

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:

Lestan, T., 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Rak, G.): 31 str.

Datum arhiviranja: 09-10-2014

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Lestan, T., 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Rak, G.): 31 pp.

Archiving Date: 09-10-2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

**TIMOTEJ LESTAN**

**UPORABA SONARAVNIH UKREPOV PRI UREDITVI  
VODOTOKA**

Diplomska naloga št.: 162/B-GR

**THE USE OF SUSTENABLE MEASURES IN  
WATWRCOURSE ENGINEERING**

Graduation thesis No.: 162/B-GR

**Mentor:**  
prof. dr. Franc Steinman

**Predsednik komisije:**  
izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentor:**  
asist. mag. Gašper Rak

Ljubljana, 25. 09. 2014

Lestan, T. 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

---

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>

## **IZJAVE**

Podpisani **Timotej Lestan** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka**«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Ljubljana, 8. 9. 2014

Timotej Lestan

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK: 556.1:624(497.4)(043.2)**

**Avtor: Timotej Lestan**

**Mentor: prof. dr. Franci Steinman**

**Somentor: asist. mag. Gašper Rak**

**Naslov: Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka**

**Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij**

**Obseg in oprema: 31 str., 4 pregl., 23 sl., 7 en., 14. pril.**

**Ključne besede: sonaravni ukrepi, vodni tok, posegi, hidravlika, Vrtojba**

### **Izvleček**

V diplomski nalogi je obravnavana hidravlična analiza izbranega odseka na potoku Vrtojba v občini Šempeter-Vrtojba. V analizi so bile obravnavane mehanske obremenitve glavnega kanala in bregov v primeru velikih pretokov. V programskem okolju ESRI ArcGIS so bili obdelani in pripravljene podatki o topografiji obravnavanega območja. S pomočjo programskega dodatka HEC-GeoRAS so bili pripravljene podatki batimetrije in obvodnega prostora za hidravlični model, s katerim je bila v programu HEC-RAS opravljena hidravlična analiza za dva različna poplavna vala in srednji pretok. Na podlagi rezultatov za stoletni poplavni val so bili identificirani in analizirani odseki, kjer strižne napetosti močno presegajo strižno odpornost. Za posamezne odseke so posebej za strugo in brežine predlagani prečni in vzdolžni sonaravni ukrepi za ureditev in izboljšanje stanja v vodotoku. Podani so tudi predlogi vzdrževanja struge potoka in poplavnih ravníc. Poudarek diplomske naloge je prikazati uporabnost sonaravnih ukrepov pri celostnem projektiranju ureditve območja vodotoka z upoštevanjem tako hidravličnih kot ekoloških zahtev.

## **BIBLIOGRAPHICAL AND DOCUMENTATIONAL PAGE AND ABSTRACT**

**UDC: 556.1:624(497.4)(043.2)**

**Author: Timotej Lestan**

**Supervisor: Prof. Franci Steinman, Ph.D.**

**Cosupervisor: Assist. Gašper Rak, M.Sc.**

**Title: The Use of Sustainable Measures in Watercourse Engineering**

**Document type: Graduation Thesis – University studies**

**Length and equipment: 31 p., 4 tab., 23 fig., 7 eq., 14 ann.**

**Keywords: sustainable measures, the flow of water, interventions, hydraulics, Vrtojba**

### **Abstract**

The thesis discusses the hydraulic analysis of the chosen section of the Vrtojba river in the municipality of Šempeter-Vrtojba. Through analysis, the mechanical loads of the river's main channel and of the banks in the case of a great flow are presented. The data about the topography of the given area was prepared and processed using the ESRI ArcGIS software. With the help of the software extension HEC-GeoRAS, the data about bathymetry and the waterside area for the hydraulic tool HEC-RAS was prepared, with the help of which the hydraulic analysis of different flood waves and the medium flow was made. The sections of the given area where the shear stress surpassed the shear resistance were located and analyzed on the basis of the results of the 100 year flood wave. For these areas for the main channel and banks the sustainable measures for watercourse regulation are proposed. Advices for maintenance of channel and flood plans were given. The aim of the thesis is to show the usability of sustainable measures in the case of integral planning of the regulation of areas, incorporating the hydraulic, as well as the ecological demands.

Lestan, T. 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka.  
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

---

## **ZAHVALA**

Zahvala mentorju in somentorju za strokovno pomoč, staršem za finančno pomoč, puncu in Andreju Cverletu iz Inštituta za vodarstvo za prostorske in hidrološke podatke o obravnavanem območju.

**KAZALO VSEBINE**

1 Uvod.....	1
2 Teoretična izhodišča .....	2
2.1 Pregled predpisov.....	2
2.1.1 Vodna direktiva .....	2
2.1.2 Poplavna direktiva.....	2
2.1.3 Zakon o ohranjanju narave.....	3
2.1.4 Zakon o vodah.....	3
2.1.4.1 Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženosti zaradi poplav in z njimi ....	3
povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede	
ogroženosti.....	3
2.1.4.2 Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na .....	4
območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja .....	4
2.2 Sonaravni ukrepi .....	4
2.2.1 Sonaravni ukrepi na brežinah.....	5
2.2.2 Prečni sonaravni ukrepi v strugi.....	8
2.2.3 Sonaravni ukrepi na kmetijskih površinah in poplavnih ravninah.....	10
2.2.4 Vzdrževanje živih delov sonaravnih ukrepov .....	10
2.3 Hidravlična izhodišča .....	10
2.3.1. Enodimenzionalni tok s prosto gladino .....	11
2.3.1.1 Stalni enakomerni in nestalni tok .....	11
2.3.1.2 Manningova enačba za račun povprečne hitrosti.....	12
2.3.2 Strižne napetosti .....	12
2.3.3 Strižna odpornost zemljin .....	13
2.4 Uporabljeno programsko orodje .....	13
2.4.1 Hidravlično programsko orodje HEC-RAS .....	13
2.4.2 Geografsko programsko orodje ESRI ArcGIS .....	14
2.4.3 Programska razširitev HEC-GeoRAS orodja ESRI ArcGIS.....	14
3 Opis obravnavanega območja.....	15
3.1 Obravnavani odsek.....	16
3.1.1 Vir topografskih podatkov in izdelava modela .....	16
3.1.2 Izbrani podatkovni model .....	17



---

3.2 Hidrološki podatki in hidravlični robni pogoji.....	17
3.3 Kmetijska raba tal .....	17
4 Hidravlični izračuni in rezultati rečnega odseka .....	18
4.1 Priprava geometrijskega modela .....	18
4.2 Hidravlična analiza s programskim orodjem HEC-RAS .....	19
4.2.1 Geometrija.....	19
4.2.2. Določitev koeficienta hrapavosti - $n_G$ .....	19
4.2.3 Pretoki z različnimi povratnimi dobami in hidravlični robni pogoj .....	19
4.3 Rezultati hidravlične analize.....	20
4.4 Ugotovitve .....	21
5 Predlog ureditve vodotoka.....	23
5.1 Pred ureditvijo.....	23
5.2 Ureditev po posameznih odsekih .....	24
5.3 Vzdrževanje poplavnih ravníc .....	26
5.4 Primerjava globin vodotoka pred in po ureditvi.....	27
6 Zaključek.....	28
Viri.....	29

## **KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Maksimalne dovoljene vrednosti po Fortieru in Scorbeyu.....	13
Preglednica 2: Del podatkov desetletnega poplavnega vala.....	17
Preglednica 3: Delni rezultati za prečne profile za 100-letni poplavni val – sedanje stanje. ....	21
Preglednica 4: Primerjava dejanskih hitrosti vode in strižnih napetosti z dovoljenimi pri najbolj izpostavljenih prerezih .....	21

## KAZALO SLIK

Slika 1: Kamnomet s potaknjenci .....	5
Slika 2: Kokosova vlaknata tonjača .....	6
Slika 3: Obrežna pilotna stena - kašta .....	6
Slika 4: Živi potaknjenci s kokosovimi tonjačami .....	7
Slika 5: Živi količki .....	7
Slika 6: Tonjača napolnjena s potaknjenci oz. semeni .....	7
Slika 7: Vrbove fašine .....	8
Slika 8: Postavitev jezbic .....	9
Slika 9: Živo grmovno pero .....	9
Slika 10: Ureditev kmetijskih površin s postavitvijo prečnih kamnitih zložb .....	10
Slika 11: Matica toka in izotahe .....	11
Slika 12: Ortofoto posnetek območja z vrisanimi prečnimi profili .....	15
Slika 13: (a) izliv odplak in (b) zanemarjenost obvodnega prostora .....	16
Slika 14: Parceli s statusom trajnega travnika .....	17
Slika 15: Prikaz lokacij prečnih profilov .....	18
Slika 16: Vnos robnih pogojev pri nestalnem toku v programu HEC-RAS .....	20
Slika 17: Grafični prikaz hidravlične analize v programu HEC-RAS .....	20
Slika 18: Kritična mesta na obravnavanem odseku .....	22
Slika 19: Lokacije predlaganih ukrepov .....	23
Slika 20: Granata iz 1. sv. vojne .....	23
Slika 21: Posamezni odseki .....	24
Slika 22: Drevesa navadne robinije na obravnavanem odseku .....	26
Slika 23: Primerjava globin vodotoka: sedanje in načrtovano stanje pri pretoku $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	27

**»Ta stran je namenoma prazna.«**

## 1 UVOD

Voda je vir življenja. Za človekov obstoj in napredek je prisotnost te dragocene tekočine v vseh njenih oblikah ključna; voda mora biti vedno, vsakodnevno na dosegu roke. Vendar voda človeku predstavlja tudi nevarnost ali nevšečnost in lahko ogroža tako posameznika kot celotno skupnost. Zato so bili že naši predniki vedno pozorni na naravo, opazovali so spreminjanje okolja in spremljali pojave v njem. Znali so izkoristiti vodo in njeno moč, gradili so mline, uporabljali so vodnjake. Z večanjem števila prebivalstva se je začel širiti tudi naš življenjski prostor in tako vedno bolj posegamo v obvodni prostor. Z znanjem in pridobljenimi izkušnjami poskušamo ob tem razumeti njegove zakonitosti in se zavedati njegovega vsesplošnega pomena.

Slovenija je ena izmed bolj vodnatih dežel. Ponaša se z več kot 26 tisoč kilometri rek in hudournikov kar predstavlja eno gostejših hidrografskih mrež na svetu. Vode so eno največjih slovenskih bogastev, imajo okoljski, ekonomski, socialni in kulturni pomen. Vodno načrtovanje mora biti zato premišljena ter družbeno in okoljsko koristna dejavnost (Inštitut za vode RS, 2014).

Diplomska naloga poskuša prikazati praktično uporabo sonaravnih ukrepov na primeru urejanja vodotoka. S premišljenim načrtovanjem želimo doseči urejen, hidravlično ugoden in ekološko sprejemljiv vodotok. V sodobnem času namreč (ponovno) stopa v ospredje pomen habitata za rastline in živali. Pomembna je naravna dinamika vodotoka. Treba je izbirati načine urejanja, ki ugodno vplivajo na okolje, njihove morebitne neugodne vplive pa čim bolj zmanjšati. Mednje sodijo tudi sonaravni ukrepi urejanja vodotokov.

Uporaba sonaravnih ukrepov je način ureditve, ki ob hidravličnih pogojih vodotoka kot enakovredno upošteva tudi skrb za ohranjanje in obnavljanje narave ter se zaradi svojih lastnosti v primerjavi z ostalimi gradbenimi ukrepi vanjo bolje umešča. Stremimo k izboru naravnih materialov (les, kamen, živi deli rastlin) in načinom gradnje, ki kar najmanj obremenjujejo okolje (ročna izdelava elementov, izogibanje težki mehanizaciji). Poleg tega ima lahko taka izbira ukrepov pozitivne ekonomske učinke (cenejši materiali, cenejša izgradnja). Ponekod zaradi nedostopnega terena tak način gradnje še vedno predstavlja edini možni način urejanja vodotoka. Pri uporabi tovrstnih ukrepov je nujno upoštevati, da zaradi svoje narave velikokrat dosežejo polno funkcionalnost šele po določenem časovnem obdobju. Posebno pozornost pa je potrebno posvetiti tudi njihovem vzdrževanju.

Poudarek diplomske naloge je na uporabi sonaravnih ukrepov v primeru erozije v vodotoku. Z računalniškim programom je bil analiziran izbran odsek vodotoka. Na dobljenih kritičnih mestih so bili predlagani ukrepi za zmanjšanje vodnega vpliva in posledic ob hkratnem enakovrednem upoštevanju hidravličnih zahtev in ekološkega vidika gradnje.

## 2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

V tem poglavju so predstavljena in opisana izhodišča, na katerih temelji diplomska naloga. Izhajajo iz področij zakonodaje, hidravličnih izračunov, sonaravnih ukrepov in programske opreme.

### 2.1 Pregled predpisov

Slovenija je od leta 2004 članica Evropske unije, zato evropski predpisi veljajo tudi v Sloveniji in se vključujejo v slovensko zakonodajo. V nadaljevanju so na kratko napisani poudarki zakonov in predpisov.

#### 2.1.1 Vodna direktiva

Vodna direktiva (2000/60/ES) je dokument izdan s strani Evropske skupnosti, ki daje državam članicam enotne usmeritve pri urejanju vodnih teles na nacionalnem in mednarodnem nivoju. Vodna telesa in njihova prispevna območja skupaj s podzemnimi vodami in poplavnimi ravnici tvorijo nedeljive ekološke enote, ki jih je potrebno pri projektiranju upoštevati (Globevnik in sod., 2006).

Direktiva določa, da se ekološko stanje vodnih teles razvršča v pet kakovostnih razredov, od »zelo dobro«, »dobro«, »zmerno dobro«, »slabo« do »zelo slabo«, pri čemer naj bi do leta 2015 vsa vodna telesa dosegla razred »dobrega stanja«. Iz zahteve so izvzeta »umetna« in »močno preoblikovana« vodna telesa. Takšna telesa morajo dosegati zgolj »dober ekološki potencial«. Pri doseganju cilja ohranjanja »dobrega stanja voda« je posebno pozornost potrebno nameniti zmanjševanju obremenitev vodnih teles in izboljšanju kemijskega, ekološkega in količinskega stanja voda (Globevnik in sod., 2006).

#### 2.1.2 Poplavna direktiva

Poplavna direktiva (2007/60/ES) je dokument izdan s strani Evropske skupnosti, ki celovito ureja poplavno problematiko. Ureja načine obvladovanja poplavne ogroženosti na ravni preventivnega ravnanja z določitvijo ciljev in izvajanja ukrepov za omilitev učinkov poplav oz. njihovo preprečevanje.

Direktiva opredeljuje in vključuje poplave, ki jih povzročijo reke, gorski hudourniki, občasni vodotoki ter poplave iz kanalizacijskih sistemov. Poplavna ogroženost pa je kombinacija verjetnosti nastopa poplavnega dogodka in potencialno škodljivih posledic za zdravje ljudi, okolje, kulturno dediščino in gospodarske dejavnosti. Poplavna direktiva v okviru skupne vodne politike Evropske zveze dopolnjuje vodno direktivo, ki poleg razvoja celovitih načrtov upravljanja s ciljem doseganja dobrega ekološkega stanja, zahteva tudi načrtovanje in izvajanje ukrepov za blažitev posledic poplav (Zorn in sod., 2010).

### **2.1.3 Zakon o ohranjanju narave**

Zakon o ohranjanju narave (Ur. l. RS, št. 56/99, 31/00, 119/02, 22/03, 41/04, 96/04 in 46/14) določa ukrepe ohranjanja biotske raznovrstnosti in sistem varstva naravnih vrednot z namenom prispevati k ohranjanju narave. Ukrepi ohranjanja biotske raznovrstnosti so ukrepi, s katerimi se ureja varstvo prosto živečih rastlinskih in živalskih vrst, vključno s habitati ter ekosistemi, in omogočajo trajnostno rabo sestavin biotske raznovrstnosti ter zagotavlja ohranjanje naravnega ravnovesja. Naravno ravnovesje je stanje medsebojno uravnoveženih odnosov in vplivov živih bitij med seboj in z njihovimi habitati. Programi in načrti razvoja na posameznih področjih, ki lahko prispevajo k ohranjanju biotske raznovrstnosti, morajo na svojih področjih izkazovati in zagotavljati izvajanje ukrepov, s katerimi prispevajo k ohranjanju biotske raznovrstnosti. Mednje sodijo tudi sonaravni ukrepi.

### **2.1.4 Zakon o vodah**

Zakon o vodah (Ur. l. RS, št. 67/02) ureja upravljanje z morjem, celinskimi in podzemnimi vodami ter vodnimi in priobalnimi zemljišči. Obsega upravljanje in varstvo voda, ter urejanje in odločanje o rabi vodnega okolja. Cilji zakona so doseganje dobrega stanja voda in drugih, z vodami povezanih ekosistemov, zagotavljanje varstva pred škodljivim delovanjem voda, ohranjanje in uravnavanje vodnih količin in spodbujanje trajnostne rabe voda, ki omogoča različne vrste rabe voda ob upoštevanju dolgoročnega varstva razpoložljivih vodnih virov in njihove kakovosti. Zakon še narekuje, da je vsakdo dolžan varovati kakovost in količino voda ter jo uporabljati tako, da čim manj vpliva na naravno ravnovesje vodnih in obvodnih ekosistemov.

#### **2.1.4.1 Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženosti zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti**

Pravilnik (Ur. list, št. 60/2007) določa območja, ogrožena zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja. Določa način določanja poplavnih in erozijskih območij, razvrščanja zemljišč v razrede poplavne in erozijske ogroženosti in merila za določanje razredov poplavne in erozijske ogroženosti. Pravilnik pojasnjuje tudi izraze, ki so med drugim uporabljeni v tej diplomski nalogi:

- poplava, je naravni pojav začasne preplavljenosti zemljišč, ki z vodo običajno niso preplavljena,
- erozija, je naravni pojav odplavljanja in odlaganja preperelega kamninskega materiala vodnih in priobalnih zemljišč celinskih voda in morja,
- elementi ogroženosti so predvsem ljudje, okolje, gospodarske in negospodarske dejavnosti ter kulturna dediščina,
- območje poplavne in erozijske nevarnosti je območje, na katerem je na podlagi analize geografskih in geoloških značilnosti prostora, hidroloških podatkov in značilnosti vodnega toka določena verjetnost nastanka naravnega pojava, lahko pa tudi njihova moč,

- pretok  $Q(10)$  je vrednost pretoka vode, ki je v določenem letu lahko dosežen ali presežen z verjetnostjo 10 % in
- pretok  $Q(100)$  je vrednost pretoka vode, ki je v določenem letu lahko dosežen ali presežen z verjetnostjo 1 %.

Poplavna in erozijska območja in z njimi povezana ogroženost se določa s ciljem:

- ocene poplavnih in erozijskih razmer na določenem območju,
- načrtovanja ukrepov za zmanjševanje poplavne in erozijske ogroženosti,
- načrtovanja rabe prostora,
- načrtovanja ukrepov zaščite in reševanja ob poplavih,
- ozaveščanja javnosti glede poplavne in erozijske nevarnosti oziroma ogroženosti in
- izvajanja mednarodnih obveznosti.

#### **2.1.4.2 Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja**

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (Ur. list, št. 89/2008) v skladu z direktivo določa pogoje in omejitve za posege v prostor in izvajanje dejavnosti na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, za posege v okolje, ki v primeru poplav in z njimi povezane erozije lahko ogrožajo vodno okolje, ter za načrtovanje rabe prostora in preventivnih ukrepov za zmanjševanje poplavne ogroženosti.

Pogoji in omejitve iz te uredbe so namenjeni:

- zmanjševanju poplavne in erozijske ogroženosti prebivalcev, gospodarskih dejavnosti in kulturne dediščine, v skladu s predpisi o vodah in s predpisi o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami,
- ohranitvi vodnega in obvodnega prostora, potrebnega za poplavne in erozijske procese in
- zagotavljanju okoljskih ciljev na območjih poplav in erozije v skladu s predpisi o varstvu okolja in s predpisi vodah.

Uredba se izvaja na osnovi kart poplavnih nevarnosti Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženosti zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti.

## **2.2 Sonaravni ukrepi**

V sodobnem času stopajo v ospredje ukrepi, ki poleg opravljanja svoje osnovne hidravlične funkcije tudi izboljšujejo oz. ohranjajo naravno okolje. Sonaravni ukrepi oblikujejo in varujejo površine vodotoka upoštevaje hidravlične zahteve ob hkratnem opravljanju ekoloških in estetskih funkcij. Cilj inženirskobioloških vodnih zgradb je v ustvarjanju stabilne, lokacijsko ustrezne vegetacije, ki



zadostno ščiti obrežje pred učinki vode in tako vodotoke kot pokrajino ekološko in estetično obogati ter se je sposobna sama obnovljati in nadalje razvijati (Kogovšek, 2012).

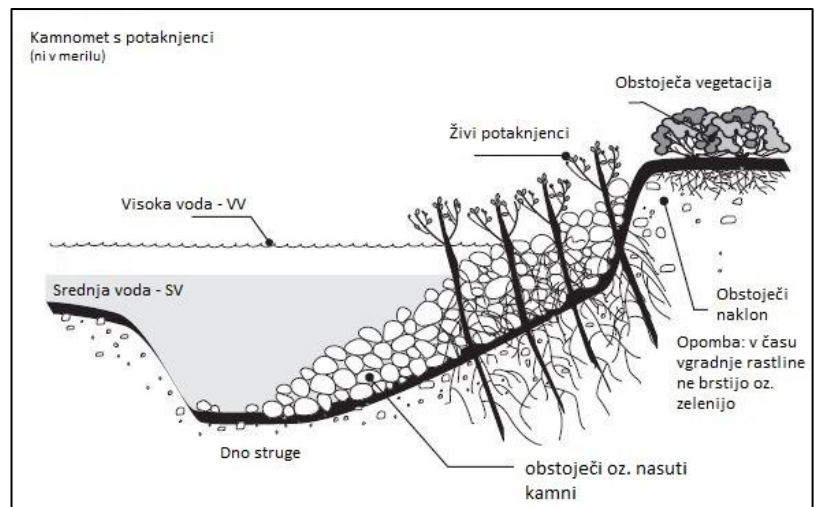
Za rečni ekosistem je dobro, da ima odseke z različnimi globinami vode (odseke s tolmoni omogočamo z ukrivljenostjo osi vodotoka), odseke s prodonosnostjo (omogočamo jih z razgibanim dnom, z obrežno zaraščenostjo), omogočeno mora biti nemoteno prehajanje živali (izogibamo se ukrepom, ki onemogočajo prehajanja živalim vzdolž in prek vodotoka), ustvarjati moramo ustrezne habitate za raznovrstni vodni živelj (obraščenost bregov) ipd.

### 2.2.1 Sonaravni ukrepi na brežinah

V nadaljevanju so opisno in shematsko predstavljeni nekateri sonaravni ukrepi, ki so bili upoštevani pri predvideni ureditvi brežin izbranega odseka. K opisom so dodane tudi njihove odpornosti na strig in hitrost vode.

- **Kamnomet s potaknjenci**

Kamnomet s potaknjenci (ang. Joint planting) je kamnomet med katere posadimo potaknjence. Potaknjenci so odrezani deli rastline, ki s svojim razraščanjem sčasoma prekrijejo kamnomet in tako skupaj zagotavljajo habitat vodnim živalim. Korenine potaknjencev delujejo kot armatura in preprečujejo izpiranje prsti. Ukrep je primeren pri



velikih strižnih silah in izraziti bočni eroziji. Deluje ugodno pri izsuševanju zaledja in je polnofunkcionalen že kmalu po vgradnji. Možna je tudi nadgradnja že obstoječega kamnometa.

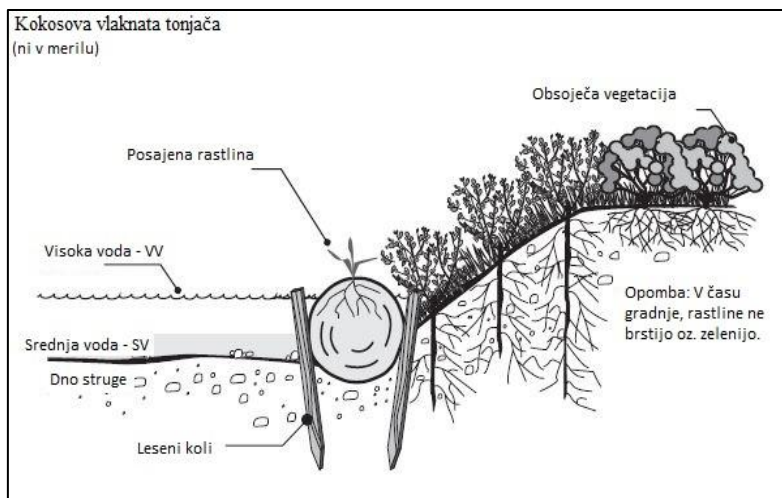
Začetna strižna odpornost:  $143 + N/m^2$ .

Strižna odpornost:  $287 - 383 + N/m^2$ .

Začetna dovoljena hitrost:  $1,5 - 3 + m/s$ .

Največja dovoljena hitrost vode:  $3,6 + m/s$ .

- **Kokosova vlaknata tonjača**



Slika 2: Kokosova vlaknata tonjača (vir: U. S. Forest Service: str. 86.)

Kokosove vlaknate tonjače (ang. Coconut fiber roll) so tonjače navadno polnjene z okolno zemljino, premera 30 cm in dolžine do 4 m. Njihova življenjska doba je od 6 do 10 let. Na mesto vgradnje jih pritrdimo z manjšimi lesenimi koli. Primerne so za zaščito spodnjega roba manjših brežin in tam, kjer je nevarnost zdrsa zemljine.

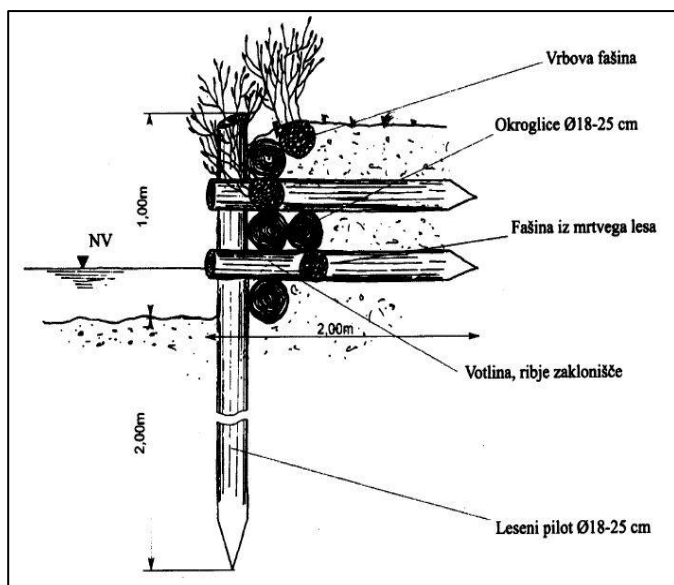
Začetna strižna odpornost: 143–236 N/m<sup>2</sup>

Strižna odpornost: 191–383 N/m<sup>2</sup>

Začetna dovoljena hitrost vode: 2,4 m/s – brez izrastka.

Največja dovoljena hitrost vode: 2,8 m/s – z izrastkom.

- **Obrežna pilotna stena – kašta**

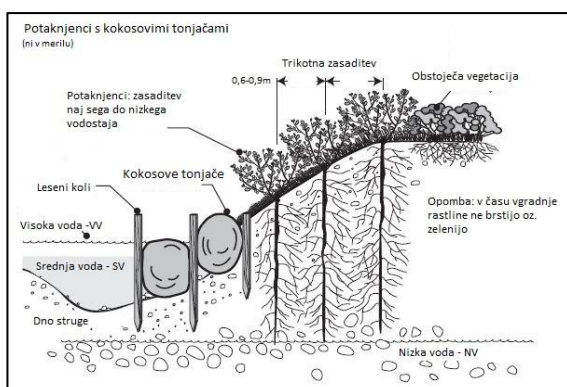


Slika 3: Obrežna pilotna stena - kašta (Florineth, 2004: str. 145)

Obrežna pilotna stena (nem. Uferpfahlwand) je lesena stena zgrajena iz navpičnih lesenih kolov in vodoravno položenih, vkopanih in zabitih okroglic. Prostor med njimi je zapolnjen z večjimi kamni ali mrtvim lesom. Na vrhnjem delu se položijo žive fašine. Vse skupaj je pokrito s tanko plastjo okolne zemljine. Primerna je za odseke, kjer potrebujemo vertikalno brežino oz. kjer smo omejeni s prostorom (Kogovšek, 2012).

Odpornost takega ukrepa je v veliki meri odvisna od samega načina gradnje kot tudi vrste pilotov in zemljine.

- **Živi potaknjenci s kokosovimi tonjačami**



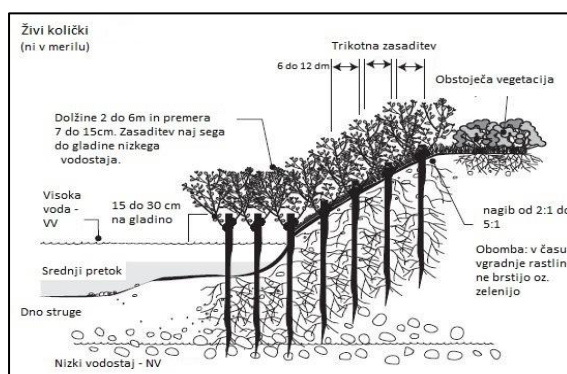
Slika 4: Živi potaknjenci s kokosovimi tonjačami (vir: U. S. Forest Service: str. 104)

Ukrep je kombinacija živih potaknjencev (ang. Live Stakes) in kokosovih tonjač. Nad kokosove tonjače pritrjene z lesenimi koli posadimo vrbove potaknjence. Primeren ukrep tam, kjer je treba brežino utrditi ali jo izsuševati. Deluje ugodno na razširjanje že tam prisotnega rastlinja. Idealno na mestih, kjer je treba hitro in ekonomično ukrepati.

Strižna odpornost: 100–148 N/m<sup>2</sup>.

Dovoljena hitrost vode: 0,9–3 m/s.

- **Živi količki**



Slika 5: Živi količki (vir: U. S. Forest Service: str. 100)

Živi količki (ang. Live posts) so različni potaknjenci in odrezanci primerni za zasaditev in rast. Posadimo jih tam, kjer je treba zmanjšati hitrost vodnega toka in želimo povečati nalaganje materiala. Primeren ukrep na stabilnih, slabo prepustnih brežinah. Njihova zasaditev se priporoča tam, kjer je treba brežino ozeleniti in oživiti s tam prisotnimi rastlinami.

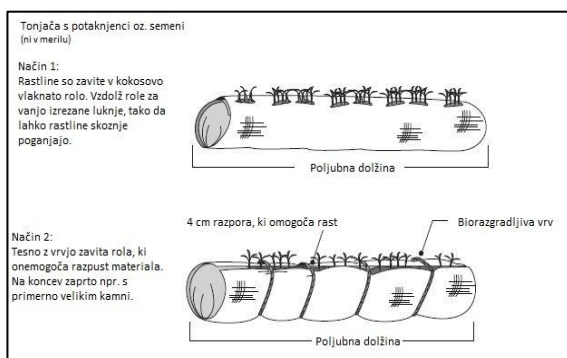
Začetna strižna odpornost: 24–95 N/m<sup>2</sup>.

Strižna odpornost: 95–240 N/m<sup>2</sup>.

Začetna dovoljena hitrost vode: 0,3–0,76 m/s.

Dovoljena hitrost vode: 0,9–3 m/s.

- **Tonjača napolnjena s potaknjenci oz. semeni**



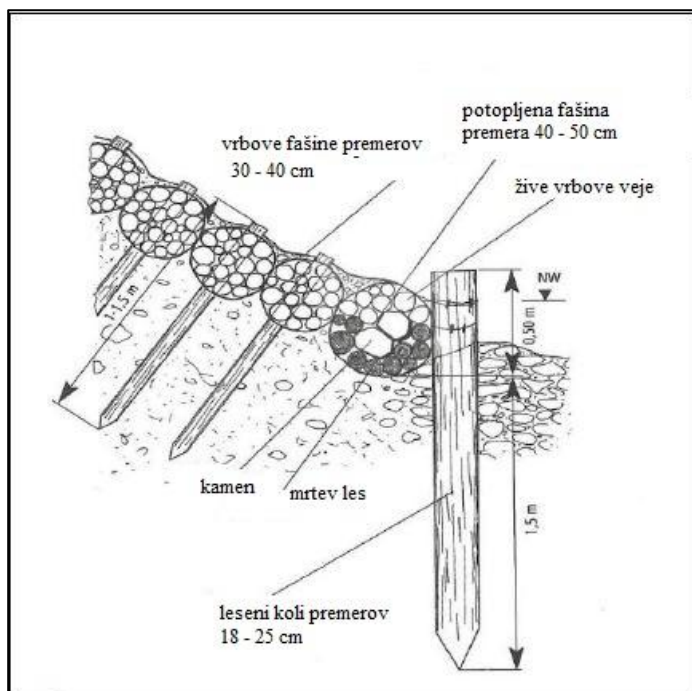
Slika 6: Tonjača napolnjena s potaknjenci oz. semeni (vir: U. S. Forest Service: str. 110)

Tonjačo napolnjeno s potaknjenci oz. semeni (ang. Wrapped plant roll) pripravimo tako, da potaknjence oz. semena skupaj z zemljino zavijemo v geotekstilni zvitek. Geotekstil prepušča vodo, a zadržuje zemljino, zato je idealna podlaga za kalitev semen. Zmanjšuje erozijo in povečuje disipacijo vodne energije. Idealno za hitro in ekonomično sanacijo brežin.

Strižna odpornost: 143–240 N/m<sup>2</sup>.

Največja dovoljena hitrost vode: 2,4 m/s.

- **Vrbove fašine**



Slika 7: Vrbove fašine (vir: Florineth, 2004: str. 135)

Sestoj posamezne vrbove fašine (nem. Weidenfaschine) je šop vej zvezanih z žico, celoten ukrep pa je sestavljen iz več eno poleg druge zloženih fašin oprtih na lesene kole medsebojne razdalje enega metra. Priporočena je uporaba za zaščito brežin pred erozijo pri srednje velikih strižnih obremenitvah (Florineth, 2004).

Največja strižna odpornost: 200 N/m<sup>2</sup>.

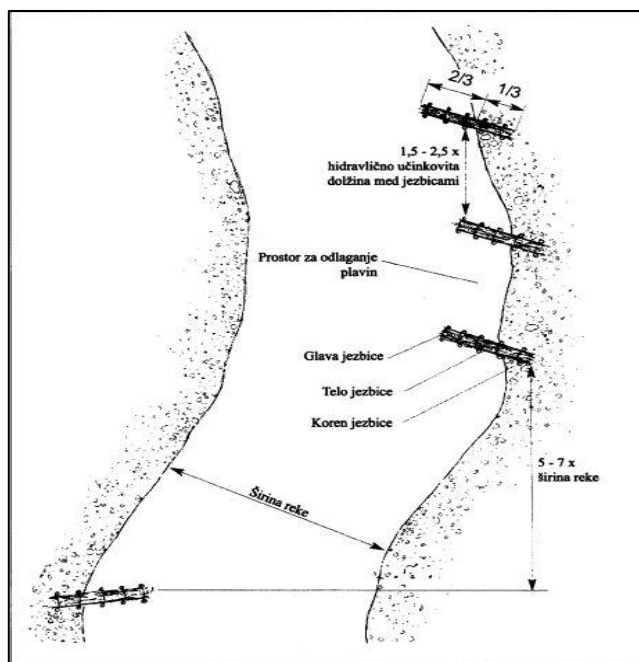
Dovoljena hitrost vode: 3,3–3,8 m/s.

### 2.2.2 Prečni sonaravni ukrepi v strugi

Uporaba prečnih sonaravnih ukrepov v strugi je večplastna. Bodisi umirjajo tok in hitrost vode, lahko usmerjajo tok, spreminjajo globine struge (ustvarjajo tolmane, plitvine) ali pa varujejo brežine. Gradnja večine ukrepov zahteva nizek vodostaj in je priporočljiva med vegetacijskim obdobjem mirovanja.

- **Žive jezbece**

Žive jezbece so grajene iz debel, vrbovih popletov, različnih vrst fašin, vejevja, lahko pa tudi s kamnometi in lesenimi koli. Z njihovo umestitvijo v strugo pridobimo želeno spreminjanje smeri toka in zaščito določenih delov brežin. Zmanjšamo vlečno silo vode in dosežemo želeno razgibanost dna (Kogovšek, 2012).

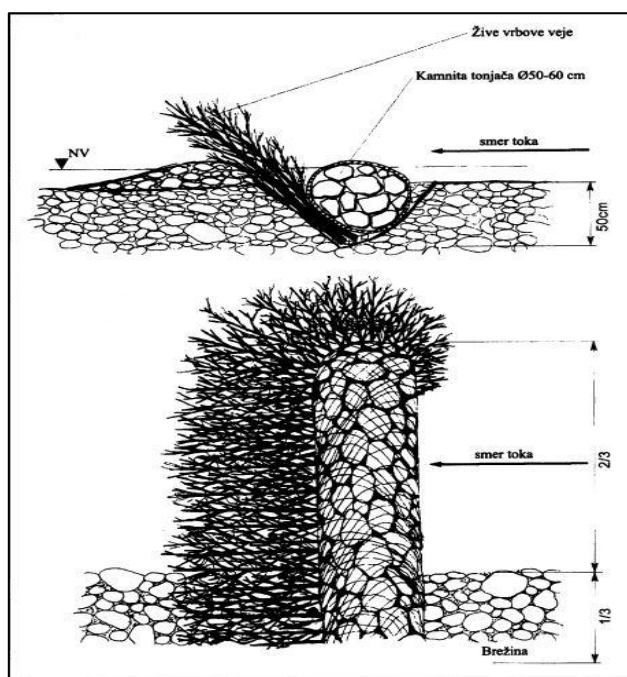


Slika 8: Postavitev jezbic (Florineth et al., 2007: str. 87)

- **Živa grmovna peresa**

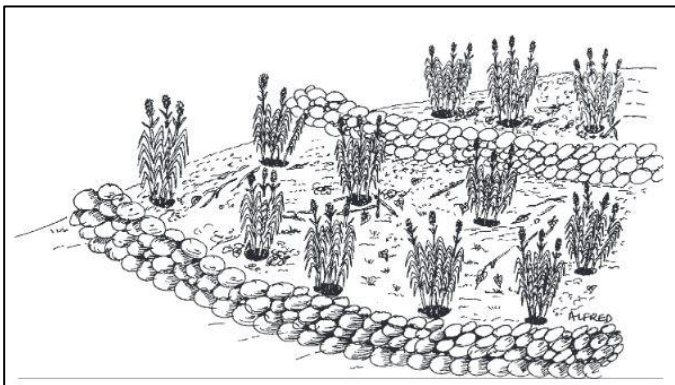
Živa grmovna peresa so sestavljena iz vrbovih ali topolovih vejevij, kamnitih tonjač, lahko pa se pri izvedbi, za močnejšo pritrditev, uporabi tudi lesene pilote. Grmovna peresa pripomorejo k zmanjševanju hitrosti vode in povzročajo odlaganje materiala (Kogovšek, 2012).

Največja strižna obremenitev:  $150 \text{ N/m}^2$ .



Slika 9: Živo grmovno pero (Florineth et al, 2007: str. 94)

### 2.2.3 Sonaravni ukrepi na kmetijskih površinah in poplavnih ravninah



Slika 10: Ureditev kmetijskih površin s postavitvijo prečnih kamnitih zložb (vir: Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo, 2014: str. 6.)

Vodni tok na kmetijskih površinah, kjer praviloma ni prisoten, povzroči erozijo rodovitnih tal in spreminjanje oblike polj. Zato je pomembno, da čim bolj zmanjšamo vodno moč na takih površinah. Umirjanje vodnega toka poteka na več načinov. To lahko storimo s postavitvijo polj in kolovozov prečno na poplavni tok, z negovanjem mejic ipd.

Priporočljivo je, da na poplavnih območjih primerno kmetujemo; premišljena časovna obdelava zemljišč in ustrezni kmetijski in sadjarski nasadi, ki zmanjšujejo vodno moč in hitrost vode ter s tem preprečujejo erodiranje prsti.

### 2.2.4 Vzdrževanje živih delov sonaravnih ukrepov

Sonaravni ukrepi, zaradi razvoja koreninskega sistema in rastlin, pridobivajo na delovanju skozi čas. Kot navajajo nekateri avtorji (Begemann in Schiechl, 1994) je njihovo optimalno delovanje, v odvisnosti od okolja in drugih dejavnikov, lahko doseženo šele čez nekaj mesecev ali let. Obdobje po vgradnji delimo na tri faze, uvajalno, razvojno in vzdrževalno faza.

V uvajalni fazi, ki traja eno leto, je cilj doseči stanje, ki zagotavlja nadaljnjo rast rastlin. Pri uporabi vrbovih potaknjencev in drugih živih delov je treba na tekoči meter vgraditi od 2 do 5 brstov. Vsaj 2/3 olesenelih potaknjencev mora brsteti in biti enakomerno porazdeljenih po površini. V razvojni fazi, ki navadno traja 2 leti, se morajo opraviti negovalna dela. Odpraviti se morajo morebitne poškodbe rastlin in drugih delov. Z gnojenjem in nanašanjem komposta iz lubja izboljšujemo tla. Mlade drevnine v primeru prisotnosti drugih nezaželenih rastlin obdamo s pokošeno travo ali lubjem, dokler niso dovolj sposobne za samostojno rast. Tretja, vzdrževalna faza je namenjena trajnemu vzdrževanju in ohranjanju funkcijske sposobnosti sonaravnih ukrepov. Vsaka od teh faz je potrebna za doseganje najvišje možne funkcionalnosti sonaravnega ukrepa čez celotno njegovo življenjsko dobo (Kogovšek, 2012).

## 2.3 Hidravlična izhodišča

S hidravličnimi izhodišči bodo predstavljene ustrezne predpostavke in poenostavitve vodnega toka v odprtem kanalu. Predstavljen bo stalni enakomerni tok in možnosti poenostavitve nestalnega (poplavnega) toka. Opisano bo delovanje vodnega toka na stične površine in odpornost različnih materialov na strižne napetosti.

### 2.3.1. Enodimenzionalni tok s prosto gladino

Naloga zajema izračune na podlagi enodimenzionalnega toka s prosto gladino, za stalni in nestalni tok (poplavni val). Tok vode je sicer vedno tridimenzionalen (3-D), čeprav vse tri prostorske komponente parametrov toka niso nujno istega velikostnega razreda. V praktičnem izračunu pa je za obravnavo toka kot dvodimenzijskega (2-D) ali kot enodimenzijskega (1-D) toka potrebno povprečiti parametre (npr. po globini, po prečnem prerezu), za račun stalnega oz. nestalnega toka pa uporabiti ustrezno povprečje po času (Steinman, 2010).

#### 2.3.1.1 Stalni enakomerni in nestalni tok

Pri stalnem enakomernem toku je v vsaki točki poljubnega prečnega prereza hitrost konstantna, tlak pa nespremenjen. Stalni enakomerni tok v naravi le redkokdaj nastopi, vendar pa je možno z ustreznimi predpostavkami realen tok poenostaviti in obravnavati kot stalni enakomerni tok. Za stalni enakomerni tok je potrebno zadostiti naslednjima dvema pogojema:

$$Q(t, x) = \text{const. in}$$

$$S(t, x) = \text{const.}$$

sledi:

$$v = \text{const.}$$

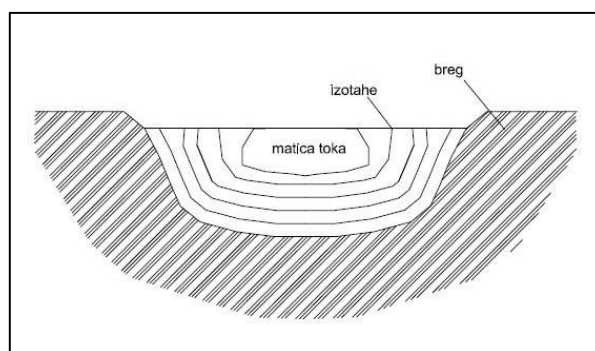
$$h = \text{const.}$$

Pri 1-D obravnavi toka moramo ponazoriti razmere v prečnem prerezu vodotoka s povprečnimi parametri za tok kot celoto. V enačbah za izračun 1-D tok, zato uporabljamo srednjo hitrost po prerezu (Steinman, 2010):

$$\bar{u} = \frac{Q}{S},$$

kjer sta:  $Q$  - pretok,  $S$  - površina prečnega prereza, pravokotnega na smer glavnega toka.

V naravi je porazdelitev hitrosti po prerezu lahko precej neenakomerna. Na obodu je enaka nič, v notranjosti toka pa se pojavi ena ali več matic toka (slika 11). Porazdelitev hitrosti po prerezu je odvisna od različnih parametrov: oblika prečnega prereza, vzdolžni potek trase, bližina ostenja, ovire v toku ipd (Steinman, 2010).



Slika 11: Matica toka in izotahe

Za nestalni tok (npr. poplavni val) veljata neenačbi ( $\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$  in  $\frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$ ), kjer sta »v« in »p« – hitrost in tlak v posamezni točki. Pri nestalnem toku pride do spreminjanja hitrosti in tlaka v odvisnosti od časa v vsaki točki prečnega prereza. Enačbe za stalni enakomerni tok lahko upoštevamo tudi pri nestalnem toku, če privzamemo, da veljajo enačbe v dovolj majhnem časovnem koraku oz. da veljajo, če dovolj zgostimo izbrano mrežo, s katero opišemo prostor (Steinman, 2010).

### 2.3.1.2 Manningova enačba za račun povprečne hitrosti

Za praktične izračune lahko povprečno hitrost enakomernega toka izračunamo po eni izmed številnih semi-empiričnih enačb enakomernega toka. Vse takšne enačbe imajo v zasnovi naslednjo obliko:

$\bar{u} = C \cdot R^x \cdot I_0^y$ , kjer so:

- $u$  - povprečna hitrost po prerezu,
- $R$  - hidravlični radij,
- $I_0$  - vzdolžni padec (naklon) kanala,
- $C$  - koeficient,
- $x, y$  - eksponenta.

Ena od teh enačb je Manningova enačba, ki je nastala kot rezultat izvedenja eksperimentalnih podatkov in je torej čisto eksperimentalnega značaja:  $\bar{u} = \frac{1}{n_G} R^{2/3} \sqrt{I_0}$ . V enačbi nastopa koeficient hrapavosti -  $n_G$ . S pomočjo Manningove enačbe lahko tako zapišemo enačbo za stalni enakomerni tok:

$$Q = \bar{u}S = \frac{1}{n_G} S R^{2/3} \sqrt{I_0} = \frac{\sqrt{I_0}}{n_G} \frac{S^{5/3}}{O^{2/3}}$$

Če v danem vodotoku prevodnost vedno narašča z naraščajočo globino, lahko za vsak pretok določimo ustrezno in eno samo globino stalnega enakomernega toka. Povprečna hitrost enakomernega toka oz. velikost pretoka je odvisna od (Steinman, 2010):

- oblike kanala,  $\Gamma$  - faktor oblike kanala,
- koeficienta hrapavosti -  $n_G$ ,
- vzdolžnega naklona vodotoka -  $I_0$  in
- globine toka -  $h_0$ .

### 2.3.2 Strižne napetosti

Pri obravnavi naravnih vodotokov imamo skupno delovanje težnostnih sil in sil trenja ter v primeru krivin še delovanje centrifugalne in Coriolisove sile. Nastopi sekundarni vodni tok, ki še dodatno obremenjuje zunanji del oboda, saj je na površini usmerjen proti zunanjemu delu, ob dnu pa proti notranjem delu krivine (Mikoš, 2000).

Rezultat toka vode v vodotoku je vlečna sila, ki deluje v smeri vodnega toka na dno struge in brežine. Vlečna sila predstavlja obremenitev na obod in povzroča prodonosnost. Povprečno strižno napetost  $\tau_0$ ,



ki deluje po celotnem obodu, lahko izračunamo kot količnik med omočenim obodom in vlečno silo (Mikoš, 2008).

### 2.3.3 Strižna odpornost zemljin

Vodni tok povzroča na okolni površini napetosti. Vsaka zemljina ima drugačne dopustne vrednosti površinskih napetosti, pri katerih še ne pride do erodiranja. Na podlagi podatkov v preglednici (1) so bila določena kritična mesta na izbranem odseku vodotoka. S krepkim tiskom je označen material prisoten na odseku.

Preglednica 1: Maksimalne dovoljene vrednosti po Fortieru in Scorbeyu (Steinman, 2010: str. 214)

Material	Čista voda		Voda s koloidnimi delci	
	Hitrost vode [m/s]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]	Hitrost vode [m/s]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]
Droben, nekoloiden pesek	0,46	1,29	0,762	3,59
Peščen prod, nekoloiden	0,533	1,77	0,762	3,59
Aluvialne naplavine, nekoloidne	0,61	2,3	0,91	5,27
<b>Navaden prod</b>	<b>0,762</b>	<b>3,59</b>	<b>1,07</b>	<b>7,18</b>
Vulkanski pepel	0,762	3,59	1,07	7,18
Glina, zelo kolidna	1,14	12,4	1,52	22
Aluvialne naplavine, koloidne	1,14	12,4	1,52	22
Škrilavci in skalnata podlaga	1,82	32,1	1,83	32,1
Droben gramoz	0,762	3,59	1,52	15,3
<b>Posamezna zrna proda in konglomerati</b>	<b>1,14</b>	<b>18,2</b>	<b>1,52</b>	<b>31,6</b>
Zrnate naplavine	1,22	20,6	1,68	38,3
Grob gramoz, nekoloiden	1,22	14,4	1,83	32,1
Kamen in prod	1,52	43,6	1,68	52,7

## 2.4 Uporabljeno programsko orodje

V diplomski nalogi je bilo za izdelavo digitalnega modela terena na podlagi topografskih podatkov uporabljeno orodje geografskega informacijskega sistema (GIS) ArcGIS s programsko razširitvijo HEC-GeoRAS. Za hidravlični izračun pa programsko orodje HEC-RAS, s pomočjo katerega so bile določene hitrosti vode in vrednosti strižnih sil pri različnih pretokih.

### 2.4.1 Hidravlično programsko orodje HEC-RAS

HEC-RAS je brezplačen računalniški program ameriškega hidrološkega inženirskega centra namenjen modeliranju vodotokov. Prva različica programa je bila izdana leta 1995, s časom pa se je program nadgrajeval in dopolnjeval. V tej diplomski nalogi je bila uporabljena zadnja različica programa izdelana januarja 2010. S programom modeliramo enodimenzionalne vodne tokove v naravnih in umetnih kanalih. Omogoča analiziranje poljubno kompleksnih rečnih sistemov, kjer lahko v modelu

upoštevamo tudi različne objekte, kot so mostovi, prepusti, nasipi idr. Za vhodne podatke o vodnem toku lahko uporabimo stalni ali nestalni vodni tok za različne režime toka. Poleg tega lahko s programom analiziramo tudi transport sedimentov in kvaliteto vode (Brunner, 2010).

Osnovni računski postopek temelji na enodimenzijski energijski enačbi ( $H = Z + Y + \frac{\alpha v^2}{2g}$ ), kjer  $H$  predstavlja skupno energijo,  $Z$  vertikalno razdaljo med primerjalno ravnino in najnižjo točko dna struge,  $Y$  globino vode v posameznem prerezu, zadnji člen pa kinetično energijo (Brunner, 2010). Program v računskem postopku predpostavlja, da je energija konstantna po prerezu in da je vektor hitrosti pravokoten na prečni prerez (Tate, 1999).

Program kot rezultate hidravličnega izračuna poda hitrosti vode, strižne sile, energijske izgube, nivoje vodne gladine za posamezne prečne profile, mostove, prepuste idr. v grafični in tabelarni obliki. Rezultate lahko prikaže v dvodimenzijski obliki za shemo rečnega sistema, prečne prereze in hidrograme. Možnost pa imamo tudi ogled tridimenzionalnega modela korita skupaj z nivoji vodne gladine (Rak, 2006).

#### **2.4.2 Geografsko programsko orodje ESRI ArcGIS**

GIS orodje ArcGIS, razvito na ameriškem inštitutu ESRI, je orodje, ki nam omogoča s prostorskimi podatki. Omogoča nam obdelavo prostorskih podatkov, raziskovanje, analize in iskanje rešitev. Poleg tega lahko z njegovo pomočjo izdelamo in prikažemo različne karte, rastrske izrise, prikaze infrastrukture in drugih podatkov. Vključuje različna programska orodja in razširitve, s pomočjo katerih lahko izvedemo na podlagi obstoječih prostorskih podatkovnih baz najrazličnejše transformacije v nove sklope podatkov (Rak, 2006). Med takšne razširitve spada tudi HEC-GeoRAS.

Programsko orodje je bilo najprej razvito kot računalniško orodje za kartografijo, šele kasneje pa se je njegova uporaba razširila tudi na področja hidrologije in hidravlike. Zelo uporabna lastnost ArcGISa je ta, da omogoča hkratno obdelavo različnih podatkovnih plasti in s tem izdelavo novih prostorskih podatkov (Tate, 1999).

#### **2.4.3 Programska razširitev HEC-GeoRAS orodja ESRI ArcGIS**

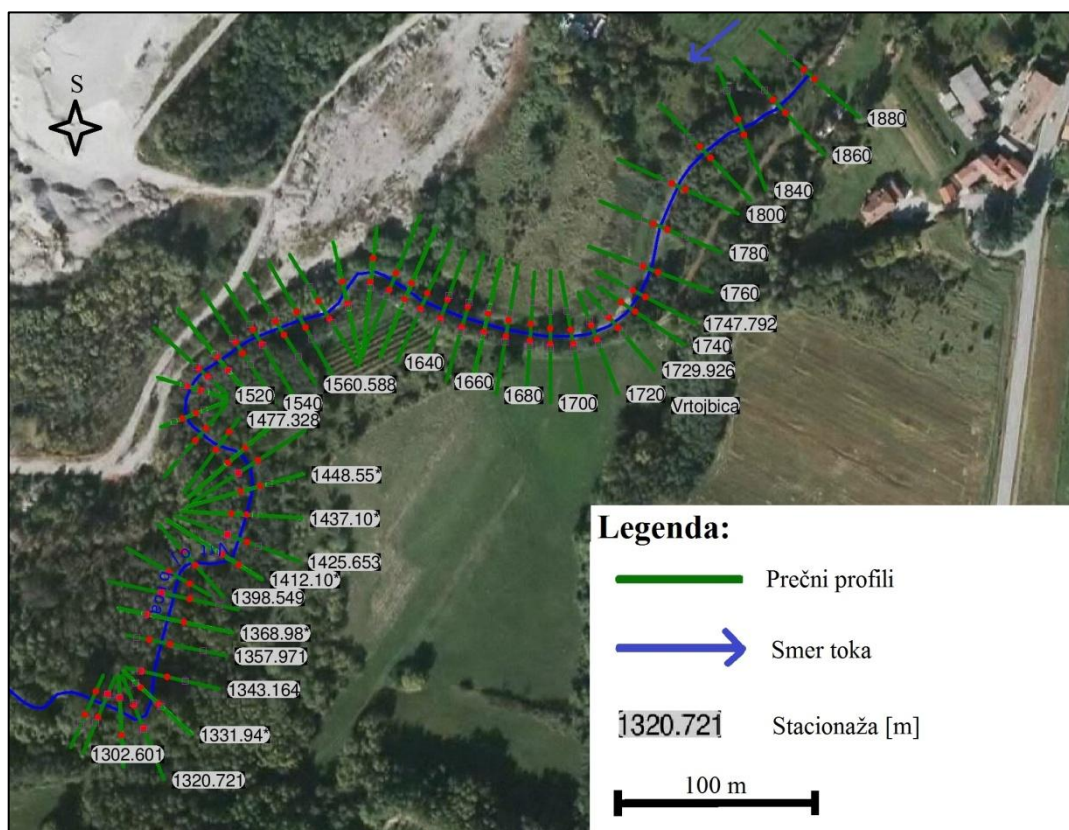
HEC-GeoRAS je razširitev programskega orodja ArcGIS, ki omogoča pripravo prostorskih podatkov za hidravlično obdelavo s programom HEC-RAS. V slednjem nato dopolnimo manjkajoče hidravlične podatke in opravimo izračune. Rezultate najprej analiziramo s HEC-RAS-om ter jih kasneje prenesemo nazaj v HEC-GeoRAS. Tako lahko kartiramo poplavne površine, izrišemo natančen rečni sistem, kot tudi izris mreže izobat (linije, ki povezujejo točke z enako globino vode) in izotahe (linije, ki povezujejo točke z enako hitrostjo vode). S tem lahko dobimo v poljubnem času globino oz. hitrost vode na poljubnem mestu v rečnem koritu in na poplavnih območjih ter izvedemo različne simulacije procesov zaradi poplavnih tokov. Za delo s HEC-GeoRASom moramo imeti pripravljen digitalni model terena (DMT) v obliki mreže nepravilnih trikotnikov (TIN) (Rak, 2006).

### 3 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

Za obravnavo sem izbral odsek na spodnjem delu potoka Vrtojbe, med občino Šempeter-Vrtojba in občino Miren-Kostanjevica (slika 12). Potok teče po Goriški ravnini, ki je v grobem sestavljena iz polj (Šempetrsko, Vrtojbensko, Sovodenjsko, Štandreško) in gričev (Panovec, Stara Gora z Markovim hribom, Biljenski griči). Griči so flišnati, sestavljeni so iz peščenjaka in laporja, polja pa so pretežno prodnata (nanosi Soče) in glineno peščena (nanosi pritokov Soče). Pogosto je prod vezan med seboj, kar na nekaterih predelih ustvarja konglomeratno kamnino.

Vrtojba izvira v dolini med Panovcem in Staro Goro. Potok med Rožno Dolino in Šempetrom ostro zavije levo proti jugu, kjer na krajši razdalji teče po italijanski strani. Nato teče po območju naselij Šempeter in Vrtojba, kjer je na nekaterih delih reguliran. Pri naselju Orehovlje v občini Miren-Kostanjevica se potok izliva v reko Vipavo. Dolžina potoka je približno 10 km, obseg povodja pa znaša 20 km<sup>2</sup> (Božič, 2007).

V zgornjem delu potoka je bil zgrajen 10 ha velik zadrževalnik Pikol, ki lahko ob konicah zniža poplavni val za 10 m<sup>3</sup>. Ob spodnjem delu potoka se trenutno gradi Centralna čistilna naprava Nova Gorica, ki bo zajemala mešani komunalni sistem za naselja Nova Gorica, Šempeter pri Gorici, Vrtojba, Miren in Orehovlje za projektiranih 50 500 populacijskih enot.



Slika 12: Ortofoto posnetek območja z vrisanimi prečnimi profili

### 3.1 Obravnavani odsek

Obravnavani pas potoka dolg približno 500 m teče po prodnatih in mestoma peščenih tleh. Prvi, zgornji del odseka je reguliran, na nekaterih mestih je kamnomet. Nižje na desni strani je nekdanja gramozna jama, ki se jo je kasneje uporabljalo za kmetijske površine. Zaradi izkopa gramozna sega sedaj koto dna jame ponekod tudi pod koto struge samega potoka. Na levi strani so senožeti z definirano kmetijsko rabo. Na celotnem območju potoka prevladuje med rastlinami invazivka navadna robinija oz. neprava akacija (lat. *Robinia pseudoacacia*) z veliko podrasti (Lazar, 2013). Na koncu naselja Vrtojba se v potok izlivajo odplake in od tam naprej je Vrtojba praktično odprt kanalizacijski kanal (slika 13 a). Na obrežjih je nanos odpadkov, v vodi so vidne sledi kanalizacijskih usedlin, tudi močan odvraten vonj se vije po okolici. Pred izlivom je v potoku še opaziti ribe, po izlivu pa je od življa moč najti le še dvoživke in race. Obrežni prostor je zelo zanemarjen in neurejen (slika 13 b).



Slika 13: (a) izliv odplak in (b) zanemarjenost obvodnega prostora (Lestan, 2014)

#### 3.1.1 Vir topografskih podatkov in izdelava modela

Surovi topografski podatki so bili pridobljeni iz posnetka LIDAR. Tehnologija LIDAR je način zajemanja podatkov o terenu z letali oz. drugimi plovili, kjer laser skenira teren z relativno veliko natančnostjo (več 100 točk na kvadratni meter). Pri daljinskem zaznavanju terena pokritega z vodo se uporablja sistem dveh laserjev z različnima valovnima dolžinama. Na podlagi LIDAR posnetka terena je bil predhodno izdelan digitalni model terena (DMT). Podatke o topografiji sem na prošnjo pridobil pri Inštitutu za vodarstvo.

### 3.1.2 Izbrani podatkovni model

Posamezni elementi so v GIS-u lahko opisani z različnimi podatkovnimi modeli: z vektorji, z rastrom ali pa z mrežo nepravilnih trikotnikov (TIN). Slednji model je niz po treh skupaj podatkovnih točk. Vsaka od njih je določena v tlorisu z  $x$  in  $y$  ordinatama, višina pa je določena z ordinato  $z$  (Tate, 1999). V diplomski nalogi je bil uporabljen model TIN, ki ima pred drugimi naslednje prednosti (Rak, 2006):

- za obdelavo potrebujemo manj podatkov, kar zmanjša potrebo po delovnem pomnilniku in poveča hitrost obdelave
- omogoča izbiranje gostote točk za različna območja (prilagodljivost resolucije)
- omogoča natančnejši prikaz linijskih objektov in
- pri starejših različicah HEC-GeoRASa je obvezna uporaba TIN modela

### 3.2 Hidrološki podatki in hidravlični robni pogoji

Agencija Republike Slovenije za okolje stalne vodomerne postaje na potoku Vrtojba nima. Zato sem pri modeliranju uporabljal računske pretoke iz različnih virov. Na prošnjo mi je Inštitut za vodarstvo posredoval tudi računske poplavne vale z desetletno in stoletno povratno dobo. Del podatkov o poplavnem valu je prikazan v preglednici (2).

Preglednica 2: Del podatkov desetletnega poplavnega vala

<b>Čas [ure]</b>	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
<b>Pretok [m<sup>3</sup>/s]</b>	0,64	1,1	1,54	2,01	2,52	3,09	3,64	4,53	6	7,2

### 3.3 Kmetijska raba tal

Na obravnavanem odseku se za kmetijsko rabo uporabljata dve parceli (na sliki 14: v sredini, svetlo zelene barve, potok svetlo modre). Obe parceli v skupni velikosti 71,47 a (57,5 + 13,97 a) imata status trajnega travnika. Drugih kmetijsko pomembnih parcel na tem območju ni.



Slika 14: Parceli s statusom trajnega travnika

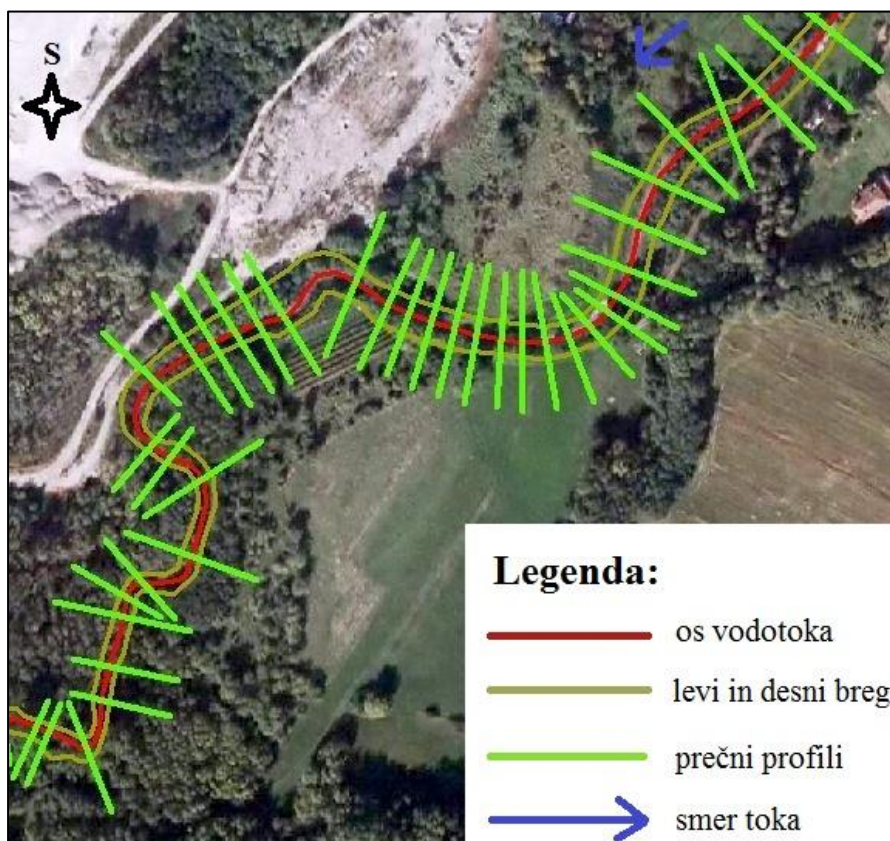
(vir: Javni pregledovalnik grafičnih podatkov MKO - GERK (pridobljeno 6. 9. 2014.))

## 4 HIDRAVLIČNI IZRAČUNI IN REZULTATI REČNEGA ODSEKA

Pri pripravi prostorskih podatkov je bilo uporabljeno programsko orodje ESRI ArcGIS. S programsko razširitvijo HEC-GeoRAS je bila pripravljena datoteka prek katere se je preneslo podatke v HEC-RAS. Podatki terena so bili v HEC-RASu popravljene in dopolnjeni s podatki o hrapavosti. Z vnosom spodnjih in gornjih pogojev je bilo vse pripravljeno za hidravlično analizo obravnavanega odseka. Poudarek izračuna je bil predvsem na analizi hitrosti vode in strižnih napetosti pri različnih pretokih. S pomočjo rezultatov analize so bila poiskana kritična mesta obravnavanega odseka.

### 4.1 Priprava geometrijskega modela

S programom ArcGIS in razširitvijo HEC-GeoRAS je bil pripravljen model terena obravnavanega odseka v obliki TIN. Za osnovo modela so bili uporabljeni LIDAR posnetki območja. Rečni sistem je bil v smeri toka določen kot os vodotoka ter levi in desni breg. Število in gostota prečnih profilov sta bila določena na podlagi želene natančnosti geometrijskega modela. Podatki o prečnih profilih so bili izdelani na vseh mestih, kjer je kakršnakoli sprememba terena ali osi vodotoka. Profili so bili določeni od leve proti desni, tako da se med seboj ne dotikajo in da sečejo os vodotoka pravokotno in le enkrat (slika 15). S tem je bil pripravljen geometrijski model terena za uvoz v program HEC-RAS.



Slika 15: Prikaz lokacij prečnih profilov

## **4.2 Hidravlična analiza s programskim orodjem HEC-RAS**

Za dopolnitev modela terena je bilo potrebno urediti uvožene podatke iz ArcGIS. V naslednjem koraku so se v program vnesli podatki o različnih pretokih, o robnih pogojih, in koeficiente hrapavosti terena. Po vnosu vseh podatkov so bile opravljene hidravlične analize za različne pretoke.

### **4.2.1 Geometrija**

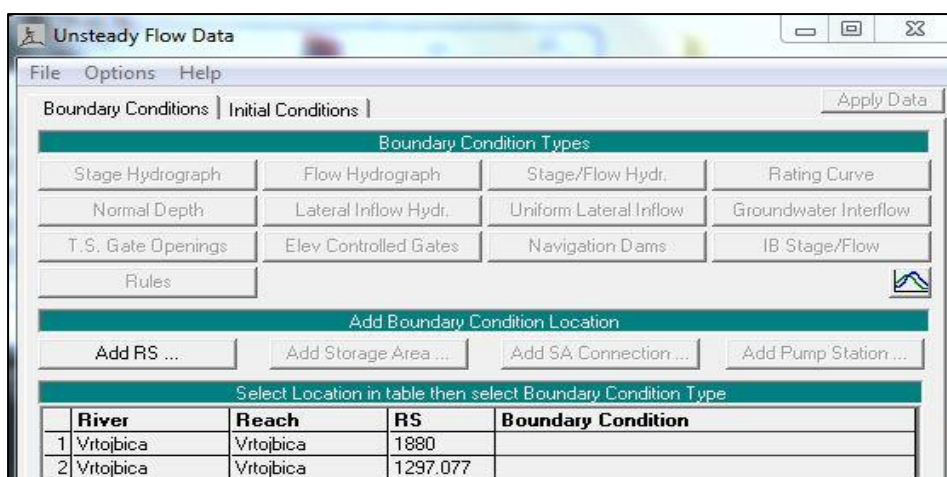
Podatki, uvoženi iz ArcGISa vsebujejo na nekaterih mestih netočne podatke o terenu, predvsem o robovih brežin. Da se podatkom realnega terena čim bolj približamo, je treba preveriti vse prečne profile in jih ročno popraviti. Ker so prvotni rezultati analizi prikazali nestabilen izračun, sta bili na voljo dve možnosti odprave napak in izboljšave geometrijskega modela. Manj natančnejša možnost je zgostitev podatkov z interpolacijo obstoječih prečnih profilov in ustvarjanje novih profilov. Druga možnost pa je, da še dodatno pridobimo podatke o manjkajočih prečnih profilih iz digitalnega modela terena. Ker je slednji bil na voljo, smo se odločili za drugo možnost. Po določitvi prečne geometrije struge je bilo treba določiti še povprečni vzdolžni padec struge (oz. energijski padec), ki v našem primeru znaša 0,0056 %.

### **4.2.2. Določitev koeficienta hrapavosti – $n_G$**

Za vsak prečni profil posebej je bil določen koeficient hrapavosti, tako za rečno strugo kot tudi izven. Koeficient je v veliki meri odvisen od prisotnega rastlinja. Na območju je gozd z veliko panji, s podrtimi drevesi, bujno podrastjo. Med zaplatami gozda se najde grmičevje oz. travnata ruša. V strugi so manjši tolmini, prisotni so posamezni večji kamni, ponekod je v strugi tudi obrežna vegetacija. Za ustrezno oceno koeficienta hrapavosti je ključnega pomena ocenitev zaraščenosti območja. Na podlagi ogleda in podanih priporočil o izbiri koeficienta iz različnih virov so bili določeni koeficienti hrapavosti za posamezne odseke. Hidravlična analiza je bila opravljena za čas bujne rasti in vegetacije, zato so bili koeficienti hrapavosti ustrezno korigirani.

### **4.2.3 Pretoki z različnimi povratnimi dobami in hidravlični robni pogoj**

Hidravlična analiza je bila izvedena za desetletni in stoletni poplavni val, ter za srednji pretok. Tako za stalni tok, kot za poplavni val je treba vnesti še robne pogoje in začetno stanje. Ker se predpostavlja mirni tok, je dovolj da podamo dolvodni robni pogoj. Program omogoča izbiro med: kritično globino, poznano vodno gladino za posamezen pretok, pretočnimi krivuljami ali energijski padec oz. padec dna struge. Na voljo so le podatki o padcu naklona struge, zato je bil določen ta pogoj kot dolvodni robni pogoj.

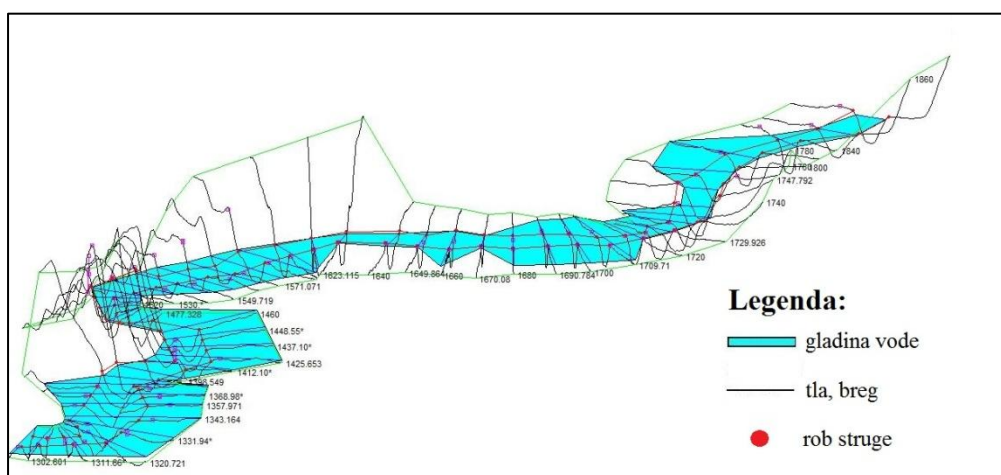


Slika 16: Vnos robnih pogojev pri nestalnem toku v programu HEC-RAS

Za nestalni tok je treba tudi določiti robni pogoj na gorvodnem prečnem profilu, kjer vnesemo hidrogram za posamezni poplavni val pravtako pa tudi energijski padec oz. padec dna struge (slika 16). Ko imamo vse podatke pripravljene in vnesene lahko izvedemo analizo.

### 4.3 Rezultati hidravlične analize

S hidravlično analizo smo dobili rezultate v obliki strižnih sil, hitrosti vode, globine vode ter drugih računanih količin po posameznih prečnih profilih. S tem imamo za vsak pretok podane obremenitvene vrednosti, ki so podlaga za predvidene ukrepe. S programom določimo tudi pretočnost struge, ki na obravnavanem odseku znaša  $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .



Slika 17: Grafični prikaz hidravlične analize v programu HEC-RAS

Program HEC-RAS nam poda rezultate v grafični (slika 17) in tabelarni obliki, v nastavitvah pa lahko spreminjamo željeni prikaz izbora podatkov. Za analizo izbranega odseka vodotoka potrebujemo kritične vrednosti – največje strižne sile, največje hitrosti vode in globine vode. Del tabelarnih rezultatov je v preglednici (3), celotne preglednice pa so na voljo v prilogah A1, A3 in A5.



Lestan, T. 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

Preglednica 3: Delni rezultati za prečne profile za 100-letni poplavni val – sedanje stanje.

Profil	Stacionaža [m]	Strižne napetosti [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]		
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg
1	1880	34,49	235,74	40,25	47,54	0,48	3,17	0,54
2	1860	23,36	106,19	30,67	47,59	0,43	2,13	0,51
3	1840	26,06	111,73	23,85	47,57	0,46	2,23	0,44
4	1820	12,77	108,08	32,44	47,56	0,29	2,18	0,54
31	1509,01	77,46	160,99	40,96	47,31	0,88	2,61	0,58
32	1498,03	110,12	210,48	49,59	47,3	1,04	2,91	0,61

Ko imamo podane rezultate za strižne obremenitve po posameznih prečnih profilih, jih lahko primerjamo z dopustnimi obremenitvami. Postopek primerjave in določitev kritičnih točk sta opisana v naslednjem podpoglavju.

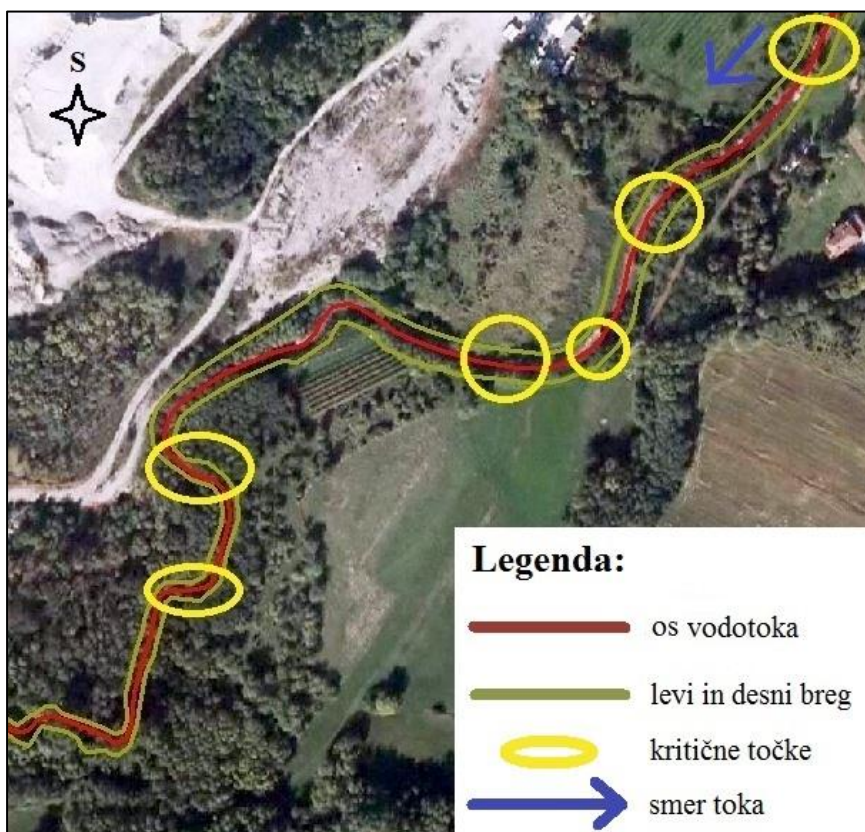
#### 4.4 Ugotovitve

Z družitvijo podatkov iz preglednice (1) in preglednice (3) dobimo novo preglednico (4) izračunanih in dopustnih obremenitev. Primerjava rezultatov nam za nekatere prečne profile pokaže močno odstopanje izračunanih obremenitev od dopustnih.

Preglednica 4: Primerjava dejanskih hitrosti vode in strižnih napetosti z dovoljenimi pri najbolj izpostavljenih prerezih

Profil	Material	Hitrost vode [m/s]		Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]	
		dovoljena	dejanska	dovoljena	dejanska
1	Navaden prod	1,07	3,17	7,18	235,74
2	Navaden prod	1,07	2,13	7,18	106,19
3	Navaden prod	1,07	2,23	7,18	111,73
4	Navaden prod	1,07	2,18	7,18	108,08
31	Posamezna zrna proda in konglomerati	1,52	2,61	31,6	160,99
32	Posamezna zrna proda in konglomerati	1,52	2,91	31,6	210,48
33	Posamezna zrna proda in konglomerati	1,52	2,74	31,6	194,34
42	Posamezna zrna proda in konglomerati	1,52	2,25	31,6	130,9

Kritična mesta na obravnavanem odseku so bila določena s pomočjo primerjave rezultatov in na podlagi ogleda terena. Kot hidravlično najbolj obremenjeni so se pokazali rečni zavoji in ozki odseki. Lokacije močno preseženih strižnih napetosti in hitrosti so označene z rumeno barvo na sliki (18).



Slika 18: Kritična mesta na obravnavanem odseku

Na teh kritičnih odsekih bodo v naslednjem poglavju predlagani sonaravni ukrepi. Pri tem za ustrezno izbiro sonaravnega ukrepa igrata ključno vlogo hidravlična obremenitev, ki jo bo moral ukrep prenesti in sama primernost ukrepa pri upoštevanju ekoloških zahtev.

## 5 PREDLOG UREDITVE VODOTOKA

V nadaljevanju so na lokacijah, kjer rezultati strižnih sil močno presegajo dopustne vrednosti (slika 19) podani predlogi in načini sonaravnih ukrepov. Z ukrepi, ki enakovredno upoštevajo hidravlični in ekološki vidik so na podlagi stoletnega poplavnega vala predlagani načini in izvedbe ureditve struge in brežin vodotoka. Za ureditev dna vodotoka so po posameznih odsekih (slika 21) priporočeni prečni objekti, za brežine pa razni vzdolžni objekti, najpogosteje v kombinaciji živih lesenih delov in kamna. Podani so tudi predlogi o preventivnih ukrepih na potencialnih poplavnih ravninah.



Slika 19: Lokacije predlaganih ukrepov

### 5.1 Pred ureditvijo



Slika 20: Granata iz 1. sv. vojne (Lestan, 2014)

Gradnja sonaravnih ukrepov zahteva posebno pripravo. Treba je izdelati časovni načrt, kjer se predvidijo določeni posegi v odvisnosti od letnih časov in drugih pogojev. Pri gradnji upoštevamo obdobja mirovanja vegetacije rastlin, nizkega vodostaja vodotoka, obdobja drstenja rib, gnezdenja ptic in drugih biološko pomembnih dejavnikov. Vse to zahteva lahko mehanizacijo in veliko fizičnega dela. Zaradi specifičnega območja potoka Vrtojba pa je treba pozornost nameniti tudi ostankom ubojnih sredstev iz 1. svetovne vojne (slika 20).

## 5.2 Ureditev po posameznih odsekih

V nadaljevanju so predlagani ukrepi ureditve po posameznih odsekih (slika 21). Zaradi različnih načinov ureditve so razdeljeni na odseke v krivinah in ravninske odseke.



Slika 21: Posamezni odseki

- **Odsek 1**

Na odseku 1 od stacionaže 1880 m do stacionaže 1680 m se v sedanjem stanju nahaja kamnomet. Kot dopnilo obstoječemu odseku se predlaga zasaditev potaknjencev (priloga C.6). Med kamnomet posadimo potaknjence dolžine 1 m in premera 4 cm, tako da sega koreninski sistem v sušnem obdobju do nizkega vodostaja. S tem obstoječemu kamnometu povečamo odpornost, pridobimo ugoden habitat in preprečimo izpiranje prsti.

- **Odsek 2**

V krivini na odseku 2 od stacionaže 1623 m do stacionaže 1582 m se zaradi večjih strižnih sil na obodu predlaga na zunanji strani postavitev deklinantnih jezbic, na notranji strani pa vrbovih fašin. Enostranske jezstice preusmerjajo vodni tok proti notranjemu delu krivine in s tem zmanjšujejo hitrosti

ob zunanjem obodu. Rezultat je zmanjšana obremenitev zunanje brežine. Jezbice naj bodo dolge 1,5 m in na medsebojni razdalji 20 m. Koren jezbic mora biti skrbno vpet v brežino, glava jezbič pa zaradi vrtnčastega toka dobro zaščiten. Jezbice pripravimo tako, da med kamnite bloke dimenzij od 20 do 40 cm vtaknemo slamo in lesnate potaknjence premera 5 cm. Na notranji strani odseka zgradimo vrbove fašine (priloga C.2) tako da 1,5 m dolge lesene kole na medsebojni razdalji 1 metra zabijemo ob rob struge. Ob kole s pocinkano žico privežemo potopljeno fašino premera 40 cm, sestavljeno iz kamnov in mrtvega lesa. Poleg potopljene fašine eno k drugi položimo fašine premera 40 cm iz sveže odrezanih vrbovih vej, ki jih pritrdimo z manjšimi lesenimi koli premera 10 cm. Z vrbovimi fašinami učinkovito zaščitimo brežino pred erozijo.

- **Ravninski odseki 3, 5 in 7**

Na ravninskih odsekih 3 (od 1582 m do 1520 m), 5 (od 1468 m do 1425 m) in 7 (od 1398 m do 1343 m) se predlaga postavitev izmeničnih obojestranskih jezbič (priloga C.1) dolžin 1,5 m medsebojne razdalje 25 m. S postavitvijo takšnih jezbič v strugo vodotoka ustvarimo dinamičen tok, ki sicer ravnim odsekom dajejo želeno ukrivljenost. Pridobimo razgibano dno s tolmoni in z manjšimi območji odlaganja materiala. Oblika, velikost in gradniki so za enaki kot pri jezbičah na odseku 2.

- **Odsek 4**

V krivini na odseku 4 od stacionaže 1520 m do stacionaže 1477 m se zaradi zelo velikih strižnih sil na zunanjem obodu in strmine terena predlaga postavitev lesene pilotne stene (priloga C.3). V breg se najprej na dolžinah 1,5 metra izkopajo vodoravne jame v katere se položi lesene kole dolžine 2 m in premera 20 cm. Nato se v brežino do 2 metrov globoko na razdalji 1 m zabije trimetrške lesene pilote premera 20 cm. Vzporedno vodotoku se za pilote tik ob gladino položi mrtvo fašino nato pa nad njo okroglice premera 20 cm, katere se obloži z manjšimi kamni. Okroglice z žebli pritrđimo na pilote. Nad vrhno okroglico položimo dve živi fašini iz vrbovih vej premera 20 cm. Vse skupaj plitko prekrijemo z zemljino. Pilotna stena varuje brežino pred erodiranjem, v špranjah med okroglicami pa nudi ugoden habitat rastlinam in živalim. Za premaknitev matice toka in s tem zmanjšanje obremenitve zunanjega dela oboda se predlaga postavitev deklinantnih jezbič dolžine 1,5 m medsebojne razdalje 20 m. Na notranji strani krivine se predlaga vzpostavitev kamnomete debeline 1 m (priloga C.5) z največjim zrnom 30 cm. Med kamnomet se posadi vrbove potaknjence dolžine 1,5 m in premera 4 cm, tako da sega koreninski sistem do kote nizkega vodostaja. S kamnometom učinkovito varujemo notranji del krivine pred erozijo, potaknjenci pa delujejo hkrati kot armatura kamnometu in habitat rastlinam in živalim.

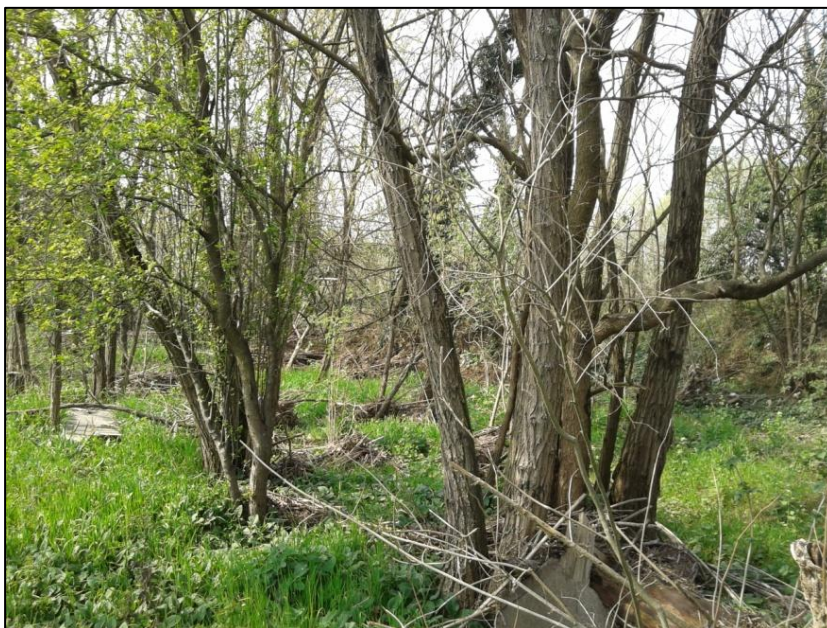
- **Odsek 5**

Na odseku 5 od stacionaže 1468 m do stacionaže 1425 m se poleg obojestranskih jezbič predlaga tudi postavitev kokosovih tonjač s potaknjenci (priloga C.4). Ob rob struge se z lesenimi koli premera 10 cm pritrdi 30 cm široke in z okolno zemljino polnjene kokosove tonjače. Nad tonjače se trikotno

zasadi potaknjence, najboljše bele ali sive vrbe, avtohtone v Sloveniji. S kokosovimi tonjačami učinkovito varujemo brežino.

- **Odseka 6 in 8**

Na odseku 6 (od 1425 m do 1398 m) in 8 (od 1331 m in 1302 m) se predlaga na desni strani (tj. na notranji strani krivin) postavitve vrbovih fašin, na levi strani (tj. na zunanji strani krivin) pa se predlaga postavitve kamnometa s potaknjenci. Oblika, velikost in gradniki obeh ukrepov so enaki kot pri ukrepih na odsekih 2 in 4 (priloge C.2 in C.5).



Slika 22: Drevesa navadne robinije na obravnavanem odseku (Lestan, 2014)

Ker je eden od priporočenih načinov pridobivanja materiala uporaba lokalnih virov in ker so v neposredni bližini obsežni nanosi reke Soče, bi bilo smiselno za izdelavo kamnometa uporabiti nanese rečni prod. Za izdelavo pilotne stene pa se priporoča uporaba lesenih kolov okolnih dreves. Ker na tem območju med drevesi prevladuje v Sloveniji invazivna rastlina navadna robinija (slika 22), katere les je v vodi dobro obstojen, bi bilo za izdelavo lesenih kolov koristno uporabiti dele debla te rastline.

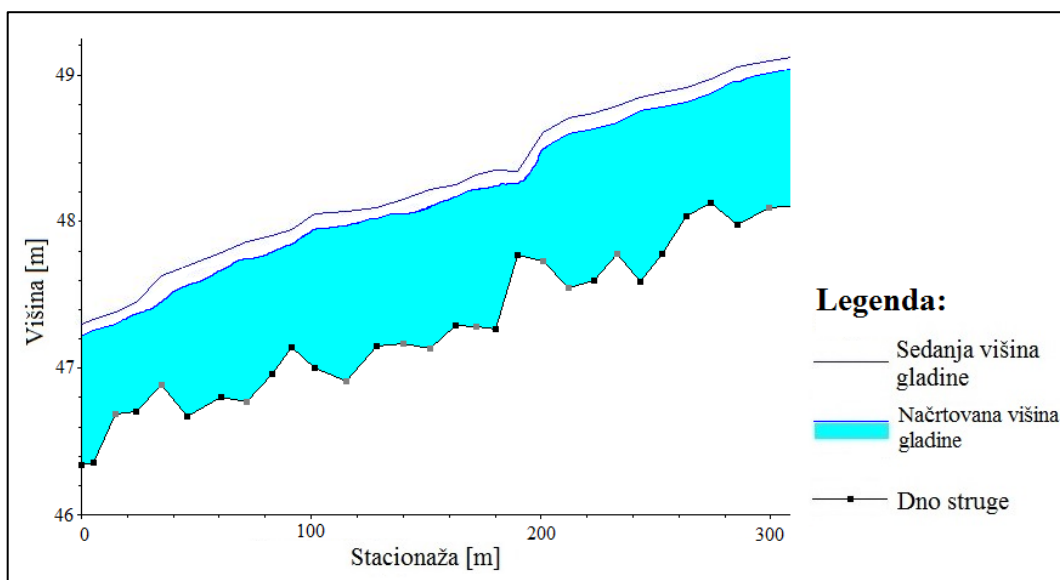
### 5.3 Vzdrževanje poplavnih ravníc

Poplavne ravnice so pomemben del območja delovanja vodotoka. Ko je ob visokih vodostajih presežena pretočnost struge vodotoka, se voda začne prelivati prek bregov na okolna polja. K sreči na obravnavanem območju ni gospodarskih, kulturnih ali kako drugače pomembnih objektov niti ni intenzivne rabe kmetijskih zemljišč. Na obstoječih zemljiščih se zaradi upočasnitve vodnega toka priporoča izgradnja prečnih poljskih poti, zasaditev kmetijskih kultur prečno na vodotok, letnemu času primerna obdelava zemlje in sprotno odstranjevanje naplavin in prodnih nanosov. Kjer se površine ne

uporabljajo za kmetijsko obdelavo nanašanje humusnega materiala ni priporočeno, se pa priporoča na njih vzdrževati vsaj travnato rušo. Na takih površinah je dobro zasaditi gosto grmičevje, saj s tem povečamo koeficient hrapavosti in zmanjšamo hitrost vodnega toka. S tem pripomoremo tudi k zmanjšani eroziji prsti zaradi vetrnega vpliva. Na ostalih obvodnih površinah dolgotrajno odlaganje materiala, kot so lesena polena in koli, gradbeni in drugi material, ni zaželeno.

#### 5.4 Primerjava globin vodotoka pred in po ureditvi

V trenutnem stanju je obravnavano območje potoka zelo zaraščeno. Posamezna drevesa, grmičevje in visoka trava segajo prav do struge potoka. V obliki podrtih dreves in prodnih nanosov se lahko prepričamo o vplivu vodotoka na območje. Neposredno ob strugi so vidni človeški posegi - ob potoku je odložen gradbeni in drugi material (slika 13 b). Vsi ti dejavniki vplivajo na zmanjšano pretočno sposobnost kanala vodotoka.



Slika 23: Primerjava globin vodotoka: sedanje in načrtovano stanje pri pretoku  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

Upoštevanje predlogov o izgraditvi ukrepov lahko izboljšamo pretočno sposobnost kanala vodotoka. Strugo in brežine redno čistimo in vzdržujemo, naplavine in poškodovana drevesa redno odstranjujemo. Z rednim vzdrževanjem načrtovane ureditve vzdržujemo tudi pretočno sposobnost, ki je bila določena z izračuni. Povečana pretočnost kanala se pokaže v nižanih globinah vodotoka (slika 23). Z izgradnjo ukrepov se globina vode v povprečju zmanjša za 7,5 cm, pretočnost pa se poveča s  $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $7,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je bila izvedena hidravlična analiza krajšega odseka potoka Vrtojba v občini Šempeter-Vrtojba ob upoštevanju različnih visokih vod. Večji del odseka ni reguliran, zato potok ob večjih pretokih še vedno prestopi bregove in poplavlja.

Pri analizi izbranega odseka na potoku Vrtojba je bila uporabljena numerična hidravlična analiza. Hidravlični model je bil izdelan s pomočjo programskega orodja HEC-RAS, s pomočjo programskega orodja ArcGIS in razširitve HEC-GeoRAS so bili na podlagi LIDAR podatkov, pripravljene vhodni geometrijski podatki o batimetriji in obvodnega prostora. S tem je bil izdelan razmeroma natančen geometrijski model, kar je bistveno vplivalo na približek modela dejanskemu stanju. V analizi so bile opravljene simulacije za dva poplavna vala različnih povratnih dob in za srednji pretok. Koeficient hrapavosti je bil določen na podlagi oglada terena in priporočil iz različnih virov. Rezultat hidravlične analize podaja vrednosti hitrosti in globine vode ter strižnih napetosti vzdolž obravnavanega odseka.

Na podlagi stoletnega vala so bila določena kritična mesta, kjer strižne napetosti in hitrosti vode močno presegajo dopustne. Ugotovljeno je bilo, da računske obremenitve presegajo dopustne predvsem v krivinah in zožitvah obravnavanega odseka. Po posameznih odsekih so bili posebej za strugo in brežine predlagani prečni in vzdolžni ukrepi ureditve vodotoka. Poleg tega se priporoča tudi redno čiščenje in vzdrževanje struge, saj s tem zmanjša hrapavost ostenja in poveča pretočnost. Z izbranimi ukrepi so bile enakovredno upoštewane hidravlične in ekološke zahteve gradnje.

Hidravlična analiza je podrobneje obsegala območje struge in brežin. Ob povečani ali spremenjeni rabi tega prostora pa bi bilo smotno pri analizi upoštevati poplavne ravnice ter razmisliti tudi o drugačnih možnostih regulacije vodotoka. Z vključitvijo naselij Šempeter, Vrtojba in Rožna Dolina na novo čistilno napravo se bodo znatno zmanjšali kanalizacijski izpusti v Vrtojbo. Ravno zaradi odplak in širjenja neprijetnega vonja je bil ta prostor slabo izkoriščen. Z opustitvijo izpusta odplak se bodo odprle nove možnosti za njegovo uporabo. S čistejšo Vrtojbo se temu prostoru vsekakor obetajo lepši časi.



Lestan, T. 2014. Uporaba sonaravnih ukrepov pri ureditvi vodotoka.  
Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

---

## VIRI

Begemann, W., Schiechl, H. M. 1994. Ingenieurbiologie: Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau, 2. Neubearbeitete Auflage. Wiesbaden, Berlin, Bauverlag: 203 str.

Božič, N. 2007. Geografija občine Šempeter-Vrtojba. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta (samozaložba N. Božič): 19 str.

Brunner, W. G. 2006. HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. str. 1-2  
[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS\\_4.1\\_Reference\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf) (Pridobljeno 26. 3. 2014.)

Drago, K. 2010. Mnenje o upravičenosti izvedbe iztočnega kanala iz čistilne naprave ob Vrtojbi. Podreča, Kalkem, d. o. o.: str. 2  
[http://www.miren-kostanjevica.si/media/gradiva\\_seje/34\\_redna\\_seja/mnenje\\_kalkem.pdf](http://www.miren-kostanjevica.si/media/gradiva_seje/34_redna_seja/mnenje_kalkem.pdf) (Pridobljeno 20. 5. 2014.)

Florineth, F. 2004. Pflanzen statt Beton : Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin, Patzer Verlag: str. 130, 135, 145.

Florineth, F., Kloidt, F., Astleitner, D. 2007. Ingenieurbiologie: skriptum. Wien, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau: str. 69, 76, 87, 94.

Globevnik, L., Vahtar, M., Bizjak, A. idr. 2006. Izvajanje vodne direktive v Sloveniji: predstavitev prvih ocen možnosti doseganja okoljskih ciljev za vodna telesa v Sloveniji po načelih Vodne direktive. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije: str. 7, 8, 12

Hydrologic Engineering Center. 2014.  
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-georas/> (Pridobljeno 26. 3. 2014.)

Inštitut za vode Republike Slovenije. 2014  
<http://www.izvrs.si/> (Pridobljeno 14. 9. 2014.)

Javni pregledovalnik grafičnih podatkov MKO - GERK.  
<http://rkg.gov.si/GERK/viewer.jsp> (Pridobljeno 24. 5. 2014.)

Kogovšek, B. 2012. Uporaba živih gradiv pri ukrepih za zaščito rečnih brežin. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba B. Kogovšek): povzetek, str. 57-70, 75-78, 83-87, 94.

Lazar, K. 2013. Razširjenost invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst bregov Vrtojbe in Korna. Diplomatska naloga. Nova Gorica, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju (samozaložba K. Lazar): povzetek.

Mikoš, M. 2000. Urejanje vodotokov: skripta, verzija 01.2000. Ljubljana: FGG, Katedra za splošno hidrotehniko: str. 8, 30, 33-37.

Mikoš, M. 2008. Osnove hidrouništva. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, katedra za splošno hidrotehniko: str. 39-40, 44-46 str.

Natural Resources Conservation Service. 2009: str. 1, 2.

[http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_024130.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_024130.pdf) (Pridobljeno 15. 5. 2014.)

New Hampshire State government. 2007: str. 18.

<http://www.nh.gov/dot/org/projectdevelopment/highwaydesign/documents/StreamlineSoilBioEng.pdf> (Pridobljeno 2. 5. 2014.)

Organizacija Združenih narodov za prehrano in kmetijstvo, 2014: str. 6.

<http://www.fao.org/ag/ca/africatrainningmanualcd/pdf%20files/08WATER.PDF> (Pridobljeno 8. 9. 2014.)

Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomatska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba G. Rak): str. 27, 36-40.

Steinman, F. 2010. Hidravlika. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: predgovor, str. 10, 11, 132-133, 136-139, 148, 214.

Tate, E. M.S.E., Maidment, D. PhD., 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. Austin, The University of Texas at Austin: str. 16, 24-27, 96-98.

<http://www.crwr.utexas.edu/reports/pdf/1999/rpt99-1.pdf> (Pridobljeno 25. 3. 2014.)

U. S. Forest Service: str. 86, 92, 100, 104, 110.

<http://www.fs.fed.us/publications/soil-bio-guide/guide/chapter5.pdf> (Pridobljeno 8. 9. 2014.)

Zadrževalnik Pikol bo zagotavljal varnost pred poplavami Vrtojbe : Rožna Dolina - predali namenu nov objekt. Primorski dnevnik (20. 9. 1998) 54, 223: str. 8.

Zorn, M., Komac, B., Pavšek M. idr. 2010. Od razumevanja do upravljanja. Naravne nesreče, knj. 1. Ljubljana: Založba ZRC: 199 str.

<http://zalozba.zrc-sazu.si/sl/publikacije/od-razumevanja-do-upravljanja#v> (Pridobljeno 15. 9. 2014.)

### **Pravilniki in zakoni**

Poplavna direktiva (2007/60/ES)

Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženosti zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (Ur. list, št. 60/2007)

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (Ur. list, št. 89/2008)

Vodna direktiva (2000/60/ES)

Zakon o ohranjanju narave (Ur. l. RS, št. 56/99, 31/00, 119/02, 22/03, 41/04, 96/04 in 46/14)

Zakon o vodah (Ur. l. RS, št. 67/02)

### **Topografski podatki in podatki o računskih pretokih**

Vir podatkov: Inštitut za vodarstvo, d. o. o. 2014.

### **Programska oprema**

Ackerman, T. C. 2005. HEC-GeoRAS, An extension for support of HEC-RAS using ArcView GIS. Davis, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Brunner, W. G. 2010. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Brunner, W. G. 2010. HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. Davis, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A.1: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA POPLAVNI VAL Z 10-LETNO POVRATNO DOBO – SEDANJE STANJE

PRILOGA A.2: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA POPLAVNI VAL Z 10-LETNO POVRATNO DOBO – NAČRTOVANO STANJE

PRILOGA A.3: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA POPLAVNI VAL Z 100-LETNO POVRATNO DOBO – SEDANJE STANJE

PRILOGA A.4: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA POPLAVNI VAL Z 100-LETNO POVRATNO DOBO – NAČRTOVANO STANJE

PRILOGA A.5: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA SREDNJI PRETOK – SEDANJE STANJE

PRILOGA A.6: REZULTATI HIDRAVLICNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA SREDNJI PRETOK – NAČRTOVANO STANJE

PRILOGA B: PRIMERJAVA GLOBIN VODOTOKA: SEDANJE IN NAČRTOVANO STANJE PRI PRETOKU  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

PRILOGA C: PREDLAGANA SONARAVNA UREDITEV NA OBMOČJU POTOKA VRTOJBICA NA PODLAGI POPLAVNEGA VALA S 100-LETNO POVRATNO DOBO

PRILOGA D.1: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSTAVITEV JEZBIC

PRILOGA D.2: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSTAVITEV VRBOVIH FAŠIN

PRILOGA D.3: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSTAVITEV PILOTNE STENE

PRILOGA D.4: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSADITEV ŽIVIH POTAKNJENCEV S KOKOSOVIMI ZVITKI

PRILOGA D.5: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSTAVITEV KAMNOMETA S POTAKNJENCI

PRILOGA D.6: PREDLAGAN SONARAVNI UKREP POSADITEV POTAKNJENCEV NA OBSTOJEČI KAMNOMET

PRILOGA A.1:

PREGLEDNICA A.1: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 POPLAVNI VAL Z 10-LETNO POVRATNO DOBO – SEDANJE STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	39,49	135,63	38,78	26,35	0,56	2,3	0,55	1,88
2	1860	27,92	97,57	26,3	26,34	0,46	1,94	0,45	1,84
3	1840	19,43	74,4	8,42	26,34	0,39	1,75	0,25	2,19
4	1820	24,05	87,78	8,87	26,34	0,44	1,89	0,24	2,14
5	1800	22,25	81,97	21,52	26,33	0,42	1,82	0,41	2,25
6	1780	28,42	104,39	26,91	26,32	0,47	2,05	0,46	2,18
7	1760	23,46	106,33	27,09	26,31	0,41	2,05	0,45	2,15
8	1747,792	16,11	73,05	20,77	26,31	0,35	1,73	0,41	2,21
9	1740	15,02	57,27	21,17	26,31	0,35	1,53	0,43	2,17
10	1729,926	27,12	96,48	21,93	26,3	0,47	1,98	0,41	2,13
11	1720	23,73	100,4	16,73	26,28	0,42	2	0,33	2,12
12	1709,71	17,69	80,45	12,38	26,27	0,36	1,8	0,28	2,01
13	1700	26,74	104,21	17,62	25,4	0,45	2,02	0,34	1,98
14	1690,784	29,74	131,43	19,33	25,21	0,45	2,22	0,34	1,83
15	1680	24,21	95,7	13,99	26,31	0,42	1,91	0,29	1,67
16	1670	21,69	74,1	12,95	26,31	0,41	1,67	0,29	1,7
17	1660	19,65	57,97	13,28	26,31	0,39	1,48	0,3	1,74
18	1649,864	17,17	101,57	21,67	26,31	0,33	1,95	0,38	1,77
19	1640	22,61	101,55	32,51	26,31	0,4	1,98	0,51	1,87
20	1631,55	21,59	104,67	33,42	26,3	0,39	2,01	0,52	1,86
21	1623,115	17,72	94,55	30,29	26,3	0,34	1,91	0,49	1,88
22	1609,65	14,25	45,27	6,07	26,3	0,34	1,33	0,19	1,93
23	1596,18	15,75	41,43	8,41	26,3	0,37	1,27	0,24	1,91
24	1582,721	17,8	46,71	13,29	26,3	0,39	1,34	0,32	1,98
25	1571,071	25,05	58,94	17,91	26,29	0,47	1,5	0,37	1,78
26	1560,588	24,76	69,21	16,09	26,29	0,45	1,64	0,34	1,81
27	1549,719	18,8	48,05	11,8	26,29	0,41	1,38	0,3	2,05
28	1540	23,68	61,81	13,2	26,29	0,46	1,58	0,31	2,2
29	1530	36,37	80,56	12,94	26,29	0,56	1,74	0,28	1,94
30	1520	47,57	136,05	28,78	26,29	0,63	2,31	0,45	1,97
31	1509,01	36,76	99,74	22,76	26,29	0,56	1,98	0,41	1,99
32	1498,03	60,54	154,54	29,99	26,29	0,7	2,39	0,44	1,65
33	1487,047	64,58	170,21	0	26,28	0,7	2,42	0	1,44
34	1477,328	20,35	62,55	37,56	26,28	0,4	1,53	0,6	1,95
35	1468,66	16,96	55,14	33,16	26,28	0,36	1,44	0,56	1,92
36	1460	16,06	54,8	34,46	26,28	0,34	1,42	0,57	1,88
37	1448,55	18,1	52,35	20,83	26,28	0,39	1,43	0,42	1,99

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice A.1

38	1437,1	21,1	93,63	30,16	26,28	0,44	1,9	0,49	1,86
39	1425,653	13,22	80,3	38,51	26,28	0,3	1,72	0,58	1,82
40	1412,1	11,98	55,68	19,09	26,28	0,29	1,47	0,4	2,02
41	1398,549	27,65	53,02	0	26,28	0,51	1,42	0	1,9
42	1388,442	45,05	118	0	26,27	0,58	2,02	0	1,59
43	1380	17,34	68,38	20,79	26,27	0,34	1,54	0,38	1,76
44	1368,98	12,26	47,79	18,7	26,27	0,28	1,28	0,38	1,91
45	1357,971	20,98	112,41	21,61	26,26	0,36	2	0,37	1,72
46	1343,164	14,75	74,62	30,07	26,26	0,3	1,63	0,49	1,78
47	1331,94	19,45	46,04	26,05	26,26	0,4	1,28	0,48	1,54
48	1320,721	23,05	35,05	19,71	26,26	0,46	1,11	0,41	1,59
49	1311,66	14,92	44,2	23,59	26,26	0,33	1,24	0,45	1,58
50	1302,601	15,06	60,06	25,35	26,26	0,32	1,48	0,46	1,82
51	1297,077	16,87	63,75	22,83	26,26	0,35	1,52	0,42	1,81

PRILOGA A.2:

PREGLEDNICA A.2: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 POPLAVNI VAL Z 10-LETNO POVRATNO DOBO – NAČRTOVANO STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	34,25	126,16	34,27	26,35	0,83	2,65	0,84	1,67
2	1860	24,14	89,76	23,74	26,35	0,7	2,23	0,69	1,65
3	1840	14,8	60,79	12,72	26,35	0,56	1,9	0,5	2,03
4	1820	19,3	75,58	15,97	26,35	0,64	2,11	0,56	1,96
5	1800	18,27	72,52	14,02	26,35	0,62	2,06	0,52	2,08
6	1780	21,84	86,84	21,01	26,35	0,67	2,25	0,65	2,02
7	1760	17,37	88,25	20,72	26,35	0,57	2,25	0,64	2
8	1747,792	12,66	55,18	13,27	26,35	0,51	1,82	0,53	2,11
9	1740	10,98	41,22	13,93	26,35	0,49	1,58	0,57	2,07
10	1729,926	20,5	75	13,46	26,35	0,67	2,12	0,5	2,03
11	1720	19,26	80,52	8,86	26,34	0,62	2,16	0,37	2,01
12	1709,71	10,98	59,45	8,67	26,35	0,46	1,87	0,39	1,93
13	1700	22,23	95,71	17,55	26,35	0,66	2,33	0,56	1,84
14	1690,784	27,14	111,87	15,02	26,35	0,72	2,48	0,49	1,73
15	1680	28,59	129,09	23,88	26,35	0,72	2,64	0,64	1,46
16	1670	18,1	109,1	9,8	26,35	0,66	2,41	0,44	1,48
17	1660	11,49	92,62	10,48	26,35	0,5	2,21	0,47	1,51
18	1649,864	17,66	100,32	12,89	26,35	0,65	2,31	0,53	1,57
19	1640	18,61	88,78	23,25	26,35	0,71	2,22	0,82	1,69
20	1631,55	17,11	93,21	26,19	26,34	0,66	2,27	0,88	1,67
21	1623,115	16,81	103,19	28,08	26,34	0,64	2,15	0,9	1,69
22	1609,65	10,68	43,72	5,08	26,34	0,55	1,42	0,34	1,78
23	1596,18	11,89	37,62	6,73	26,34	0,61	1,3	0,41	1,76
24	1582,721	11,43	36,16	8,47	26,34	0,59	1,42	0,49	1,84
25	1571,071	15,53	42,15	11,39	26,34	0,71	1,53	0,57	1,65
26	1560,588	15,29	51,36	11,18	26,34	0,68	1,7	0,55	1,68
27	1549,719	10,82	30,99	7,18	26,34	0,6	1,34	0,46	1,94
28	1540	12,87	37,03	7,5	26,34	0,66	1,48	0,46	2,1
29	1530	24,29	59,07	8,29	26,34	0,74	1,8	0,36	1,84
30	1520	41,87	106,01	0	26,34	0,96	2,15	0	3,63
31	1509,01	33,75	81,15	0	26,34	0,87	1,88	0	2,59
32	1498,03	44,37	110,16	0	26,34	0,98	2,16	0	1,59
33	1487,047	46,83	205,91	3,48	26,33	0,89	2,88	0,16	1,24
34	1477,328	15,61	59,83	35,08	26,34	0,55	1,62	0,95	1,82
35	1468,66	10,72	45,75	26,92	26,34	0,45	1,57	0,83	1,78
36	1460	9,96	47,22	29,26	26,34	0,42	1,58	0,86	1,74
37	1448,55	12,15	41,81	15,93	26,34	0,51	1,54	0,61	1,87

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.2

38	1437,1	27,2	66,37	19,22	26,34	0,8	1,93	0,63	1,74
39	1425,653	8,08	73,13	32,18	26,33	0,36	1,97	0,85	1,68
40	1412,1	6,91	45,39	13,28	26,33	0,34	1,6	0,53	1,9
41	1398,549	17,54	36,34	0	26,33	0,66	1,43	0	1,8
42	1388,442	32,1	123	0	26,33	0,75	2,46	0	1,42
43	1380	11,07	63,62	14,41	26,33	0,5	1,78	0,59	1,63
44	1368,98	7,05	39,48	13,13	26,33	0,4	1,4	0,61	1,81
45	1357,971	27,38	114,02	22,99	26,33	0,9	2,4	0,74	1,55
46	1343,164	7,91	85,43	25,48	26,33	0,32	2,07	0,69	1,59
47	1331,94	14,06	40,72	20,91	26,33	0,53	1,44	0,69	1,39
48	1320,721	17,46	28,79	14,37	26,33	0,64	1,19	0,56	1,44
49	1311,66	10,17	40,77	19,51	26,33	0,42	1,42	0,65	1,44
50	1302,601	8,75	57,06	20,17	26,33	0,37	1,73	0,65	1,66
51	1297,077	10,36	61,45	17,09	26,33	0,41	1,79	0,57	1,66



PRILOGA A.3:

PREGLEDNICA A.3: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 POPLAVNI VAL Z 100-LETNO POVRATNO DOBO – SEDANJE STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	34,49	235,74	40,25	47,54	0,48	3,17	0,54	2,34
2	1860	23,36	106,19	30,67	47,59	0,43	2,13	0,51	2,39
3	1840	26,06	111,73	23,85	47,57	0,46	2,23	0,44	2,69
4	1820	12,77	108,08	32,44	47,56	0,29	2,18	0,54	2,66
5	1800	13,82	119,09	37,04	47,55	0,3	2,28	0,58	2,74
6	1780	51,45	184,18	27,68	47,49	0,66	2,81	0,44	2,58
7	1760	36,81	137,98	37,06	47,5	0,55	2,43	0,56	2,61
8	1747,792	22,58	107,57	44,6	47,5	0,42	2,17	0,66	2,65
9	1740	13,94	99,51	46,46	47,5	0,31	2,09	0,69	2,57
10	1729,926	29,72	147,6	50,64	47,49	0,48	2,52	0,68	2,47
11	1720	38,96	180,61	46,04	47,4	0,54	2,72	0,6	2,32
12	1709,71	41,35	130,73	33,37	47,43	0,6	2,34	0,52	2,26
13	1700	45,08	111,81	25,31	47,42	0,64	2,15	0,44	2,27
14	1690,784	42,4	91,77	22,19	47,42	0,64	1,94	0,42	2,29
15	1680	47,43	118,02	21,86	47,4	0,66	2,2	0,39	2,05
16	1670	42,31	98,5	27,45	47,39	0,63	2	0,47	2,07
17	1660	37,75	81,18	27,62	47,39	0,6	1,81	0,49	2,1
18	1649,864	38,57	88,51	30,43	47,37	0,6	1,9	0,51	2,2
19	1640	34,91	76,39	31,96	47,36	0,59	1,8	0,55	2,34
20	1631,55	34,81	76,47	27,54	47,36	0,59	1,8	0,5	2,37
21	1623,115	31,12	68,06	26,49	47,35	0,56	1,7	0,5	2,4
22	1609,65	27,32	58,95	10,2	47,35	0,52	1,58	0,27	2,39
23	1596,18	28,42	55,16	14,1	47,34	0,54	1,52	0,34	2,37
24	1582,721	31,59	60,75	22,89	47,33	0,57	1,6	0,46	2,44
25	1571,071	40,86	73,93	28,31	47,33	0,65	1,76	0,51	2,25
26	1560,588	43,06	85,76	23,51	47,32	0,66	1,9	0,44	2,28
27	1549,719	32,9	63,5	18,24	47,31	0,59	1,65	0,4	2,52
28	1540	13,68	26,21	16,3	47,32	0,38	1,07	0,43	2,73
29	1530	8,73	15	15,65	47,32	0,3	0,79	0,44	2,44
30	1520	9,88	21,15	20,54	47,31	0,31	0,94	0,51	2,39
31	1509,01	77,46	160,99	40,96	47,31	0,88	2,61	0,58	2,4
32	1498,03	110,12	210,48	49,59	47,3	1,04	2,91	0,61	2,06
33	1487,047	107,36	194,34	21,75	47,28	1,01	2,74	0,35	1,89
34	1477,328	42,34	92,66	58,25	47,29	0,64	1,95	0,79	2,4
35	1468,66	33,7	71,67	44,73	47,28	0,57	1,72	0,69	2,39
36	1460	29,29	61	38,93	47,28	0,53	1,57	0,64	2,37

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.3

37	1448,55	33,56	68,53	30,6	47,28	0,58	1,71	0,55	2,47
38	1437,1	41,33	103,29	42,3	47,27	0,63	2,09	0,63	2,36
39	1425,653	30,62	78,92	43,73	47,27	0,53	1,8	0,67	2,34
40	1412,1	26,25	66,25	32,19	47,26	0,5	1,68	0,57	2,54
41	1398,549	45,6	70,47	4,68	47,26	0,71	1,71	0,15	2,4
42	1388,442	74,75	130,9	9,27	47,25	0,85	2,25	0,21	2,1
43	1380	21,86	48,2	22,83	47,25	0,45	1,38	0,48	2,34
44	1368,98	19,75	39,16	22,31	47,25	0,43	1,25	0,47	2,48
45	1357,971	34,73	76,63	33,31	47,24	0,57	1,76	0,56	2,31
46	1343,164	26,66	57,36	32,04	47,24	0,5	1,53	0,57	2,39
47	1331,94	23,47	39,12	26,37	47,24	0,49	1,26	0,53	2,15
48	1320,721	23,63	31,14	21,27	47,24	0,51	1,12	0,48	2,19
49	1311,66	21,77	40,5	26,14	47,24	0,46	1,28	0,52	2,19
50	1302,601	27,18	58,09	32,52	47,24	0,51	1,55	0,58	2,4
51	1297,077	28,71	59,88	31,36	47,24	0,53	1,57	0,56	2,41

PRILOGA A.4:

PREGLEDNICA A.4: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 POPLAVNI VAL Z 100-LETNO POV RATNO DOBO – NAČRTOVANO STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	61,51	218,05	63,51	47,38	1,17	3,63	1,2	2,05
2	1860	18,58	86,87	20,14	47,51	0,62	2,33	0,66	2,23
3	1840	25,02	90,55	14,11	47,49	0,77	2,42	0,53	2,53
4	1820	13	74,09	20,01	47,5	0,52	2,2	0,69	2,57
5	1800	9,59	73,3	21,78	47,5	0,42	2,18	0,73	2,7
6	1780	42,63	147,09	39,31	47,5	1	3,04	0,95	2,48
7	1760	46,05	197,08	48,95	47,5	0,98	3,44	1,02	2,25
8	1747,792	13,6	72,22	27,97	47,5	0,53	2,16	0,86	2,54
9	1740	7,23	68,1	30,44	47,5	0,35	2,1	0,92	2,47
10	1729,926	16,97	98,63	31,65	47,47	0,58	2,5	0,88	2,4
11	1720	23,71	100,24	16,31	32,64	0,7	2,44	0,54	2,11
12	1709,71	26,86	97,2	20,44	47,49	0,78	2,44	0,65	2,14
13	1700	27,36	72,25	14,2	47,5	0,82	2,1	0,53	2,19
14	1690,784	24,1	53,89	11,82	47,5	0,8	1,81	0,49	2,23
15	1680	25,7	121,01	16,7	27,66	0,69	2,58	0,52	1,54
16	1670	23,81	60,66	15,41	47,47	0,92	1,9	0,69	1,95
17	1660	20,14	45,92	14,49	47,47	0,86	1,65	0,69	2,01
18	1649,864	19,75	47,34	15,46	47,47	0,85	1,69	0,72	2,14
19	1640	22,76	98,27	38,26	43,2	0,83	2,45	1,18	2,16
20	1631,55	17,96	41,88	14,87	47,46	0,83	1,61	0,73	2,26
21	1623,115	41,43	209,39	70,56	47,29	1,07	3,16	1,53	1,96
22	1609,65	19,3	47,43	7,49	47,41	0,84	1,54	0,45	2,19
23	1596,18	19,81	42,5	10,03	47,41	0,87	1,45	0,55	2,17
24	1582,721	19,06	40,48	14,03	47,4	0,85	1,57	0,7	2,25
25	1571,071	23,16	45,27	16,2	47,39	0,95	1,65	0,75	2,07
26	1560,588	24,09	52,43	13,7	47,38	0,96	1,79	0,66	2,11
27	1549,719	17,24	35,5	9,79	47,38	0,83	1,49	0,57	2,38
28	1540	5,37	10,87	6,6	47,39	0,47	0,84	0,54	2,6
29	1530	4,1	7,42	7,86	47,38	0,34	0,67	0,52	2,29
30	1520	3,47	7,7	0	47,38	0,3	0,62	0	4,01
31	1509,01	70,34	121,85	0	47,38	1,37	2,37	0	2,96
32	1498,03	88,68	149,48	0	47,38	1,52	2,58	0	1,94
33	1487,047	104,79	239,59	37,87	47,36	1,56	3,25	0,79	1,59
34	1477,328	37,14	92,63	57,02	47,37	0,95	2,1	1,27	2,17
35	1468,66	24,64	61,06	37,58	47,37	0,78	1,9	1,03	2,16
36	1460	21,17	51,7	33,01	47,38	0,72	1,73	0,96	2,14
37	1448,55	24,37	56,23	24,05	47,37	0,8	1,85	0,79	2,25

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.4

38	1437,1	31,2	98,61	36,49	47,37	0,85	2,45	0,95	2,1
39	1425,653	22,23	74,72	39,25	47,37	0,7	2,09	1,02	2,1
40	1412,1	18,58	56,35	24,45	47,37	0,66	1,86	0,8	2,31
41	1398,549	32,14	52,93	1,63	47,37	0,96	1,78	0,13	2,18
42	1388,442	78,83	177,59	0	47,32	1,34	3,06	0	1,71
43	1380	16,38	47,57	20,26	47,35	0,72	1,63	0,83	2,05
44	1368,98	14,68	35,76	18,03	47,35	0,7	1,41	0,8	2,2
45	1357,971	28,17	85,15	27,79	47,33	0,94	2,19	0,94	1,98
46	1343,164	22,49	63,56	31,7	47,34	0,71	1,9	0,9	2,07
47	1331,94	18,39	34,14	21,83	47,34	0,7	1,4	0,78	1,87
48	1320,721	18,75	26,02	16,61	47,33	0,73	1,21	0,67	1,89
49	1311,66	17,85	37,7	23,11	47,34	0,67	1,46	0,79	1,92
50	1302,601	22,39	60,17	30,25	47,34	0,72	1,87	0,89	2,08
51	1297,077	23,53	59,35	27,47	47,34	0,75	1,86	0,83	2,12

PRILOGA A.5:

PREGLEDNICA A.5: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 SREDNJI PRETOK – SEDANJE STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	0	7,34	0	0,4	0	0,39	0	0,32
2	1860	0	66,37	0	0,4	0	1,03	0	0,14
3	1840	0	5,41	0	0,4	0	0,33	0	0,28
4	1820	0	10,83	0	0,4	0	0,46	0	0,25
5	1800	0	13,69	0	0,4	0	0,53	0	0,32
6	1780	0	8,41	0	0,4	0	0,42	0	0,33
7	1760	0	7,1	0	0,4	0	0,39	0	0,37
8	1747,792	0	3,85	0	0,4	0	0,29	0	0,41
9	1740	0	4,9	0	0,4	0	0,32	0	0,36
10	1729,926	0	3,36	0	0,4	0	0,28	0	0,41
11	1720	0	2,4	0	0,4	0	0,24	0	0,46
12	1709,71	0	4,32	0	0,4	0	0,31	0	0,35
13	1700	0	4,02	0	0,4	0	0,3	0	0,38
14	1690,784	0	5,54	0	0,4	0	0,34	0	0,38
15	1680	0	9,6	0	0,4	0	0,42	0	0,21
16	1670	0	9,98	0	0,4	0	0,43	0	0,22
17	1660	0	15,48	0	0,4	0	0,52	0	0,2
18	1649,864	0	24,92	0	0,4	0	0,64	0	0,19
19	1640	0	11,75	0	0,4	0	0,48	0	0,26
20	1631,55	0	8,32	0	0,4	0	0,4	0	0,28
21	1623,115	0	3,94	0	0,4	0	0,29	0	0,32
22	1609,65	0	2,37	0	0,4	0	0,23	0	0,34
23	1596,18	0	8,95	0	0,4	0	0,41	0	0,32
24	1582,721	0	1,99	0	0,4	0	0,21	0	0,42
25	1571,071	0	12,18	0	0,4	0	0,48	0	0,24
26	1560,588	0	58,13	0	0,4	0	0,93	0	0,12
27	1549,719	0	5,02	0	0,4	0	0,33	0	0,34
28	1540	0	2,23	0	0,4	0	0,23	0	0,52
29	1530	0	9,17	0	0,4	0	0,43	0	0,31
30	1520	0	3,65	0	0,4	0	0,29	0	0,47
31	1509,01	0	1,54	0	0,4	0	0,19	0	0,53
32	1498,03	0	8,26	0	0,4	0	0,41	0	0,32
33	1487,047	0	65,33	0	0,4	0	1,01	0	0,13
34	1477,328	0	8,56	0	0,4	0	0,42	0	0,39
35	1468,66	0	10,29	0	0,4	0	0,45	0	0,33
36	1460	0	18,13	0	0,4	0	0,58	0	0,25
37	1448,55	0	4,65	0	0,4	0	0,32	0	0,38

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.5

38	1437,1	0	7,61	0	0,4	0	0,39	0	0,31
39	1425,653	0	7,4	0	0,4	0	0,39	0	0,29
40	1412,1	0	1,15	0	0,4	0	0,17	0	0,52
41	1398,549	0,17	1,52	0	0,4	0,02	0,19	0	0,43
42	1388,442	0	54,25	0	0,4	0	0,97	0	0,22
43	1380	0	17,15	0	0,4	0	0,56	0	0,26
44	1368,98	0	3,15	0	0,4	0	0,26	0	0,43
45	1357,971	0	9,77	0	0,4	0	0,45	0	0,37
46	1343,164	0	2,99	0	0,4	0	0,26	0	0,47
47	1331,94	0	8,38	0	0,4	0	0,4	0	0,23
48	1320,721	0	18,09	0	0,4	0	0,59	0	0,33
49	1311,66	0	51,62	0	0,4	0	0,86	0	0,12
50	1302,601	0	9,16	0	0,4	0	0,42	0	0,34
51	1297,077	0	10,38	0	0,4	0	0,45	0	0,33

PRILOGA A.6:

PREGLEDNICA A.6: REZULTATI HIDRAVLIČNE ANALIZE V PROGRAMU HEC-RAS ZA  
 SREDNJI PRETOK – NAČRTOVANO STANJE

Profil	Stacionaža [m]	Strižna napetost [N/m <sup>2</sup> ]			Pretok [m <sup>3</sup> /s]	Hitrost [m/s]			Globina vode [m]
		levi breg	glavni kanal	desni breg		levi breg	glavni kanal	desni breg	
1	1880	0	6,26	0	0,4	0	0,43	0	0,29
2	1860	0	44,43	0	0,4	0	1,03	0	0,14
3	1840	0	4,72	0	0,4	0	0,37	0	0,25
4	1820	0	9,95	0	0,4	0	0,53	0	0,23
5	1800	0	12,67	0	0,4	0	0,61	0	0,29
6	1780	0	7,79	0	0,4	0	0,48	0	0,3
7	1760	0	6,37	0	0,4	0	0,44	0	0,34
8	1747,792	0	3,23	0	0,4	0	0,33	0	0,38
9	1740	0	4,37	0	0,4	0	0,36	0	0,33
10	1729,926	0	2,75	0	0,4	0	0,3	0	0,38
11	1720	0	1,89	0	0,4	0	0,26	0	0,43
12	1709,71	0	3,58	0	0,4	0	0,34	0	0,32
13	1700	0	3,24	0	0,4	0	0,32	0	0,36
14	1690,784	0	4,5	0	0,4	0	0,37	0	0,35
15	1680	0	8,45	0	0,4	0	0,48	0	0,19
16	1670	0	8,79	0	0,4	0	0,48	0	0,2
17	1660	0	12,94	0	0,4	0	0,57	0	0,18
18	1649,864	0	26,42	0	0,4	0	0,79	0	0,17
19	1640	0	10,53	0	0,4	0	0,54	0	0,24
20	1631,55	0	7,06	0	0,4	0	0,45	0	0,26
21	1623,115	0	3,92	0	0,4	0	0,31	0	0,3
22	1609,65	0	2,33	0	0,4	0	0,24	0	0,32
23	1596,18	0	9,74	0	0,4	0	0,47	0	0,29
24	1582,721	0	1,53	0	0,4	0	0,23	0	0,4
25	1571,071	0	10,93	0	0,4	0	0,54	0	0,22
26	1560,588	0	38,91	0	0,4	0	0,93	0	0,12
27	1549,719	0	5,32	0	0,4	0	0,4	0	0,29
28	1540	0	2	0	0,4	0	0,27	0	0,47
29	1530	0	11,55	0	0,4	0	0,57	0	0,25
30	1520	0	3,5	0	0,4	0	0,31	0	2,16
31	1509,01	0	1,42	0	0,4	0	0,2	0	1,16
32	1498,03	0	5,95	0	0,4	0	0,38	0	0,26
33	1487,047	0	45,72	0	0,4	0	0,9	0	0,1
34	1477,328	0	8,86	0	0,4	0	0,46	0	0,36
35	1468,66	0	8,96	0	0,4	0	0,51	0	0,31
36	1460	0	18,37	0	0,4	0	0,7	0	0,22
37	1448,55	0	3,76	0	0,4	0	0,34	0	0,36

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice A.6

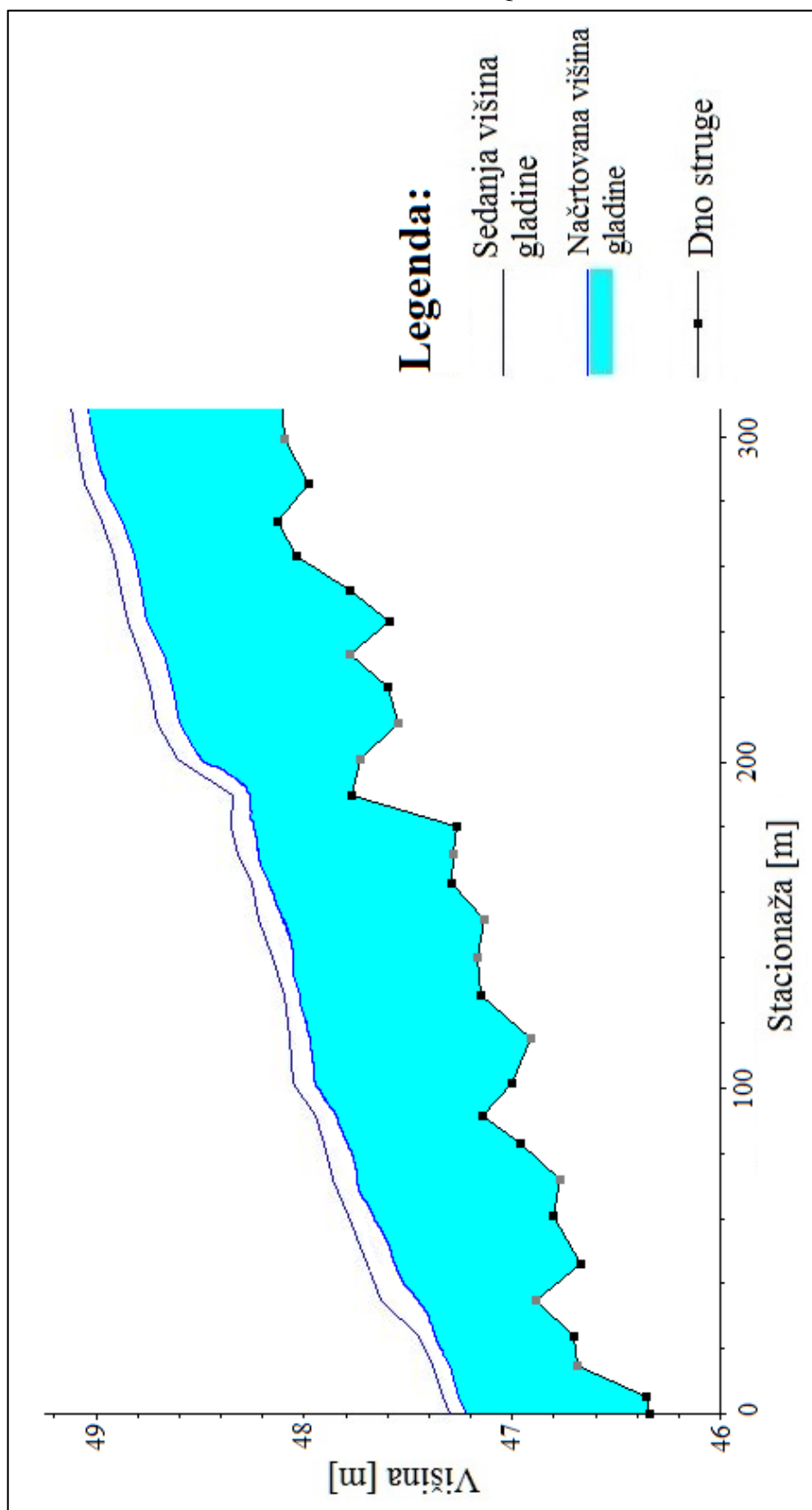
38	1437,1	0	6,15	0	0,4	0	0,43	0	0,29
39	1425,653	0	5,56	0	0,4	0	0,41	0	0,28
40	1412,1	0	0,81	0	0,4	0	0,17	0	0,51
41	1398,549	0,11	1,06	0	0,4	0,03	0,19	0	0,42
42	1388,442	0	46,25	0	0,4	0	1,08	0	0,21
43	1380	0	19,14	0	0,4	0	0,7	0	0,22
44	1368,98	0	2,67	0	0,4	0	0,29	0	0,4
45	1357,971	0	8,64	0	0,4	0	0,51	0	0,34
46	1343,164	0	2,4	0	0,4	0	0,28	0	0,45
47	1331,94	0	7,64	0	0,4	0	0,46	0	0,2
48	1320,721	0	16,82	0	0,4	0	0,68	0	0,3
49	1311,66	0	34,56	0	0,4	0	0,86	0	0,12
50	1302,601	0	8,57	0	0,4	0	0,49	0	0,31
51	1297,077	0	9,72	0	0,4	0	0,52	0	0,3



PRILOGA B:

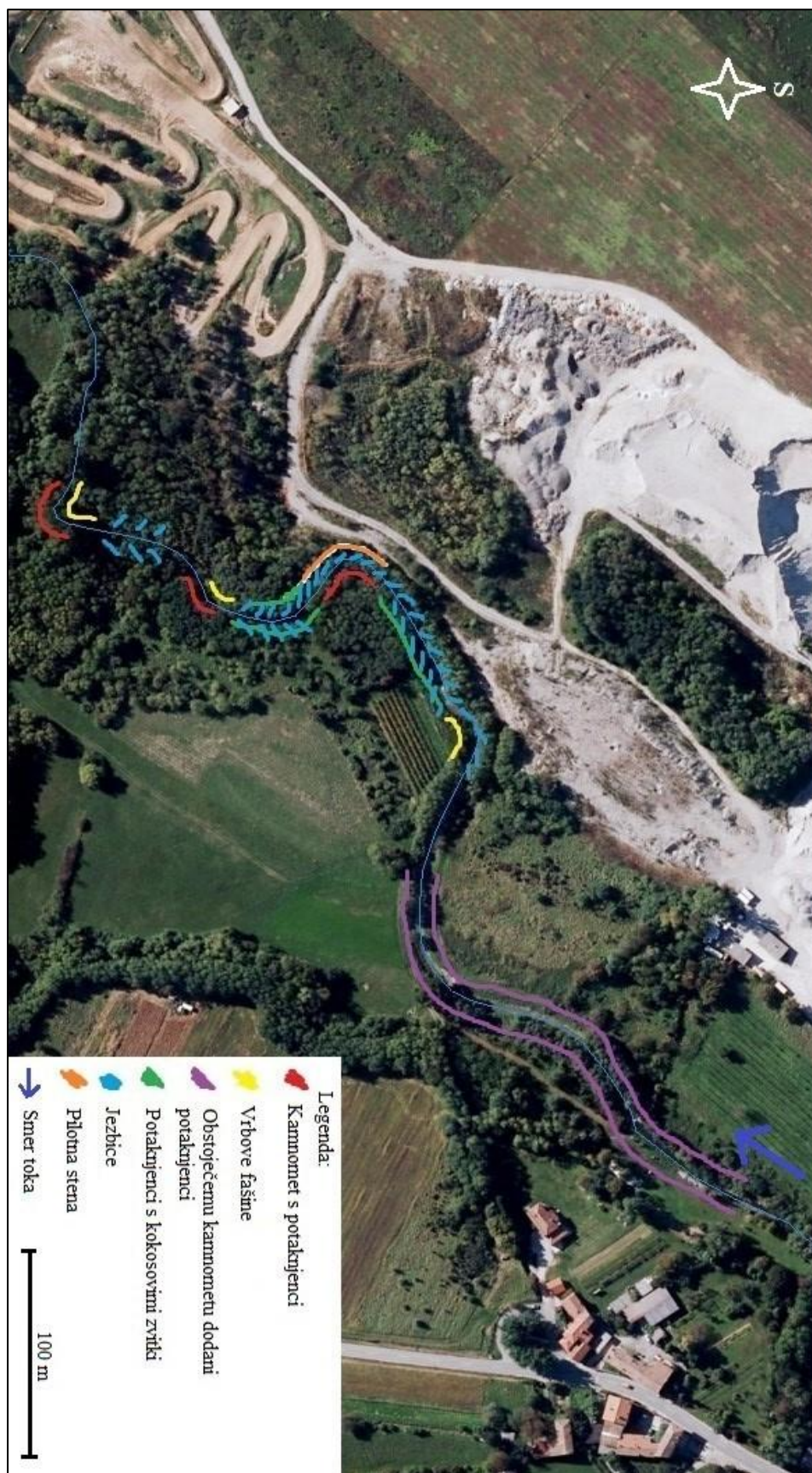
PRIMERJAVA GLOBIN VODOTOKA:

SEDANJE IN NAČRTOVANO STANJE PRI PRETOKU  $Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

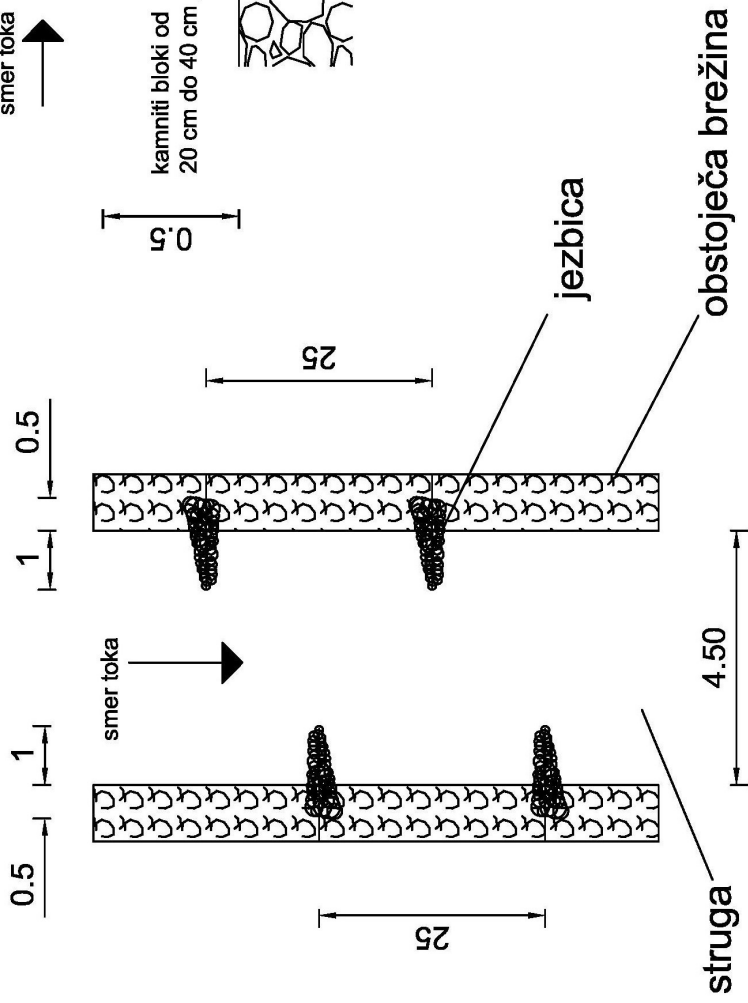


PRILOGA C:

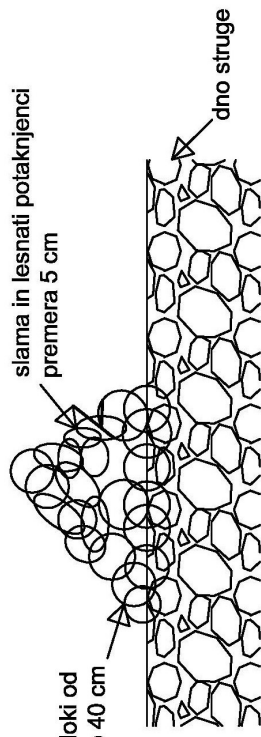
PREDLAGANA SONARAVNA UREDITEV NA OBMOČJU POTOKA VRTOJBICA NA  
PODLAGI POPLAVNEGA VALA S 100-LETNO POVRATNO DOBO



## Tloris



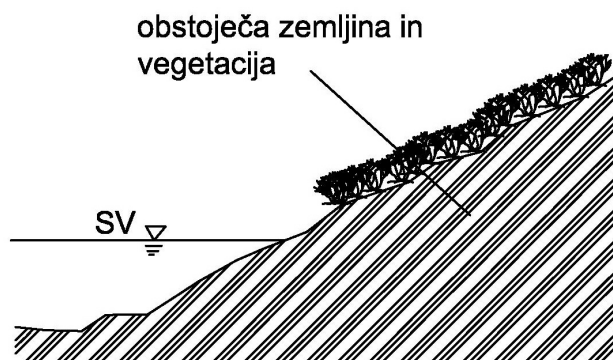
## Naris



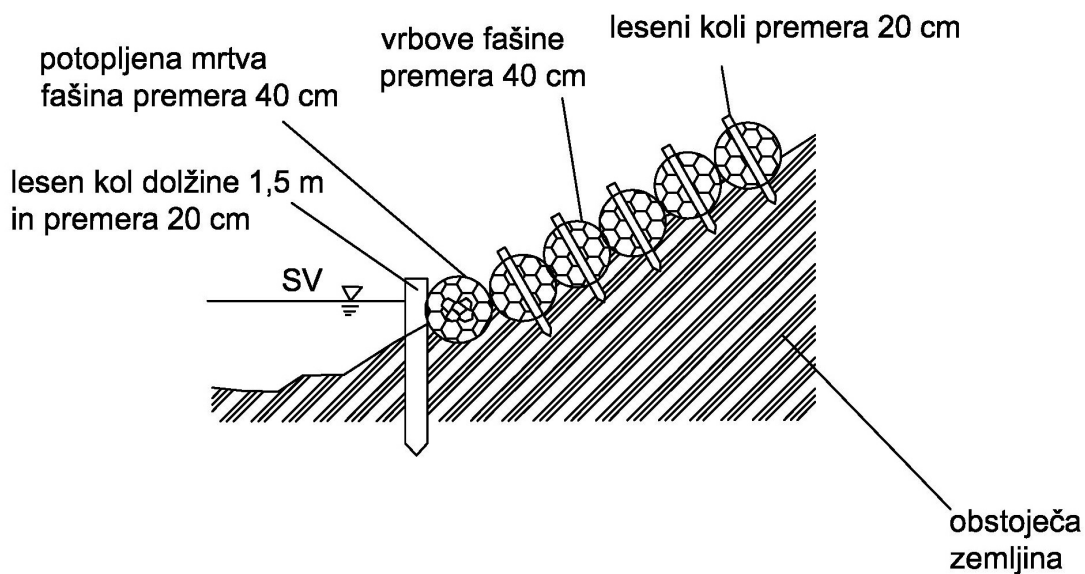
UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG	
Predmet :	Diplomska naloga
Izdela :	Timotej Lestan
Projekt :	Jezbice
Vsebina :	Idejna zasnova
Datum :	20. 9. 2014
Merilo :	Ni v merilu
Številka priloge :	D.1

Op.: Kjer ni drugače navedeno so enote v metrih [m].

## Sedanje stanje



## Načrtovano stanje

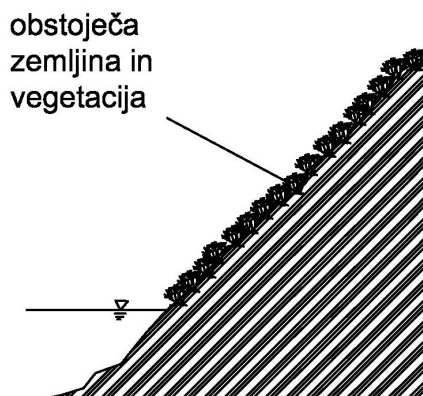


Naklon terena: 2:1

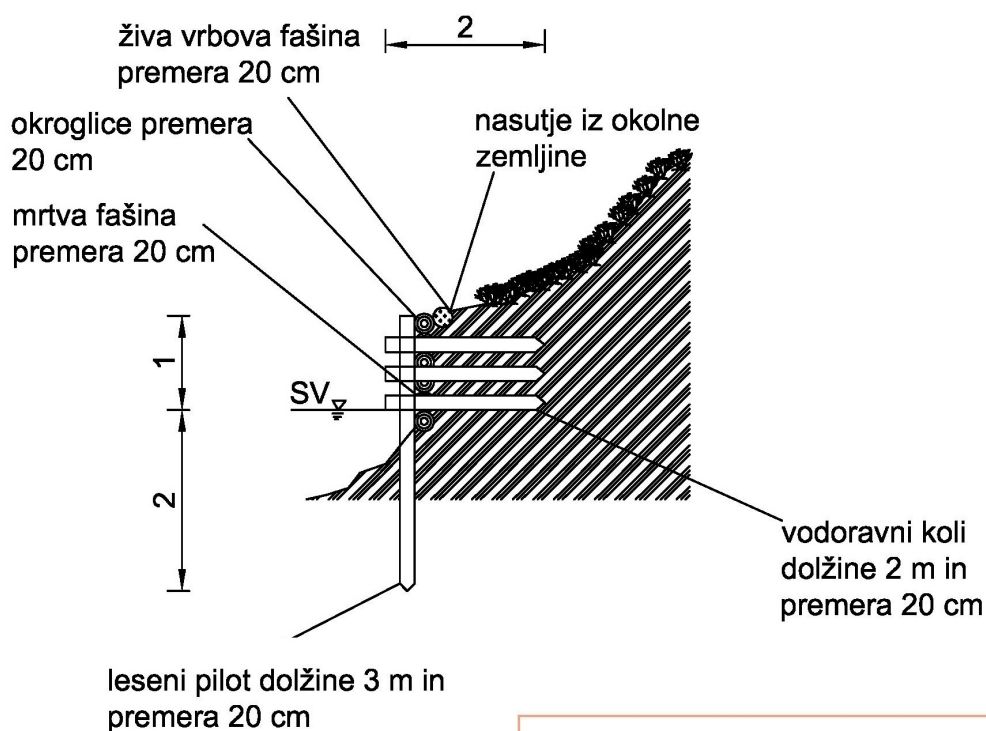
Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].

	UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdelal :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Vrbove fašine	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b> 20. 9. 2014	<b>Merilo :</b> Ni v merilu	<b>Številka priloge :</b> D.2

## Sedanje stanje



## Načrtovano stanje



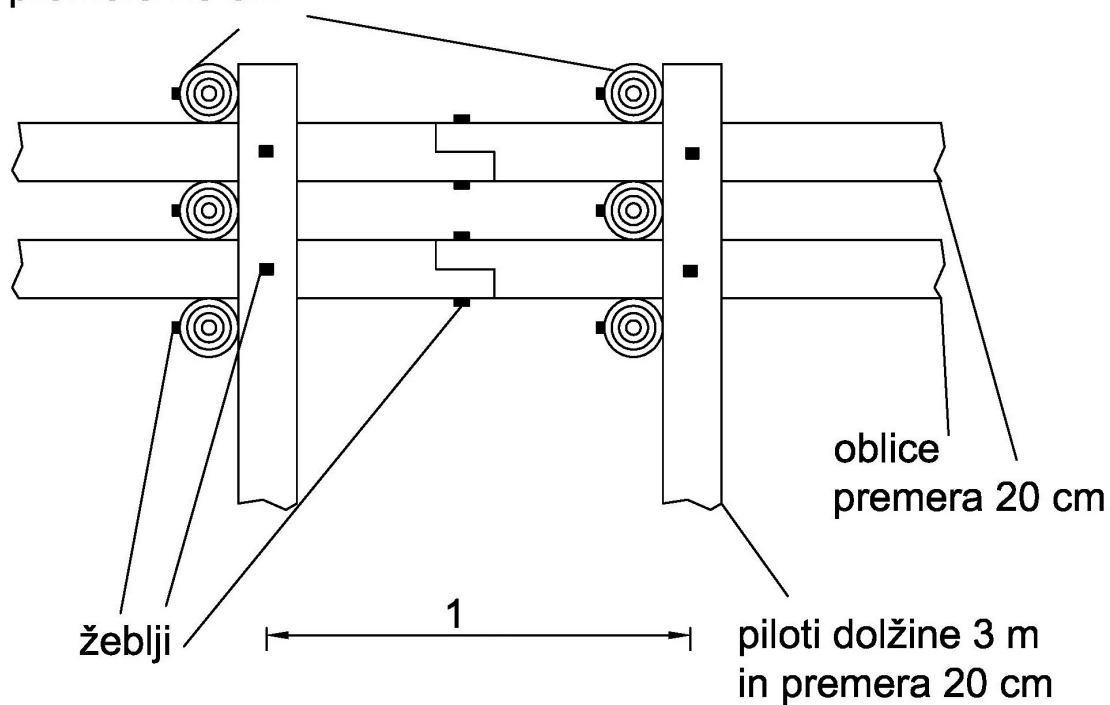
Naklon terena: 1:1

Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].


	UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdelal :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Pilotna stena	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b> 20. 9. 2014	<b>Merilo :</b> Ni v merilu	<b>Številka priloge :</b> D.3/1

# Detajl vzdolžnega stikovanja

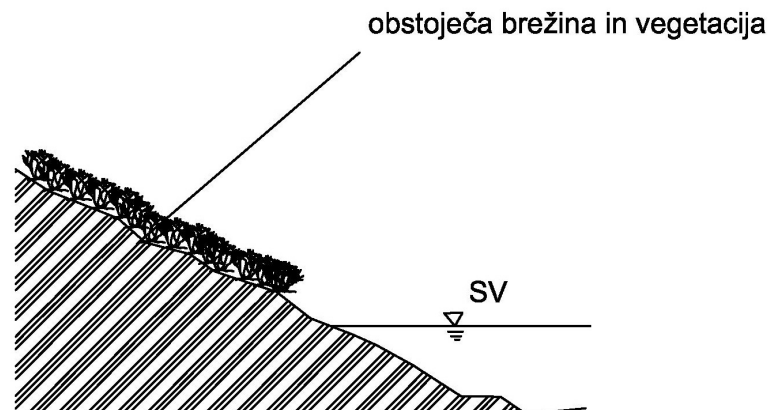
vodoravni koli dolžine 2 m  
in premera 20 cm



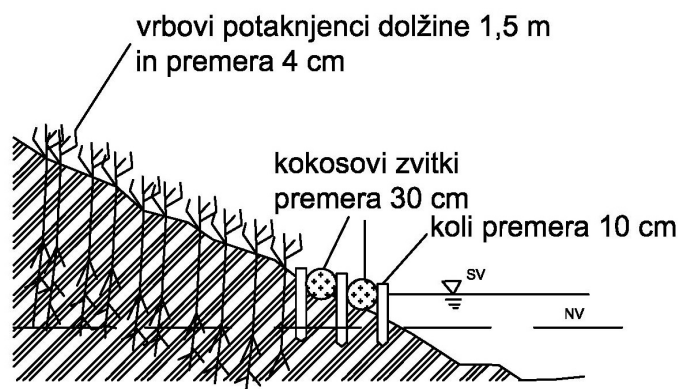
Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].

	<b>UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG</b>	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdelal :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Detajl vzdolžnega stikovanja pilotne stene	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b> 20. 9. 2014	<b>Merilo :</b> Ni v merilu	<b>Številka priloge :</b> D.3/2

# Sedanje stanje



# Načrtovano stanje

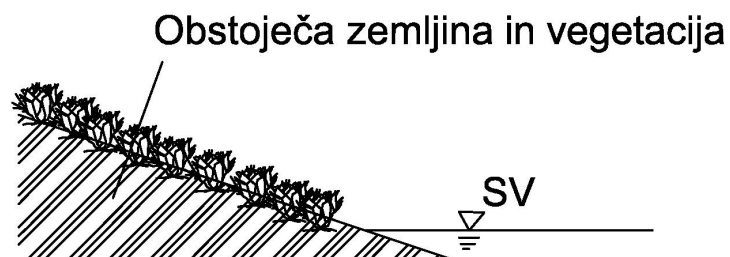


Naklon terena: 2:1

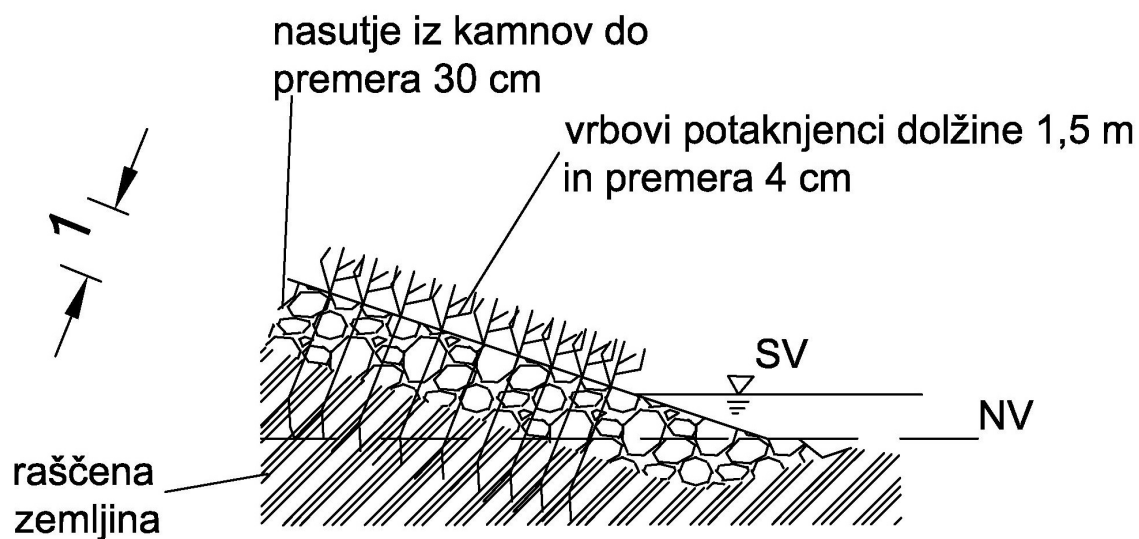
Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].

	<b>UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG</b>	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdela :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Kokosove tonjače s potaknjenci	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b>	<b>Merilo :</b>	<b>Številka priloge :</b>
20. 9. 2014	Ni v merilu	D.4

## Sedanje stanje



## Načrtovano stanje



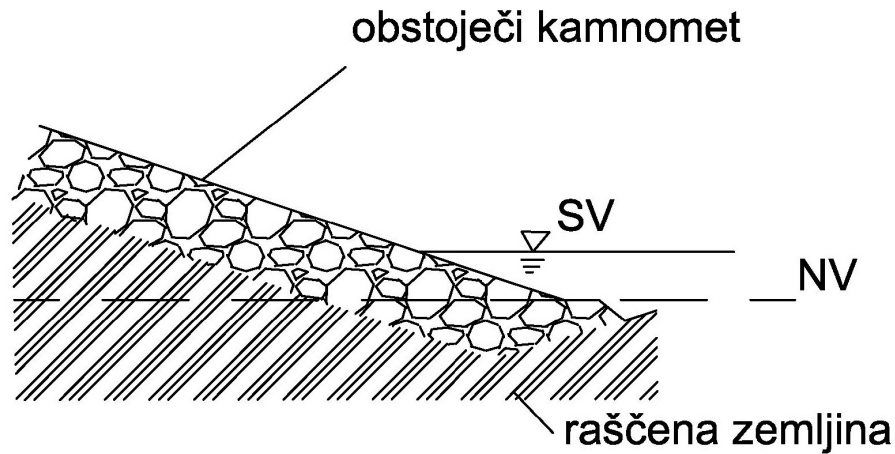
Naklon terena: 3:2

Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].

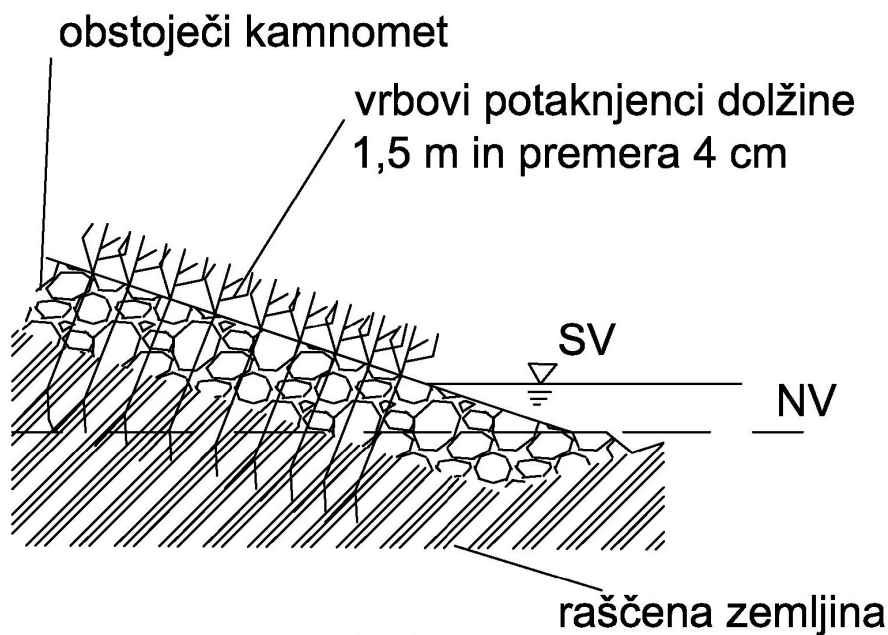
	UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdelal :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Kamnomet	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b> 20. 9. 2014	<b>Merilo :</b> Ni v merilu	<b>Številka priloge :</b> D.5



# Sedanje stanje



# Načrtovano stanje



**Naklon terena: 3:2**

Op.: kjer ni drugače navedeno  
so enote v metrih [m].

	UNIVERZA V LJUBLJANI - FGG	
<b>Predmet :</b>	Diplomska naloga	
<b>Izdelal :</b>	Timotej Lestan	
<b>Projekt :</b>		
<b>Vsebina :</b>	Obstoječi kamnomet	
<b>Faza :</b>	Idejna zasnova	
<b>Datum :</b> 20. 9. 2014	<b>Merilo :</b> Ni v merilu	<b>Številka priloge :</b> D.6