	381.56	14.11.2012	3694	P77+24m	381.63	0.07
11	499,359,573	156,115,142	365.55	14.11.2012	1995.9	P42+27m	365.76	0.21
10	499,542,511	156,620,178	360.77	14.11.2012	1303.6	P28+12m	360.83	0.06
9	499,635,422	156,889,654	358.90	14.11.2012	903.8	P19+11m	358.85	-0.05

Preglednica 2: Primerjalne gladine za umerjanje hidravličnega numeričnega modela.

Ocenjene vrednosti so se pri umerjanju izkazale za natančne, saj so odstopanja med merjenimi gladinami in gladinami iz modela med -6 cm in +7 cm, razen na mestu meritve pri točki 11, kjer na meritev vpliva zajezeitev zaradi mostne konstrukcije, ki se nahaja 90 m dolvodno. Na območju izven struge je bila na podlagi terenskega ogleda določena vrsta, porazdelitev in tip vegetacije, s pomočjo ortofoto posnetka pa razsežnost poraščeniosti in raba tal. Manningove vrednosti so bile nato določene za dva tipa vegetacije in sicer za grmičevnate površine z drevjem manjšega premera, kjer je bila ocenjena vrednost $n_g = 0.1$ in področja travnatih kmetijskih površin, kjer je bila ocenjena vrednost $n_g = 0,04$.

5 ANALIZA REZULTATOV

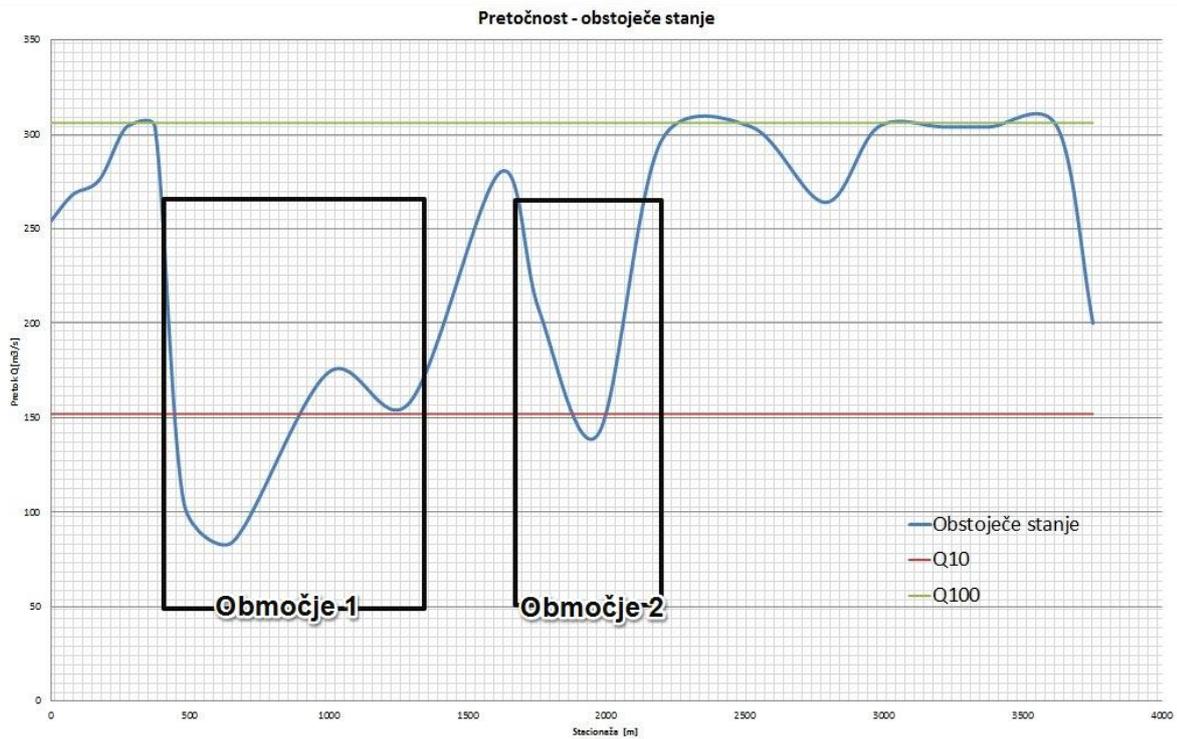
Za določitev pretočnosti struge med in po izvedenih protipoplavnih ukrepih je bila izvedena hidravlična analiza na umerjenem modelu z različnimi zgornjimi robnimi pogoji oz. pretoki za stalni tok, za spodnji robni pogoj pa je bila določena Q-H krivulja (točka 4.2). Razpon pretokov je znašal od pretoka $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ do pretoka $Q = Q_{100} = 304 \text{ m}^3/\text{s}$ s korakom $4 \text{ m}^3/\text{s}$, za kar je bilo potrebnih 63 računov. Vsak pretok je tako v izrisu prečnih profilov prikazan z linijo, ki predstavlja gladino vode, pri danem pretoku (slika 17). Na ta način so bili zajeti vsi prečni profili tako, da je bilo za vsakega izmed profilov mogoče določiti maksimalni pretok na prelivnem robu preden se začne izlivati voda iz rečnega korita. V primeru ozkih in globokih rečnih korit, kjer so pretoki preseglili vrednosti Q_{100} in pri tem niso dosegli prelivnega robu, so bile vrednosti pretokov navzgor omejene s Q_{100} , saj je namen te analize določitev kritičnih območij, kjer se voda ob pojavu visokovodnega dogodka najprej začne izlivati iz struge na poplavna območja. Iz izvrednotenih pretočnosti so bili pripravljene grafikoni (Qpretočnost-stacionaža) pretočnosti vzdolž celotnega obravnavanega odseka za različna stanja, ki so v nadaljevanju predstavljena in med seboj primerjana.



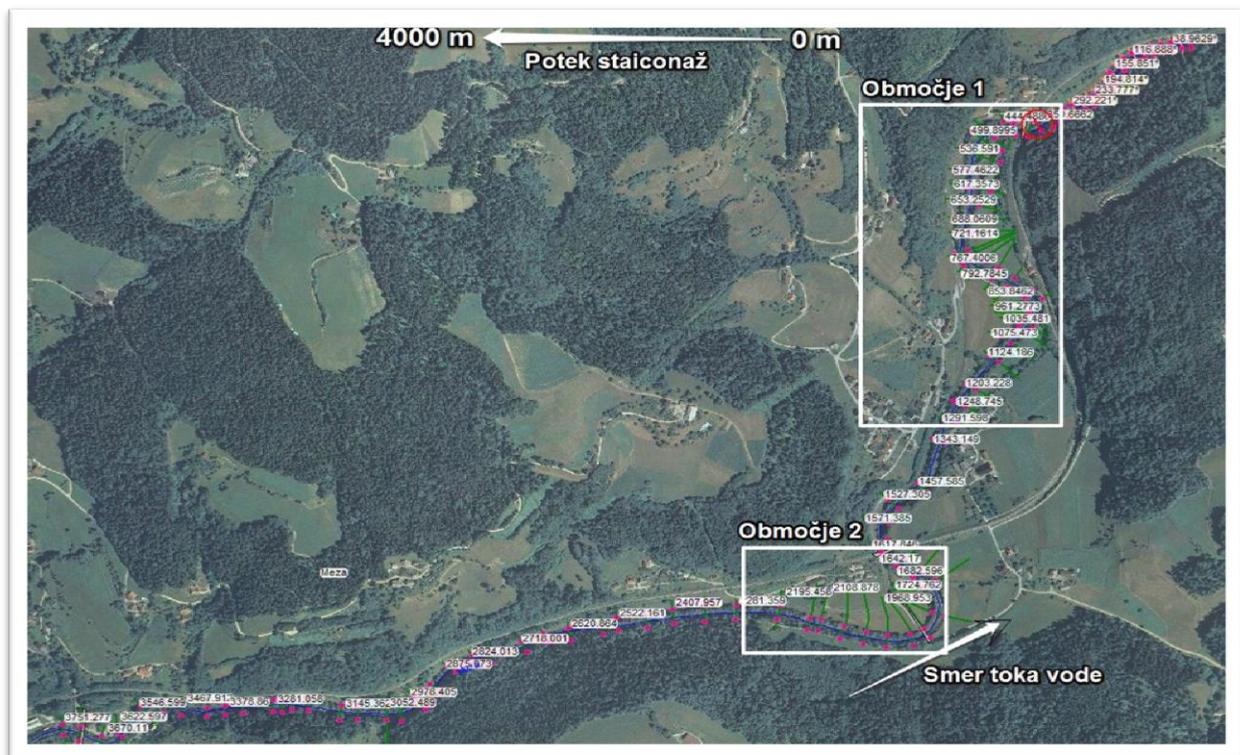
Slika 17: Primer določevanja pretočnosti prečnih profilov za obstoječe stanje.

5.1 Pretočnost struge na obravnavanem odseku Meže za sedanje stanje

Grafikon pretočnosti Meže za obstoječe stanje vzdolž obravnavanega območja je opremljen z opisom delov struge, kjer je pretočnost najmanjša. Za boljšo predstavbo je dodan ortofoto posnetek situacije, kjer so ta območja izpostavljena (slika 18).



Grafikon 3: Grafikon pretočnosti Meže za obstoječe stanje.

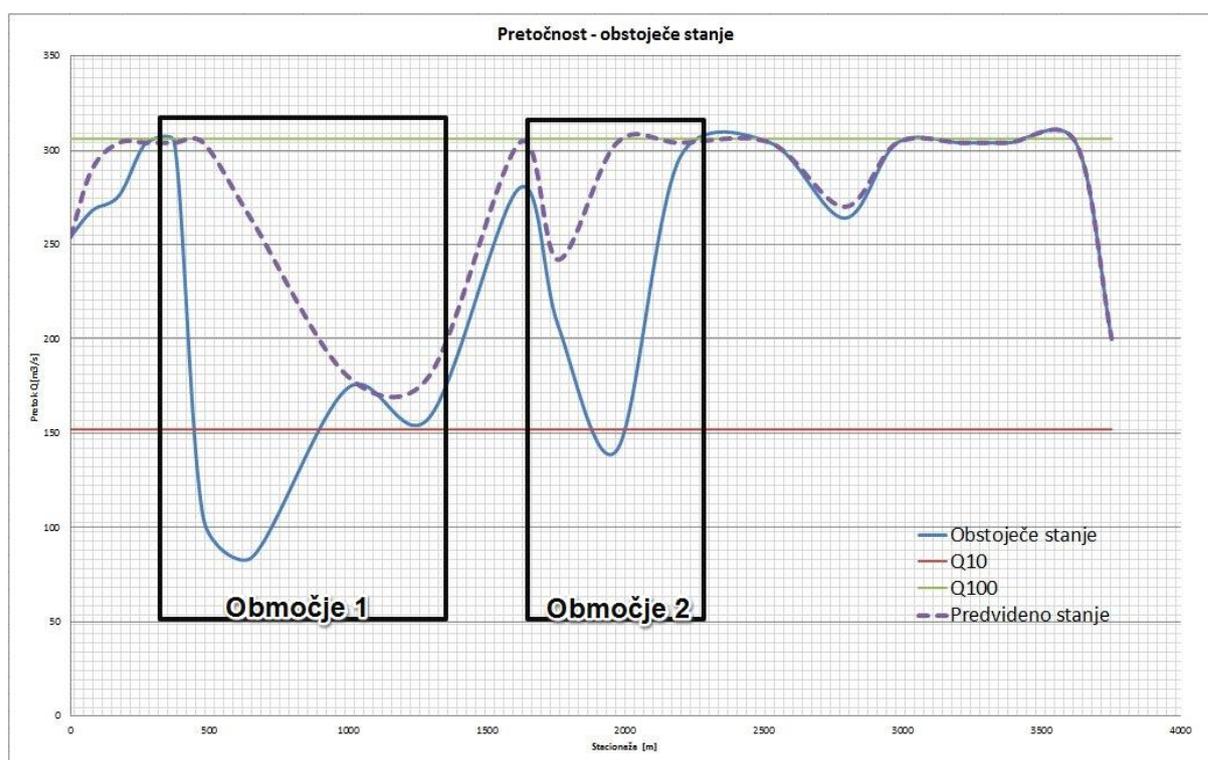


Slika 18: Prikaz izpostavljenih območij na ortofoto posnetku.

Iz podanih vrednosti je razvidno, da je pretočnost za posamezne prečne profile bistveno manjša od pretokov z desetletno povratno dobo (Q10). Območje 1 se začne pri stacionaži 400 m in poteka do stacionaže 1200 m. V tem delu Meža teče po dokaj širokem travnatem polju, kjer prevladujejo kmetijske površine. Reka na tem delu prestopa bregove že ob pretokih s petletno povratno dobo (Q5) in nižjih. V okolici stacionaže 1000 m se nahaja zaselek Dobrije, ki je ob pretokih večjih od Q10 izpostavljen poplavam. Na območju 2 med stacionažama 1600 m – 2200 m prihaja do poplav ob pretokih velikostnega razreda Q10. Na tem delu reka teče po travnatem polju, kjer se nahaja lokalna cesta in pripadajoči most, ki sta v primeru poplav ogrožena.

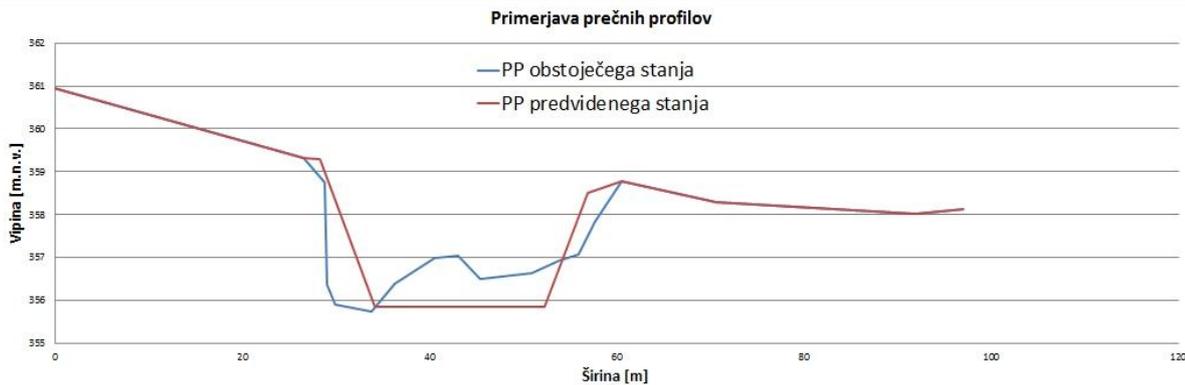
5.2 Vpliv predvidenih ukrepov na pretočnost struge

Na naslednjem grafikonu je predstavljena pretočnost na obravnavanem območju v primeru izvedbe predvidenih protipoplavnih ukrepov. Razvidno je bistveno izboljšanje pretočnih sposobnosti na najbolj ogroženih območjih, v okolici Dobrije, kjer se pretočnost ponekod povečat tudi do 200% in več, v primerjavi z obstoječim stanjem.



Slika 19: Grafikon pretočnosti Meže za predvideno stanje ter primerjava z obstoječim stanjem.

Na območjih 1 in 2 je predviden trapezni prečni profil s širino dna $b = 16,00$ m in naklonom spodnjega dela korita $m = 1:1$, ter zgornjega dela $m = 1 : 1,50$ ter kamnitim lomljencem za varovanje brezlin. Primer prečnega profila na izpostavljenem območju je prikazan na sliki 20.



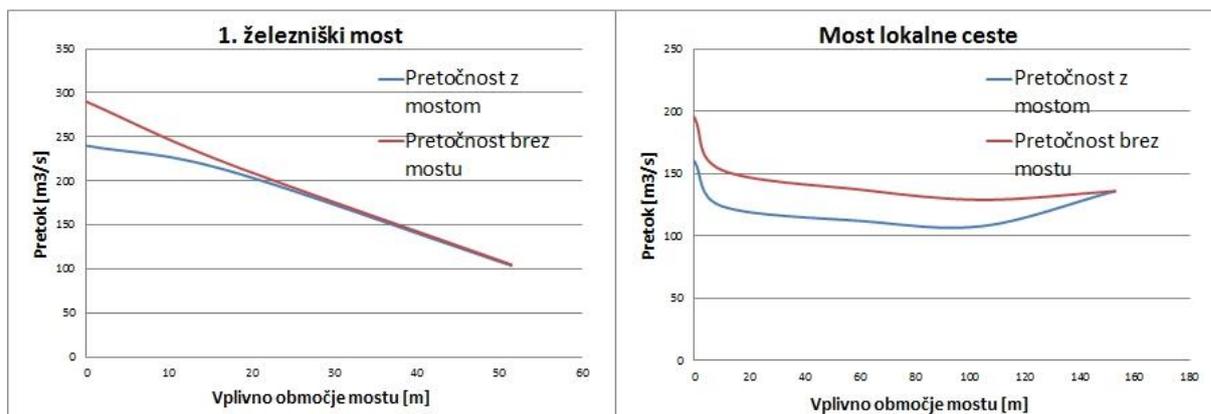
Grafikon 4: Primerjava prečnih profilov za obstoječe ter predvideno stanje.

5.3 Vpliv mostnih konstrukcij na hidravlične razmere

Pri analizi je potrebno upoštevati tudi mostne konstrukcije, ki ovirajo vodni tok in z zajeznim vplivom zmanjšajo pretočne sposobnosti v obravnavanih prečnih profilih. Elementi mostu, ki so v stiku z vodo, zmanjšajo pretočni prerez mostu, zaradi tega se začne vodni tok v območju odprtega prereza pospeševati, v območju ovir pa zastajati. Vpliv se kaže v obliki zajezitve, oz. dviga gladin, ki vpliva gorvodno od obravnavane konstrukcije.

5.3.1 Vpliv mostnih konstrukcij na pretočnost struge

V nadaljevanju so na grafikonih prikazane spremembe pretočnosti v primeru z ali brez upoštevanja mostnih konstrukcij. Zajeto je področje gorvodno od mostu, saj se na tem delu zaradi vpliva mostne konstrukcije pojavi zajezitev oz. dvig vodne gladine. V analizi sta zajeta železniški most na stacionaži 404 m ter most lokalne ceste na stacionaži 1916 m. železniški most na stacionaži 1624 m s svojimi elementi ne vpliva na pretočnost v rečni strugi, saj ne posega s stebri v strugo vodotoka. Tudi pri pretokih Q_{100} in večjih most nima vpliva saj se premostitev nahaja precej višje od gladine pri Q_{100} zato v analizi ni zajet. 4. Most regionalne ceste v Ravnah se nahaja na stacionaži 3716 m in s tem na koncu obravnavanega območja, tako da njegovih vplivov ni mogoče preučiti.



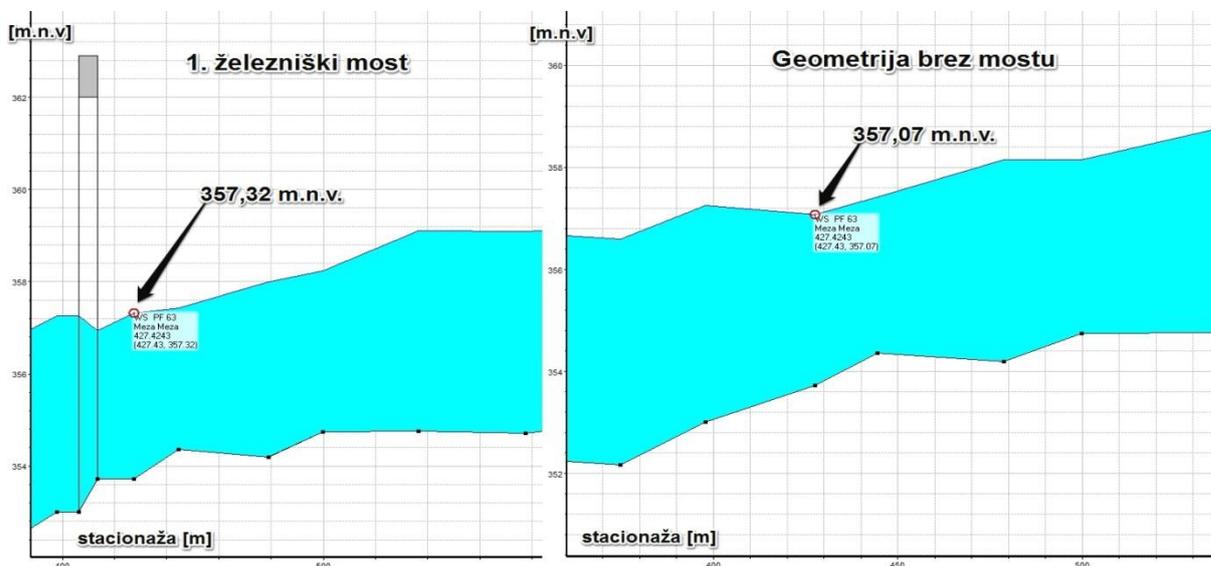
Grafikon 5: Spremembe pretočnosti zaradi vpliva mostnih konstrukcij.

Iz grafikonov je razvidno, da železniški most pretočnost poslabša za približno 50 m³/s, vpliva pa na območju cca. 50 m gorvodno. Most lokalne ceste pa pretočnost zmanjšuje za približno 35 m³/s na vplivnem območju približno 150 m.

5.3.2 Vpliv mostnih konstrukcij na gladine pri visokovodnih razmerah

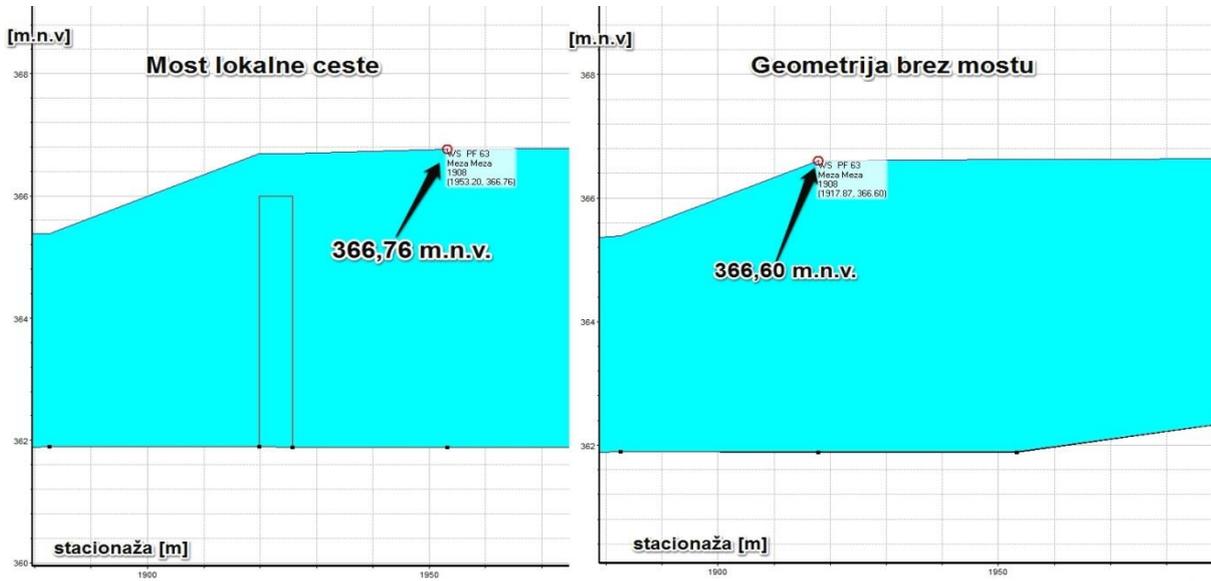
Zaježitve zaradi mostnih konstrukcij povzročajo dvig gladine vode gorvodno. V nadaljevanju je prikazan dvig gladine zaradi obravnavanih mostov v vzdolžnem profilu. Vpliv mostov je bil analiziran za pretok $Q_{100} = 340$ m³/s.

Dvig gladine zaradi vpliva 1. železniškega mostu (slika 20) na prvem gorvodnem prečnem profilu (stacionaža 427,42 m) znaša pri obravnavanem pretoku 0,25 m, v naslednjem profilu pa vpliv že izzveni.



Slika 20: Primerjava gladin za železniški most pri Dobrihah.

Dvig gladine zaradi vpliva mostu lokalne ceste (slika 21) na prvem gorvodnem prečnem profilu: (stacionaža 1917,8 m) znaša 0,16 m, v naslednjih dveh profilih vpliv že izzveni.



Slika 21: Primerjava gladin pri mostu lokalne ceste.

6 ZAKLJUČEK

V primeru povečevanja števila poplavnih dogodkov, se je potreba po protipoplavnih ukrepih zelo povečala. Najbolj učinkoviti so preventivni protipoplavni ukrepi v obliki omejevanja gradnje na ogroženih področjih, v primerih, ko pa ti niso možni, pa je potrebno projektiranje protipoplavnih ukrepov. Analize se izvajajo s pomočjo uporabe fizičnih in numeričnih hidravličnih modelov. Fizični modeli zagotavljajo največjo zanesljivost določanja hidravličnih razmer, ampak je njihova izvedba draga in pogosto pogojena z merilom modela oz. velikostjo hidravličnih laboratorijev. Izbira metode analize je odvisna od škodnega potenciala oz. vrste ogroženih objektov. Najpogosteje se v praksi uporabljajo numerični hidravlični modeli, kot programskima orodja, ki jih je potrebno ustrezno izbrati glede na zahtevano natančnost in zahtevnost hidravličnega računa.

Za analizo pretočnosti reke Meže na odseku pri Ravnah na Koroškem je bila izbrana numerična hidravlična analiza. Glede na zahtevnost analize in geometrijo območja (ozke doline) je bil za modeliranje izbran enodimenzionalni (1D) model za modeliranje stalnega toka. Za izdelavo modela je bilo uporabljeno programsko orodje HEC-RAS, geometrijski podatki modela pa so bili pripravljene v programskem okolju ArcGIS z razširitvijo HEC-GeoRas, ki omogoča vnos LIDAR podatkov in izdelavo digitalnega modela terena. Na ta način lahko pripravimo natančno geometrijo, kar je za merodajne končne rezultate zelo pomembno. Geometrija rečnega korita je bila povzeta iz predhodnega idejnega projekta na reki Meži (Hojnik, 2006), kjer so bili prečni profili struge posneti z terenskimi geodetskimi meritvami. Prečni profili širšega območja v okolici vodotoka, ki jih geodetske meritve niso zajemale, so bili izdelani na podlagi s podatki LIDAR izdelanega digitalnega terena modela in združeni s podatki geodetskih meritev. Za natančnost hidravlične analize so prav tako bistvenega pomena dobro definirani robni pogoji, ki so bili pridobljeni s pomočjo merjenih vodostajev iz visokovodnih dogodkov leta 2012. Kot zgornji robni pogoj je upoštevan konstanten pretok, za spodnji robni pogoj je bila v program HEC-RAS vnesena pretočna Q-H krivulja, katere podatki so povzeti po rezultatih hidravličnega modela iz študije na reki Meži (Müller in sod., 2012). Model je bil umerjen glede na merjene gladine iz visokovodnega dogodka med 5. in 7. novembrom leta 2012 (meritve gladin Drave ob poplavnem dogodku novembra 2012, (VGP Drava, 2012), na podlagi katerih so določeni Manningovi koeficienti v rečni strugi. Na področjih kjer prihaja do prelivanja, so Manningove vrednosti bile določene glede na tip vegetacije in pogostost le-te, kar je bilo določeno s pomočjo terenskega ogleda in vizualnega pregleda ortofoto posnetka ter ocenjeno s pomočjo strokovne literature. Za določitev pretočnosti struge med in po izvedenih protipoplavnih ukrepih je bila izvedena hidravlična analiza na umerjenem modelu z različnimi zgornjimi robnimi pogoji oz. pretoki za stalni tok, za spodnji robni pogoj pa je bila uporabljena Q-H krivulja. Potrebno je poudariti, da že manjše spremembe v okolici vodotoka lahko bistveno vplivajo na obseg poplav. Zmanjšanje

pretočnosti in dvig gladin lahko povzroči že močnejše zarašala struga, večja sipina ali delno zamašena mostna odprtina zaradi plavja.

S hidravlično analizo je bilo ugotovljeno, da lahko z ustreznimi ukrepi in z rednim vzdrževanjem rečne struge izboljšamo njeno pretočnost. Prav tako je analiza pokazala, da imajo mostne konstrukcije na obravnavanem odseku pri visokovodnih razmerah (Q_{100}) vpliv na gladine vode, saj jih povečujejo na gorvodnem območju v rangu nekaj 10cm, s tem pa se zniža vrednost pretoka, pri katerem se začne voda izlivati iz struge.

Del naravnih variabilnosti podnebja in vremena predstavljajo tudi ekstremni dogodki, ki pa praviloma povzročajo težave, vse pogosteje pa celo ogrožajo življenja. Po poročanju svetovne meteorološke organizacije, je v prihodnosti pričakovati vse pogostejše in intenzivnejše pojave ekstremnih dogodkov, zgoščevanje le-teh pa je v svetovnem merilu in tudi pri nas že možno opaziti. Več kot polovico nastalih škod zaradi naravnih nesreč po ocenah svetovne meteorološke organizacije pripisujejo poplavam (32%) in sušam (22%) (Cegnar, 2003).

Glede na to, da vremenskih dogodkov ne moremo preprečiti, se moramo nanje prilagoditi.

VIRI

Bat, M., Beltram, G., Cegnar, T., Dobnikar Tehovnik, M., Grbovič, J., Krajnc, M., Mihorko, P., Brancelj, R., Remec – Rekar, Š., Uhan, J. 2003. Vodno bogastvo Slovenije. Ljubljana : Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Agencija Republike Slovenije za okolje: 131 str.

Cegnar, T. 2003. Podnebne spremembe in padavinski režim. V: 14. Mišičev vodarski dan 2003, Maribor, 06. december. Zbornik referatov, (Mišičev vodarski dan). Maribor: Vodnogospodarski biro, 2003: 1, 2 str.

EU Projekt DRA-MUR-CI, Ljubljana: Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Vodnogospodarski inštitut, 2012: 35 str.

HEC-RAS 1, River Analysis System, Applications Guide, Version 4.1. US Army Corps of Engineers; Hydrologic Engineering Center. 2010. Davis, CA:
http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HECRAS_4.1_Applications_Guide.pdf (Pridobljeno 16.8.2013.) Poglavje 1: 1, 2, 3, 4, 5, 6 str.

HEC-RAS 2, 2010. River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 4.1. US Army Corps of Engineers; Hydrologic Engineering Center. 2010. Davis, CA:
http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf (Pridobljeno 16.8.2013.) Poglavje 2: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 23 str.

Hicks, D. M., Mason, P.D., 1998. Roughness Characteristics of New Zealand Rivers, National Institute of Water and Atmospheric Research, Water Resources Publications., Christchurch, New Zealand: 329 str.

Hojnik, T. 2006 - izboljšanje poplavne varnosti in stabilnosti struge na Ravnah in Prevaljah – zbirno projektno poročilo.2006 Idejni projekt. Drava – vodnogospodarsko podjetje Ptuj, d.d. Št. proj.: 93/06-ZZ.

Kovačič, I. 2005. Hidrološka študija Meže in Mislinje s Suhadolnico. Slovenija. V Ljubljani, IzVRS - Institut za vode Republike Slovenije: 7-11, 19-23 str.

Moderc, M. 2012. Analiza občutljivosti hidravličnega modeliranja za hrapavost poplavnih površin: Dipl. nal. – UNI. Ljubljana, UL, FGG, Študij Vodarstvo in komunalno inženirstvo: 31 str.

Müller, M., Novak, G., Rak, G., Prešeren, T., Kompare, K., Kozelj, D. 2012. Katalog poplavnih scenarijev za izlivno območje Meže.

Rak, G. 2005. Analiza hidravličnih lastnosti vodotokov z uporabo GIS orodja. Seminar.Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 73 str.

Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, oddelek za vodarstvo in komunalno inženirstvo: 36, 37 str.

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 243 str.

Triglav Čekada, M., Klanjšček, M., Zorn, M. 2013. Preučevanje poplav novembra 2012 na podlagi nemerskih posnetkov z vključevanjem javnosti: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko: 75 str.

Venkatesh, M. 2012. Tutorial on using HEC-GeoRAS with ArcGIS 10 and HEC-RAS Modeling School of Civil Engineering, Purdue University vmerwade@purdue.edu: 2-13 str.

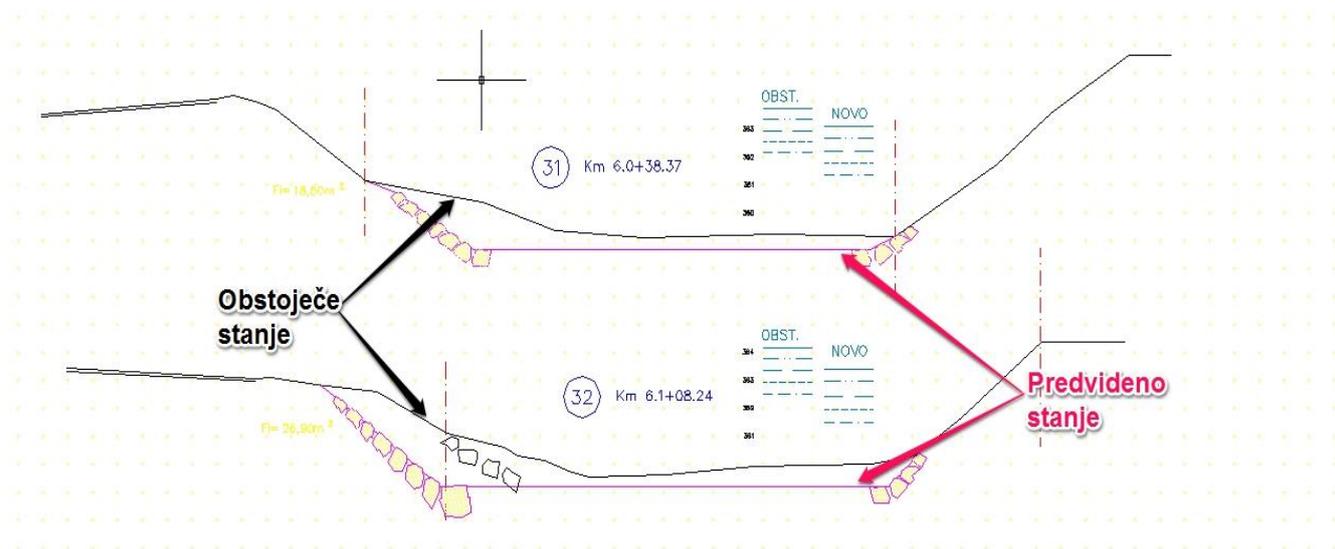
VGP Drava. 2012 - Meritve gladin Drave ob poplavnem dogodku novembra 2012, VGP Drava d.d.

PRILOGE

PRILOGA A: Prikaz združevanja prečnih profilov pridobljenih iz idejnega projekta na reki Meži s profili pridobljenimi na podlagi digitalnega terena modela (DTM).

PRILOGA A: Prikaz združevanja prečnih profilov pridobljenih iz idejnega projekta na reki Meži s profili pridobljenimi na podlagi digitalnega terena modela (DTM).

Primer prečnih profilov idejnega projekta na reki Meži, pridobljeni s terenskimi meritvami:



Obstoječi prečni profili prevedeni na zapis programskega orodja HEC-RAS:

Tabela: Profil 31

x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v.]
0	363.5213
7.0199	364.0435
7.7146	364.1937
9.4611	363.6945
13.0361	361.1505
17.7809	360.3612
20.6863	359.378
24.2611	359.1171
26.91445	359.1733 OS
29.5678	359.2295
34.3983	359.1495
38.5116	361.743
40.6632	363.5522
43.8095	365.633
45.5138	365.633

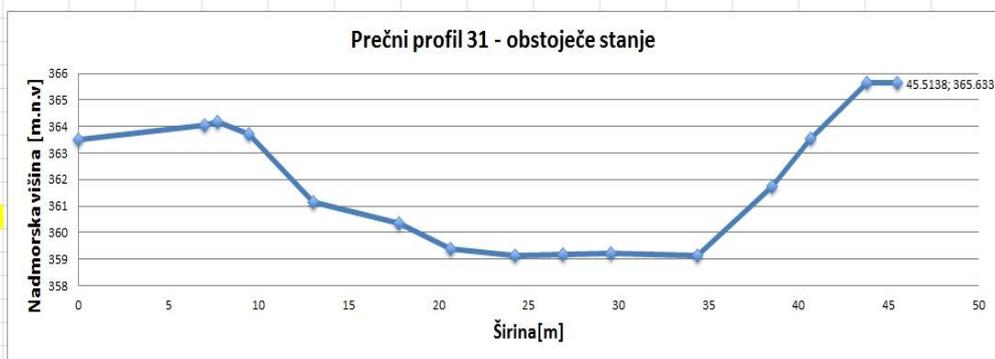
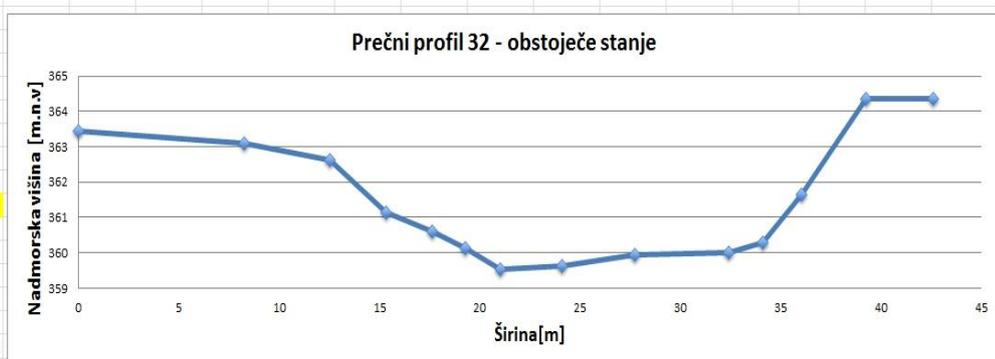


Tabela: Profil 32

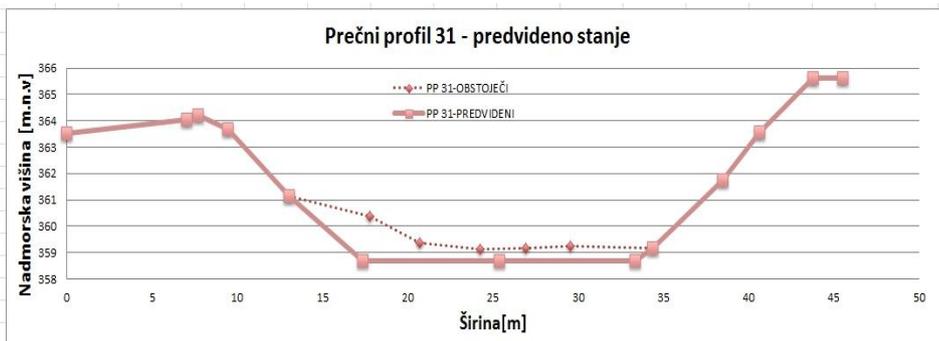
x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v.]
0	363.4263
8.2464	363.0814
12.5128	362.6067
15.3416	361.1264
17.6317	360.6187
19.277	360.1212
21.0409	359.5418
24.1201	359.6152 OS
27.743	359.935
32.4347	359.992
34.1333	360.2867
36.0501	361.6389
39.2628	364.3592
42.6072	364.3592



Predvideni prečni profili prevedeni na zapis programskega orodja HEC-RAS:

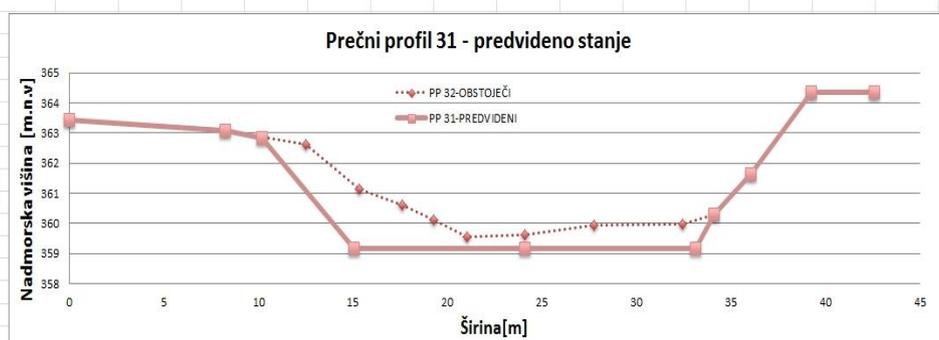
Tabela: Profil 31

x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]
0	363.5213
7.0199	364.0435
7.7146	364.1937
9.4611	363.6945
13.0361	361.1505
17.3697	358.6796
25.3697	358.6796 OS
33.3697	358.6796
34.3983	359.1495
38.5116	361.743
40.6632	363.5522
43.8095	365.633
45.5138	365.633

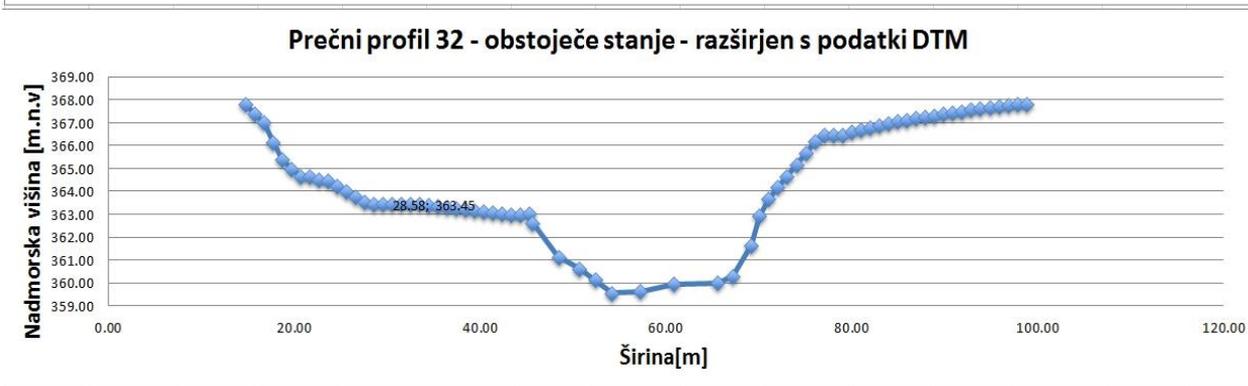
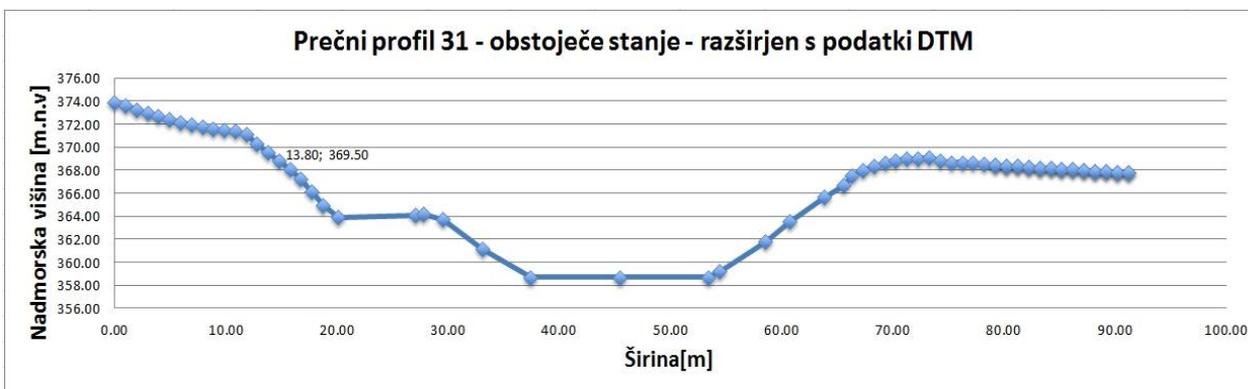


Profil 32

x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]
0	363.4263
8.2464	363.0814
10.1962	362.847
15.0832	359.1807
24.09925	359.1807 OS
33.1153	359.1807
34.1333	360.2867
36.0501	361.6389
39.2628	364.3592
42.6072	364.3592



Obstoječi prečni profili združeni s podatki digitalnega modela terena (DTM), pridobljenimi z vmesnikom HEC-GeoRas (točka 4.1):



Postopek združevanja (razširitve) prečnih profilov idejnega projekta s podatki digitalnega modela terena (DTM) za preči profil 31 je prikazan v naslednji tabeli:

PP31-Digitalni model terena(DTM)						
			x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]		
			0.00	373.88		
			0.99	373.57		
			1.97	373.24		
			2.96	372.93		
			3.94	372.66		
			4.93	372.40		
			5.91	372.16		
			6.90	371.94		
			7.89	371.75		
			8.87	371.58		
			9.86	371.47		
			10.84	371.39		
			11.83	371.07		
			12.82	370.29		
			13.80	369.50		
			14.79	368.77		
			15.77	368.03	63.34	365.42
			16.76	367.22	64.34	366.01
			17.74	366.09	65.33	366.75
			18.73	364.95	66.32	367.52
			19.72	363.99	67.32	368.00
			20.70	363.90	68.31	368.31
			21.69	363.64	69.31	368.58
			22.67	363.72	70.30	368.83
			23.66	363.78	71.30	369.00
			24.64	363.85	72.29	368.94
Obstoječe stanje: PP31			25.63	363.91	73.29	369.10
			26.62	363.97	74.28	368.77
Prenos točk X	x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]	27.60	364.02	75.27	368.65
7.02	0.00	363.52	28.59	364.02	76.27	368.64
0.69	7.02	364.04	29.57	363.87	77.26	368.57
1.75	7.71	364.19	30.56	363.47	78.26	368.49
3.58	9.46	363.69	31.55	363.01	79.25	368.42
4.74	13.04	361.15	31.56	361.15	80.25	368.36
2.91	17.78	360.36	36.31	360.36	81.24	368.31
3.57	20.69	359.38	39.21	359.38	82.24	368.26
2.65	24.26	359.12	42.79	359.12	83.23	368.19
Os	26.91	359.17	45.44	359.17	84.23	368.13
2.65	29.57	359.23	48.09	359.23	85.22	368.07
4.83	34.40	359.15	52.92	359.15	86.21	368.02
4.11	38.51	361.74	57.04	361.74	87.21	367.96
2.15	40.66	363.55	59.19	363.55	88.20	367.92
3.15	43.81	365.63	60.36	363.61	89.20	367.87
1.70	45.51	365.63	61.35	364.35	90.19	367.81
			62.35	364.91	91.19	367.74

PP32-Digitalni model terena(DTM)

		x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]				
		14.78	367.79				
		15.77	367.37				
		16.75	367.00				
		17.74	366.14				
		18.72	365.36				
		19.71	364.98				
		20.69	364.65				
		21.68	364.64				
		22.66	364.49				
		23.65	364.45				
		24.63	364.21				
		25.62	363.98				
		26.61	363.76				
		27.59	363.52				
		28.58	363.45	71.05		363.66	
		29.56	363.42	72.04		364.16	
		30.55	363.43	73.03		364.65	
		31.53	363.43	74.02		365.15	
		32.52	363.44	75.01		365.66	
		33.50	363.41	76.00		366.17	
		34.49	363.37	76.99		366.43	
		35.47	363.32	77.98		366.46	
		36.46	363.27	78.98		366.46	
		37.44	363.24	79.97		366.57	
		38.43	363.21	80.96		366.68	
		39.41	363.14	81.95		366.76	
		40.40	363.10	82.94		366.86	
		41.39	363.05	83.93		366.95	
		42.37	362.99	84.92		367.04	
Obstoječe stanje: PP32		43.36	362.96	85.91		367.11	
		44.34	362.97	86.90		367.17	
Prenos točk X	x-širina [m]	z-nadmorska višina [m.n.v]					
	2.83	12.51	362.61	45.33	363.00	87.89	367.23
	2.29	15.34	361.13	45.58	362.61	88.88	367.30
	1.65	17.63	360.62	48.41	361.13	89.87	367.36
	1.76	19.28	360.12	50.70	360.62	90.86	367.42
	1.76	19.28	360.12	52.35	360.12	91.85	367.49
	3.08	21.04	359.54	54.11	359.54	92.84	367.55
OS	24.12	359.62	57.19	359.62	93.83	367.61	
	3.62	27.74	359.94	60.81	359.94	94.82	367.66
	4.69	32.43	359.99	65.50	359.99	95.81	367.71
	1.70	34.13	360.29	67.20	360.29	96.80	367.75
	1.92	36.05	361.64	69.12	361.64	97.79	367.79
				70.06	362.93	98.78	367.81