

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidatka:

Sandra Pranjić

Hidravlična analiza na podlagi topografije Kopra, izdelane s pomočjo tehnologije LIDAR

Diplomska naloga št.: 115

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Somentor:
doc. dr. Primož Banovec

Ljubljana, 25. 11. 2008

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **SANDRA PRANJIC** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:
**»HIDRAVLIČNA ANALIZA TOPOGRAFIJE KOPER S POMOČJO TEHNOLOGIJE
LIDAR«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 17.11.2008

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:

Nalogo so si ogledali učitelji študija Vodarstva in komunalnega inženirstva:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.42:004.6:551.46:627.1:659.2:91(043.2)
Avtor:	Sandra Pranjić
Mentor:	prof. dr. Franci Steinman
Somentor:	doc. dr. Primož Banovec
Naslov:	Hidravlična analiza na podlagi topografije Kopra, izdelane s pomočjo tehnologije Lidar
Obseg in oprema:	83 str., 4 pregl., 39 sl., 17 en., 8 pril.
Ključne besede:	poplave, hidravlika, odprti vodotoki, prostorski podatki, GIS, HEC-GeoRAS, Manifold System

Izvleček

Diplomska naloga obravnava poplave, ki zaradi nepredvidljivosti in povzročene škode, sodijo med najhujše ujme. Na področju poplavljanja rek v Sloveniji je bilo narejenih mnogo študij, področje poplavljanja morja pa je še dokaj neraziskano. Preučevanje dviga morske gladine je razmeroma mlada znanstvena veda, poplavljanje morja pa se od rek razlikuje zaradi vplivov več faktorjev. S primernimi in pravočasnimi ukrepi lahko tudi posledice tovrstnih poplav omilimo. Hidravlično inženirstvo rešuje te probleme z izdelavo fizičnih in matematičnih modelov, pri čemer so slednji zelo uporabni za natančne hidravlične simulacije. Točnost napovedi je sorazmerno odvisna od natančnosti vhodnih podatkov, katerih pridobitev so v veliki meri olajšale moderne tehnologije, kot je uporaba geografskih informacijskih sistemov. Namen diplomskega dela je bila hidravlična analiza razbremenilnika reke Rižane, ki se izliva v morje ter napoved možnih poplavnih scenarijev ob spreminjajočem se dvigu nivoja morske gladine. Prostorski podatki so bili pridobljeni z eno od najsodobnejših GIS tehnologij (tehnologijo LIDAR). Na podlagi ustvarjenega digitalnega modela terena je podatke možno obdelati z različnimi programskimi orodji. V kombinaciji s hidravličnim orodjem HEC-RAS sta bili uporabljeni programski orodji Manifold in ESRI ArcGIS z razširitvami (3D Analyst, Spatial Analyst in HEC-GeoRAS). Navedena programska orodja olajšajo izdelavo geometrije rečnega korita in interpretacijo rezultatov. Omogočajo namreč prikaz rezultatov hidravličnih izračunov v obliki kartiranja poplavnih območij. Ker se pri upodobitvi topografije terena postavljajo vse večje zahteve, je to ena od najsodobnejših rešitev hidravličnih problemov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC:	004.42:004.6:551.46:627.1:659.2:91(043.2)
Author:	Sandra Pranjić
Supervisor:	prof. dr. Franci Steinman
Co-supervisor:	assist. prof. Primož Banovec
Title:	Hydraulic analysis based on topography of Koper made with LIDAR technology
Notes:	83 p., 4 tab., 39 fig., 17 equa., 8 add.
Key word:	floods, hydraulic, open channel, spatial data, GIS, HEC-GeoRAS, Manifold System

Abstract

Floods are, because of their unpredictability, one of the major natural disasters. Whilst the river flooding in Slovenia has a long history of case studies, that is not the case for floods caused by tidal surges along the sea coasts. Research work, done on sea level rise, is relatively young scientific discipline. Besides that, sea flooding differs from river flooding in several factors that cause flooding. Proper evaluation of hazards is essential for carrying out vulnerability assessment in a diverse coastal area. In hydraulic engineering these problems are simulated with physical and mathematical models. When dealing with problems that concern large areas, mathematical models prevail. The accuracy of hydrodynamic models relatively depends on the accuracy of input data. Collection of spatial data has been significantly facilitated by modern technologies, such as geographic information systems. The purpose of this research work was a hydraulic analysis for Rižana estuary. River Rižana pours out into the Adriatic sea in gulf of Koper, which was fundamental for prediction of flood scenarios caused by sea level rise. Spatial data have been acquired by one of the most advanced land surveying techniques (LIDAR technology). Hydraulic modelling software, as Manifold and ESRI ArcGIS with extensions (3D Analyst, Spatial Analyst and HEC-GeoRAS), have been used to prepare the digital terrain model for further hydraulic analysis in HEC-RAS. Such software tools enable the creation of bathymetry of river channel and more sophisticated representation of the results of hydraulic simulations.

ZAHVALA

Na prvem mestu naj se zahvalim vsem, ki so sodelovali pri oblikovanju študija Vodarstva in komunalnega inženirstva ter profesorjem, ki so nesebično razdajali svoje znanje in mi s svojo potrpežljivostjo pomagali do uspešnega zaključka študija.

Za strokovno pomoč, radodarno naklonjen dragoceni čas, usmerjanje in moralno podporo se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu. Nič manjša zahvala pa gre tudi somentorju doc. dr. Primožu Banovcu, ki mi je poleg strokovne pomoči pri oblikovanju diplomske naloge, odprl vrata do novih priložnosti in pognal kolesa motorja proti končnemu cilju – uspešnemu zaključku študija.

Hvala tudi vsem zaposlenim na Inštitutu za vodarstvo, ki so mi pomagali pri izdelavi naloge.

Posebna zahvala gre staršem, ki so mi vsa leta študija zvesto stali ob strani, me podpirali in spodbujali v najtežjih trenutkih.

Na koncu hvala tudi njemu, ki mi je pomagal pri največjih ovirah in se z mano veselil vsakega mojega uspeha, Metodu.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	III
IZJAVA O AVTORSTVU	IV
IZJAVE O PREGLEDU NALOGE:	V
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	VI
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION	VII
ZAHVALA	VIII
KAZALO VSEBINE	IX
KAZALO SLIK	XI
KAZALO PREGLEDNIC	XIII
KAZALO ENAČB	XIII
PRILOGE	XIV
1 UVOD	1
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1 Ničla slovenskega morja in dogajanje v Jadranskem morju.....	4
2.2 Nevarnost poplavljanja in ranljivost prizadetih območij.....	7
2.2.1 Vzroki nastanka in verjetnost pojavljanja poplav.....	8
2.2.2 Kriteriji za določitev razredov ranljivosti v Sloveniji	10
2.2.3 Opredelitev vrste, oblike in stopnje ogroženosti	18
2.3 Hidravlično modeliranje	23
2.3.1 Hidravlika odprtih vodotokov	25
2.3.2 Enodimenzionalni hidravlični model in določanje Manning-ovega koeficienta hrapavosti (n_g)	28
2.3.2 Robni pogoji in vplivno območje	31
2.4 Prostorski podatki	34
2.4.1 Prostorsko načrtovanje	35
2.4.2 Geografski informacijski sistem (GIS).....	38
2.4.3 LIDAR tehnologija	42
3 PROGRAMSKA ORODJA	45
3.1 ESRI ArcGIS	45
3.1.1 ArcView	46

3.1.2 Razširitev 3D Analyst in Spatial Analyst	47
3.1.3 Razširitev HEC-GeoRAS.....	47
3.2 Manifold.....	48
3.3 Programska oprema HEC-RAS	51
4 OBMOČJE OBDELAVE IN OBRAVNAVANI ODSEK REKE RIŽANE	58
4.1 Splošni opis in območje obdelave.....	58
4.2 Vhodni podatki za hidravlično analizo razbremenilnika Rižane	60
4.3 Spodnji robni pogoj - Mareografska postaja Koper.....	62
5 IZDELAVA REČNE GEOMETRIJE NA ODSEKU REKE RIŽANE IN DIGITALNEGA MODELA TERENA ZA OBMOČJE LUKE KOPER.....	64
5.1 Priprava geometrijskih podatkov in izdelava modela terena	65
5.1.1 Topografski podatki	65
5.1.2 Priprava LIDAR podatkov in geometrijskega modela za rabo v HEC-RAS-u.....	67
5.2 Integracija geometrijskega modela v programu HEC-RAS.....	69
5.2.1 Dopolnitev geometrije.....	70
5.2.2 Vhodni podatki o pretokih voda in hidravlični robni pogoji	75
5.3 Prikaz rezultatov s programom Manifold in ugotovitve	76
6 ZAKLJUČEK.....	80
VIRI.....	83
PRILOGE A - H.....	87

KAZALO SLIK

Slika 1: Tablice plimovanja za prvo polovico januarja 2007	5
Slika 2: Najvišje višine gladine morja in število poplav na leto med leti 1963 in 2003	6
Slika 3: Različni viri pritoka vode na določeno območje.....	8
Slika 4: Sistem protipoplavnega ukrepanja	12
Slika 5: Shema postopka določitve poplavnih in erozijskih območij.....	13
Slika 6: Območja poplavne in erozijske nevarnosti	14
Slika 7: Karta razredov poplavne nevarnosti.....	15
Slika 8: Opozorilna karta poplav za tri reke na območju občine Koper	16
Slika 9: Kriteriji za določitev razredov ogroženosti.....	20
Slika 10: Karta poplavne ogroženosti.....	20
Slika 11: Primer matrike poplavne nevarnosti v Avstriji.....	21
Slika 12: Poplavna območja vsakoletnih in izjemnih poplav morja.....	22
Slika 13: Primer fizičnega modela.	23
Slika 14: Matematični model rečnega korita s pretokom v programu HEC RAS.....	24
Slika 15: Ortofoto posnetek razbremenilnika reke Rižane z vplivnim območjem.....	33
Slika 16: Številke parcel ob razbremenilniku reke Rižane.....	33
Slika 17: Izris predvidene lege gospodarsko obrtne in razvojne cone Srmin	37
Slika 18: Razvoj GIS-a.....	39
Slika 19: Prikaz reliefa z izohipsami in z metodo senčenja.	39
Slika 20: Struktura mreže neenakih trikotnikov in povezana vozlišča trikotnikov.....	41
Slika 21: Vpliv različno goste mreže podatkov na natančnost DTM.....	41
Slika 22: Princip delovanja sistema LIDAR	43
Slika 23: Tridimenzionalna vizualizacija v Manifold-u.....	49
Slika 24: Grafični prikaz parametrov energijske enačbe	52
Slika 25: Posneto območje Luke Koper z LIDAR sistemom	59
Slika 26: DMT posnet z LIDAR sistemom in simuliranim dvigom gladine za 1,5 m.....	59
Slika 27: Stari mareograf in nadgrajena mareografska postaja Koper	63
Slika 28: Porečje reke Rižane	64
Slika 29: Tridimenzionalni točkovni oblak posnetega obravnavanega območja	66
Slika 30: Način snemanja terena pri DMT in pri DMP	66

Slika 31: Izdelava geometrijskega modela struge v programu Manifold	68
Slika 32: Spreminjanje koeficientov hrapavosti vzdolž prečnega prereza	70
Slika 33: Nevzdrževani razbremenilnik Rižane	71
Slika 34: Brežine razbremenilnika Rižane	72
Slika 35: Mostne konstrukcije na obravnavanem odseku.....	73
Slika 36: Dopolnitev geometrijske podlage.....	74
Slika 37: Verjetni poplavni scenarij na obravnavanem območju	77
Slika 38: Točke prelivanja vode pri poplavnem scenariju C	78
Slika 39: Vzdolžni profil obravnavanega odseka	78

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Površina poplavnih območij ob izjemnih in vsakoletnih poplavah morja	17
Tabela 2: Izračun višin morja za napovedani dvig morske gladine za 50 cm	17
Tabela 3: Merila za določitev razredov ranljivosti.....	19
Tabela 4: Osnovne značilnosti povodja in pretočnega režima reke Rižane.....	60

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Kontinuitetna enačba	26
Enačba 2: Dinamična enačba.....	27
Enačba 3: Zakon o ohranitvi energije	27
Enačba 4: Energijska enačba.....	28
Enačba 5: Belangerjeva enačba za protitočni račun vodnih gladin	29
Enačba 6: Manning-Sticklerjeva enačba.....	29
Enačba 7: Določanja koeficienta hrapavosti (W. H. Shen)	30
Enačba 8: Enačba za moč LIDAR-jevega signala	43
Enačba 9: Energijska enačba za stalni enakomerni tok	52
Enačba 10: Vzдолžni nakloni v rečnem koritu.....	52
Enačba 11: Lokalne izgube v stalnem enakomernem toku	54
Enačba 12: Energijski padec zaradi hrapavosti	54
Enačba 13: Prevodnost v rečnem odseku	54
Enačba 14: Froudovo število	55
Enačba 15: 2. Newton-ov zakon	56
Enačba 16: Sprememba gibalne količine (dinamična enačba).....	57
Enačba 17: Lokalne izgube v stalnem neenakomernem toku	57

PRILOGE

- PRILOGA A:** Vrednosti Manningovih koeficientov hrapavosti za naravne vodotoke
- PRILOGA B:** Vrednosti Manningovih koeficientov hrapavosti za umetno preoblikovana rečna korita
- PRILOGA C:** Vrednosti Manningovih koeficientov hrapavosti za izkopana in očiščena rečna korita
- PRILOGE D - E:** Točke prelivanja vode v različnih poplavnih scenarijih
- PRILOGA H:** Prikaz pretokov v HEC-RAS-u v najbolj pozitivnem in najbolj negativnem poplavnem scenariju

1 UVOD

Zemlja je edini planet našega osončja, ki ima na svoji površini tekočo vodo. Tako stanje ohranja predvsem Sonce, ki Zemljo oskrbuje z zadostno količino toplotne energije. Pri tem igra ključno vlogo tudi lega Zemlje v solarnem sistemu, saj so planeti, ki so bolj oddaljeni od Sonca prekriti z ledeno skorjo; tisti bližje Soncu pa premorejo vodo le v obliki vodne pare. Na Zemlji pa je voda prisotna v vseh treh agregatnih stanjih in prekriva 70 odstotkov zemeljske površine, od česar je kar 95,5 odstotkov slane vode.

Voda je omogočila razvoj in obstoj življenja na Zemlji. Ravno iz tega razloga je že od nekdaj privlačna za človeka, ki se je z namenom olajšanja preživetja naseljeval ob rekah, potokih, jezerih in morskih obalah. Izkoriščal je silo tekoče vode za obrtne in industrijske obrate, namakal obdelovalne površine in uporabljal vodno površino v trgovske in turistične namene. Z razvojem tehnologije in industrije so rasli apetiti človeka po prilaščanju vse večjega vodnega zemljišča. Stihijsko širjenje človekovega bivalnega okolja je povzročilo ožanje varovalnega pasu priobalnih zemljišč in posledično povečanje ogroženosti prebivalstva. Vzroki za vse pogostejše poplave so tudi vse bolj prisotni grobi in nepremišljeni človekovi posegi v naravo. Slednje pride do izraza predvsem, ko ob močnem deževju svojo udarno moč pokažejo narastle vode rek in potokov, ki lahko poplavijo blizu ležeča naselja tudi v roku nekaj ur.

V Sloveniji poplave ogrožajo več kot 300.000 ha površin ali 15 % vsega ozemlja države. Okrog 237.000 ha poplavnih območij se nahaja v razširjenih delih dolin, pri čemer so najbolj ogrožena območja ob hudourniških rekah. Okoli 70.500 ha površin pa je preplavljenih zaradi plimovanja morja ter kraških poplav. Poplave ne ogrožajo le površin, temveč tudi človeška življenja. Okrog 140.000 oziroma 7 % prebivalcev Slovenije živi na območjih, kjer so poplave običajen pojav. Na območjih velikih poplav prebiva ali ima svoja zemljišča, produkcijska sredstva ali druge dobrine četrtna prebivalstva oziroma 530.000 ljudi. Ob naraščanju trenda poseljevanja prebivalstva bi to pomenilo, da bi na meji običajnih poplav lahko živela več kot tretjina slovenskega prebivalstva.¹

¹ (Vir: URSZR, 2008)

Poznamo več vzrokov za nastanek poplav, najpogostejše pa so tiste, ki nastanejo ob dolgotrajnih padavinah v jesenskem in spomladanskem obdobju. Poplave so nepredvidljiv pojav, zato lahko nastopijo tudi po kratkotrajnih, a izredno izdatnih padavinah. Veliko nevarnost lahko predstavlja tudi zaporedje dogodkov v naravi, kot npr. poplavljanje širših urbaniziranih območij v obalnih regijah Primorske, ki sicer ne spada med poplavno najbolj ogrožena območja. Do pojava tako ekstremnega dogodka bi recimo prišlo ob kombinaciji porušitve obrambnih nasipov, pritiska morske vode ob visoki plimi v zaledje in visokih zalednih meteornih vod zaradi močnega deževja, ko se z okoliških strmih bregov zlijejo hudourniki v dolino.

Poplav žal ne moremo preprečiti, lahko pa s primernimi in pravočasnimi ukrepi omilimo njihove posledice. Pri tem so nam v veliko pomoč hidrometeorološke meritve in zgodovinski zapisi ekstremnih pojavov. Inženirsko se problem rešuje s hidravličnimi izračuni izlivanja vode, pri čemer se lahko zelo natančno napove za koliko bo voda prestopila meje rečnih strug ter potek poplavnih tokov. Točnost napovedi je seveda odvisna od vhodnih podatkov, potrebnih za izdelavo računskih modelov. Globina in hitrost vode v posameznih točkah poplavnih območij, topografija terena in poseljenost območij je le nekaj od zahtevanih podatkov. Pridobitev slednjih so v veliki meri olajšale moderne tehnologije, med katerimi posebno izstopa uporaba geografskih informacijskih sistemov.

Predmet diplomske naloge je ravno priprava geometrijske podlage rečnega korita, s pomočjo podatkov zajetih s tehnologijo LIDAR, za namene hidravličnih izračunov s programskim orodjem HEC-RAS. Le ti so bili podlaga za izris poplavnih linij in izdelavo poplavnih kart, ki so osnovno izhodišče za napoved ogroženosti prebivalstva na obravnavanem obalnem območju Kopra.

Med drugim smo želeli ugotoviti s katerimi GIS orodji lahko kvalitetno obdelamo pridobljene podatke. Tako je eden od ciljev diplomskega dela bil tudi narediti primerjavo programskih GIS orodij, med katerimi smo izbrali Manifold System in ESRI-jev ArcView.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Zagotavljanje varnosti pred poplavami je bilo in še vedno sodi med ene od najpomembnejših nalog hidrotehnike. Preučevanje pojava visokih in katastrofalnih voda glede na verjetnost, kraj in velikost njihovih pretokov pomaga pri napovedovanju poplav, s čimer se ukvarja hidrologija. Ko lahko z določeno gotovostjo napovemo poplave, le-te omejimo oziroma preprečimo, kar je naloga strokovnjakov s področja hidravlike in hidrotehničnih objektov. Žal poplav ni možno vedno preprečiti, zato je potrebna tudi presoja negativnih posledic poplav, ki zahteva interdisciplinarno sodelovanje strokovnjakov s področja hidrotehnične in družbeno-ekonomskih ved.

Medtem ko so narasle vode pri rekah večinoma posledica dolgotrajnih, ali kratkotrajnih a intenzivnih, padavin, so pri vodotokih, ki se izlivajo v morje okoliščine nekoliko drugačne. Morje s svojimi vplivi sega globoko v notranjost, vendar so ti najbolj izraženi ob obalnem pasu. Kombinacija naravnih dogodkov kot so plimovanje, močni vetrovi (jugo) in nizek zračni pritisk lahko imajo za posledico valove visoke tudi nekaj metrov, kar daje poplavi rušilno moč. S poplavnimi plimami so dobro seznanjeni v sosednji državi Italiji. Močna burja (hladen veter, ki piha s SV) ali široko² (topel in vlažen južni veter v Italiji in na Jadranu, ki piha iz smeri Afrike) porivata valove v Tržaški zaliv. Napovedi plimovanja so preračunane po standardnem barometričnem pritisku 1013 hPa. Odstopanje 1 hPa od povprečja lahko povzroči razliko v višini morja za 1 cm. Nizek pritisk bo povzročil zvišanje nivoja gladine, visok pa upad gladine. Sam fenomen imenujemo inverzni barometrični efekt (*inverted barometer effect*). Kombinacija vetra, inverznega barometričnega pritiska in nevihte lahko povzroči izrazit dvig morske gladine, kar pogosto imenujejo tudi nevihtni val (*storm surge*). Podobno dogajanje zasledimo ob slovenski obali. "Ko se višina morja dvigne in se voda iz celotnega Jadrana nariva proti severu, to zajezi ustja rek, ki se tu izlivajo vanj. To povzroči, da rečna voda ne more odtekati in se zato dvigne višina rek, ki nato poplavijo določeno območje blizu izliva. Poplavni območji morja in rek se s tem združita." (Kolega, 2006). Pri tem se poškodujejo ali celo uničijo urejena obala, objekti neposredno ob obali, poplavljeni pa so lahko tudi širša urbanizirana območja v bližini izlivov rek v morje.

² (italijansko Sirocco)

2.1 Ničla slovenskega morja in dogajanje v Jadranskem morju

Da bi razumeli dvigovanje morske gladine, je najprej potrebno razložiti pojem plimovanje in izhodišča, t.j. povprečni dvig morske gladine, ki se dogaja pri ničli morske gladine. Plimovanje je izmenično dvigovanje in upadanje morske gladine, povzročeno s privlačno silo Lune in Sonca (Kunaver et al. 1996). Širi se v obliki dolgih valov, ki povzročajo periodično nihanje gladine. Njeno dvigovanje imenujemo plima, njeno upadanje pa oseka. Izmenjavata se na približno 6 ur do 6 ur in 30 minut, kar za Jadransko morje pomeni dve plimi in dve oseki na dan. Na nihanje vodne gladine pa vpliva tudi lastno nihanje Jadranskega morja, ki se pojavi v zaprtih ali delno zaprtih bazenih in traja še po prenehanju delovanja sil, ki ga povzročajo. Perioda tega nihanja znaša približno 21 ur (Robič 2003/2004).

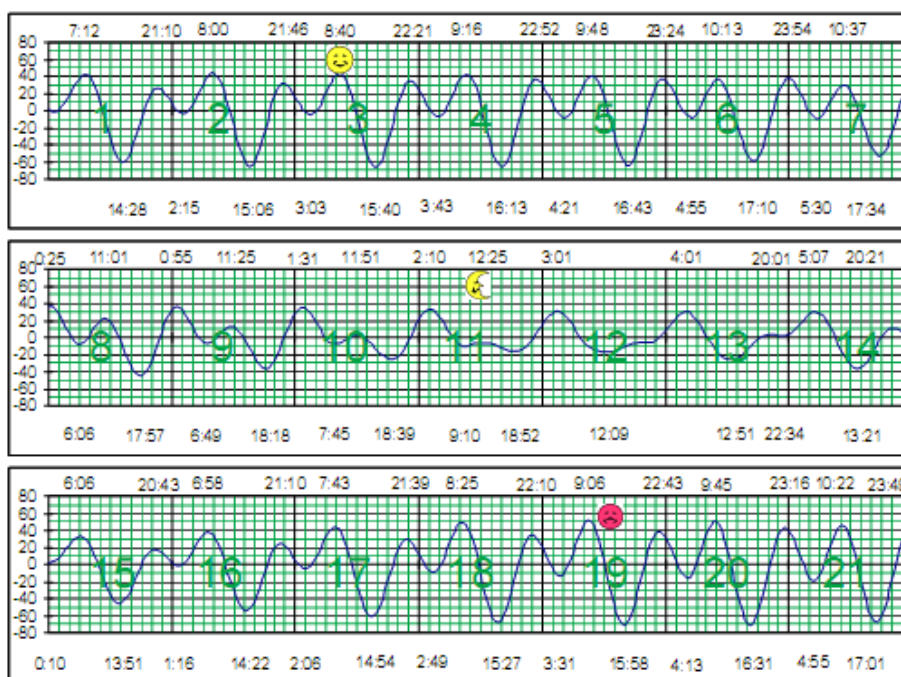
Luna s potovanjem okoli Zemlje spreminja obliko planeta s svojo privlačno silo. Ko Luna prekorači krajevni poldnevnik, kar imenujemo Lunina zgornja kulminacija, privlači vodne gmote in te se dvignejo. Hkrati se enako dogaja na nasprotni strani Zemlje, kjer nastopa Lunina spodnja kulminacija, le da je tam amplituda plimovanja nekoliko šibkejša. V času vzhajanja in zahajanja Lune se pojavi oseka, torej 90 stopinj vzhodno in zahodno od geografske dolžine, kjer nastopa plima, saj od tam privlačna sila Lune vodo "privleče" k sebi. Na plimovanje vpliva tudi Sonce, ki je sicer od Zemlje zelo oddaljeno, vendar ima tako veliko maso, da je njegova privlačna sila tudi pomemben dejavnik pri plimovanju. Njegov vpliv je približno enak slabi polovici Luninega vpliva. (Kolega, 2006).

Plimovanje je najizrazitejše ob mlaju in ščipu (**Slika 1**), ko sta Sonce in Luna v konjunkciji oziroma opoziciji (Sonce, Luna in Zemlja so na enaki premici) in se plimotvorni vplivi seštevajo. Ta položaj imenujemo sizigij, plimo pa sizigialna plima. Ob prvem in zadnjem kraju, ko je Luna pravokotno na smer Zemlja-Sonce, je plimovanje najšibkejše, saj se vplivi odštevajo. To imenujemo obdobje kvadrature oziroma kvadratura plima (Robič in Vrhovec 2002).

Amplituda plimovanja je po svetu zelo različna, od nekaj centimetrov do prek 20 metrov. Povprečna dnevna amplituda v Kopru znaša okrog 60 centimetrov in se ob vplivu drugih

dejavnikov lahko zelo poveča. Razlika med najvišjo in najnižjo gladino morja je v Kopru v letih 1955–1997 znašala 286 centimetrov (Robič in Vrhovec 2002).

Višino morske gladine lahko opišemo na dva načina. Določimo lahko višino nad ali pod srednjo obdobjno vrednostjo. Srednji obdobjni vrednosti pripišemo vrednost 0. Plime označimo s predznakom plus (+), oseke s predznakom minus (-). Določamo pa jo lahko tudi prek mareografske ničle (0) na mareografski postaji v Kopru. Pri tem načinu imajo vse vrednosti pozitiven predznak (oziroma predznaka sploh ni), saj srednji obdobjni vrednosti 0 ustreza višina 215 cm na mareografski letvi. Vrednost 0 na digitalnem modelu višin pa predstavlja geodetska ničla, ki je 15 cm nižje in ustreza vrednosti 200 cm na mareografski letvi.

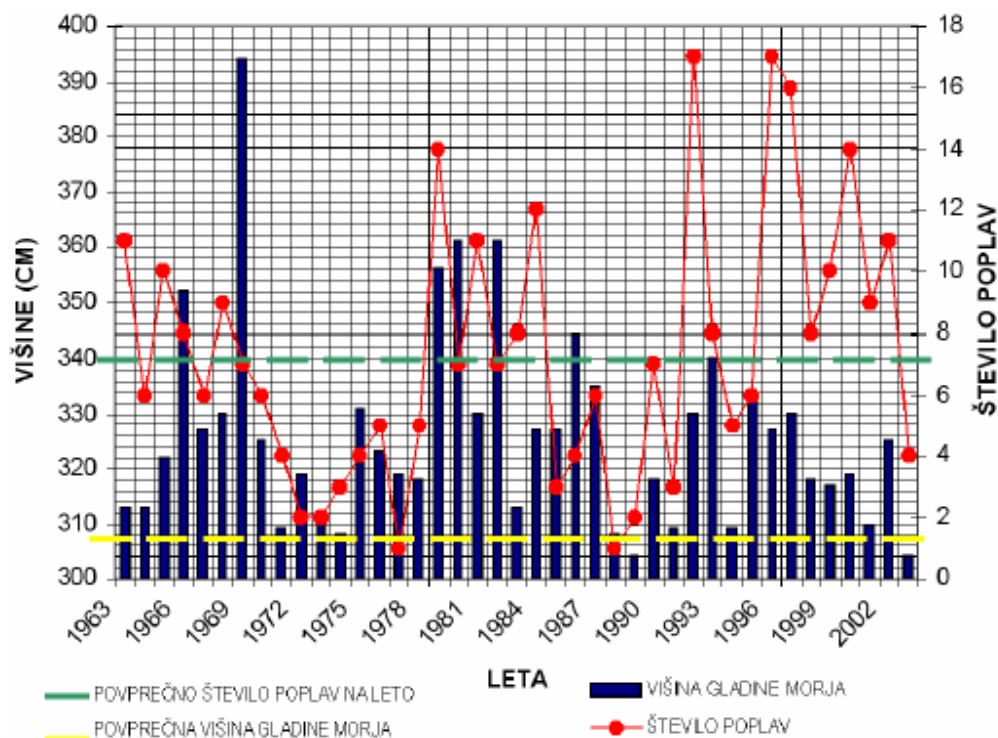


Slika 1: Tablice plimovanja za prvo polovico januarja 2007: Metoda prognoze poteka po principu izračuna - harmonične analize in sinteze, ki sta narejeni na osnovi niza opazovanj višin morja na mareografski postaji Koper ter položaja nebesnih teles Sonca in Lune. Časi plimovanja morja so srednjeevropski. Višine morja so prikazane v centimetrih. Začetna izhodiščna vrednost nič je identična srednjemu nivoju morja iz dolgoletnega obdobja. (vir: ARSO, 2007, Tablice plimovanja)

Morje na slovenski obali poplavi najnižje ležeče predele, ko gladina vode za 85 cm preseže srednjo obdobjno vrednost oziroma je višina na vodomerni letvi z mareografsko ničlo 300 cm

ali 100 cm nad geodetsko ničlo (Robič in Vrhovec 2002). Povprečna vrednost plime med letoma 1958 in 1990 je znašala 248 cm na vodomerni letvi z mareografsko ničlo, oziroma 33 cm nad srednjo obdobjno vrednostjo; povprečna vrednost oseke za isto obdobje pa 182 cm na vodomerni letvi ali –33 cm pod srednjo obdobjno vrednostjo. Povprečna amplituda v tem obdobju je torej znašala 66 cm. Najvišja gladina morja je bila izmerjena leta 1969; in sicer 394 cm (179 cm nad srednjo obdobjno vrednostjo), oziroma 194 cm nad geodetsko ničlo (Mareograf v Kopru 1969).

Tipična vremenska slika za dneve, ko morje na slovenski obali poplavlja (Slika 2), je sledeča: nad vzhodno ali severno Evropo je območje obsežnega anticiklona, nad Britanskim otočjem pa se zadržuje ciklon, ki določa vreme v zahodni Evropi. Anticiklon nad vzhodno Evropo začne slabeti in se pomikati proti vzhodu, ciklon iznad Britanskega otočja pa se še pogloblja in premika proti srednji Evropi. Južno od Alp se v Genovskem zalivu oblikuje sekundarno jedro ciklona, ki se nato pomika proti vzhodu in zajame naše kraje. Pri tem na Jadranu pihajo močni južni vetrovi (Bernot 1983; 1993a; 1993b).



Slika 2: Najvišje višine gladine morja in število poplav na leto med leti 1963 in 2003.

(vir: Kolega 2006)

2.2 Nevarnost poplavljanja in ranljivost prizadetih območij

Preden se spustimo v razlago nevarnosti poplavljanja, je potrebno najprej definirati sam pojem. V Slovarju slovenskega knjižnega jezika najdemo različne izpeljanke iz besede poplava:

popláva -e ž (â) **1.** *razlitje, razširjenje velike količine vode po kaki površini*: na tem polju so vsako leto poplave; poplava je naredila veliko škode; preprečiti poplavo; severne kraje so zajele katastrofalne poplave; občasne, pomladanske poplave; ekspr. v kopalnici imajo pravo poplavo / poplava se širi, umika voda ob takem razlitju, razširjenju **2.** ekspr., z roditeljem *velika količina, množina*: poplava besed, vprašanj; ...

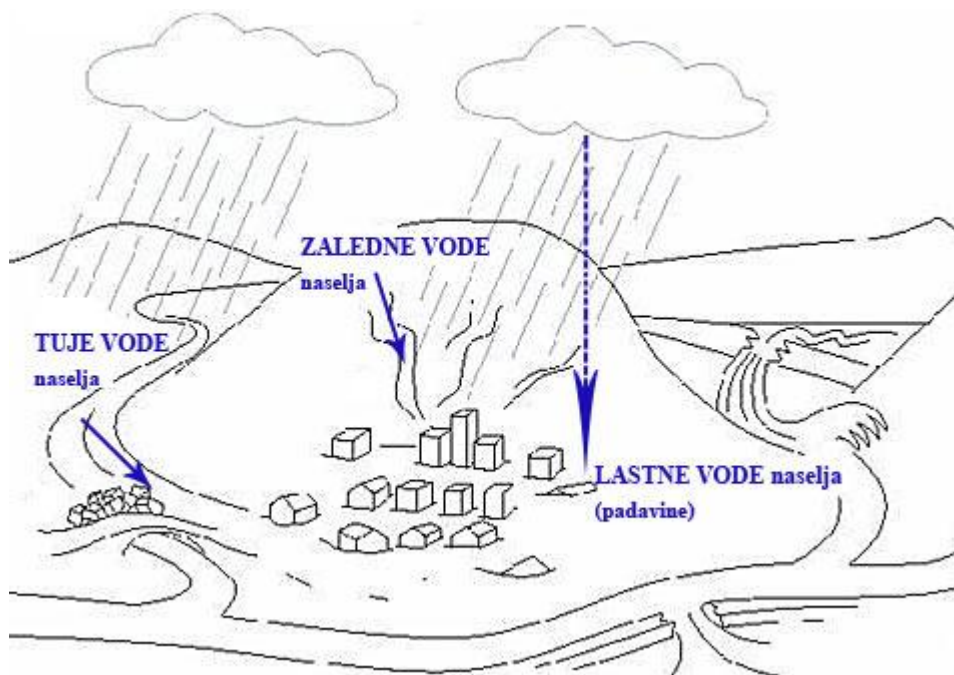
popláviti -im dov. (a â) **1.** *z razlivanjem, širjenjem pokriti kako površino*: narasla reka spomladi poplavi polje / morje večkrat poplavi obalno mesto; voda je poplavila več vasi / ladijske prostore, rudnik je poplavila voda, vdrla vanje, jih zalila; ekspr. dim je poplavlil sobo; pren., ekspr. sonce poplavi travnike // ekspr. pojaviti se kje v veliki količini, množini: mesto poplavijo letaki proti vojni; ... **2.** *narediti, da pride na kako površino, v kak prostor voda, navadno v veliki količini*: riževa polja je treba poplaviti; zaradi požara so skladišče na ladji poplavili // ekspr. narediti, da se kaj pojavi kje v veliki količini: poplaviti trg s tujim blagom

prepláviti -im tudi preplavíti -ím dov., preplávil (a â; i í) **1.** *z razlivanjem, širjenjem pokriti kako površino*: narasli potok preplavi njive in travnike / valovi so preplavili obalo; prostor je preplavila voda vdrla vanj, ga zalila / ekspr. hladen zrak bo preplaval naše kraje / kri preplavi tkivo; pren. gozd preplavijo jesenske barve; ... **2.** ekspr. *pojavit se na določenem celotnem področju v veliki množini*: mesto so preplavili begunci; sovražna vojska je preplavila deželo / množica je preplavila trg // *pojavit se kje v veliki količini*: trg so preplavili ceneni izdelki / ameriško blago je preplavilo Evropo // *pojavit se, nastopiti na kakem širokem področju*: kriza je preplavila vso celino; ...

V 2. členu Pravilnika o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (UL RS št. 60/2007: 8375), je poplava definirana kot naravni pojav začasne preplavljenosti zemljišč, ki z vodo običajno niso preplavljena.

2.2.1 Vzroki nastanka in verjetnost pojavljanja poplav

Vzroke nastanka poplav delimo glede na vir, od koder priteče voda. Lastne vode imenujemo tiste vodne količine, ki se oblikujejo izključno iz intenzivnih padavin na obravnavanem območju. Zaledne vode so tiste, ki na obravnavano območje pritečejo kot površinski odtok iz zaledja; torej se ne formirajo znotraj obravnavanega območja, ampak znotraj vododelnic, ki obkrožajo obravnavano območje. Vode, ki se na poplavno področje prelijejo iz rečnega korita, pa imenujemo tuje vode (Slika 3). Slednje so za varnost pred poplavami pomembnejše od lastnih in zalednih voda, saj so po količini, trajanju in negativnih posledicah poplav, ki jih povzročajo, za urbanizirana območja najnevarnejše.



Slika 3: Različni viri pritoka vode na določeno območje. (vir: Steinman, F. 2008, Sistem varstva pred škodljivim delovanjem voda in orodja za modeliranje poplavne nevarnosti, last avtorja)

Po opredelitvi poimenovanja lahko poplave razdelimo v naslednje skupine:

- *poplave zaradi neposrednega dviga vodne gladine v osnovni strugi vodotoka (glede na obliko prečnega profila ločimo primarni tok, ki teče po strugi in sekundarni tok, ki se razliva po poplavnih območjih oz. inundacijah ob veliki intenziteti padavin ali ob trenutni porušitvi naravnih in umetnih zajezev ali kot rezultat tajanja snega oz. ledu);*

- *poplave, ki imajo vzrok v zalednih vodah* (ob večjih nalivih se z višjeležečega zaledja nekega območja steka večja količina vode, ki preplavi nižjeležeče območje, če ima le to manjšo sposobnost odtoka vode);
- *poplave zaradi neprilagojenih kanalizacijskih sistemov* (te se delijo še na tiste, ki nastanejo kot posledica lastnih voda ob kombinaciji nenavadno visokih padavin in poddimenzioniranega kanalizacijskega sistema ter na tiste, ki so posledica tujih voda, ko zaradi izrazitega dviga vode v osnovni strugi pride do prelitja iztoka kanalizacijskega sistema);
- *poplave v depresijskih območjih* (zgodijo se zaradi nižje lege terena, tako da je vodi onemogočen odtok oz. je le ta premajhen; obstajajo pa tudi poplave zaradi nižjega terena, ki je nastal kot posledica človekovega poseganja v okolico – nastanek t.i. kaset, v katere priteče voda, iztok pa je otežen oz. onemogočen);
- *poplavljanje morja* (se zgodi zaradi močnih vetrov, tudi hurikanov, ki porivajo vodo proti obali; zaradi potresov in zaradi vulkanske aktivnosti).

Verjetnost pojavljanja poplav je največja v jesenskem in spomladanskem času. Vzrok zanje je obilica padavin oziroma siloviti nalivi, medtem ko so pred pojavom ekstremnih padavin tla že zelo namočena, zamrznjena ali pa so po svoji geološki sestavi slabo propustna. Seveda ni vsaka poplava katastrofalna, zato moramo ločiti običajne in redne poplave, ki se pojavljajo skoraj vsako leto, od tistih s povratno dobo 10 do 20 let in najnevarnejših, poplav s povratno dobo 100 in več let.

Za potrebe izdelave diplomske naloge smo se odločili, da bo predmet našega zanimanja predvsem poplavljanje morja. Temeljni pogoj za poplave morja na slovenski obali je visoka plima, vendar nanjo vplivajo še drugi dejavniki, katere večino smo našteali že v predhodnih poglavjih (veter, valovanje, zračni pritisk, gravitacijska privlačnost Lune oz. tip plime, vremenske fronte, itd.). Na območju Mestne občine Koper so poplave možne predvsem spomladi in jeseni ob dolgotrajnem deževju. Poplave se lahko pojavijo zaradi:

- *Zalednih voda*: Hudourniške vode se pojavljajo ob močnih nalivih, ko se velike količine meteorne vode zlijejo po strmih neporaslih pobočjih hribov v doline. Pri tem prenašajo velike

količine erozijskega materiala, ki ga odlagajo v nižjih legah. Kritične razmere nastopijo, ko na obravnavano območje pade več kot 50 mm dežja v času do dveh ur;

- *Tujih voda*: Ob daljših deževnih obdobjih, zlasti spomladi in jeseni, pride v rekah do visokega vodostaja, ki povzroči prestopanje bregov oziroma nasipov ter poplavljanje ravníc ob izlivih rek;

- *Visoke plime*: Slednje povzročajo poplave morja in se pojavljajo dokaj redno spomladi ter jeseni. Glede pogostosti pojavljanja jih ločimo na vsakoletne, ki so manj obsežne in izjemne ali stoletne, katerih obseg je precej večji in pomenijo veliko večjo nevarnost;

- *Združitve poplavnega območja morja in rek*: Ko se nivo morja dvigne in se voda iz celega Jadrana nariva proti severu, to lahko zajezi ustja rek (v primeru občine Koper - Badaševíce in Rižane), ki se tu izlivajo, kar povzroči, da rečna voda ne more odtekatí in se zato zviša nivo rek, ki nato poplavijo določeno območje blizu izliva. Pride do močnejših poplav z večjim poplavnim območjem.³

2.2.2 Kriteriji za določitev razredov ranljivosti v Sloveniji

Slovenija je razdeljena na pet vodnih območij:

1. Vodno območje Mure: mejna Mura na odseku, ki meji z Avstrijo, vključno s pritokom Kučnica, notranja Mura od Kučnice do meje z Madžarsko, Ledava s Krko na območju Slovenije in Kobiljskim pritokom ter Ščavnica,

2. Vodno območje Drave: Drava 1 od državne meje pri Viču do jezú na Melju, Drava 2 od jezú v Melju do meje s Hrvaško pod središčem, Pesnica, Meža z Mislinjo, Polskava in Dravinja,

3. Vodno območje Save: Sava Dolinka, Sava Bohinjka, Sava 1 od Radovljice do Medvod, Sava 2 od Medvod do Zidanega mosta, Sava 3 od Zidanega mosta do Bregane, Tržaška Bistrica, Kokra, Kamniška Bistrica, Savinja, Paka, Voglajna, Sora, Ljubljana, Temenica, Mirna, Krka in Kolpa,

4. Vodno območje Soče: Soča z mejnimi vodotoki Koritnica, Ovčēja, Nadiža, reka Idrija ter Bača, Idrija in Vipava,

³ (VIR: Revizija ocene ogroženosti pred poplavami v Mestni občini Koper, 2008)

5. Vodno območje obalnega morja s pritoki: Reka, pritoki Jadranskega morja v Sloveniji – Dragonja, Badaševica, Rižana in drugi neposredni pritoki Jadranskega morja ter obalno morje.

Najgostejša mreža površinskih vodotokov je v Podravju (1,88 km/km²), najmanjša pa v slovenskem delu porečja Kolpe (0,53 km/km²). Na zgoraj naštetih vodnih območjih se poplave dogajajo vsako leto. Poplavno ogroženih je prek 300 000 ha površin, med katerimi predstavljajo največji problem urbana območja; njihova velikost znaša kar 2500 ha. Z drugimi besedami je to dobra četrtina prebivajočih na območju poplav s povratno dobo 50 let, t.i. katastrofalnih poplav.⁴

Poplave terjajo življenja ljudi in živali, povzročajo izbruhe različnih bolezni in uničujejo domove ter infrastrukturo. Vse našteto uvršča poplave v sam vrh najhujših naravnih nesreč, saj so včasih potrebna tudi desetletja za vzpostavitev stanja pred poplavo. Z namenom preprečitve izrednih dogodkov in ublažitve škode po poplavih se po vsem svetu izdelujejo celostne ocene poplavne ogroženosti. V izogib negativnim posledicam se z različnimi analizami določi obseg in magnitudo nevarnih dogodkov, ki imajo različno verjetnost pojava. V kombinaciji z ranljivostjo človeka in okolice, v kateri živi, lahko določimo raven ogroženosti, ki nam poda stopnjo tveganja. Nazadnje se odločimo kako bomo v takšni situaciji ukrepali, torej izbiramo med ukrepi za preprečevanja dogodka (npr. gradnja odpornejših objektov na poplave) ali zmanjševanjem občutljivosti (škode), če bi do poplave prišlo (**Slika 4**).

Leta 2007 je bil v Sloveniji sprejet nov Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti (v nadaljevanju Pravilnik 2007). V Pravilniku 2007 so zakonsko opredelili način določanja poplavnih in erozijskih območij, način razvrščanja zemljišč v razrede poplavne in erozijske ogroženosti ter merila za določanje teh razredov. Med drugim pa je opredeljen tudi način priprave poplavnih kart. Nadalje bomo po Pravilniku 2007 razložili nekatere pojme (UL RS št. 60/2007: 8375).

⁴ (URSZR, 2000. Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami)



Slika 4: Sistem protipoplavnega ukrepanja. (vir: Steinman, F. 2008, Sistem varstva pred škodljivim delovanjem voda in orodja za modeliranje poplavne nevarnosti, last avtorja)

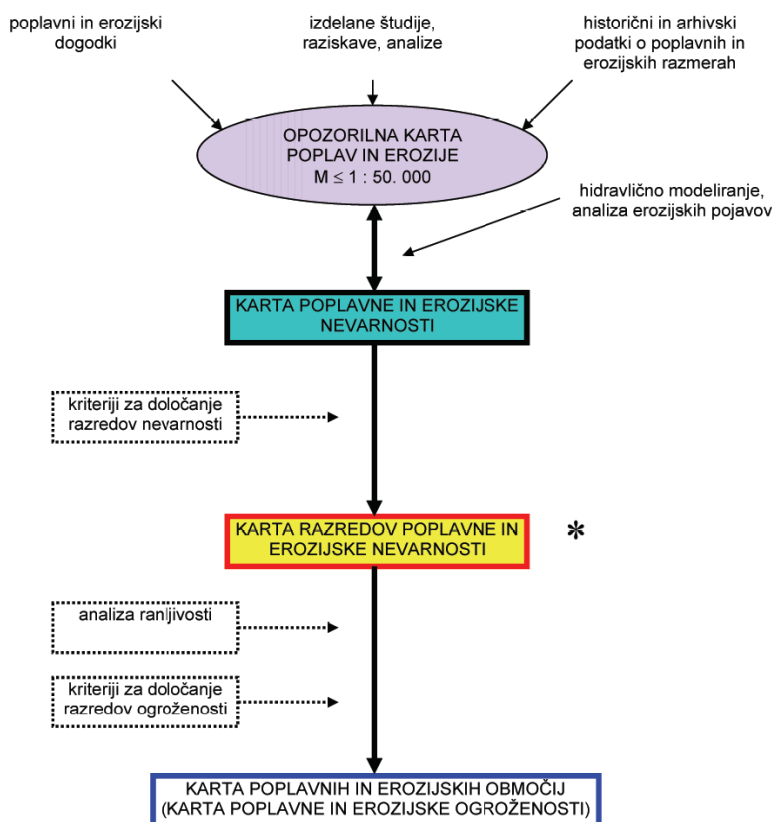
"Poplavna in erozijska nevarnost je možnost nastanka poplav in z njimi povezanih erozijskih procesov, predvsem kot posledice naravnih dejavnikov, vključuje pa tudi posledice človekovega delovanja" (UL RS št. 60/2007: 8375).

"Ranljivost elementov ogroženosti pomeni njihovo izpostavljenost in dovzetnost za poškodbe zaradi poplav in z njimi povezane erozije in je odvisna od fizičnih, socialnih in gospodarskih elementov in procesov" (npr. prostorske lege, strukturne odpornosti, časovne izpostavljenosti, (UL RS št. 60/2007: 8375)).

"Poplavna in erozijska ogroženost je možnost škodnih posledic, predvsem za življenje in zdravje ljudi, okolje, gospodarske in negospodarske dejavnosti ter kulturno dediščino zaradi njihove izpostavljenosti poplavni in erozijski nevarnosti" (UL RS št. 60/2007: 8375).

"Opozorilna karta poplav in erozije je karta natančnosti merila 1:50 000 ali manjšem, ki z različnimi grafičnimi znaki opozarja na poplavne in erozijske razmere na določenem območju na podlagi prve ocene poplavne nevarnosti" (UL RS št. 60/2007: 8375).

Izhodišče za določitev ogroženosti so torej opozorilne karte poplav in erozije, ki se izdelajo na podlagi ocen poplavne in erozijske nevarnosti. Shema postopka določitve območij je prikazana na **sliki 5**.



* podlaga za določanje pogojev in omejitev v skladu z Uredbo o določitvi pogojev in omejitev za izvajanje dejavnosti ali gradenj na poplavnih in erozijskih območjih

Slika 5: Shema postopka določitve poplavnih in erozijskih območij (vir: UL RS št. 60/2007: 8375).

Opozorilne karte poplav in erozije delimo na grafični in besedilni del. Grafični del predstavlja, skupaj s podatki o topografiji in rabi tal, še mejne črte možnega dosega poplav (vključno z oznako smeri toka poplavljanja), mejno črto možnih erozijskih pojavov in s točkami označena mesta posameznih poplavnih dogodkov. S točkami ali linijami so označeni tudi vodni objekti, kjer bi lahko nastale poplave zaradi napačnega obratovanja ali porušitve objekta (npr. jez). V besedilnem delu so zapisani vsi pretekli poplavni dogodki, kjer je poseben poudarek na tistih, ki bi se lahko v prihodnosti ponovili. Zapis obsega datum, vir podatkov, opis dogodka in možnih posledic poplav. Nekatere opozorilne karte lahko, če je to smiselno, vsebujejo tudi ocene bodočih poplav in erozije.

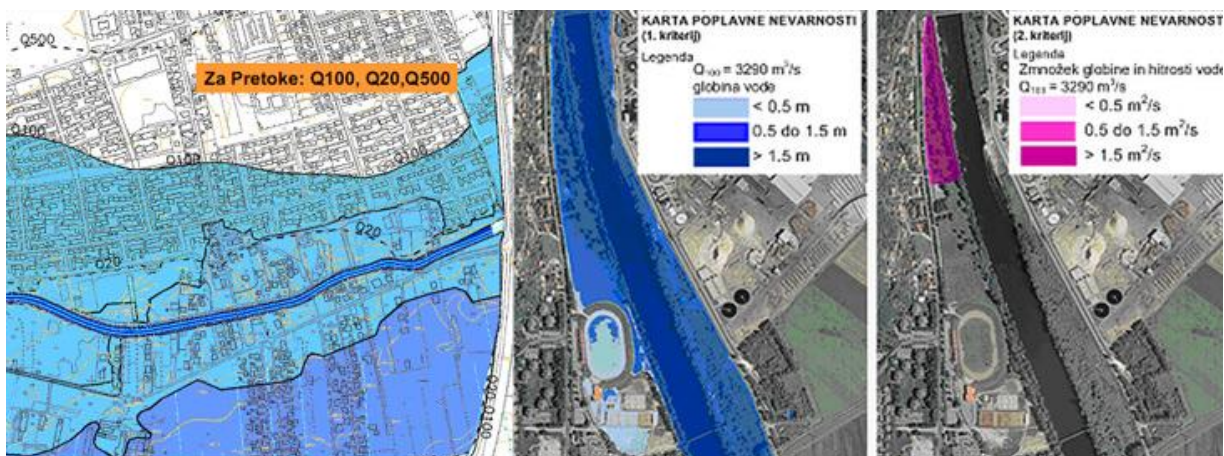
Območja poplavne in erozijske nevarnosti se določajo na mestih, kjer lahko pride do pomembnejše ogroženosti. Določijo se na podlagi podatkov o poplavni nevarnosti pri pretokih z različnimi povratnimi dobami: $Q(10)$, $Q(100)$ in $Q(500)$. Meje poplavnega

območja ob morju se določijo glede na dvig gladine, t.j. pri gladini G(10), G(100) in G(500). Številke v oklepajih nakazujejo v kolikšnem obdobju pride do poplavljanja, pri čemer dogodki ob pojavu 100-letne vode predstavljajo srednjo verjetnost poplav. Pri 100-letnih pojavih sta, poleg dosega vode, upoštevana še lokalna globina in hitrost vodnega toka. Slednje je ključnega pomena pri določanju intenzitete dogodka, saj lahko iz zmnožka globine in hitrosti izračunamo udarno silo vode. Ta se izkaže za pomemben podatek pri določanju ranljivosti ljudi (odplavljenje) in objektov (ogrožena stabilnost).

Meje so označene na naslednji način (Slika 6):

- s črno linijo meje poplavne nevarnosti pri pretoku Q (100) ali gladini G (100),
- s prekinjeno črno linijo pri pretoku Q (10) in Q (500) oz. gladini G (10) in G (500).

Dodatno se ob linijah dopišejo še ustrezne oznake.

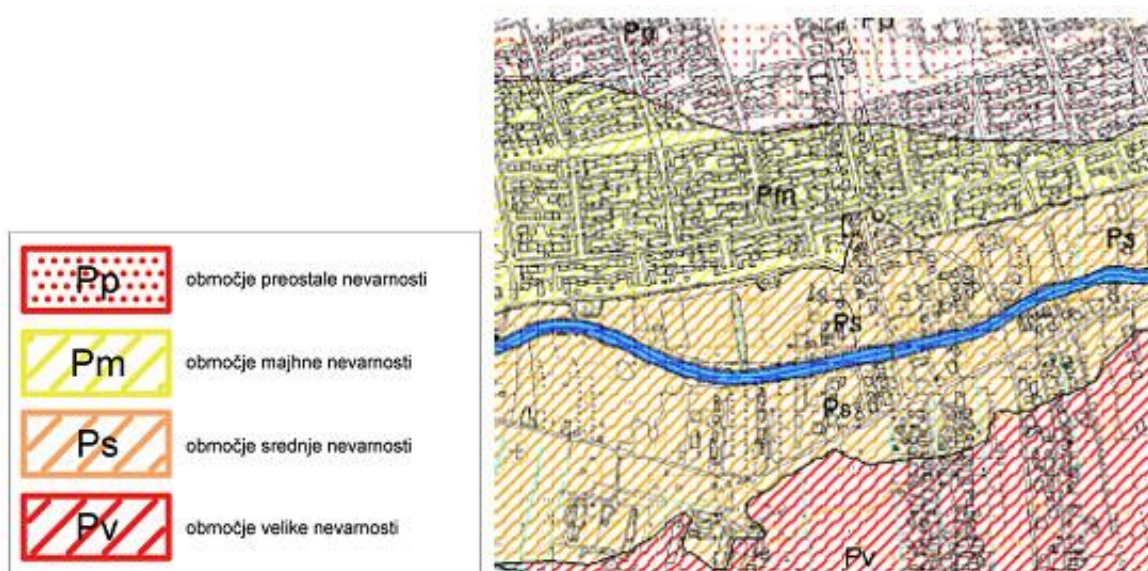


Slika 6: Levo so prikazana območja poplavljanja za različne pretoke (vir: MOP, 2007). Na desni so prikazane poplave s 100-letno povratno dobo, pri čemer je 1.kriterij globina vode, 2. kriterij pa intenziteta dogodka (vir: Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju, 2008).

Z analiziranjem zgoraj opisanih kriterijev se poplavna območja kategorizira v štiri razrede nevarnosti. Z upoštevanjem najbolj neugodnega kriterija se območja delijo na tista z veliko, srednjo, majhno in preostalo nevarnostjo poplavljanja. Vsaka karta razredov poplavne in erozijske nevarnosti mora poleg vsebinskih legend prikazati še podatke o smeri neba, datum izdelave, mejo modelnega območja, podatke o uporabljenih analitičnih metodah in ostala opozorila.

Po Pravilniku 2007 so razredi poplavne nevarnosti pri pretoku Q (100) ali gladini G (100) naslednji (Slika 7):

- razred velike poplavne nevarnosti, kjer je globina vode enaka ali večja od 1,5 m ali zmnožek globine in hitrosti poplavne vode enak ali večji od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$;
- razred srednje poplavne nevarnosti, kjer je globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m ali zmnožek globine in hitrosti vode enak ali večji od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ in manjši od $1,5 \text{ m}^2/\text{s}$; pa tudi kjer je pri pretoku Q (10) ali gladini G (10) globina vode večja od 0 m;
- razred preostale nevarnosti, kjer je globina vode manjša od 0,5 m ali zmnožek globine in hitrosti poplavne vode manjši od $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$;
- razred zelo majhne nevarnosti, kjer pride do poplav zaradi izrednih naravnih ali od človeka povzročenih dogodkov.



Slika 7: Karta razredov poplavne nevarnosti, pri čemer je v legendi levo lepo razvidno katero šrafuro uporabimo za določen razred nevarnosti (vir: MOP, 2007).

Na slovenski obali je poplavna nevarnost odvisna od višine poplavnega vala, hitrosti toka vode, onesnaženja, erozije dna in brežin struge, naplavljanja plavin in trajanja poplave. Ob predpostavki dviga morske gladine za 50 cm, zaradi globalnega segrevanja, je bila izdelana študija z namenom prikaza vseh poplavnih območij slovenske obale v primeru takega scenarija (Tabela 1). Vidimo, da bi že vsaka malce močnejša plima povzročila poplavo. Sedanja vrednost povprečne plime znaša 248 cm (mareografska ničla je 215 cm). Če upoštevamo napovedane trende dviga gladine, bi gladina povprečne plime znašala 298 cm,

kar pa je zelo blizu točki poplavljanja (300 cm). Očitno bo, v primeru takega scenarija, do poplav prihajalo večkrat na mesec.



Slika 8: Opozorilna karta poplav za tri reke, ki se nahajajo na območju občine Koper: Rižana, Badaševica in Dragonja (vir: Inštitut za vode Republike Slovenije, 2007).

Potrebno je še enkrat poudariti, da je študija bila narejena za dvig morske gladine kot posledice globalnega segrevanja. Do leta 2050 naj bi se srednja gladina dvignila za 0.5 m, kar je pretežno realna napoved glede na izmerjene trende po svetu. Vendar so mnogo večji problem t.i. nevihte v kombinaciji z nizkim zračnim pritiskom in vetrom. Te imajo za posledico nevihtne valove, ki lahko narasejo tudi do par metrov. Za primer lahko vzamemo Benetke, kjer je v podobnih vremenskih okoliščinah, leta 1966, plima narasla na rekordnih 194 cm več, kot je povprečje za ta kraj. V Angliji so v okrajih Sheerness in Southend izmerili že 3.66 m visoke nevihtne valove (Pranjic, S. 2008). Ravno na podlagi svetovnih študij, sploh Benetk, lahko naredimo približne zaključke o poteku dogodkov za slovensko obalo.

Tabela 1: Površina poplavnih območij ob izjemnih in vsakoletnih poplavah morja (Kolega 2006).

poplavno območje	površina v km ²
poplavno območje ob izjemnih poplavah	
mestna občina Koper	6,12
občina Izola	0,20
občina Piran	7,71
vse tri občine skupaj	14,04
poplavno območje ob vsakoletnih poplavah	
mestna občina Koper	0,25
občina Izola	0,03
občina Piran	3,48
vse tri občine skupaj	3,77

Tabela 2: Izračun višin morja (glede na mereografsko ničlo) za napovedani dvig morske gladine za 50 cm (Kolega 2006).

	vrednost višine gladine morja danes v cm	vrednost višine gladine morja pri dvigu gladine za 50 cm, v cm
srednja višina gladine morja	215	265
začetek poplavljanja	300	300
vrednost povprečne plime 1963–2003	248	298
vrednost povprečne oseke 1963–2003	182	232
izjemna vrednost 1963–2003	394	444
povprečna poplava 1963–2003	309	359
vsakoletna poplava 1963–2003	330	380

Na območju slovenske obale so v drugi polovici 20. stoletja zabeležili pet večjih poplav. Leta 1966 je gladina dosegla vrednost 352 cm, pri čemer je poplava trajala 21 ur. Naslednja, najmočnejša, se je zgodila leta 1969, ko je gladina morja dosegla rekordnih 394 cm, voda pa se ni umaknila 3 ure. To poplavo bi lahko označili kot izjemno ali stoletno. Nato si sledijo močnejše poplave v letih 1979, 1980 in 1982, kjer je gladina morja dosegla višino 361 cm, poplave pa so trajale od 3 do 4 ure. Podrobneje je spreminjanja gladine morja prikazano v poglavju 2.1 (**Slika 2**).

Kot je vidno (**Tabela 2**) poplavlja morje priobalne kraje že pri gladini 300 cm (glede na mareografska ničlo). Izjemna poplava je znašala 394 cm, kar nanese skoraj 1m višjo gladino od roba poplavljanja morja. Če bi se gladina zaradi globalnega segrevanja dvignila za 0.5 m, bi stoletna voda znašala 444 cm oziroma 1.44 m več (1.59 m nad geodetsko ničlo). To

pomeni, da bi voda najverjetneje prestopila večino poplavnih nasipov v Kopru, katerih višina se giblje od 1,3 - 1,5 m, in poplavlila depresijska območja v zaledju.

Območje, ki je obravnavano v tem diplomskem delu spada pod občino Koper, za katerega je poplavno karto nevarnosti poplavljanja pripravila Agencija za okolje in prostor – ARSO (Slika 8). Pred poplavami so ogrožene predvsem priobalne ravnice in depresije ob izlivih rek Rižane, Badaševce in Dragonje. Pri analizi smo se osredotočili predvsem na poplavno območje reke Rižane in na poplavljanje morja. Poplavne površine ob Rižani obsegajo približno 3 ha urbanih in okoli 17 ha ostalih površin. Splet najbolj neugodnih okoliščin, npr. kombinacija močnega deževja in odpovedi sistema za prečrpavanje notranjih voda, bi povzročil mnogo večje poplavno območje; in sicer 260 ha pretežno kmetijskih površin ankaranske bonifike. Spomladi in jeseni pride zaradi nižjega zračnega pritiska in južnega oz. jugozahodnega vetra do višjih gladin morja. Takrat morje poplavi nižje ležeče predele, voda pa vdira mimo zaščitnega nasipa na Smedelski cesti ter na jugu mesta Koper, kjer so nezaščitene obale. Pred izjemnim dvigom morske gladine ni popolnoma varno niti območje Luke Koper, voda pa bi se lahko razlila vse do Srmina ter na poseljena območja (Olmo in Šalara).⁵

2.2.3 Opredelitev vrste, oblike in stopnje ogroženosti

Karte poplavne nevarnosti predstavljajo komaj prvi korak k oceni poplavne ogroženosti. Šele, ko imamo podatke o nevarnosti, ki jo poplava predstavlja, lahko določimo ranljivost nekega območja. Ogroženost namreč predstavlja kompozitum nevarnosti in ranljivosti oziroma občutljivosti človeka, objekta ali dejavnosti. Zadnji korak, po opredelitvi ogroženosti, je sprejemanje odločitve ali je stopnja izpostavljenosti nevarnosti sprejemljiva (torej ne izvajamo nikakršnih ukrepov), ali pa so potrebne nekatere druge aktivnosti.

Analiza ranljivosti tako obsega oceno števila izpostavljenih prebivalcev; vrsto in število izpostavljenih gospodarskih in negospodarskih dejavnosti; prikaz lokacije z opisom obratov in

⁵ (vir: Revizija ocene ogroženosti pred poplavami v Mestni občini Koper, 2008)

naprav, ki bi lahko povzročile večje onesnaženje; določitev lokacij z opisom občutljivih objektov in nazadnje prikaz območij s posebnimi zahtevami. Natančnejša merila za določitev štirih razredov ranljivosti so opisana v **tabeli 3**.

Tabela 3: Merila za določitev razredov ranljivosti:

RAZRED	ELEMENTI OGROŽENOSTI
zelo majhna ranljivost	<ul style="list-style-type: none"> - gostota prebivalstva: do 10 prebivalcev na km² - manjši obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena - občutljivi objekti
majhna ranljivost	<ul style="list-style-type: none"> - gostota prebivalstva: od 11 do 100 prebivalcev na km² - obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena - občutljivi objekti - kulturna dediščina lokalnega pomena - območja s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda
srednja ranljivost	<ul style="list-style-type: none"> - gostota prebivalstva: od 101 do 300 prebivalcev na km² - obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti lokalnega pomena - občutljivi objekti - obrati in naprave, zaradi katerih lahko pride do onesnaženja - območja s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda - kulturna dediščina regionalnega pomena
velika ranljivost	<ul style="list-style-type: none"> - gostota prebivalstva: več kot 500 prebivalcev na km² - obrati gospodarskih in negospodarskih dejavnosti državnega pomena - obrati in naprave, zaradi katerih lahko pride do onesnaženja velikega obsega, še posebej v povezavi z območji z gostoto prebivalcev od 101 do 500 prebivalcev na km² ali z območji s posebnimi zahtevami po predpisih, ki določajo način priprave načrtov upravljanja voda - kulturna dediščina državnega oziroma svetovnega pomena - občutljivi objekti

Razredi ranljivosti so torej podlaga za določanje treh razredov poplavne ogroženosti:

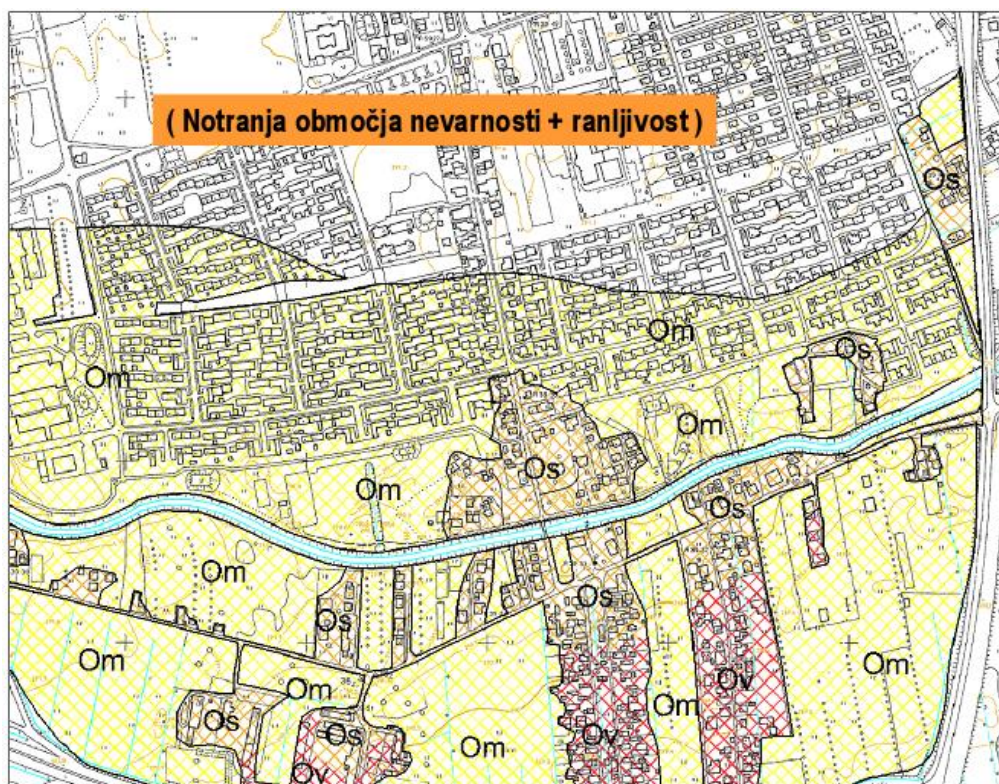
- razred velike ogroženosti,
- razred srednje ogroženosti in
- razred majhne ogroženosti.

Način označevanja razredov ranljivosti in razredov ogroženosti prikazuje **slika 9**, na podlagi katerih se izdelajo karte poplavne ogroženosti (**Slika 10**). Obstaja sicer še območje preostale

nevarnosti poplav, ki pa ga Pravilnik 2007 dodatno ne kvalificira kot četrti razred ogroženosti, saj je dogodek zelo malo verjeten. Čas bo pa pokazal koliko bo novo klasifikacijo možno uporabljati v praksi.

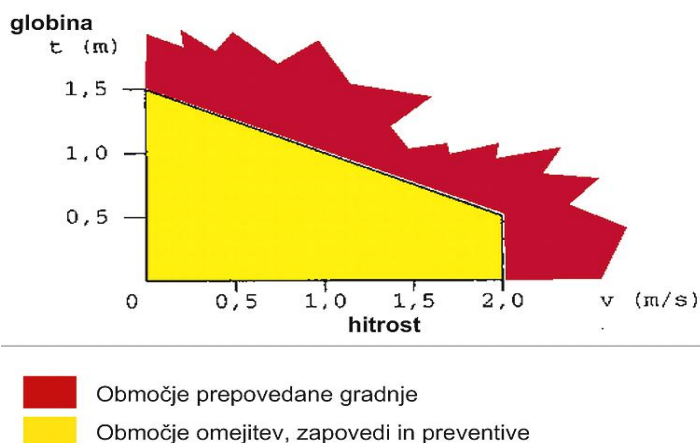
Legenda oznak		RAZRED NEVARNOSTI																									
		RAZRED OGRÖZENOSTI																									
		velika	srednja	majhna	preostala																						
	območje zelo majhne ranljivosti	<table border="1"> <tr> <td colspan="2" rowspan="4">RAZRED RANLJIVOSTI</td> <td>velika</td> <td>Ov</td> <td>Ov</td> <td>Os</td> <td>Om</td> </tr> <tr> <td>srednja</td> <td>Ov</td> <td>Ov</td> <td>Os</td> <td>Om</td> </tr> <tr> <td>majhna</td> <td>Ov</td> <td>Os</td> <td>Om</td> <td>Om</td> </tr> <tr> <td>zelo majhna</td> <td>Os</td> <td>Om</td> <td>Om</td> <td>Om</td> </tr> </table>				RAZRED RANLJIVOSTI		velika	Ov	Ov	Os	Om	srednja	Ov	Ov	Os	Om	majhna	Ov	Os	Om	Om	zelo majhna	Os	Om	Om	Om
RAZRED RANLJIVOSTI								velika	Ov	Ov	Os	Om															
								srednja	Ov	Ov	Os	Om															
								majhna	Ov	Os	Om	Om															
		zelo majhna	Os	Om	Om	Om																					
	območje majhne ranljivosti																										
	območje srednje ranljivosti																										
	območje velike ranljivosti																										
	majhna ogroženost																										
	srednja ogroženost																										
	velika ogroženost																										

Slika 9: Kriteriji za določitev razredov ogroženosti (vir: UL RS št. 60/2007: 8375).



Slika 10: Karta poplavne ogroženosti, ki je kompozitum nevarnosti, ki jo poplava predstavlja in ranljivosti območij, ki so v dosegu visokih voda (vir: MOP, 2007)

Velja omeniti, da za določitev razredov ogroženosti še danes ne obstaja standardna klasifikacija, ampak se ta razlikuje od države do države. Tako npr. v sosednji Avstriji označujejo poplavno nevarnost le z dvema stopnjama. Glede na razmerje globine in hitrosti vode se v matriki določi območje prepovedane gradnje in območje omejitev, zapovedi in preventive (Slika 11).



Slika 11: Primer matrike poplavne nevarnosti (globina - hitrost), ki jo uporabljajo v sosednji Avstriji (vir: http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/countries/pdf/austria.pdf).

Na slovenski obali je ob vsakoletnih poplavah ogroženih 22 ljudi v Piranu, medtem ko v ostalih krajih vsakoletne poplave zaenkrat ne ogrožajo stanovanjskih objektov. V treh obmorskih občinah živi 78.846 prebivalcev: v občini Koper 47.539, v občini Izola 14.549 in v občini Piran 16.758 (Popis 2002).

Ob izjemnih poplavah bi bilo v vseh treh občinah ogroženih 2007 ljudi; največ v občini Piran (1262 ljudi), 427 v občini Koper in 318 v občini Izola. Ogroženega je kar 2,54 % prebivalstva vseh treh občin, v občini Piran pa kar 7,53 % prebivalcev občine oziroma 18,75 % prebivalcev Pirana. Iz navedenih podatkov lahko sklepamo, da bi ob nastopu izjemnih poplav, zaradi precejšnjega števila ogroženega prebivalstva, lahko nastale resne težave pri oskrbi, prometu, bivanju in ostalih dejavnostih, zlasti v Piranu (Kolega, 2006).

Na grobo lahko ocenimo, da v občini Koper življenje ljudi in živali trenutno ni neposredno ogroženo. Lahko pa bi prišlo do poslabšanja zdravstvene higiene zaradi mešanja odpadnih in poplavnih vod.



Slika 12: Poplavna območja vsakoletnih in izjemnih poplav morja na območju Mestne občine Koper in z rdečo barvo označen razbremenilnik Rižane (vir: Revizija ocene ogroženosti pred poplavami v Mestni občini Koper, 2008).

V povodju Rižane so ogroženi pritlični prostori posameznih hiš v naseljih Cepki, Miši in kmetija pod Srminom (ogroženih je nekaj glav živine). V kolikor bi vode reke Badaševice prestopile bregove, bi to pomenilo hujše posledice za območje pod hribom Triban in dolvodno do izliva. Ogrožena so predvsem pritlična stanovanja (do 200 stanovanj s približno 750 prebivalci na območju Partizanske in Vanganelške ceste); prisotna bi bila ogromna gmotna škoda zaradi vdora blatne vode. Najhujši možni scenarij predvideva sočasni dvig reke Badaševice in morja, pri čemer bi poplavilo območja nekdanje tovarne Tomos ter območja ob

Ulici 15. maja, kakor tudi Smedelsko bonifiko. Prišlo bi do velike gospodarske škode v določenih podjetjih, ki se nahajajo v industrijski coni Kopra (Citroen Slovenia d.d., Rižanski vodovod Koper d.o.o., CPK d.d., Komunala Koper d.o.o., , Avtoplus, Stavbenik d.o.o., IMP d.d., Mlinotest kruh Koper d.o.o., Elektro primorska d.d., Agraria Koper z.o.o., ...). Poplavi se ne bi izognile niti športne površine in Osnovna šola Koper na Smedelski bonifiki. Na tem ogroženem območju živi 1654 prebivalcev. Reki Dragonja in Rižana pri poplavljanju v spodnjem toku povzročata škodo predvsem na kmetijskih površinah; pri čemer je ob izlivu reke Rižane izjema območje Luke Koper, ki bi zaradi svoje lege bila ob stoletnih poplavah pretežno zalita. Na karti poplavne nevarnosti Kopra je z rdečo barvo označeno tudi obravnavano območje diplomske naloge, t.j. razbremenilnik Rižane (Slika 12).⁶

2.3 Hidravlično modeliranje

Tok vode določenega vodotoka se v času poplav obnaša drugače kot v običajnih razmerah, t.j. ob srednjih letnih pretokih. Do izraza prideta predvsem njegova časovna spremenljivost in neenakomerna razporeditev količin po prečnem prerezu vodotoka. Napovedovanje tovrstnih sprememb je domena hidrodinamičnih modelov, pri čemer moramo biti pozorni na izbiro pravega modela, torej takega, ki bi upošteval vse posebnosti vodotoka.

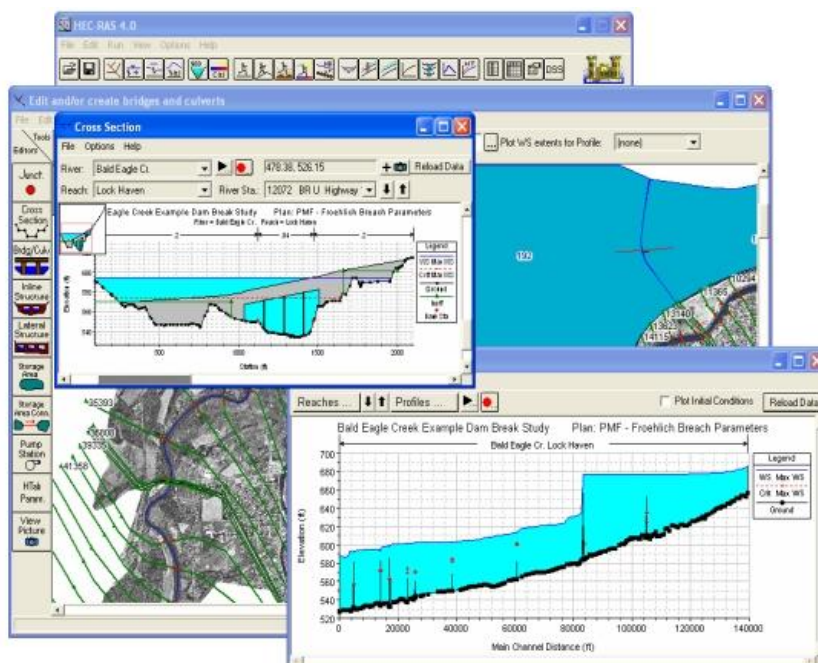


Slika 13: Fizični model (levo) in prikaz rezultatov – erozije (desno) (vir: Steinman, F., Banovec, P. 2008. Hidrotehnika, Vodne zgradbe I, učno gradivo).

Poznamo fizične (Slika 13) in matematične modele (Slika 14). S prvimi lahko prikažemo vodotoke iz narave v pomanjšanem merilu, z vsemi posebnostmi vred. Zaradi boljše vizualne

⁶ (vir: Revizija ocene ogroženosti pred poplavami v Mestni občini Koper, 2008)

predstave so ti modeli primerni predvsem pri načrtovanju objektov na vodotokih ter preučevanju njihovih morebitnih vplivov na vodni tok. Vendar je njihova izdelava zelo zahtevna in dolgotrajna, kasnejše večje spremembe modela pa niso možne. Namreč, po poružitvi modela je vzpostavitev identičnih pogojev praktično nemogoča, zaradi česar je vse zahtevane meritve potrebno izvesti preden model podremo. V tem konkretnem problemu pa se izkažejo prednosti matematičnih modelov. Na slednjih lahko, po shranitvi na določenem mediju, kadarkoli ponovimo ali dodajamo simulacije. Matematični modeli so nekakšni abstraktni zapisi, ki opisujejo značilnosti določenih naravnih pojavov. V bistvu so to računalniški programi, ki jih sestavljata dva dela: del z matematičnimi enačbami in vnosni del. Matematične enačbe so zapisane v numeričnem algoritmu, ki opisuje hidravlične pojave in so uporabniku nevidne. So del programa, ki je preko vmesnikov povezan z delom, kjer uporabnik lahko vnaša hidravlične in geometrijske podatke. Matematični modeli, poleg tega, da omogočajo kasnejše spremembe, so bistveno cenejši in hitrejši. Skozi leta so se tudi zelo razvili, vendar še vedno lahko prikažejo pomanjkljive rezultate, saj obravnavajo le tiste procese, katerih enačbe so definirane v algoritmu. Iz tega sledi, da je pri izdelavi zahtevnejših matematičnih modelov (takih, ki bi podali natančnejše rezultate), potrebno več znanja.



Slika 14: Matematični model rečnega korita s pretokom v programu HEC RAS.

(vir: http://www.hec.usace.army.mil/icons/hecras_main.jpg)

Model, ki je obravnavan v diplomski nalogi, spada med hidravlične modele. Te modele uporabljamo, ko nas zanimajo poteki gladin oz. tlakov in hitrosti vode. Izbira med modeli iz te družine je zelo široka, glede na specifično naravno pojavo pa jih delimo na modele s prosto gladino, v cevodvodih, kanalizaciji, podtalnici, ipd. Glede na samo zahtevnost problema, lahko izbiramo med eno, dvo ali tridimenzionalnimi modeli:

- 1D modeli so modeli, kjer računamo le eno komponento hitrosti, ponavadi največjo. To je seveda hitrost v smeri toka; računski celica 1D modela reke pa je prečni profil.
- 2D modeli upoštevajo tudi stranske komponente hitrosti, pri čemer so računski celice ploskve površin obravnavanega območja. Taki modeli so uporabni pri računu razlivanja iz struge, kjer horizontalne komponente hitrosti ne moremo zanemariti.
- 3D modele izberemo, če so vse tri komponente hitrosti (komponenta v smeri toka, horizontalna komponenta in vertikalna komponenta) podobnega velikostnega reda, zaradi česar ne smemo pri izračunih privzeti povprečnih vrednosti v nobeni smeri. Računske celice takih modelov so prostorske; geometrijska telesa kot npr. prizme, tetraedri, itd.

Diplomsko delo obravnava poplavljanje vodotokov, ki se izlivajo v morje. Ob dvigu morske gladine, morje zajezi ustja rek in nariva vodo po toku navzgor. Poplavna območja morja in rek se združijo. Potemtakem lahko teoretično uvrstimo reke med 1D elemente, saj je hitrost toka v prečni smeri, glede na vzdolžno smer, zanemarljivo majhna. Vsaj dokler voda ne prestopi struge vodotoka. Ko se voda razlije po območju ob strugi, dobimo tudi stranske tokove in 1D model ne zadostuje več. Zaradi poenostavitve pa bomo upoštevali 1D model, pri čemer so mesta izlivanja iz struge (smer toka) odvisna le od robnih pogojev in višine vodostaja.

2.3.1 Hidravlika odprtih vodotokov

Najenostavnejši hidravlični problemi odprtih vodotokov se rešujejo z enačbami stalnega enakomernega toka, ki je teoretično možen le v daljših prizmatičnih rečnih koritih z rahlim vijuganjem. Z istimi enačbami lahko rešujemo tudi probleme vodotokov, ki ne ustrezajo tem

kriterijem. Potrebno je privzeti le nekaj osnovnih predpostavk pri uporabi teh enačb, tako da se lahko izognemo večjim napakam pri računanju. Pri obravnavi primerov z nestalnim ali neenakomernim tokom privzamemo, da enačbe stalnega enakomernega toka veljajo v dovolj majhnem časovnem intervalu oziroma na kratki razdalji med sosednjima prečnima profiloma obravnavanega odseka. Le v tem primeru lahko privzamemo, da so globina, površina, pretok in hitrost konstantne.

Matematični model, ki smo ga uporabili v nalogi, računa po enačbah za 1D stalni neenakomerni tok. To pomeni, da se povpreči vrednosti parametrov uporabljenih v posameznem prečnem prerezu, pri čemer je največ poenostavitev privzetih pri porazdelitvi hitrosti v prečnem prerezu.

V zgornjem odstavku omenjene enačbe so bile opisane v več literaturah⁷, zaradi česar se v tem diplomskem delu ne bomo posvečali izpeljavi teh enačb, temveč bomo le našteali najosnovnejše med njimi:

1. Zakon o ohranitvi mase, kjer ima osnovna kontinuitetna enačba obliko:

$$\iint_S \rho \cdot \vec{v} \cdot dS = - \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho \cdot \vec{v} \cdot dV \quad (1)$$

kjer pomeni:

- S sklenjena ploskev,
- ρ gostota tekočine,
- v vektor hitrosti,
- t čas,
- V obravnavan volumen.

Poenostavitve, ki jih privzamemo so naslednje:

- tok v tlorisu je enodimenzionalen;
- vertikalna komponenta hitrosti je zanemarljivo majhna ($v_z \approx 0$);

⁷ (Steinman, F. 1999, Hidravlika)

- porazdelitev hitrosti po prečnem prerezu je enakomerna, kar pomeni, da je porazdelitev tlakov po prerezu hidrostatična;
- dno struge ima zelo majhen naklon, zato z zadovoljivo natančnostjo velja zamenjava:
 $I_0 = tg(\beta) \approx \sin(\beta)$
- trenje med tekočino in steno kanala je definirano kot zunanja sila, kar pomeni, da v tekočini ni notranjega trenja.

2. Zakon o ohranitvi gibalne tekočine, kjer ima osnovna dinamična enačba obliko:

$$\iiint_V \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \cdot \rho \cdot dV = \iiint_V \vec{F} \cdot \rho \cdot dV + \iint_S \underline{\underline{\mathbf{T}}} \cdot d\vec{S} \quad (2)$$

kjer pomeni:

- S sklenjena ploskev,
- ρ gostota tekočine,
- v vektor hitrosti,
- t čas,
- V obravnavan volumen,
- F rezultanta delujočih sil,
- $\underline{\underline{\mathbf{T}}}$ tenzor napetosti.

3. Zakon o ohranitvi energije, kjer velja enačba:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dQ}{dt} - \frac{dA}{dt} \quad (3)$$

kjer pomeni:

- E celotna energija sistema,
- Q energija dovedene toplote,
- A odvzeta oz. dodana energija zaradi dela.

Upoštevamo predpostavke, da je tok stacionaren in enodimenzionalen, pri čemer se količine parametrov razporedijo enakomerno po prerezu, tako da lahko računamo z njihovimi povprečnimi vrednostmi. Poleg tega lahko pri odprtih vodotokih, kjer ni hidravličnih ali

hidroenergetskih strojev, izključimo razlike med dovedeno oziroma odvzeto energijo zaradi mehanskega dela. Energijska bilanca med dvema prečnima prerezoma se na koncu definira z energijsko enačbo:

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} + h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{p_2}{\rho \cdot g} + h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \Delta E_{ir} \quad (4)$$

kjer je ΔE_{ir} sprememba vseh oblik nepovratnih notranjih energij.

2.3.2 Enodimenzionalni hidravlični model in določanje Manning-ovega koeficienta hrapavosti (n_g)

Enodimenzionalne modele smo površno predstavili že v predhodnem poglavju (2.3), medtem ko bomo v tem opisali predvsem 1D modele s katerimi operira računalniški program HEC-RAS. Ta je eden najstarejših in najbolj znanih 1D modelov za hidravlične izračune nenadnih sprememb ob ovirah v toku in sprememb režima toka.

Hipne spremembe, med katere spadajo tudi mostovi in prepusti, program izvede z uporabo enačbe gibalne količine (Enačba 2). Prečne preseke program razdeli na posamezne lamele, v katerih so pri 1D modelih upoštevane le hitrosti delcev v smeri toka.

Ker se pri mirnem toku motnje širijo tudi v gorvodni smeri, se nivoje vodnih gladin izračunava v proti točni smeri. Pri protitočnem računu energijskih izgub, za katerega je enačbo razvil J. B. Belanger (Merwade, 2004), se zahteva spodnji robni pogoj, t.j. znan zadnji dolvodni prečni profil obravnavanega odseka. Za enačbo so bile privzete naslednje predpostavke:

- tok je enodimenzionalen,
- tok je stalen,
- tok je enakomeren oziroma blago enakomeren,
- tok se postopoma spreminja,
- energijske izgube v prečnem profilu so enake energijskim izgubam pri stalnem toku (pri enaki globini in pretoku).

Belangerjeva enačba za protitočni račun vodnih gladin:

$$\frac{\partial E}{\partial s} = -I_0 = \frac{\partial}{\partial s} \left(z + \frac{p}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) = -D \cdot \frac{1}{2 \cdot R} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (5)$$

kjer je:

- s koordinata naravnega koordinatnega sistema tangenta na os struge,
- I_0 padec rečnega dna,
- z višinska kota,
- p tlak,
- v povprečna hitrost toka,
- D Darcijev koeficient,
- R hidravlični radij.

Računanje se izvaja od profila do profila, pri čemer se v smeri toka enačbo rešuje le na odsekih z deročim tokom. Za bolj uporabno se je izkazala Manning-Sticklerjeva enačba:

$$\bar{u} = \frac{1}{n_g} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \quad (6)$$

kjer je:

- \bar{u} povprečna hitrost vodnega toka po prečnem prerezu,
- n_g Manningov koeficient hrapavosti,
- I_0 padec rečnega dna,
- R hidravlični radij.

Največ pozornosti pri računanju je, poleg pravilni določitvi geometrije struge in padca dna, potrebno nameniti ustrezni določitvi koeficienta hrapavosti n_g . Pri naravnih vodotokih je hrapavost rečnega kanala funkcija večjega števila spremenljivk, kot npr. vodostaja, pretoka, hrapavosti brežin, gostote vegetacije, preprek, transporta plavin, temperature itd. Vrednost koeficienta hrapavosti zelo niha, zato jo je potrebno pravilno oceniti na podlagi meritev pretokov, poteka gladin in značilnosti vodotoka na terenu. Koristen podatek so tudi izmerjene hitrosti, saj je vertikalni razpored hitrosti odvisen od samega koeficienta. Večina načinov

določanja koeficienta hrapavosti temelji na empiričnih enačbah. Ena izmed teh je tudi enačba W. H. Shen-a, ki ima obliko⁸:

$$n_G = n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \cdot m \quad (7)$$

kjer je:

n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 vpliv materiala, ki sestavlja omočeni obod rečnega korita,
stopnjo hrapavosti oboda, relativni vpliv ovir v koritu,
zaraslosti z vegetacijo in
 m vpliv stopnje meandriranja osi vodotoka.

Za določitev hrapavosti je vsekakor najpomembnejši faktor vpliva sestava dna glavnega kanala (glavni kanal in brežine). Manjše kot so granulacije materiala (npr. prod, pesek), manjši je njihov vpliv. Pri tem je potrebno upoštevati tudi globino vode, saj se pri višjih vodostajih in manjših granulacijah ustvari vodni film (mejna plast), kar pomeni, da lahko vpliv materiala zanemarimo. Ravno obratno je pri nizkih vodostajih, kjer dobimo visoko vrednost n_G , saj se večji prodniki zbirajo na dnu vodotokov in predstavljajo oviro toku.

Na hrapavost vpliva tudi gostota, porazdelitev in tip vegetacije; pri čemer večja zarast ovira pretok in zvišuje vrednost koeficienta. To je problem predvsem na poplavnih območjih v ravninskih delih, kjer je padec dna manjši in posledično manjša hitrost vode. Ob takih razmerah so ustvarjeni idealni pogoji za rast rastlin na obrežjih in dnu struge.

Pri izbiri koeficienta hrapavosti ne gre zanemariti niti vpliva oblike struge (širina korita, zavoji, itd.). Bolj so spremembe nenadne, večji je njihov vpliv. Tako so pri vodotokih z meandri majhnih radijev opazne večje energijske izgube, pri čemer sta erozija in odlaganje materiala še bolj izraziti; vrednost koeficienta hrapavosti pa večja.

Lokalne energijske izgube povzročajo tudi večje ovire v vodnem toku. Med linijske izgube pa štejemo manjše ovire, ki jih je težko predvideti, saj je njihov pojav v veliko primerih povezan

⁸ (Steinman, F. 1999. Hidravlika)

s poplavami, ki nastanejo v obdobjih povečanega deževja. Gre predvsem za posamezna porušena drevesa, ki se zagozdijo v koritu; zdrse materiala; dotok plavin, itd.

V splošnem bi morali vedno, kadar imamo izmerjene pretoke, potek vodnih gladin in karakteristike vodotoka, Manningov koeficient umerjati. Če s temi podatki ne razpolagamo, moramo vrednosti sami določiti ali si pomagati z znanimi vrednostmi v podobnih vodotokih. Obstajajo pa tudi tabele (Chow, 1973), kjer so zapisane vrednosti Manningovih koeficientov za določene pogoje (beton, trava, grmičevje,...), ki se lahko pojavijo v rečnih kanalih. Tabele smo navedli v prilogah diplomskega dela.

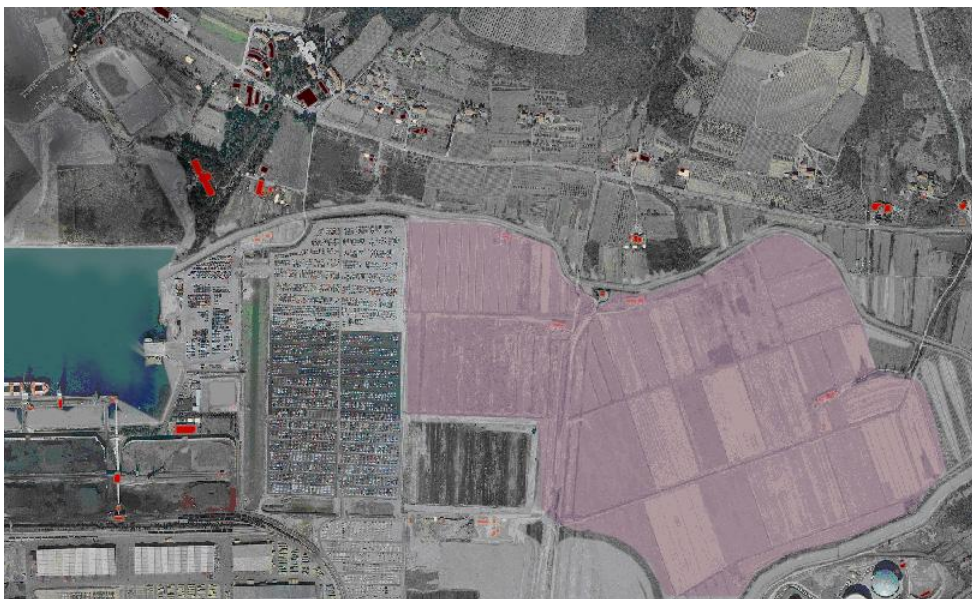
Na koncu celotnega modeliranja je potrebno model tudi umeriti. Če modeliramo zahtevnejši pojav ali več pojavov hkrati, začnemo vedno z najpreprostejšim pojavom oz. podatki in postopoma dodajamo druge, t.j. izgrajujemo model od spodaj navzgor. To omogoča sprotno odkrivanje morebitnih napak in problemov, ki jih je zato mnogo lažje in hitreje odpraviti. Umerjanje modela je v praksi nujno, po možnosti v različnih območjih pojava. Če imamo na voljo malo podatkov za umerjanje je bolje, da se z rezultati modela ne poskušamo za vsako ceno prilagoditi izmerjenim vrednostim, saj lahko s tem poslabšamo rezultate v drugih območjih pojava. Vsaka sprememba parametrov pri umerjanju mora biti fizikalno utemeljena in ne sme služiti zgolj čim boljšemu ujemanju s podatki. Presoditi moramo tudi sumljive podatke in jih po potrebi izločiti. Umerjene parametre je potrebno kritično oceniti in jih primerjati z vrednostmi iz literature, pri čemer se je potrebno zavedati, da rezultati modela ne morejo imeti večje natančnosti od natančnosti vhodnih podatkov.

2.3.2 Robni pogoji in vplivno območje

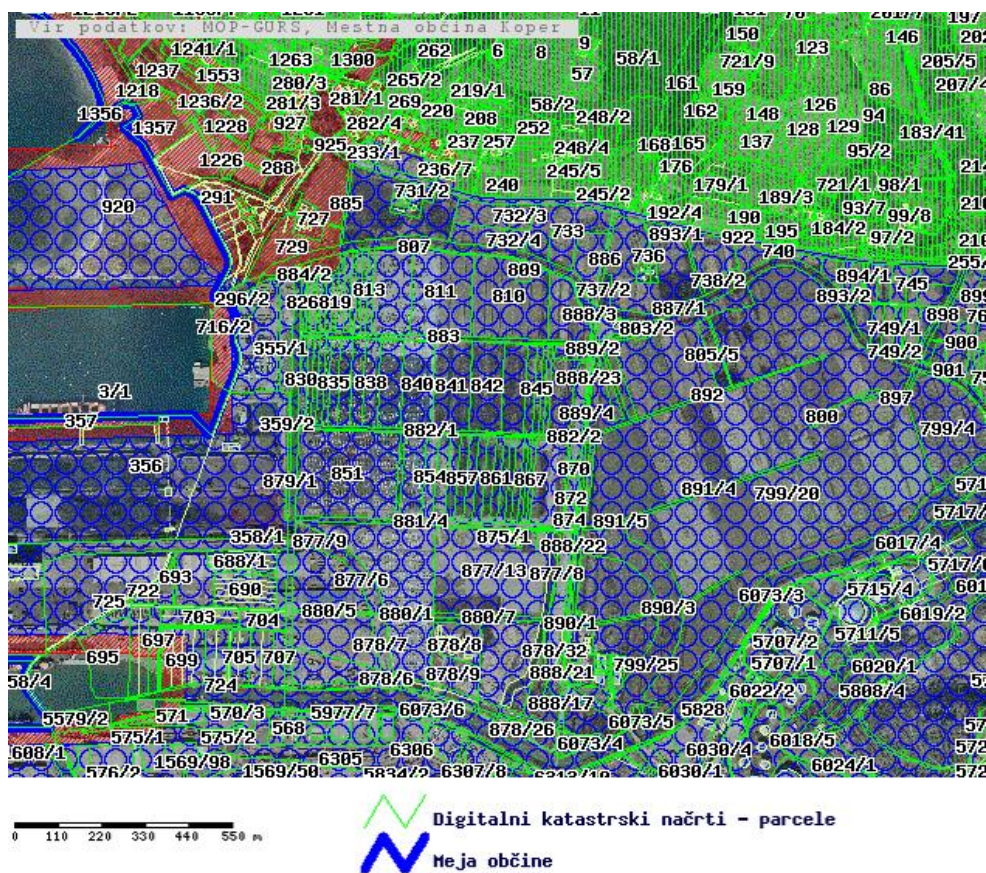
Robni pogoji so nujni za izvedbo računa gladin skozi celoten obravnavan odsek vodotoka. Matematični model, ki smo ga uporabili v nalogi (HEC-RAS), nam dopušča štiri vrste robnih pogojev: znano koto vodne gladine, kritično globino, normalno globino in krivuljo pretoka (višino). Pri poplavah nas najbolj zanimajo hidravlični robni pogoji pri večjih pretokih, kjer je napomembnejši spodnji robni pogoj, t.j. znan zadnji dolvodni prečni profil obravnavanega odseka. Hidravlični izračun poteka gladin pri mirnem toku se namreč izpeljuje od spodaj

navzgor. Spodnji robni pogoj je bil tako določen na podlagi meritev dviga morske gladine, saj so nas zanimale predvsem poplave, ki nastanejo zaradi združitve poplavnega območja morja in reke, torej ob izlivu reke v morje. Pri pregledu podatkov smo prišli do razpotja, saj smo morali izbirati med dogodki v katerih pride do takih pogojev. Namreč, če bi obravnavali dvig morske gladine, ki bi nastal kot posledica globalnih klimatskih sprememb, bi računali s stalnim enakomernim tokom. Napovedani dvig gladine je okoli 0,5 m do leta 2050, kar praktično pomeni, da bi se gladina dvignila in ostala na tistem nivoju. Nasprotno pa je z izrazitim dvigom morske gladine, ki nastane kot posledica kombinacije vetra, inverznega barometričnega pritiska in nevihte. V teh pogojih se lahko gladina dvigne tudi za par metrov, kar daje nevihtnim valovom rušilno moč. Ob koncu nevihte se v določenem času voda umakne in gladina upade. Ker gre za dogodek, ki ga je razmeroma težko predvideti, in ker višine vode ne moremo napovedati, moramo v modelu privzeti stalni neenakomerni tok. Najvišja gladina je bila izmerjena v nevihti leta 1969, in sicer 394 cm, kar je tudi naš spodnji robni pogoj. Izjemen dvig morske gladine bi zajezil ustje reke Rižane in narival vodo navzgor po toku. Vplivno območje, ki bi ga ta dogodek prizadel, je okoli 2 km po toku navzgor (obravnavani odsek); voda pa bi se razlila predvsem po območju levo od razbremenilnika reke Rižane. Ugotovili smo namreč, da bi ob tako visokem vodostaju voda prestopila bregove na levi strani vodotoka in poplavela pretežno depresijsko območje ob reki (**Slika 15**).

V Sloveniji sistem opazovanj in meritev vodostajev ter ostalih hidroloških parametrov temelji na klasični mreži vodomernih postaj opremljenih z merilnimi instrumenti. Podatke o meritvah hrani in ažurira Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). Hidrološko študijo reke Rižane smo za potrebe izdelave diplomske naloge pridobili na Agenciji za okolje in prostor v Kopru. Podatki, ki smo jih uporabili, so bili le tisti, ki zadevajo izliv reke Rižane in hidrološki podatki izmerjeni na postaji Rižana – Bertoki, ki je locirana približno 2 km pred izlivom (v profilu nad razbremenilnikom). O pretokih, ki smo jih izbrali, bomo več povedali v naslednjih poglavjih. Zanimalo nas je tudi katere parcele so ogrožene ob potencialni poplavi, saj vse več lastnikov nepremičnin želi imeti natančne podatke o ogroženosti svoje lastnine. Pri pregledu katastra Kopra smo ugotovili, da gre za razmeroma kmetijska zemljišča, z le nekaj okoliškimi hišami, medtem ko nasipi na območju Luke Koper zaenkrat nudijo dovolj zaščite pred poplavami (**Slika 16**).



Slika 15: Ortofoto posnetek razbremenilnika reke Rižane z vplivnim območjem (temneje obarvano). Voda se bo razlila levo od struge; ogrožene bodo tudi nekatere hiše (rdeče pike).⁹



Slika 16: Številke parcel ob razbremenilniku reke Rižane (vir: Mestna občina Koper, 2008).

⁹ Ortofoto posnetek je s strani Inštituta za vodarstvo pridobljen za namene izdelave diplomske naloge.

2.4 Prostorski podatki

Če bi želeli naštetiti človekove dejavnosti, ki ne bi bile povezane s prostorom, bi pri tem naleteli na velike težave, saj je skoraj celotno dogajanje okoli nas povezano s prostorom. Zato ne preseneča dejstvo, da se je človek že od nekdaj zanimal za okolico, jo želel obvladovati tako iz družbenega kot ekonomskega vidika. Začelo se je s preprostim vzpenjanjem na griče, premišljenim označevanjem tras poti, da bi se kasneje nadaljevalo z izrisom kart na različnih površinah, ki so predstavljale pomanjšan model reliefa prostora. Če je še pred časom bila večina kart zrisana na papirju, pa so se v zadnjem desetletju z digitalizacijo prostorskih podatkov stvari začele spreminjati.

Z zbiranjem podatkov o urbanem prostoru se ukvarjajo različne javne, upravne ali strokovne službe; kot npr. geodetske, urbanistične, statistične, sodne, davčne, šolske, zdravstvene, komunalne, itd. Naloge državne geodetske službe pri nas opravlja Geodetska uprava Republike Slovenije, pri čemer ima državna pooblastila za vzpostavitev, vodenje in vzdrževanje zbirk geodetskih podatkov. Slednji so lahko vodeni oziroma vzdrževani v različnih oblikah (evidence, katastri, registri, načrti, karte); kot že omenjeno pa jih je dandanes večina shranjena v elektronski obliki. Elektronske karte so lahko opisne, kar pomeni, da vsebujejo neko zapredje atributov, ki so vodeni v opisnih bazah podatkov. Lahko pa so v čisti grafični obliki, predstavljene s točkami, linijami, poligoni ali slikami; pri čemer so podatki vodeni v grafičnih bazah podatkov ali kot datotečni sistem. Pri tem je potrebno vse podatke vzdrževati oziroma obnavljati, saj uporabniki od geodetske službe pričakujejo ažurnost, torej uporabo zadnjih veljavnih podatkov. Uporabniki lahko do podatkov dostopajo neposredno, preko portala Geodetske uprave RS (<http://www.gov.si/gu>), v kombinaciji z izdanim digitalnim potrdilom ter dodeljenim uporabniškim imenom in geslom.

Podatke, ki so uporabnikom na voljo za vpogledovanje, lahko razdelimo v pet večjih skupin, pri čemer sta najpomembnejši prvi dve, kataster in zemljiška knjiga, saj skupaj predstavljata temeljni pravni zapis lastništva v prostoru. Skupine so:

1. *Zemljiški kataster*, pri katerem je osnovna prostorska enota katasterska občina, znotraj nje pa so evidentirani podatki o parcelah. To so lahko opisni podatki, grafični podatki,

- zemljiško katastrske točke, katastrske občine in deli katastrskih občin ter skenirani načrti. V zemljiškem katastru lahko uporabniki iščejo podatke po parceli, po lastniku, po posestnem listu, po zemljiško-knjižnem vložku, po zemljiško-katastrski točki in po elaboratu.
2. *Kataster stavb* zajema predvsem opisne in grafične podatke obstoječih stavb oziroma del na njih; kar pomeni, da lahko izvajamo poizvedbe po stavbi, po postopku v okviru KO ali po postopku v okviru OGU.
 3. *Geodetske točke* opisujejo temeljne geodetske mreže; torej položajne in višinske gravimetrične temeljne točke, točke izmeritvenih temeljnih geodetskih mrež, v bodoče pa tudi GPS točke. Za vse točke se zabeležijo koordinate, opisni podatki o točkah ter topografija točk, torej izvajamo povpraševanje po položajni ali višinski geodetski točki.
 4. *Register prostorskih enot* hrani uradne delitve prostora, in sicer od državnega nivoja pa vse do ulice in hišne številke, torej je vodena evidenca tako na centralni kot na lokalni ravni. Uporabnik lahko brska za podatki po naslovu, po upravni enoti, po občini, po naselju ali po ulici.
 5. *Topografski podatki oz. podlage* se nahajajo v obliki rasterskih slik t.i. skanogramov (skenirani načrti); mednje pa prištevamo topografske karte v merilu 1 : 50 000, državne topografske karte v merilu 1 : 25 000, pregledne karte v merilih 1 : 250 000, 1 : 500 000 ter 1 : 750 000 in nenazadnje digitalne ortofoto načrte (DOF5).

2.4.1 Prostorsko načrtovanje

"Urejanje prostora je načrtovanje in razmeščanje človekovih dejavnosti v prostoru v najširšem smislu, upoštevajoč tehnične, socialno-ekonomske, okoljevarstvene, oblikovne in druge vidike. Zajema vse prostorske razsežnosti, od držav, regij, občin oz. lokalnih skupnosti, mest, vasi, do posameznih lokacij" (Pogačnik 1999, str. 2). Torej poteka načrtovanje po določenem sistemu, pri čemer se dokumenti razvrščajo hierarhično. Na vrhu je, kot najbolj pomembno, planiranje na državni ravni, nato si pa po pomembnosti sledi planiranje od regionalne do občinske ravni.

➤ Sistem prostorskega načrtovanja

Po 12. členu Zakona o prostorskem načrtovanju (UL RS št. 33/2007: 4585) poznamo naslednje prostorske ureditve:

Prostorske ureditve državnega pomena: V skladu s predpisi je država pristojna za ureditve, ki so grajene kot gospodarska javna infrastruktura oziroma grajeno javno dobro državnega pomena; ureditve zaradi varstva okolja; ureditve na območjih ohranjanja narave in kulturne dediščine (spomenikov); ureditve za varstvo pred naravnimi nesrečami in nenazadnje tudi ureditve katerih vpliv sega na območje več občin in so zaradi različnih značilnosti pomembne za prostorski razvoj države.

Prostorske ureditve regionalnega pomena: Slednje so zelo podobne ureditvam državnega pomena, le da se vse odvija na lokalni ravni. Torej tudi te zajemajo prostorske ureditve katerih vpliv sega na območje več občin; ureditve gospodarske javne infrastrukture lokalnega pomena ter ureditve, ki so del regionalnega razvojnega programa.

Prostorske ureditve lokalnega pomena: Na lokalni ravni so prostorske ureditve namenjene opravljanju občinskih gospodarskih javnih služb, opravljanju lokalnih in državnih negospodarskih služb, opravljanju gospodarskih in negospodarskih dejavnosti, izkoriščanju mineralnih surovin in bivanju. Med ureditve lokalnega pomena spadajo tudi ureditve občinskega javnega dobra in vse druge, ki niso prostorske ureditve državnega pomena. Na podlagi opisane razvrstitve se sprejemajo prostorski akti, ki določajo smernice v zvezi s posegi v prostor, vrste posegov ter merila za njihovo izvedbo. Prostorski akti so sestavljeni iz grafičnega in tekstualnega dela.

DPN (državni prostorski načrt) je prostorski akt, ki opisuje prostorske ureditve državnega pomena iz državnega strateškega prostorskega načrta. Državni prostorski načrt meji na območja s prostorskimi ureditvami državnega pomena, podaja predpise za saniranje posledic naravnih nesreč in je podlaga za pripravo projektov za pridobitev gradbenega dovoljenja. Območja ureditev morajo biti prikazana tako natančno, da je njihove meje moč razločiti v naravi in prikazati v zemljiškem katastru, za kar je pristojno Ministrstvo za okolje in prostor.

OPN (občinski prostorski načrt) je prostorski akt s katerim se določijo cilji in izhodišča prostorskega razvoja občine, načrtujejo prostorske ureditve lokalnega pomena ter določijo pogoji umeščanja objektov v prostor, t.j. prostorski izvedbeni pogoji. Pri tem je potrebno upoštevati smernice iz državnih prostorskih aktov, razvojne potrebe občine in varstvene zahteve, zaradi česar se OPN deli na strateški in izvedbeni del. Strateški del določa prostorski razvoj občine, kar vključuje razvoj poselitve in celovite prenove, usmeritve za določitev namenske rabe zemljišč ter območij razpršene gradnje oziroma poselitve. V izvedbenem delu pa so območja namenske rabe zemljišč že določena, prav tako pa prostorski izvedbeni pogoji. Enako kot pri DPN, je tudi OPN lahko podlaga za pripravo projekta za pridobitev gradbenega dovoljenja, pri čemer je za vso vsebino ravnatoko pristojen minister za okolje in prostor.



Slika 17: Izris predvidene lege gospodarsko obrtne in razvojne cone Srmin po OLN občine Koper (rdeče obarvano).¹⁰

¹⁰ Ortofoto posnetek je pridobljen iz katastrskih podatkov Mestne občine Koper.

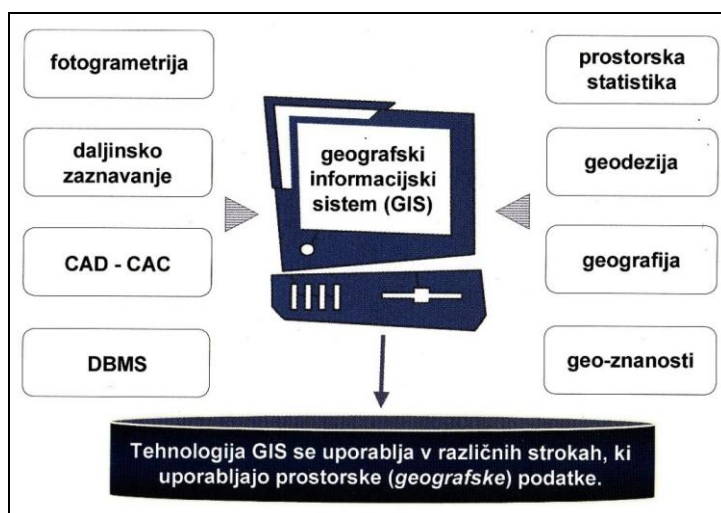
Območje, ki je obravnavano v diplomskem delu je območje razbremenilnika reke Rižane. Mestna občina Koper je v občinskem lokacijskem načrtu predlagala gradnjo gospodarsko obrtne in razvojne cone Srmin (**Slika 17**). Ta je predvidena na bertoški bonifiki, na ravninskem delu, ki je le nekaj kilometrov vzhodno od starega mestnega jedra Kopra in slab kilometer jugozahodno od vzpetine Srmin. Tako bi nova gospodarsko obrtna cona ležala med tovorno železniško postajo, t.j. železniškim tirom proti potniški postaji Koper ter cesto Bertoki – Ankaran, velikost ureditvenega območja znaša okoli 29,4 ha. Med predvidenimi potrebnimi zahtevnejšimi posegi je tudi prestavitev dela struge razbremenilnika Rižane. Razbremenilnik želijo prestaviti proti jugovzhodu, in sicer tako, da bi nova struga tekla vzporedno z železniško progo. S tem bi se lahko sprostile velike površine na sredini območja predvidene obrtne cone Srmin.

2.4.2 Geografski informacijski sistem (GIS)

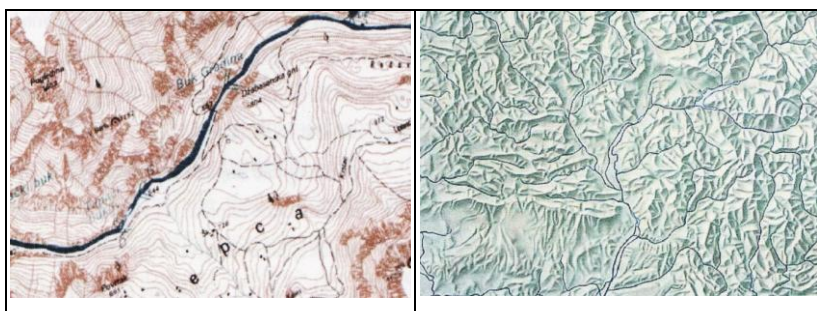
"Z uporabo tehnologije GIS lahko v računalniku shranimo poenostavljeni digitalni model stvarnega sveta. Prostorske in opisne podatke, ki predstavljajo določeno stvarno okolje oz. prostorske pojave v njem lahko z ustreznimi orodji GIS shranjujemo in obdelujemo, tako da jih predstavimo v enostavnejši obliki" (Šumrada 2005, str. 76).

GIS programska orodja imajo za osnovo prostorske podatke. Prikaz terena v naravi je težava s katero se kartografi ukvarjajo že stoletja. Pred razvojem GIS (**Slika 18**) so te težave reševali s tiskanimi kartami, na katerih so na razne načine skušali prikazati tridimenzionalni prostor. Razgibanost in naklon terena so tako skušali prikazati z izohipsami in z metodo senčenja (**Slika 19**).

V integrirani GIS-podatkovni bazi so shranjeni prostorski podatki, ki podajajo opisne, lokacijske in kartografske lastnosti v enotnem georeferenčnem sistemu. Ta je razdeljen na tematske sloje, ki jih izbiramo glede na primernost za prikaz; torej kot rastersko ali vektorsko obliko zapisa objektov.



Slika 18: Razvoj GIS-a se je pričel s povezovanjem sistemov za računalniško kartografijo (CAC) in splošno tehnologijo poslovnih baz podatkov (DBMS). Zbrani podatki so neodvisni od načinov uporabe, zato se lahko predstavljajo in uporabljajo na različne načine. (VIR: Šumrada, R. 2005, Tehnologija GIS, str. 76).



Slika 19: Prikaz reliefa z izohipsami (levo) in z metodo senčenja (desno).

(VIR: Rak, G. 2006, Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov, Dipl. nal., str. 24).

Osnovni gradnik rasterskega objekta je celica, ki nosi informacije ali vrednosti enotnega podatkovnega tipa. Celice, ki so povezane v stolpce in vrstice matrike, predstavljajo posamezen podatkovni sloj. Vendar se raster izkaže za manj primerne, ko je pomembna velika prostorska natančnost. V takih primerih se objekte riše vektorsko. Pri vektorskih objektih je osnovni gradnik točka, ki je lahko samostojna ali pa množica več točk povezanih v linije oz. poligone. Tak način omogoča veliko prostorsko natančnost, ni pa najbolj uporaben za kvantitativne analize in modeliranje številnih slojev podatkov hkrati, pa tudi za daljinsko zaznavanje in prostorsko zvezno spreminjajoče se pojave ne. Pri slednjih se ponavadi uporablja raster.

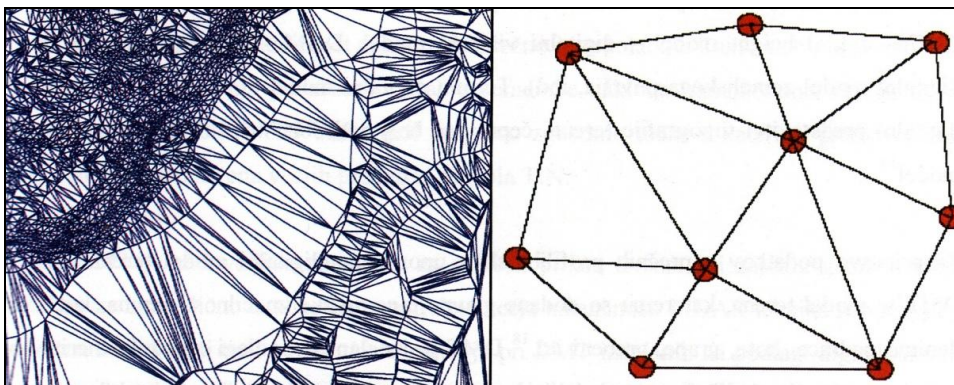
"**TIN (mreža neenakih trikotnikov)** je na vektorski osnovi razvita metoda, s katero prikažemo topografijo terena z mrežo trikotnikov, njihovih stranic in oglišč. Vozlišča trikotnikov so natančno izmerjene točke iz narave, stranice pa povezujejo med seboj najbližje višinske točke" (Rak, G. 2006. str. 26). Vsak od trikotnikov predstavlja približen naklon terena, vir podatkov pa so lahko niz podatkov koordinatnih točk (X,Y,Z), izohipse ali digitalni modeli terena (**Slika 20**).

"**DMT (digitalni model terena)** je metoda, ki temelji na rastrski strukturi podatkov" (Rak, G. 2006. str. 27). Raster je sestavljen iz celic kvadratne oblike in podoben matriki. Tudi tu vsaka celica vsebuje informacije, kot npr. višino točk terena v primeru prikaza topografije. Za izdelavo DMT je potrebno izvesti mnogo meritev na terenu, pri čemer poznamo različne tehnike pridobivanja prostorskih podatkov:

- digitalizacija linij izohips ali točk z znanimi višinskimi kotami iz obstoječih kart;
- geodetske meritve koordinat točk terena s tahimetskimi inštrumenti;
- foto-grametrija, ki preučuje in obdeluje metode merjenj dimenzij predmetov, ki se nahajajo na perspektivnih fotografskih in digitalnih posnetkih;
- pridobivanje slike s terena s pomočjo mikrovalovnega radarja (obstajajo različne vrste aktivnih senzorjev), ki oddaja in sprejema dva mikrovalovna signala iz dveh ločenih anten nameščenih na isti platformi;
- lasersko skeniranje (LIDAR), ki poleg mikrovalovnih signalov uporablja še laserske.

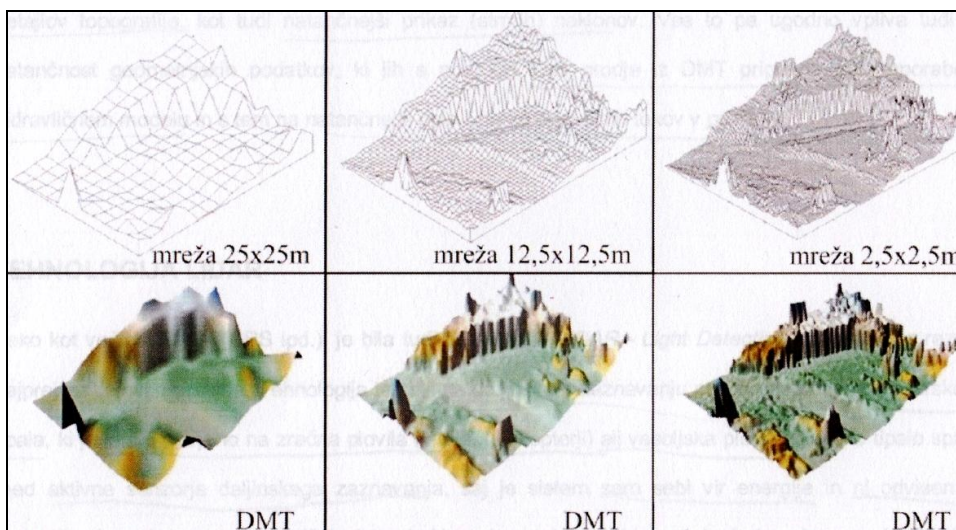
Večina DTM, izdelanih z zgoraj naštetimi tehnikami, je zadovoljivo natančnih. Vendar le pri splošnem prikazu modela, medtem ko se je v praksi izkazalo, da hidravlično inženirstvo zahteva natančnejše digitalne modele terena, ki bi omogočili izdelavo detajlne numerične mreže hidravličnih modelov.

Potreba po zahtevnejši numerični mreži hidravličnih modelov izhaja iz problema, da digitalizirane izohipse klasičnih geodetskih kart prikazujejo premalo točk terena, ker je osnovna celica mreže enostavno prevelika. To vodi v posplošenje topografije in manj detajlno sliko terena, ki je za hidravlične izračune premalo natančna.



Slika 20: Struktura mreže neenakih trikotnikov (levo) in povezana vozlišča trikotnikov (desno). Natančnost DTM je odvisna od gostote posnetih točk; bolj kot je teren raven, večji so trikotniki. (VIR: Rak, G. 2006, Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov, Dipl. nal., str. 27).

Tak primer lahko vidimo na **sliki 21**, kjer ni prikazana dejanska topografija rečne struge. V časovnem obdobju snemanja terena je opis brežin vodotoka segal verjetno le do vodne gladine (Gosar et al. 2008). Pri takih podatkih lahko inženir ugotovi, da pride do izračunov poplav že pri manjših pretokih, saj je geometrija rečne struge previsoka. Namreč, volumen korita je manjši kot v realnosti, zato je izračunana pretočna sposobnost struge manjša in voda hitreje prestopi bregove. Takšna neustreznost se lahko odpravi s terenskim merjenjem prečnih profilov, vendar tudi tu prihaja do merskih napak pri interpolaciji točk, saj se izmerjeni prečni profili običajno nahajajo na večjih medsebojnih razdaljah.



Slika 21: Različno gosta mreža podatkov vpliva na natančnost DTM (VIR: Gosar, L.; Rak, G.; Steinman, F.; Banovec, P. 2008; Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah, Gradbeni vestnik).

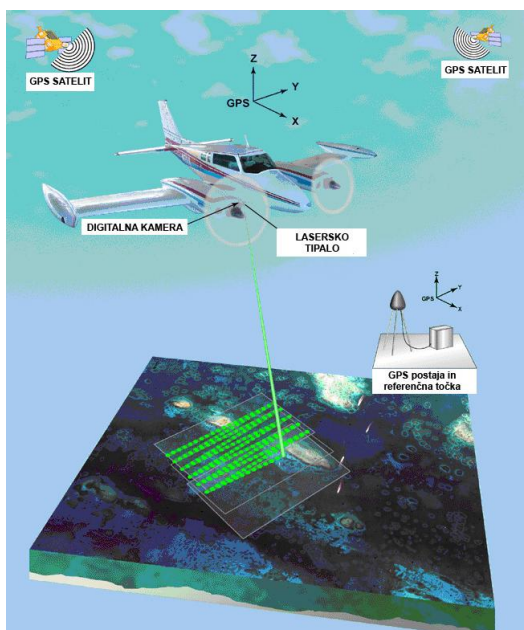
Za gostejši zajem višinskih točk so se zato razvijale novejšje tehnike pridobivanja topografskih podatkov. Za potrebe izdelave diplomske naloge smo se osredotočili na LIDAR tehniko, ker z njo pridobimo najbolj optimalne rezultate.

2.4.3 LIDAR tehnologija

Tehnologija LIDAR – *Light Detection and Ranging* je bila razvita za vojaške potrebe in omogoča podrobno upodobitev topografije, saj zajame bistveno večje število točk terena, vključno s prikazom (strmih) naklonov.

Princip delovanja temelji na daljinskem zaznavanju površine s pomočjo laserskega tipala, ki je lahko pritrjeno na zračna plovila (letala, helikopterji) ali vesoljska plovila. Kot smo že omenili pri naštevanju tehnik pridobivanja prostorskih podatkov za izdelavo DTM, spada takšno tipalo med aktivne senzorje daljinskega zaznavanja, ker je sistem sam sebi vir energije in tako neodvisen od zunanjih virov. Lasersko zaznavanje po sistemu LIDAR se deli na zaznavanje preko naprav na plovilu in na zaznavanje preko naprav za obdelavo podatkov (**Slika 22**). Sistem na plovilu sestavljajo lasersko tipalo (laserski oddajnik), sprejemnik, detektor signala, ojačevalec in ostale elektronske komponente. Naprave za obdelavo podatkov pa so radarska antena, GPS (*Global positioning system*), IMU (inercijska merilna enota) in video kamera ali fotoaparati, ki lahko posnameta še druge lastnosti površine.

Inštrument deluje na principu pošiljanja impulzov proti tlorisu in prejemanju odbitih signalov. Čas potovanja signala, ta je merjen z natančnostjo 10^{-10} sekunde, določa razdaljo med plovilom in telesom. Na površini zemlje je lociran še GPS sprejemnik, ki skupaj s sprejemnikom na plovilu sestavlja DGPS sistem. To namreč določa še bolj natančno pozicijo. Vloga IMU sistema je merjenje višine plovila, kombinacija vseh treh sistemov pa omogoča določitev natančne pozicije letala ter razdalje med plovilom in površjem ob vsakem impulzu. Na podlagi tega lahko vsaki izmerjeni točki določimo absolutne koordinate v tridimenzionalnem prostoru.



Slika 22: Princip delovanja sistema LIDAR

(<http://gulfsci.usgs.gov/tampabay/data/1mapping/lidar/images/Eaar11.gif>)

Enačba za moč LIDAR-jevega signala¹¹ v zelo poenostavljeni obliki predstavlja moč signala P v odvisnosti od razdalje R in je sestavljena iz štirih faktorjev:

$$P(R) = K * G(R) * \beta(R) * T(R) \quad (8)$$

Kjer pomeni:

- K izvedba oz. učinkovitost sistema LIDAR,
- $G(R)$ izmera geometrije v odvisnosti od razdalje R ,
- $\beta(R)$ koeficient razpršenosti povratnega signala pri razdalji R ,
- $T(R)$ izgube svetlobe od sistema LIDAR in nazaj pri razdalji R .

Meritve s sistemom LIDAR so bolj zanesljive pri nižjem preletu snemalne površine. Zato se za natančnejše meritve uporablja LIDAR pritrjen na helikopter, kar omogoča nižje letenje, manjšo hitrost letenja in izmero koordinat z gostoto 10 do 20 točk na kvadratni meter. Premer snopa laserskega žarka je okoli 7,5 mm. Tak je ob točki, ko zapusti lasersko napravo. Ko pa žarek zazna oviro na površini (pri višini leta med 1000 in 2000 m), se njegov premer poveča na velikost okoli 50 cm. Pri zajemu točk terena skuša sistem LIDAR eliminirati vse ostale točke odboja npr. od vegetacije, kar doseže s tem, da upošteva le zadnji odboj, ki je ponavadi

¹¹ (vir: Weitkamp, C. 2005)

dejanski odboj od tal, t.j. odboj najbližji tlom. Snemanje zajame veliko količino podatkov, zato se za izločitev točk razvijajo številni algoritmi, ki podajo le točke pomembne za delo na določenem področju. Takšna praksa je 90% učinkovita, preostale podatke pa se odčita iz ortofoto (vidni ali IR spekter) posnetkov, katerih snemanje poteka istočasno.

Prednosti tehnologije LIDAR pred tehniko pridobitve podatkov točk s pomočjo izohips:

- natančna obdelava podatkov z natančnostjo tudi do 2 cm;
- hitra pridobitev podatkov s kontinuiranimi preleti nad poplavnimi območji;
- spremljanje morebitnih sprememb topografije terena zaradi poplav v realnem času;
- zmožnost snemanja v vsakem vremenu, podnevi in ponoči;
- zaradi velike gostote izmerjenih točk je možno zaznati majhne elemente terena, ki imajo velik vpliv na vodotok in začetek ter način njegovega poplavljanja.

Tehnologija LIDAR kvalitetno nadomešča tudi satelitske posnetke, saj ima boljšo odzivnost, natančnost, večje število vzporednih produktov, omogoča prodiranje skozi vegetacijo, itd.

Ima pa tehnologija LIDAR tudi negativne plati. Ena izmed teh je definitivno prevelika količina zbranih podatkov, za katere je potrebna zmogljiva računalniška oprema, ki je med drugim tudi ekonomsko bolj neugodna. Druga pomankljivost pa pride do izraza pri opisu topografije rečne struge, kjer se pojavijo težave pri snemanju globljih vodotokov in vodotokov z veliko vsebnostjo suspendiranih snovi. Gre za problem osnovne različice laserskega tipala, ki ima frekvenčno območje okoli infrardeče svetlobe, katera ne more prodreti globoko v vodno telo, ker se v vodi žarek razprši. Zaradi tega pojava LIDAR ne sprejme odbitega signala in ne more pridobiti podatkov o podvodni površini. Rešitev je v uporabi dvojnega laserskega tipala, ki je posebna vrsta tehnologije LIDAR. Ta temelji na principu DIAL (*Different Absorption LIDAR*) in omogoča oddajanja infrardeče svetlobe in modro-zelene svetlobe. Ravno slednja lahko prodre do rečnega ali morskega dna, a le, če je voda mirna in bistra; torej ne vsebuje prevelike količine suspendiranih snovi. Takrat se namreč žarki sipajo in odbijajo še preden dosežejo dno struge, kar privede do napak. Če do slednjega pride, je mnogo bolje uporabiti več žarkovne (*multibeam*) naprave, ki so izdelane posebej za snemanje batimetrije (geometrije dna vodnih teles) in tako posnete točke združiti s točkami terena, zajetimi s tehnologijo LIDAR.

3 PROGRAMSKA ORODJA

Reševanje hidravličnih problemov je od sredine osemdesetih let, ko je uporaba GIS-a doživela pravi razcvet, postalo mnogo lažje. Napredek v tehnološkem razvoju se je poznal tudi na področju zajema prostorskih podatkov. Rezultat so detajlne karte, ki omogočajo hitro iskanje informacij znotraj ogromnih količin podatkov. Pravtako imajo inženirji na voljo vse več programskih paketov, s pomočjo katerih prihranijo na času priprave prostorskih podatkov za uporabo v programih za hidravlične izračune. Tudi hidravlična analiza te diplomske naloge temelji na detajlnem digitalnem modelu terena, ki je bil izdelan na podlagi posnetih višin terena z orodjem LIDAR. Hidravliko smo računali z 1D hidravličnim programom HEC-RAS, pred tem pa je bilo potrebno na osnovi posnetega DMT izrisati geometrijsko podlago rečnega korita. Pri tem smo si pomagali z GIS-ovim programom ArcView z razširitvami 3D Analyst, Spatial Analyst in HEC-GeoRAS-om. Med drugim pa nas je zanimala primerjava ArcViewa s programom Manifold, zato smo proces ponovili. Na koncu smo geometriji, zrisani s programskima orodjema ArcView in Manifold, prenesli v program za simulacijo 1D toka HEC-RAS. Primerjava rezultatov sledi v naslednjih poglavjih; medtem ko bomo sedaj podali le kratek opis programskih paketov.

3.1 ESRI ArcGIS

ArcGIS je paket programske opreme, ki je bil razvit s strani ameriškega inštituta ESRI (*Environmental System Research Institute*). Podjetje, ki je bilo ustanovljeno leta 1969, se je specializiralo v razvijanju programske opreme za GIS tehnologijo in je danes tudi največji svetovni proizvajalec tovrstnih izdelkov. ArcGIS sestavlja več aplikacij, ki nam olajšajo zbiranje, pripravo, analizo ali predstavitev geografskih informacij. Izbiramo lahko med naslednjo ponudbo:

- *ArcReader* je brezplačen pregledovalnik prostorskih podatkov in kart zrisanih z Arc programi. Pregledamo in natisnemo lahko praktično vse formate, možno je pa tudi izvajanje zelo enostavnih poizvedb po podatkovnem nizu.

- *ArcView* je nekoliko zmogljivejša aplikacija, ki omogoča širši pregled prostorskih podatkov (vključno z njihovo uporabo), ustvarjanje kart in izvajanje osnovnih prostorskih analiz; skupaj z enostavnim urejanjem in geoprocesiranjem.
- *ArcEditor* vključuje vse funkcije *ArcView*-a, z dodatno nadgradnjo bolj naprednih orodij za manipulacijo s podatkovnimi bazami (tipa *geodatabase*) in oblikovnimi datotekami (*shapefile*);
- *ArcInfo* je nabolj napredna verzija *ArcGIS*-a, v katerih so orodja, ki jih nudita *ArcView* in *ArcEditor* še bolj dodelana; omogoča pa tudi manipulacijo z bazo podatkov, urejanje in izvajanje zahtevnejših prostorskih analiz.

Vsi izdelki *ArcGIS* imajo podobno zgradbo, kar uporabnikom olajša prehod iz ene programske opreme v drugo. Omogočena je tudi medsebojna izmenjava podatkov, kart, simbolov, slojev, modelov, itd. ali pa dokup razširitev (t.i. ekstenzij), ki povečajo funkcionalnost *ArcGIS*-a.

3.1.1 *ArcView*

Pri delu smo uporabili aplikacijo *ArcView*, zato se bomo osredotočili na opis slednje. Večina podatkov ima attribute, v katerih je praviloma skoraj vedno navedena lokacija. Ponavadi so to GPS koordinate, lahko pa je to tudi naslov, poštna številka, mesto ali regija. Z *ArcView*-om lahko te podatke pregledujemo in analiziramo povezave med njimi. V končni fazi lahko pripravimo tudi vizualizacijo odnosov, trendov in povezav, ki so zaradi svoje netransparentnosti morda težje določljivi. *ArcView* opravlja širok spekter nalog, saj ga uporabljajo na najrazličnejših področjih. To so lahko strateški načrti vojske ali države za izvajanje civilne zaščite in reševanja pred naravnimi nesrečami (potresi, poplave, požarno ogrožena območja, itd.); načrti bodočih telekomunikacijskih mrež (internet, kabelska TV, pokritost mobilnega omrežja); grafični prikazi skupin potrošnikov za načrtovanje nadaljnje ponudbe (ponudba in povpraševanje po določenih storitvah, trgovski razvoj, zdravstvo); predvidevanja nenadnih dogodkov in sanacije trenutnih stanj (kartiranje območij s pogostejšimi izpadi električnega omrežja ali območij s povečanim izpustom emisij v okolje) in nenazadnje analize gostote prometa (GPRS pokritost). *ArcView* operira praktično z vsem, kar je podatek, ki ga je možno prikazati geografsko ali tabelarno.

Kot že omenjeno, imamo na voljo dodatne razširitve, ki omogočajo poglobljene študije pri prostorskih analizah in še več načinov prikazov rezultatov. Pri hidravličnem modeliranju je v veliko pomoč razširitev HEC-GeoRAS, razvita s strani ameriškega centra za hidrološke raziskave HEC (*Hydrologic Engineering Center*) v sodelovanju z inštitutom ESRI. Ne smemo pa pozabiti tudi razširitvi 3D Analyst in Spatial Analyst.

3.1.2 Razširitev 3D Analyst in Spatial Analyst

"3D analyst omogoča uporabniku izdelavo dveh vrst modelov, v obliki pravilne mreže ali nepravilne triagonalne mreže. S pomočjo le-teh lahko izdelamo realistične modele terena ali pa prikažemo različne gradiente. 3D Analyst nam omogoča kreiranje modela površin na podlagi podatkov različnih formatov. S pomočjo interpolacije omogoča izdelavo modela TIN na osnovi podatkov točk, linij ali poligonov. Na modelu neke površine lahko dobimo višine posameznih točk, izrise izohips, podatke o naklonih površin, perspektivo poljubne točke ali pa z njim interpretiramo rezultate, ki so tako lažje razumljivi. Prikaz lastnosti poljubnih tematskih podatkov si lahko olajšamo s prikazom v obliki 3D diagramov. Tak primer je prikaz gostote prebivalstva in podobno" (Rak, G. 2006, str. 36).

Spatial Analyst pomaga uporabniku pri odkrivanju in raziskovanju povezave med posameznimi podatki. Z njegovo pomočjo izdelamo rastrske modele za ponazoritev najrazličnejših podatkov, kot na primer hitrost rasti gostote prebivalstva. *Spatial Analyst* nudi orodja za oblikovanje podobe zemeljskega površja in analiziranje karakteristik le tega (Rak, G. 2006, str. 37).

3.1.3 Razširitev HEC-GeoRAS

HEC-GeoRAS je razširitev programskega orodja ArcView in je ena od uporabnejših razširitev za hidravlično modeliranje. S pomočjo HEC-GeoRAS-a namreč na podlagi DMT pripravimo vhodno datoteko za program HEC-RAS. Uporabljamo ga v kombinaciji z razširitvami 3D Analyst in Spatial Analyst; pri čemer s prvo iz DMT ustvarimo TIN format, zato da ga lahko

HEC-GeoRAS sploh razbere. Slednje dosežemo z interpolacijo podatkov DMT, ki mora zaradi tega biti dovolj natančen. V TIN formatu lahko nato vnesemo podatke, ki definirajo rečni sistem – glavni kanal rečne struge, brežine, prečne profile, linije rečnega toka, morebitne ovire (npr. most) in morebitna območja neefektivnega toka. Vsak sklop podatkov moramo obvezno oblikovati v samostojne sloje, saj jih v nasprotnem HEC-RAS ne razpozna. Po opravljenih izračunih v programu HEC-RAS se lahko odločimo za prikaz rezultatov v HEC-RAS-u ali pa izberemo ArcView, ki omogoča natančnejši izris rečnega sistema in 3D prikaz poplavnih območij. Pri prenosu podatkov nazaj v ArcView spet uporabimo razširitev HEC-GeoRAS, kjer nato s Spatial Analystom izberemo med različnimi možnostmi: izris globin vode (izobat), izris linij hitrosti vode (izotah), oblikovanje histogramov, itd. Globina in hitrost vode sta namreč dva ključna dejavnika pri določanju intenzitete dogodka, saj njun produkt predstavlja udarno silo vode. Če povzamemo: HEC-GeoRAS je razširitev, ki deluje kot nekakšen most oziroma povezava med ArcViewom in HEC-RAS-om. Podatke najprej v ArcView-u obdelamo z razširitvijo 3D Analyst in jih prenesemo v HEC-RAS s pomočjo HEC-GeoRAS-a. Slednjega spet uporabimo, ko želimo dobljene rezultate v HEC-RAS-u prenesti v ArcView, kjer jih nato poljubno obdelamo z razširitvijo Spatial Analyst.

3.2 Manifold

Manifold System (www.manifold.net) je, tako kot ArcGIS, programska oprema namenjena delu z GIS tehnologijo. Manifold na tržišču tekmuje z največjim proizvajalcem GIS programske opreme – ESRI in z MapInfo GIS izdelki. Začetki Manifolda segajo v leto 1993, ko sta si računalniška korporacija Intel in ameriško Ministrstvo za obrambo zadala velik izziv: Oblikovati razvojno skupino, ki bi optimizirala matematične knjižnice za t.i. super računalnike. Naknadno so v načrt vključili ustvarjanje in prodajo matematičnih knjižnic. V ta namen so razvili serije delovnih programskih orodij, ki bi uporabnikom pomagale pri učenju operiranja z zapletenimi algoritmi v knjižnicah. Da bi algoritme približali uporabnikom so ustvarili vizualne menije, za lažjo predstavo pa so si pomagali s podatki, ki so uporabnikom blizu; kot npr. cestne mreže, geometrijske podatke inp. Tako so razvili program zelo podoben GIS produktom, dokler niso leta 1997 stranke izrazile željo po pravem GIS izdelku, kar je pomenilo izdajo prve programske verzije Manifold System v januarju leta 1998.

Morda največja prednost Manifolda je v tem, da deluje skladno z operacijskim sistemom Microsoft Windows. Delo v programu poteka namreč zelo intuitivno, saj so meniji programa kar standardni Windows ukazi, na katere so uporabniki zaradi razširjenosti Microsoftove programske opreme več ali manj navajeni. Tako lahko tudi inženirji z zelo malo znanja na GIS področju osvojijo delo s programom v zelo kratkem času.

Manifold podpira vektorske in rastrske podatke, pri čemer zmore razbrati med več kot 80-imi formati datotek (datoteke s končnicami .shp, .mid/.mif, .e00, SDTS, DLG, VMAP/VPF, NTF, TAB, DXF, TAIF, DGN, DEM, SDTS DEM, NITF, itd.). Uporabnik dela s posamezno projektno datoteko (*map*), ki vsebuje risbe, rastrske podloge, tabele in ostale komponente, ki jih dodaja v mapo. Kadarkoli se projektu doda nova risba, se avtomatično kreirajo ustrezne tabele, ki so povezane z ravnokar ustvarjeno risbo. V tabelah so zapisani atributni podatki objektov v risbi. Za organizacijo datotek se uporablja Windows datotečni sistem. Velika prednost Manifolda je, da omogoča izvajanje poizvedb v programskem jeziku SQL. Manifold Queries vsebuje celoten SQL jezik, vključno s prostorskimi razširitvami, kar je zelo uporabno pri delu z ogromnimi bazami podatkov. Pomembnosti slednjega so se pričeli zavedati tudi pri konkurenčnem ESRI-ju, zato so februarja 2008 izdali prvo verzijo ArcGIS-a, ki podpira tudi poizvedbe v jeziku SQL. Seveda tudi Manifold omogoča prikaze v 3D pogledu (**Slika 23**); v programu pa je integrirano sofisticirano internetno orodje (*Internet map server*), ki uporabnikom omogoča hitro in direktno objavo kart in ostalih izdelkov na spletu. Poleg tega lahko k izboljšanju Manifolda prispeva vsak posameznik, saj ima vgrajene skripte (*scripts*). To so komponente, ki so napisane v kateremkoli Microsoftovem spletnem programskem jeziku oziroma ActiveX skriptnem jeziku (Visual Basic, JavaScript, itd.), s katerimi lahko z nekaj programerskega znanja še dodatno razširimo zmogljivosti Manifolda.



Slika 23: 3D vizualizacija v Manifold-u. Ozadje predstavlja fotografijo obale, na sredini pa je teren izdelan z Manifoldovim orodjem, ki se odlično ujema s fotografijo.

(vir: <http://www.manifold.net/gallery/3dshoreline.jpg>)

V primerjavi z ArcView-om, zaostaja Manifold le nekoliko v samih risarskih orodjih, saj ta niso v taki meri dodelana kot v ArcView-u. Tako npr. imamo lahko težave z risanjem pravokotne linije, z manjšo izbiro simbolov za objekte inp. Poleg tega je oteženo tudi tiskanje kart, saj Manifold ne vsebuje nobenih vnaprej pripravljenih podlog, zaradi česar je pri tiskanju posameznih formatov potrebno nekoliko več spretnosti.

Definitivno pa še tako skeptičnega uporabnika prepriča cena Manifolda, saj je ta praktično do sedemkrat cenejši od običajnih GIS programskih orodij. Za primerjavo: osnovni paket Manifolda znaša okoli 180 €, medtem ko je za osnovni programski paket ArcView potrebno odšteti okoli 1400 €; cene določenih programov pa lahko nanesejo vse do 3800 €. Poleg tega z nakupom osnovnega programskega orodja Manifold dobimo v enem paketu praktično vse kar potrebujemo za dostojno prostorsko analizo; medtem ko je pri ArcViewu potrebno dokupiti programske razširitve (npr. opisani 3D Analyst) in je delo s samo osnovnim paketom precej oteženo in frustrirajoče.

Razlog, da smo se spustili v tako podrobno razlago programa Manifold, je ta, da smo prostorske analize za območje obdelave diplomskega dela izvedli ravno v tem programu. Zanj smo se odločili zaradi njegove praktičnosti, ugodne cene in boljše interakcije med zrisanimi kartami. Prav tako smo v Manifoldu na DMT zrisali vse potrebne attribute, ki definirajo rečni sistem – glavni kanal rečne struge, brežine, prečne profile, linije rečnega toka, mostove in območja neefektivnega toka. Manifold brez problemov prebere datoteke narejene z ESRI-jevimi izdelki, pot je pa tudi obratna. Zato rečnega sistema v ArcViewu sploh nismo izrisali, temveč smo oblikovne datoteke (*shape file*), narejene v Manifoldu le prenesli v ArcView. Za ta korak smo se odločili zaradi primerjave vhodnih datotek za program HEC-RAS, v katerem izvajamo hidravlične analize. Tu smo naleteli na težavo, saj Manifold nima vgrajenega orodja, ki bi bil podoben razširitvi HEC-GeoRAS. Sicer je nima niti osnovni paket ArcView, saj je razširitev potrebno pridobiti; vendar pri Manifoldu nismo imeli niti te možnosti. Program, ki bi iz Manifoldove mape ustvaril vhodno datoteko za HEC-RAS žal ne obstaja. Zato smo na ljubljanskem Inštitutu za vodarstvo spisali skripto (kot smo že omenili, Manifold to omogoča), ki omenjeno težavo odpravi. Skripto je še v beta verziji, saj smo na njej delali le dober mesec in je potrebna še dodatnih izboljšav. Opravi pa svojo osnovno funkcijo – iz

Manifoldove mape pripravi vhodno datoteko za HEC-RAS in, po končani hidravlični analizi v programu HEC-RAS, iz HEC-RASa prepiše datoteko nazaj v Manifoldovo inačico.

3.3 Programska oprema HEC-RAS

Na ameriškem centru za hidrologijo (Hydrologic Engineering Center; HEC), ki je oddelek inštituta za vodne vire (Institute for Water Resources; IWR) že dalj časa razvijajo programsko opremo za hidravlične izračune. Prve izvedbe (HEC-1 in HEC-2) so omogočale le računanje hidravlike enodimenzijskega modela s stalnim tokom. V sredini devetdesetih let pa so začeli razvijati nove verzije, ki so omogočile širšo paleto možnosti pri izračunih. Zadnja verzija je nastala v letošnjem letu in omogoča opravljanje izračuna stalnega in nestalnega toka za poljubno kompleksen rečni sistem. Analiziramo lahko tudi vpliv različnih objektov na vodotoku, kot so mostovi, prepusti, kanali, nasipi in drugo. Ena največjih prednosti novejših verzij je gotovo možnost izvedbe modela enodimenzijskega nestalnega toka v odprtih vodotokih za različne režime toka. Dobljeni rezultati nam nudijo podatke v posameznih prečnih profilih, mostovih, prepustih, krivuljah pretokov in energijskih izgub, nivojev vodne gladine idr. v grafični, kot tudi v tabelarni obliki. Na voljo so nam grafični rezultati v dvodimenzijski obliki za prečne prereze, shema rečnega sistema, hidrogrami, pa tudi 3D model rečnega korita skupaj z nivoji vodne gladine izračunanih pretokov.¹²

Program obravnava izračun nivojev vodne gladine v stalnem enakomernem toku, pri čemer privzame naslednje predpostavke:

- tok je stalen,
- tok je enodimenzionalen,
- tok se spreminja postopoma,
- upoštevajo se le komponente hitrosti v smeri toka,
- vzdolžni padeč vodotoka ne sme biti večji od 10%.

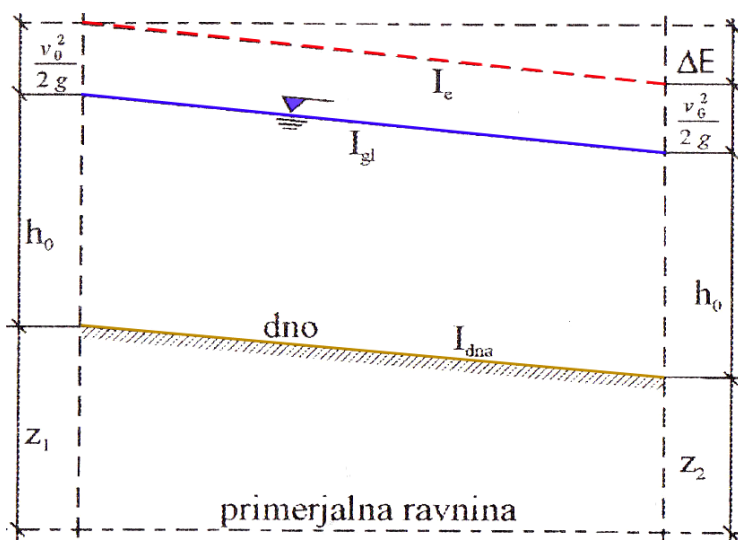
¹² (vir: Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju, 2008)

Hidravlične lastnosti vodotokov se računajo po energijski enačbi:

$$z_2 + h_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = z_1 + h_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (9)$$

kjer je:

- $h_{1,2}$ globina vode v prečnem prerezu,
- $z_{1,2}$ kota najnižje točke tal posameznega profila,
- $v_{1,2}$ srednja pretočna hitrost,
- $\alpha_{1,2}$ Coriolisov koeficient oz. koeficient energijske višine,
- g težnostni pospešek,
- ΔE energijska izguba med profiloma.



Slika 24: Grafični prikaz parametrov energijske enačbe (vir: Steinman, F. 1999, Hidravlika, UL FGG, str. 132).

Energijska črta je vzporedna z vodno gladino in dnom kanala, pri čemer so vzdolžni nakloni enaki:

$$I_E = I_{gl} = I_d = I_0 \quad (10)$$

kjer je:

- I_E naklon energijske črte,
- I_{gl} naklon vodne gladine,
- I_d naklon dna kanala,
- I_0 oznaka za normalni tok.

Delo v HEC-RASu pričnemo z definiranjem rečne mreže, kjer vsakemu rečnemu odseku posebej definiramo ime reke, odsek ter smer, da program prepozna, kje se nahajajo vhodni podatki in v kateri smeri naj izvede izračun. Rečno mrežo oziroma odseke vedno rišemo od gorvodnega proti dolvodnemu profilu, kar program razume kot pozitivno smer (v tej smeri nariše puščico), ki pomeni smer toka vode. Odseki se združujejo oziroma razdelijo samo v vozliščih, tako da vozlišč ne moremo definirati med enojnima odsekoma.

➤ Prečni profili

Osnovni vhodni podatek so ravno prečni profili in z nizom le-teh (razdaljo med njimi določimo sami) definiramo tako geometrijo kanala kot tudi poplavne površine določenega odseka. Profili morajo biti zrisani pravokotno na tok reke in od leve strani brega proti desni strani brega v dolvodni smeri. Pokrivati morajo celotno poplavno območje, zaradi česar jih je potrebno včasih lomiti, saj se profili med seboj ne smejo sekati. Pri risanju profilov je potrebna večja pozornost na mestih kjer prihaja do spremembe pretoka, padca, oblike kanala, koeficienta hrapavosti, v okolici hidrotehničnih objektov, inp., saj tam prihaja do lokalnih izgub. V takem primeru moramo prečni profil vedno definirati tik pred in za samim objektom. Pomembna je tudi razdalja med profili, saj gosteje kot zrišemo profile, boljše bomo opisali potek gladine. Odsek je definiran številčno, z »rečno stacionažo«. Slednja od gorvodnega do dolvodnega profila pada. Vsaka točka v profilu je definirana s koordinatama y in z . Koordinata y predstavlja horizontalno razdaljo od začetne točke (od koordinatnega izhodišča, ki je na levi strani) do zelene točke, tako da koordinata y raste od levega dela profila do desnega. Posamezni profil lahko opišemo z največ 500 točkami. Koordinata z je lahko tudi negativna. Stacionaži leve in desne brežine ločujeta glavni kanal od obeh poplavnih površin. Če se nam zgodi, da je kota zadnjih točk določenega prečnega profila nižja od kote izračunane vodne gladine, program privzame robova profila kot steno (doda dopolnilen omočeni obod).

Vrednost koeficienta hrapavosti se lahko znotraj glavnega kanala tudi spreminja, vendar le v kolikor je to smiselno. Če je uporaba smiselna, bo uporabil različno definirane n_G -je, v nasprotnem pa bo za celotno območje glavnega kanala privzel enoten koeficient hrapavosti. Nadalje sledi opis enačb, ki jih HEC-RAS uporablja pri računanju padca energije zaradi hrapavosti.

Izgube zaradi hrapavosti in spremembe kinetične energije zaradi razširitve oziroma zožitve prereza so zajete v enačbi za izračun padca energije med dvema rečnima profiloma h_e :

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right| \quad (11)$$

kjer je:

- S_f povprečni padec energijske črte med profiloma zaradi hrapavosti,
- L razdalja med profiloma,
- C koeficient razširitve oz. zožitve.

Pri tem moramo podati še enačbo za izračun energijskega padca zaradi hrapavosti:

$$\overline{S_f} = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (12)$$

V enačbi predstavlja Q pretok vodotoka, K pa prevodnost:

$$K = \frac{1}{n_g} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (13)$$

kjer je:

- n_g Manningov koeficient hrapavosti,
- A površina prečnega preseka,
- R hidravlični polmer.

Kako velik vpliv na izračune ima izbira Manningovega koeficienta, smo že povedali (**Poglavje 2.3.2**). HEC-RAS pri računanju predpostavi miren režim toka, pri čemer za vsak prečni profil posebej preveri pravilnost predpostavke s Froudovim številom. Froudovo število (Fr) je brezdimenzijski parameter, s pomočjo katerega določamo režim vodnega toka, in sicer:

$Fr < 1$	Mirni tok
$Fr = 1$	Kritični tok
$Fr > 1$	Deroči tok

Froudovo število predstavlja razmerje med silami vztrajnosti in silami težnosti:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h_0}} \quad (14)$$

kjer je:

- v srednja pretočna hitrost,
- h globina vode v prečnem profilu,
- g težnostni pospešek.

Poudariti pa je potrebno, da meja med kritičnim in deročim tokom ($Fr = 1$) velja le v teoriji hidravlike. Program za mejo uporablja vrednost $Fr = 0.96$, saj Froudovega števila ni možno natančno preračunati, ker so rečna korita naravnih vodotokov pogosto nepravilnih oblik. Tako poteka v mirnem toku izračun od dolvodnega profila proti gorvodnemu. To je značilno predvsem za tok v odprtih vodotokih, pri mirnem toku pa je seveda potrebno zaradi takega preračuna upoštevati spodnji robni pogoj. Če pa nastopi deroči tok, se izračun izvede v obratni smeri.

➤ Neefektivna območja

So območja oziroma del prečnega profila, ki jih voda sicer doseže (območje ni popolnoma izločeno iz računa), vendar je hitrost na tem območju v dolvodni smeri zelo majhna (blizu vrednosti nič). Taka območja so vključena le v račun karakteristik prečnega profila, ne pa v aktivni del toka (pri računu specifične sile). To dejansko pomeni, da se aktivnemu delu toka ne doda dodaten omočen obod. Neefektivna območja določimo na dva načina. Pri prvem sami določimo levo stacionažo in višino in/ali desno stacionažo in višino v profilu. Program dojema območje za neefektivno, vse dokler ni izračunana vodna gladina višja od določene višine neefektivnega območja. Ko nastopi tak trenutek, pa postane območje spet efektivno. Drugi način pa nam omogoča ustvarjanje zaprtih neefektivnih območij. V tem primeru moramo vstaviti višino in desno ter levo stacionažo za vsako zaprto neefektivno območje; teh pa je lahko največ deset v vsakem profilu. Ko je izračunana vodna gladina višja od višine zaprtega neefektivnega območja program, enako kot pri prvem načinu, območje obravnava kot efektivno.

➤ Nasipi

Nasipe definiramo v vsakem profilu, tako da določimo stacionažo levega in/ali desnega nasipa ter njuni višini. Dokler ne bo izračunana vodna gladina višja od določene višine nasipa, voda ne bo prestopila nasipov. Če nasipov ne definiramo, program predpostavlja, da se voda razprostira po celotnem profilu. Definiramo lahko tudi višino nasipa, ki je višja od obstoječega dna. V tem primeru bo program med višino nasipa in dnom ustvaril vertikalno steno. Če voda doseže to steno, program v račun vključi dodatni omočeni obod. Za vsako poplavno ravnico lahko definiramo le en sam nasip.

➤ Ovire

Ovire zmanjšujejo območje toka, ko pa vodna gladina pride v kontakt z oviro se v samem računu upošteva dodaten omočeni obod. Vendar ovira ne predstavlja vertikalne stene, kot pri nasipih. To dejansko pomeni, da se lahko voda razlije po celotnem profilu. Enako kot pri nasipih, lahko ovire definiramo kot levo in desno stacionažo ter levo in desno višino. To pomeni, da bo območje levo od leve stacionaže in desno od desne izvzeto iz računa. Lahko pa tudi definiramo do dvajset zaprtih ovir oziroma blokov v posameznem profilu, pri čemer posamezen blok definiramo z levo in desno stacionažo ter višino.

➤ Lokalne izgube

Hipne spremembe v rečnem koritu lahko na določenih odsekih povzročijo lokalne izgube. Večje motnje vodnega toka povzročajo predvsem mostovi, pragovi, prepusti in p. V takih primerih program za izračun nivojev vodne gladine ne uporablja več energijske enačbe, saj nastopi neenakomerni vodni tok. Program zato izvede račun z enačbo gibalne količine:

$$\sum F_x = m \cdot a \quad (2. \text{ Newton-ov zakon}) \quad (15)$$

kjer je:

F_x sila,
 m masa,
 a pospešek.

Spremembo gibalne količine v časovni enoti se po 2. Newtonovem zakonu lahko vpelje z dinamično enačbo (za delček tekočine v presekih 1 in 2):

$$P_2 - P_1 + W_x - F_t = Q \cdot \rho \cdot \Delta v_{x(2-1)} \quad (16)$$

kjer je:

- $P_{1,2}$ hidrostatični pritisk,
- W_x sila teže vode v smeri x,
- F_t sila zunanjega trenja,
- Q iztok,
- ρ gostota vode,
- Δv_x sprememba hitrosti vode v smeri x.

Program HEC-RAS omenjeno enačbo uporablja za rešitev problemov, kot npr. iskanje lokacije vodnega skoka, nizek tok v okolici mostov in iskanje vozlišč. Izgube, ki nastanejo kot posledica razširitve ali zožitve prerezov, se računajo po naslednji enačbi:

$$h_e = C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right| \quad (17)$$

kjer je:

- h_e energijska izguba,
- C koeficient razširitve oz. zožitve.

HEC-RAS ima že vgrajene privzete vrednosti koeficientov C za račun izgub zaradi razširitve ali zožitve med prečnima profiloma, in sicer:

Režim vodnega toka	Razširitev	Zožitev
Mirni tok	0.3 (0.5)	0.1 (0.3)
Deroči tok	0.1	0.05

Oklepaji navajajo priporočene vrednosti (HEC - Hydraulics References, 2002), kjer je pri deročem toku (zaradi večjih hitrosti) potrebno privzeti nižje vrednosti. Če bi uporabili vrednosti koeficientov mirnega toka, bi to vodilo v prevelike energijske izgube in večja nihanja gladin.

4 OBMOČJE OBDELAVE IN OBRAVNAVANI ODSEK REKE RIŽANE

Hidravlično analizo vodotoka smo izvedli na desnem razbremenilniku reke Rižane, ki je eden od treh pomembnejših vodotokov, ki se pretakajo prek območja občine Koper. Preden se spustimo v podrobnejši opis območja, pa bomo podali nekaj osnovnih podatkov o obalnem pasu občine Koper.

Dolžina morske obale v Mestni občini Koper znaša dobro tretjino celotne slovenske obale oziroma 17,6 km. Povprečna globina priobalnega morja je 17 m, glavni morski tok pa poteka vzdolž celotne obale v smeri od JZ proti SV. Vplivi morja so, preko plimovanja in valov, najbolj izraženi ravno ob obalnem robu.

Poleg reke Rižane s pritoki, tečeta prek območja občine Koper še reka Badaševica s pritoki in gornji del Dragonje s pritoki, ki se pretaka po južnem obrobju občine. Vsem trem pritokom je skupen izrazito hudourniški značaj, kjer še posebej izstopata reki Rižana in Badaševica. Obe namreč tečeta po relativno kratkih ozkih dolinah, s hudourniški pritoki. Slednji ob močnih nalivih hitro narasejo ter nanašajo ogromno materiala v glavno strugo. Tako Rižana kot Badaševica se izlivata v morje, zato so ob izlivu in deloma tudi v spodnjem toku zelo pozna močan vpliv plimovanja morja.

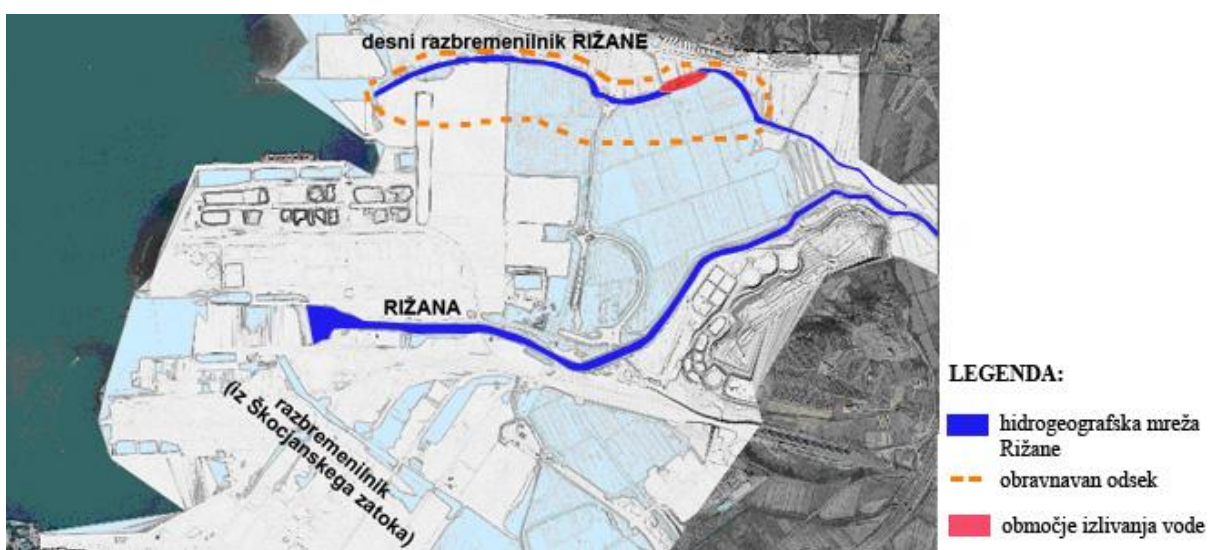
4.1 Splošni opis in območje obdelave

Za poskus izvajanja hidravlične analize vodotoka smo se odločili za reko Rižano. Odločitvi sta botrovali dve ugotovitvi. Prva je ta, da smo imeli za območje, kjer teče reka Rižana, na voljo podatke pridobljene s pomočjo tehnologije LIDAR (**Slika 25**). Druga in končna odločitev o območju obdelave je padla, ko smo na samem začetku hidravličnega modeliranja v programu Manifold na DMT Kopra provizorično poskusili prikazati dvig morske gladine za 0,5 m in 1,5 m. Prvo je napovedani dvig morske gladine, drugo pa največja do sedaj izmerjena gladina (**Tabela 2**). Ugotovili smo, da bi nasipi reke Rižane in Badaševice uspeli zadržati narasle količine vode. Bregove bi voda prestopila le v desnem razbremenilniku reke Rižane, ki se izliva v morje prav na območju Luke Koper (**Slika 26**). Pri tem moramo

opozoriti, da je izvedba takšnega dviga morske gladine bila šele prva identifikacija problema. V digitalnem modelu terena Kopra smo namreč le izrisali sloj, ki je za 1,5 m višji od posnetih višin. Predpostavili smo, da je gladina morja na geodetski ničli enaka 0 ter označili točke posnetega terena, ki so večje od 0 m in manjše od 1,5 m. Na mestih, kjer so se poligoni označenih točk stikali (imajo stik z morjem oziroma pritoki), smo dobili šibke točke poplavljanja. Torej smo nivo vodne gladine povečali v vseh točkah. Vpliv dviga morske gladine se najbolj pozna na iztoku reke v morje; po toku navzgor pa zaradi sprememb hitrosti vode, višin terena in nestalnosti pojava (ob koncu plime se voda umakne) ta vpliv vsekakor pojenja. So pa dobljeni rezultati bili dobro izhodišče za pričetek hidravlične analize na tem območju.



Slika 25: Posneto območje Luke Koper z LIDAR sistemom.



Slika 26: DMT posnet z LIDAR sistemom in simuliranim dvigom gladine za 1,5 m. Vsa mesta, kjer voda prestopi nasipe so na rdečem označenem območju.

4.2 Vhodni podatki za hidravlično analizo razbremenilnika Rižane

Za potrebe izdelave hidravlične analize smo morali pridobiti hidrološko študijo Rižane, ki nam jo je posredovala Agencija za okolje in prostor Koper.¹³ Študija žal ni najnovejša, saj je bila narejena julija leta 1997. Izmerjene vodne količine so se morda spremenile, vendar verjamemo, da ne prihaja do večjih odstopanj od današnjih vrednosti.

Rižana je izrazit hudournik, ki se izliva v Jadransko morje severovzhodno od Kopra. Izvira v Zvročku, v dnu doline med Lokom in Kubedom. Pod Črnim Kalom reka zavije proti zahodu in se izlije v Koprski zaliv. Zaradi svojega obsežnega kraškega zaledja je Rižana razmeroma vodnata tudi v sušnih obdobjih. Prispevno območje Rižane obsega približno 230,5 km², od česar je več kot polovica (142,5 km²) kraškega zaledja. Odvzem vode za vodooskrbo je pred vodomerno postajo Kubed. Na povodju ali v bližini povodja Rižane je 14 padavinskih postaj. Na slednjih je bilo izmerjeno, da se letna vsota padavin manjša iz vzhoda (dolgoletno povprečje 1500 mm) proti zahodu povodja (dolgoletno povprečje 1000 mm). Na območju povodja Rižane so vrednosti 24-urnih padavin s povratno dobo 100 let od 180 - 210 mm.

Rižana je dolga 19,2 km. Normalno bi bilo pričakovati, da se bo vzdolžni padeč Rižane od izvira proti izlivu manjšal, vendar temu ni tako. Vzdolžni padeč je največji v srednjem delu toka od sotočja s Požarskim potokom do izliva Martižana (približno 2,5 km dolvodno od naselja Rižana). V tem delu je dolina reke tudi najožja. Ekstremne količine pretoka znašajo največ do cca 163 m³/sekundo, medtem ko biološki minimum znaša cca 200 l/sekundo. Ker smo obravnavali le območje desnega razbremenilnika Rižane, nismo navajali vseh vodomernih postaj, temveč le tiste, ki se nahajajo ob izlivu Rižane. Podatki so naslednji:

Tabela 4: Osnovne značilnosti povodja in pretočnega režima reke Rižane

Hidrološki profil	F [km ²]	OLS [%]	L [km]	I [%]	sQ_s [m ³ /s]	${}^sQ_{nk}$ [m ³ /s]	${}^sQ_{np}$ [m ³ /s]	Q_{100} [m ³ /s]
Rižana do Razbremenilnika	227,3	24,3	14,5	1,13	5,81	0,195	0,195	163
Rižana izliv	230,5	23,6	19,2	0,68	4,69	0,192	0,222	163

¹³ (vir: Hidrološka študija Rižane, 1997)

Kjer količine pomenijo:

- F ... celotna površina povodja do hidrološkega profila
(površina, ki jo obdaja orografska razvodnica);
- OLS ... povprečni padec terena do hidrološkega profila
(padec terena pravokotno na vodotok);
- L ... dolžina vodotoka od izvira do hidrološkega profila;
- I ... povprečni padec vodotoka do hidrološkega profila;
- ${}_sQ_s$... srednji letni pretok;
- ${}_sQ_{nk}$... srednji nizki pretok – dnevna konica;
- ${}_sQ_{np}$... srednji nizki pretok – dnevno povprečje;
- Q_{100} ... pretok s stoletno povratno dobo.

Podatki dodatno navajajo, da so se najvišje visoke vode, merjene v letih 1955 – 1996, pojavile v februarju in oktobru, novembru, decembru. V poletnih mesecih praktično ni nobene višje vode.

Vodotok je v krajinskem izgledu od izvira Vzroček do tovarne Kemiplas, ki se nahaja na območju Dekanov, ohranjen v naravnem ekosistemu. Od Kemiplasa do izliva v morje pa zaradi regulacijskih in predvojnih melioracijskih posegov v Rižani nima naravnega krajinskega izgleda. Večji del depresijskega območja ankaranske in bertoške bonifike je opredeljen za razvoj industrije.

Zaradi hudourniškega značaja in velikega padca vodotoka so na Rižani zgrajeni številni pragovi, zapornični sistemi in črpališče. Vendar je črpališče v Ankaranu dotrajano in ne zagotavlja poplavne varnosti. Na območju semedelske bonifike deluje sistem odvodnje preko depresijskega črpališča pri Semedeli, ki odvaja meteorne, fekalne vode in del zalednih voda iz retenzijskih prostorov. Tudi to črpališče je dotrajano in ne zagotavlja poplavne varnosti. Reka Badaševica, ki teče prek naselja Šalara do Olma in Semedele in se izliva v Koprski zaliv, tudi prispeva k povečani poplavni nevarnosti v koprski občini. Kljub povišanju obrambnega nasipa in podaljšanemu zidu ob naselju Šalara, ni poplavno varna.

4.3 Spodnji robni pogoj - Mareografska postaja Koper

Referenčna postaja za opazovanje višine morja je mareografska postaja v Kopru. S svojim delovanjem je pričela v letu 1958, leta 1994 pa so se pojavili prvi predlogi za prenovo postaje. Prenovljena postaja v Kopru je začela testno delovati novembra 2005 (Slika 27). Na postaji potekajo neprekinjene meritve različnih hidroloških, geodetskih in meteoroloških veličin (merjenje višine in temperature morja, natančen položaj postaje, zračni pritisk, veter idr). Višine morja se merijo sočasno z instrumentom na plovec ter dvema radarskima merilnikoma, od katerih je eden nameščen izven objekta, drugi pa v objektu. V novo zgrajenem objektu, ki je temeljen s piloti v trdno podlago 10 m pod morskim dnom, se z neprekinjenimi GPS meritvami spremlja vertikalno stabilnost merilnih instrumentov za višine morja z istim velikostnim redom meritev kot je ocenjeni trend naraščanja višin morja (1 mm/leto). Tehnologija meritev omogoča neprekinjeno ločevanje zemeljskih oz. tektonskih pomikov od sprememb višin morja. Višinska stabilnost se v sodelovanju z GURS (*Geodetska uprava Republike Slovenije*) spremlja tudi z občasnimi meritvami absolutne gravimetrije na bližnji lokaciji Socerb ter z nivelmansko navezavo na primarno nacionalno višinsko točko v Kopru. Postaja je navezana na zemeljski geoid in elipsoid ter je primerna za umerjanje meritev satelitske altimetrije. Meteorološke veličine skupaj s podatki z oceanografske boje v Piranu omogočajo analitičen pristop k obravnavi podatkov višin morja.¹⁴

Spodnji robni pogoj je tako določen z dvigom morske gladine.¹⁵ In sicer:

- dvig morske gladine za **0,5 m**, ki bi nastal kot posledica termične ekspanzije morja zaradi globalnega segrevanja;
- dvig morske gladine za **1,5 m**, določen na podlagi največjega izmerjenega dviga morske gladine v nevihti iz leta 1969. To poplavo bi lahko označili kot izjemno ali stoletno. V bistvu je gladina dosegla rekordnih 394 cm, kar točneje znaša 1,79 m, vendar smo podatek posplošili na 1,5 m.

¹⁴ (vir: ARSO ESEAS, 2005)

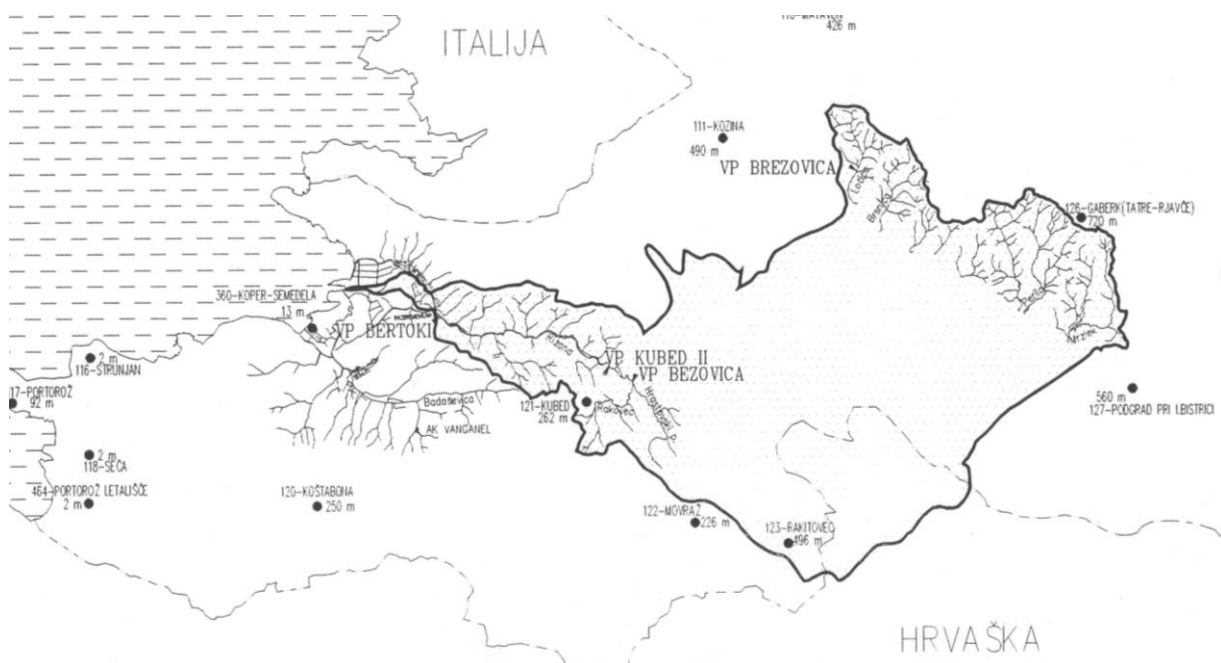
¹⁵ (Tabela 2)



Slika 27: Stari mareograf iz leta 1958 (desno), levo pa nadgrajena mareografska postaja Koper (vir: Savšek - Safić, S. et al 2007, Terestrična izmere mikromreže pri vzpostavitvi mareografske postaje Koper, Geodetski vestnik 51/2007 – 1).

5 IZDELAVA REČNE GEOMETRIJE NA ODSEKU REKE RIŽANE IN DIGITALNEGA MODELA TERENA ZA OBMOČJE LUKE KOPER

Za preizkus možnosti analiziranja hidravličnih lastnosti, s pomočjo podatkov pridobljenih s tehnologijo LIDAR, smo se odločili za reko Rižano, natančneje desni razbremenilnik reke Rižane. Za izbran odsek reke smo imeli na voljo posnete točke terena za območje Luke Koper (Slika 25). Poleg tega smo s strani ARSO (izpostava Koper) uspeli pridobiti hidrološko študijo reke Rižane, iz katere smo črpali ostale podatke.



Slika 28: Porečje reke Rižane, ki izvira v Zvročku, v dnu doline med Lokom in Kubedom ter se izliva prek naselja Bertoki, v Koprski zaliv. Obkroženo območje označuje razvodnico povodja Rižane (vir: Hidrološka študija Rižane, 1997).

Za natančne hidravlične simulacije moramo dobro poznati ostale parametre, ki definirajo naravo vodotoka. Parametri okolja, kot so naklon pobočij, padavine itd. imajo velik vpliv na robne pogoje, ki so izhodišče za hidravlične izračune. Podrobneje smo parametre opisali v predhodnem poglavju (Poglavje 4.2).

5.1 Priprava geometrijskih podatkov in izdelava modela terena

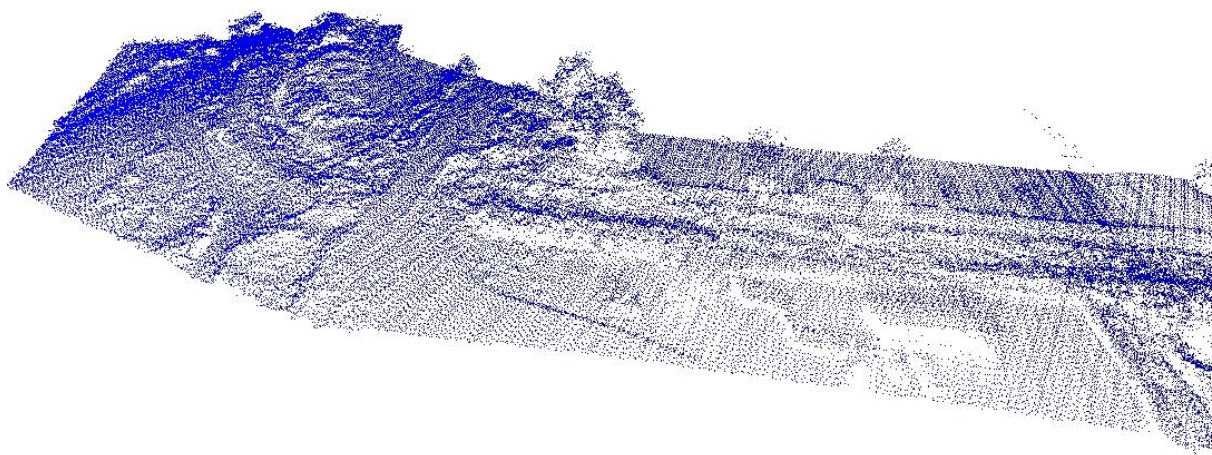
Hidravlično analizo smo izvajali s kombiniranjem več računalniških programov. Geometrijsko podlago terena smo pripravili s programskima orodjema Manifold in ArcGIS z razširitvami, medtem ko smo hidravlični izračun opravili s programom HEC-RAS. Razlog, da smo za izris geometrije rečnega dna uporabili kar dva računalniška programa, je ta da smo želeli primerjati končni izdelek. Namreč, po opravljenih hidravličnih izračunih rezultate vizualiziramo v programih Manifold in ArcGIS, kjer je možna tudi nadaljnja analiza prostorskih podatkov. Zanimal nas je predvsem prikaz poplavnih linij s programom Manifold, saj smo tega izbrali kot alternativo programski opremi ArcGIS.

5.1.1 Topografski podatki

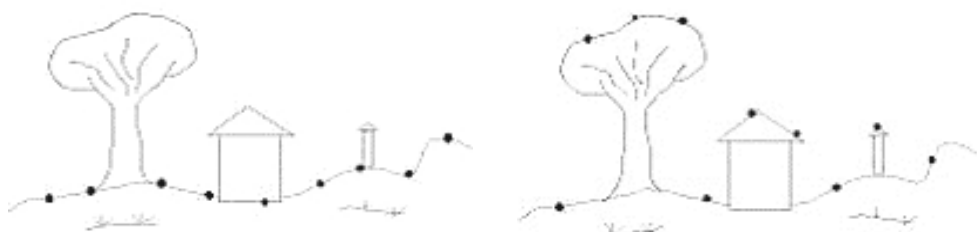
LIDAR lasersko snemanje se ponavadi izvaja v sončnem vremenu; ni pa nujno, saj je prednost LIDAR sistema ravno v tem, da lahko v kateremkoli dnevnem času (podnevi ali ponoči) priskrbi kvalitene podatke. Sočasno z laserskim skeniranjem se opravlja tudi fotografiranje terena z digitalno kamero. Ortofoto je posnetek, ki je narejen v centralni projekciji in transformiran v ortogonalno projekcijo. Po metričnosti je podoben karti, vsebinsko pa je ortofoto fotografija. Je pa taka oblika karte še vedno zelo uporabna za različne namene. Tako smo iz ortofoto posnetka našega snemanega območja razločili, da je bilo snemanje opravljeno v zimskem času. To so skoraj idealni pogoji, saj je v tem času najmanj vegetacije, poleg tega pa je bila struga razbremenilnika Rižane vzdrževana. Snemanje je bilo opravljeno v letu 2006, ko struga ni bila tako zaraščena kot je danes. Ločljivost podatkov o površju območja znaša 0,5 m; višinska točnost pa znaša dober decimeter, kar pomeni, da lahko opazujemo podrobnosti, ki so večje od približno četrtrine kvadratnega metra in so vsaj malo dvignjene glede na okolico.

Surov produkt LIDAR laserskega snemanja je trirazsežni oblak točk (**Slika 29**) z absolutno podanimi koordinatami (x , y , z prostorske koordinate) in podatki o intenziteti odboja ter času odboja. Iz oblaka lidarskih točk smo izdelali natančen model terena, pri čemer smo s klasificiranim in prečiščenim oblakom točk upoštevali le ključne točke. Potrebno je poudariti

razliko med digitalnim modelom terena in digitalnim modelom pokrovnosti (Slika 30). Digitalni model terena predstavlja trikotniški model raščenege terena brez objektov in vegetacije, medtem ko digitalni model pokrovnosti vsebuje poleg točk terena tudi podatke o vseh objektih in vegetaciji. Kot je razvidno iz 3D točkovnega oblaka, bi lahko naš model spadal med zadnje; v bistvu pa je kombinacija obojega.



Slika 29: Tridimenzionalni točkovni oblak posnetega območja razbremenilnika reke Rižane. Struga reke je razločno vidna, kot tudi razgibanost terena, vegetacija, cestne površine in objekti.



Slika 30: Način snemanja terena pri digitalnem modelu terena (levo) in desno pri digitalnem modelu pokrovnosti (vir: <http://www.geoin.com/si/strani/12/5/LIDAR.html>).

Po ekstrakciji podatkov iz oblaka lidarskih točk smo, kot že omenjeno, izdelali natančen model terena v TIN obliki. TIN format je primeren za nadaljnjo obdelavo s programi Manifold in ArcGIS z razširitvami, v katerih lahko začnemo z izrisom točkovnih, linijskih in poligonskih slojev za pripravo geometrijskih podatkov za hidravlične preračune v programu HEC-RAS.

5.1.2 Priprava LIDAR podatkov in geometrijskega modela za rabo v HEC-RAS-u

Preden vnesemo rečno geometrijo digitalnega modela v program HEC-RAS, moramo najprej podati osnovne gradnike rečne geometrije. Poleg samega DMT so med obveznimi sloji še središčnica vodotoka, linije brežin in prečni profili. Ali sloje definiramo v programu Manifold ali v programu ArcView, ni pomembno. Oba programa podata zadovoljive rezultate, zato je pomembno le, da ustvarimo zahtevane sloje. Seveda imamo tudi možnost določitve poljubnih drugih slojev. Geometrijo modela lahko še bolj izpopolnimo z dodatnim izrisom linij prečnih bregov, nasipov, mostov, poplavnih tokov, območij neefektivnega toka, itd. Na podlagi DTM in v njem izrisanih slojev program HEC-RAS odčita potrebne razdalje med profili ter višinske vrednosti posameznih točk, nakar je model pripravljen za hidravlično analizo.

➤ Definiranje rečnega sistema

Kot smo opisali v uvodnih vrsticah, je potrebno po izdelavi TIN modela najprej določiti rečno strugo. Shemo odtočnega režima določimo z izrisom osi glavnega vodotoka in morebitnimi dodatnimi pritoki manjših rek oziroma potokov. Zaradi lažje identifikacije poimenujemo glavni vodotok in njegove pritoke. Potrebno je poudariti, da izris vodotoka pričnemo najprej z določanjem osi glavnega vodotoka; vedno pa mora izris potekati v smeri toka vode.

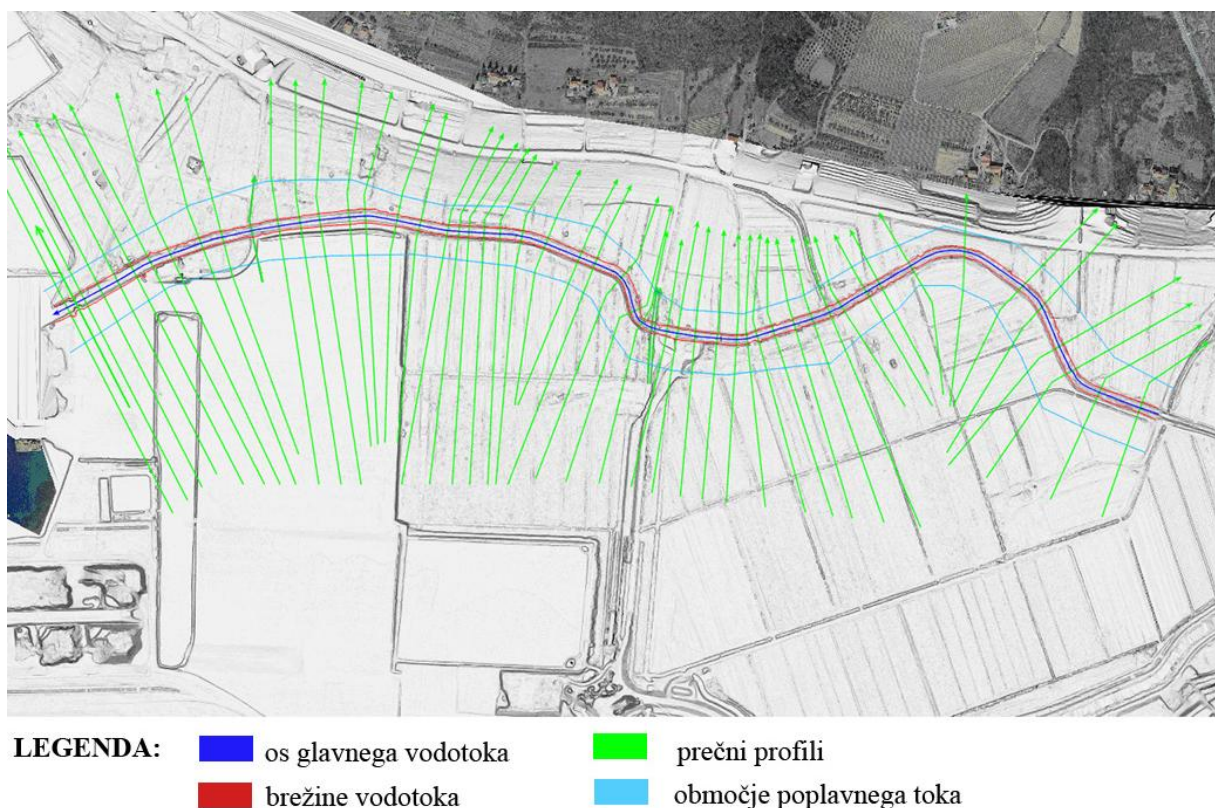
➤ Profili prečnih prerezov

Pri izrisu prečnih profilov moramo paziti, da so le ti vedno pravokotni na smer vodnega toka, ter da izris poteka vedno od leve proti desni v dolvodni smeri. Pokrivati morajo celotno poplavno območje, pri čemer se ne smejo sekati. To je sicer razumljivo, glede na to, da potekajo pravokotno na smer rečnega toka. Jih je pa potrebno zaradi tega včasih lomiti. S takim načinom dela opredelimo lokacijo in potek profilov, medtem ko se podatki o vertikalnih kotah samodejno določijo na podlagi DMT. Razdalja med profili ni pomembna, vendar je zaželeno, da je približno enakomerna. Na mestih kjer se vodotok stika z različnimi hidrotehničnimi objekti (ob mostovih, prepustih, prelivih, ...), je zaradi lokalnih izgub potrebna posebna pozornost. Prečne prereze je potrebno določiti tako, da se zajamejo vsi vplivi zaradi objektov. V takem primeru moramo prečni profil vedno definirati tik pred in za

samim objektom. Kasneje lahko, če se izkaže potreba po tem, v programu HEC-RAS mrežo profilov še zgostimo z interpolacijo ali pa kar vnesemo podatke z meritev na terenu, če seveda razpolagamo z njimi. Program HEC-RAS vsakemu prečnemu profilu določi stacionažo, ki jo lahko zaradi lažje vizualizacije in boljše preglednosti poljubno oštevilčimo.

➤ Brežine

Izrišemo tudi levi in desni breg, in sicer na enak način kot os glavnega toka – s potekom izrisa brežin v smeri toka vode. Pri tem mora linija posameznega brega sekati posamezne prečne profile samo v eni točki. Brežine izrišemo tudi za morebitne pritoke. Levi in desni breg v svoji osnovi definirata točke prelivanja vode, saj določata mejo med koeficienti hrapavosti n_G . Koeficienti hrapavosti struge se namreč razlikujejo od koeficientov hrapavosti poplavnih območij. Če razpolagamo s kvalitetnim ortofoto posnetkom, lahko potek brežin določimo tudi s pomočjo slednjega.



Slika 31: Izdelava geometrijskega modela struge razbremenilnika Rižane v programu Manifold.

➤ Območja poplavnih tokov

Končni korak pri izdelavi geometrijskega modela predstavlja še izris področja, kjer se v primeru poplavljanja reke pojavlja vodni tok. Spet moramo paziti, da linija poplavnega toka seka posamezen prečni profil v točno eni točki. Poleg tega je lahko potek centralne linije ob visokem vodostaju različen od nizkega vodostaja, saj se v tem primeru poplave pojavljajo na različnih mestih obravnavanega območja. Natančna izvedba določitve poplavnih linij je tako odvisna tudi od količine podatkov o višinah vodostajev, ki so se pojavljali v preteklosti.

Geometrijski model naše raziskovalne naloge je bil izrisan s programskim orodjem Manifold. Obravnavali smo približno 2 km odseka desnega razbremenilnika reke Rižane; in sicer 2 km po toku navzgor od izliva reke Rižane v Koprski zaliv. Pri izdelavi geometrijskega modela rečne struge, na podlagi DMT za območje Luke Koper, smo upoštevali vsa predhodno opisana pravila (**Slika 31**). S tem smo v Manifoldu pripravili geometrijski model za nadaljnjo obdelavo v hidravličnem programu HEC-RAS.

5.2 Integracija geometrijskega modela v programu HEC-RAS

Po pripravi geometrijskega modela smo, za nadaljnje hidravlične izračune, tega morali integrirati v okolje programa HEC-RAS. To izvedemo z izdelavo RAS GIS vhodne datoteke. Če izrišemo geometrijski model v programu ArcView, izdelamo RAS GIS datotetko z razširitvijo HEC-GeoRAS. Pri Manifoldu podobne razširitve ne poznamo, zato je Inštitut za vodarstvo v Ljubljani posebej v ta namen spisal skripto v spletnem programskem jeziku SQL. Obe vhodni datoteki smo nato primerjali v programu HEC-RAS in ugotovili, da je vhodna datoteka izdelana z razširitvijo HEC-GeoRAS nekoliko boljša od vhodne datoteke izdelane v programu Manifold; vendar le zaradi tega, ker je spisana skripto potrebna še dodatnih izboljšav, saj je to zaenkrat testna različica skripte.

Ko imamo geometrijo obravnavanega območja vnešeno v program HEC-RAS, jo dodatno dopolnimo. Vnesemo lahko še geometrije objektov in z njimi povezane hidravlične parametre (npr. n_G za rečno strugo in poplavna območja), pretoke in pripadajoče robne pogoje.

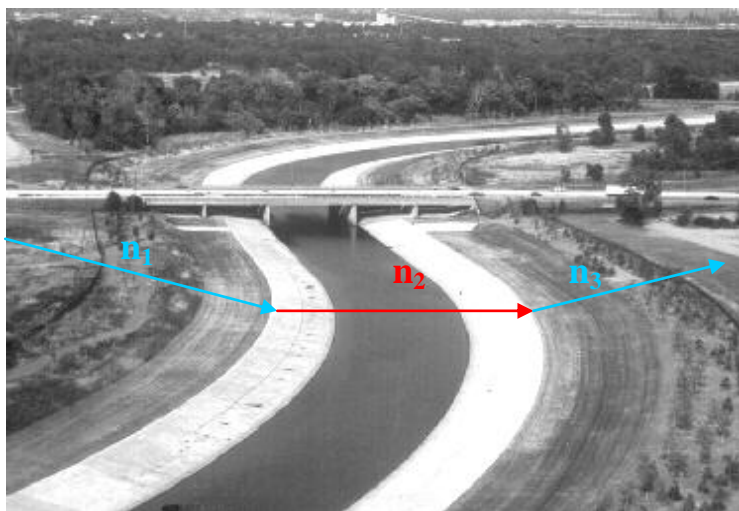
5.2.1 Dopolnitev geometrije

Pri izdelavi hidravličnega modela moramo biti konsistentni, zato je potrebno geometrijske podatke dopolniti z dodatnimi objekti in hidravličnimi posebnostmi.

➤ Določanje Manning-ovega koeficienta hrapavosti n_G

Točnost poplavnih simulacij je v veliki meri odvisna od koeficientov hrapavosti in natančne ocenitve le-teh. Kako velik vpliv na hidravliko vodotoka ima n_G in kateri faktorji povzročajo večje vrednosti koeficientov hrapavosti smo že opisali (**Poglavje 2.3.2**).

Koeficient hrapavosti se vzdolž prečnega prereza rečnega odseka spreminja (**Slika 32**). Najprej določimo vrednost n_G v rečnem koritu, nato pa še vrednost za posamezna poplavna območja (levo in desno od rečnega kanala). Program HEC-RAS upošteva koeficient hrapavosti struge do brežin. Brežine so namreč meja za točke prelivanja vode iz struge, zato od tu dalje velja n_G poplavnih območij.



Slika 32: Spreminjanje koeficientov hrapavosti vzdolž prečnega prereza.

(vir: <http://www.pmcl.com/nedprototype/Images/channel.jpg>)

Obstaja več načinov za določitev koeficienta hrapavosti. Začetne podatke lahko pridobimo tudi z analizo rabe tal ali pokrovnosti DMT v programskih orodjih Manifold in ArcView.

Območja oblikujemo s pomočjo poligonov, za katere moramo v posebno tabelo vnesti vrednosti Manning-ovih koeficientov glede na rabo zemljišča. Pri tem moramo paziti, da se poligoni stikajo. Le tako lahko program določi spreminjanje koeficientov hrapavosti vzdolž celotne linije prečnega profila.

Koeficiente hrapavosti lahko v model vnesemo tudi v HEC-RAS-u, kjer si pomagamo s tabelami vrednosti n_G . Če razpolagamo z dovolj natančnim ortofoto posnetkom, je raba zemljišča razvidna že iz fotografije. Podatke o rabi zemljišča pridobimo tudi iz hidroloških študij ali s terenskimi meritvami na samem območju obdelave. Nato s pomočjo tabel (Chow, 1973), kjer so zapisane vrednosti Manning-ovih koeficientov za določene pogoje v rečnih kanalih, za posamezne površine ocenimo pripadajoče vrednosti.

V našem primeru smo koeficiente hrapavosti določili prav na omenjen način, saj podatkov o preteklih visokovodnih dogodkih nismo uspeli pridobiti. Namreč, vrednosti nivojev vodne gladine so znane samo za glavno strugo reke Rižane (od izvira Zvorček do izliva v Koprski zaliv), medtem ko podatkov za desni razbremenilnik Rižane nismo zasledili v obstoječih dokumentacijah. Tako smo na podlagi ortofoto posnetkov ocenili, da se na obravnavanem odseku nahajajo predvsem kmetijska zemljišča in grmičevje. S terenskim ogledom smo ugotovili, da je struga razbremenilnika Rižane, kljub vzdrževanju, zelo zaraščena (**Slika 33**). Ponekod sega zarast več kot 2 m v višino. Kot kaže se n_G sezonsko močno spreminja. Poplavne površine so poraščene z grmičevjem in drevjem, le območje Luke Koper je prekrito z gladkim asfaltom, za potrebe izvajanja dejavnosti tovornega avtomobilskega prometa.



Slika 33: Razbremenilnik Rižane je, kljub vzdrževanju, močno zaraščena vzdolž celotne struge vodotoka.

➤ Določitev nasipov ob rečnem koritu

Eden od pasivnih protipoplavnih ukrepov je tudi gradnja nasipov. Nasipi usmerjajo vodni tok, zato so njihovi podatki zelo pomembni pri analizi razlivanja vode ob visokih vodostajih. Funkcijo nasipov lahko opravljajo tudi mostovi, cestni in železniški objekti, ki so grajeni vzdolž rek.



Slika 34: Kot vidimo na sliki, nasipi ob razbremenilniku Rižane obstajajo, vendar jih zaradi močne poraščenosti terena nismo uspeli izmeriti.

Seveda lahko nasipe opredelimo že v geometrijskem modelu s programoma Manifold in ArcView, pri čemer moramo ob izrisu linij nasipov upoštevati, da lahko sekajo prečne profile natanko enkrat (enak pogoj kot pri izrisu linij naravnih bregov). Na razpolago imamo tudi alternativo – vnos podatkov o nasipih v hidravličnem modelu. HEC-RAS ponuja možnost obravnave nasipov le posamično; po en nasip na levi strani in po en nasip na desni strani. Iz DMT ne moremo razbrati podatkov o nadvišanju terena, zato je te potrebno vnesti v tabele. Opredeliti je potrebno naklone brežin nasipov, višine, dolžine, širine vznožja, krone, itd. Definiranje nasipov odpravlja tudi pomanjkljivost HEC-RAS-a. Slednji za površino prečnega

prereza (ki prevaja določen pretok), privzema vse predele, ki ležijo nižje od določenega nivoja vodne gladine. Včasih ti predeli ležijo izven rečne struge, zato HEC-RAS upošteva, da so ob višjem vodostaju poplavljeni tudi ti predeli, čeprav temu ni tako. Z vnosom nasipov je ta težava odpravljena, saj se preplavitev upošteva šele, ko nivo vodne gladine preseže kruno nasipa. Pri terenskem pregledu obravnavanega odseka razbremenilnika reke Rižane smo na določenih mestih, ki so bila bolj dostopna, zasledili nasipe. Vendar, zaradi goste vegetacije, kot nasipov nismo uspeli izmeriti, zato smo v programu HEC-RAS za višino nasipov privzeli kar višine levega in desnega brega v posameznem prečnem prerezu (**Slika 34**).

➤ Prečni objekti – mostovi

V programu HEC-RAS izvedemo korekcije v posameznih prečnih profilih tudi za objekte, ki ležijo ob vodotokih ali prečkajo vodotoke. Ponavadi DMT ne vsebuje podatkov o objektih; na podlagi ortofoto posnetkov lahko razločimo le lokacijo vzdolžnih objektov, cestnih in železniških nasipov, prepustov, mostov inp. Pomagamo si tudi z merjenjem prečnih profilov na terenu. Geometrijo naknadno dopolnimo v HEC-RAS-u, kjer je na mestih nahajanja objektov potrebno zgostiti mrežo prečnih profilov. Ob objektih definiramo vsaj štiri prečne profile. Za primer mosta je potrebno tako izrisati dva profila na ožjem odseku, tik pred in tik za mostom. Na ta način zajamemo vplive nenadne zožitve oz. razširitve, ki povzročajo pospešek toka ob mostni odprtini. Preostala dva prečna profila postavimo na razdalji gorvodno in dolvodno, kjer še ni oziroma ni več čutiti vpliva mostu. Nato podamo še natančne dimenzije objektov, kot npr. širino mostne plošče vzdolž struge vodotoka, debelino mostne plošče, podporne zidove, število mostnih opornikov, itd.



Slika 35: Osnovne dimenzije mostov smo pridobili s terenskimi meritvami prečnih profilov.

Na obravnavanem odseku smo s pomočjo ortofoto posnetka določili lokacijo mostov. Na tem območju prečkajo strugo kar trije mostovi (**Slika 36**). Na terenu smo kasneje opravili osnovne meritve (**Slika 35**), pri čemer nismo uspeli pridobiti podatkov le za most tik ob izlivu, saj je to že območje Luke Koper, ki fizičnim osebam ni dostopno. Zato smo zanj privzeli podobne podatke kot pri preostalih dveh mostovih, saj smo ugotovili, da imajo mostovi podobne dimenzije. Kljub opravljenim terenskim meritvam pa je potrebno poudariti, da so podatki o prečnih objektih zelo pomanjkljivi. Točnost hidravlične analize je v veliki meri odvisna tudi od prečnih objektov (mostov, prepustov), ki povzročajo znatne lokalne izgube. Potrebovali bi natančnejše podatke, vendar smo se zaradi pomanjkanja merilne opreme, nedostopnosti terena in slabe vzdrževanosti struge morali zadovoljiti le z osnovnimi podatki.

V bistvu smo na podobne težave naleteli pri določanju skoraj vseh gradnikov geometrijske podlage, kakor tudi hidravličnih parametrov. Zato izdelani hidravlični model razbremenilnika Rižane ne moremo jemati kot hidrološko študijo, saj je diplomsko delo le prikaz metodologije dela. S tem je postopek priprave in dopolnitve rečne geometrije zaključen, zato lahko pričnemo s hidravličnimi izračuni (**Slika 36**).



LEGENDA: ■ os glavnega vodotoka ● nasipi (brežine) vodotoka
 ■ prečni profili ■ most

Slika 36: Končna dopolnitev geometrijske podlage obravnavanega odseka s hidravličnim programom HEC-RAS. Model je pripravljen na hidravlične izračune.

5.2.2 Vhodni podatki o pretokih voda in hidravlični robni pogoji

Zadnji korak hidravlične analize predstavlja vnos pretokov in pripadajočih robnih pogojev. Ker smo obravnavali krajši odsek vodotoka (2 km), zadostujejo že podatki o nivoju vodne gladine in robni pogoj na spodnjem robu vodotoka. Podatke o pretokih in robnih pogojih smo že podrobneje opisali (**Poglavje 4.2 in 4.3**).

V hidrološki študiji Rižane smo imeli podane pretoke v posameznih prečnih profilih le za izliv glavne struge reke Rižane. Zadnji in referenčen pretok, ki se kolikor tolikor navezuje na strugo desnega razbremenilnika reke Rižane, je izmerjen v hidrološkem profilu Rižane do Razbremenilnika. Upoštevali smo torej podatke izmerjene na omenjenem profilu; in sicer dnevno povprečje srednjega nizkega pretoka za izliv reke Rižane (${}_sQ_{np} = 0,195 \text{ m}^3/\text{s}$). Podatka o visokih vodostajih nismo imeli, zato smo iskali strugotvorni pretok. Strugotvorni pretok je tisti, pri katerem se voda še ne prelije ven iz glavne struge. Določili smo ga z večkratnimi hidravličnimi izračuni, pri katerih smo iskali tiste kritične profile, kjer voda pri danem pretoku prelije nasipe. Ugotovili smo, da se voda prelije pri mejnem pretoku $Q_{mejni} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$; pri manjšem pretoku pa ostane še vedno znotraj struge (t.i. strugotvorni pretok).

Pri določanju spodnjega robnega pogoja nismo privzeli tako grobih poenostavitev. Ta je definiran z dvigom nivoja morske gladine, ki je dokaj natančno določen. Na podlagi podatkov o preteklih poplavnih dogodkih, smo določili stoletni dvig morske gladine (za 1,5 m). Upoštevali pa smo tudi dvig morske gladine, ki bi nastal kot posledica termične ekspanzije morja zaradi globalnega segrevanja. Najbolj realne ocene govorijo o dvigu morske gladine za 0,5 m. Tako smo pripravili štiri scenarije poplavljanja:

- **SCENARIJ A:** ${}_sQ_{np_0.5}$ → srednji nizek pretok in dvig gladine za 0,5 m
- **SCENARIJ B:** $Q_{mejni_0.5}$ → mejni pretok in dvig gladine za 0,5 m
- **SCENARIJ C:** ${}_sQ_{np_1.5}$ → srednji nizek pretok in dvig gladine za 1,5 m
- **SCENARIJ D:** $Q_{mejni_1.5}$ → mejni pretok in dvig gladine za 1,5 m

Z vnosom vseh potrebnih podatkov (geometrije, pretokov in robnih pogojev) smo pripravili model za hidravlični izračun. Program HEC-RAS nam ponudi na izbiro mirni, deroči in

izmenjujoči tok. Po končanih izračunih lahko model, po potrebi, tudi kalibriramo. V HEC-RAS-u umerjamo model s spreminjanjem vrednosti koeficientov hrapavosti ali z detajlnejšim določanjem geometrije modela, pri čemer moramo pridobiti natančnejše podatke o karakteristikah obravnavane rečne struge.

5.3 Prikaz rezultatov s programom Manifold in ugotovitve

Eden od ciljev diplomske naloge je bil prikazati rezultate v programskem okolju Manifold in ArcView ter sam produkt primerjati v obeh orodjih. Vendar naj poudarimo, da tudi hidravlični program HEC-RAS nudi možnost pregleda vrednosti in višin vodne gladine v posameznih točkah vodotoka. Tako lahko še pred izdelavo RAS GIS izhodne datoteke ugotovimo ali so naši rezultati blizu pričakovanim ter popravimo morebitne napake.

Če želimo prikazati rezultate s pomočjo GIS orodij ArcView in Manifold, moramo najprej oblikovati RAS GIS izhodno datoteko, s katero prenesemo podatke geometrije in hidravlike nazaj v GIS programska orodja. S pomočjo slednjih izvedemo kartiranje poplavljanja, in sicer tako, da izdelamo TIN model vodne površine. To dosežemo z interpolacijo višin vodne gladine med prečnimi profili. Naklon ploskev poligonov med profili predstavlja padec vodne gladine, medtem ko je nihanje globine vode prikazano z različnimi odtenki poljubnih barv (ponavadi za vizualizacijo izberemo modro). Izberemo še ustrezno velikost celic mreže vodne površine in njene gladine. Če smo zadovoljni z natančnostjo prikaza, lahko nadaljujemo z detajlno analizo poplavljanja. Če se nam velikost celic mreže vodne površine zdi prevelika in želimo bolj natančne rezultate, se odločimo za manjšo velikost celice mreže.

Če bi želeli hidravlično analizo v ArcViewu izvesti do konca, bi morali dokupiti programski razširitvi 3D Analyst in Spatial Analyst (**Poglavje 3.2**),. Slednji nam omogočata obdelavo RAS GIS izhodne datoteke. Žal s programsko opremo nismo razpolagali; analiza s samim ArcViewom pa preprosto ni mogoča. Zato smo rezultate prikazali le s programskim orodjem Manifold (**Priloge D-H**).

Pri pregledu rezultatov smo ugotovili, da je najbolj negativen scenarij poplavljanja pričakovano scenarij D (**Priloga G**). Rezultat ne preseneča, saj smo za vhodni podatek privzeli pretok, ki ni izmerjen z merilnimi inštrumenti, temveč je določen z večkratnim pozikušanjem zagona modela ob različnih pretokih. Rezultati sicer niso napačni, vendar sta bolj verjetna scenarija s srednjim nizkim pretokom. Strugotvorni pretok velja le za poplavni scenarij A (**Slika 37**), kjer rečno korito ni v izgonu in voda ne prestopi brežin. V vseh drugih poplavnih scenarijih voda na posameznih mestih obravnavanega odseka prelije nasipe. Voda najpogosteje prestopi na levem bregu, kar je bilo tudi ciljno območje našega zanimanja. Ravno na levi strani razbremenilnika Rižane se nahaja večje depresijsko območje, za katerega smo sklepali, da bi ga voda lahko poplavila. Desno od razbremenilnika je teren nekoliko višji, zato nasrasla voda, četudi prestopi meje bregov, ne predstavlja večje nevarnosti.



Slika 37: Najbolj realen poplavni scenarij je tisti s srednjim nizkim pretokom in 0,5 m dvigom morske gladine (Scenarij A). Voda ostane znotraj brežin, vendar je vodostaj kljub temu visok.

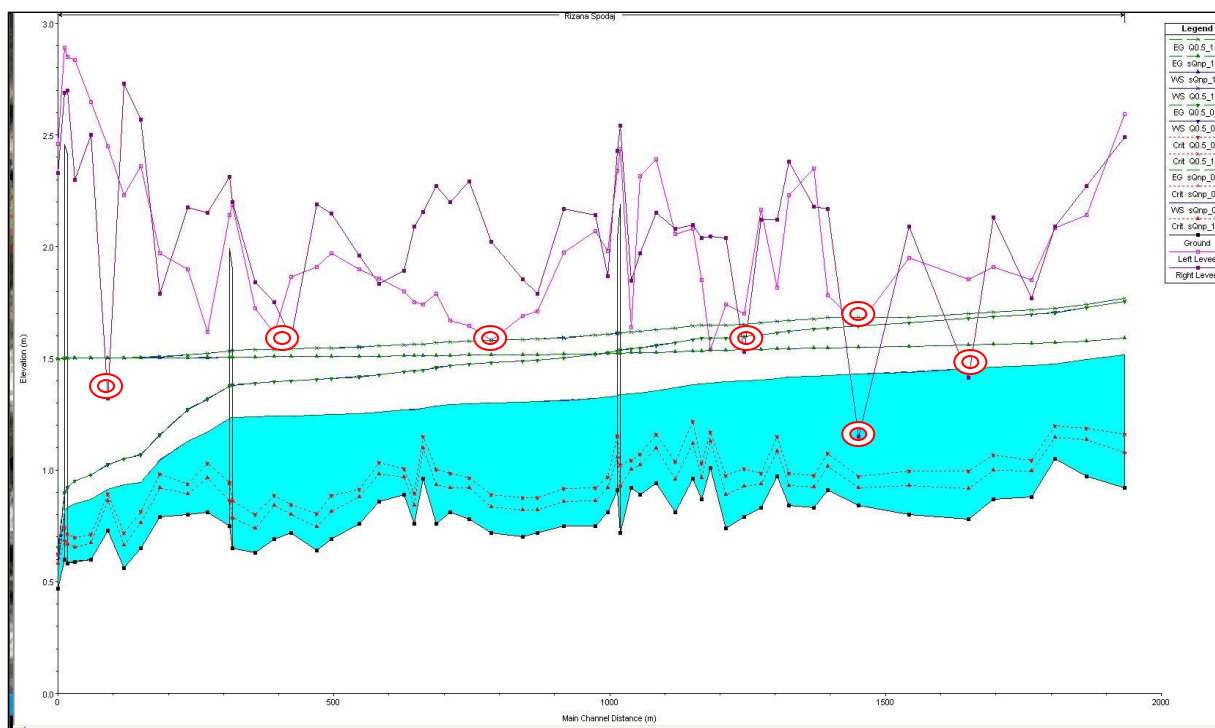
Vzrok za takšne rezultate je, med drugim tudi v vhodnih podatkih. Za hidravlične izračune smo uporabili 1D model, za katerega velja, da je sprememba količin v prečnih smereh glede na vzdolžno smer zanemarljiva, dokler se voda ne razlije iz struge. Takoj, ko voda prestopi krono nasipa, pa 1D izračun ni več zadosten. Ker dobimo poleg toka v smeri struge še razvejane stranske tokove, bi morali za nadaljnje izračune uporabiti 2D model.

Pridobljeni podatki nam torej ne določajo poplavna območja, temveč le mesta prelivanja vode iz struge in potek smeri toka po poplavnem področju. Namreč, kot opazimo v poplavnem scenariju C, voda že pri srednjem nizkem pretoku prestopi meje struge (Slika 38). To je zelo uporaben podatek pri prvih pasivnih protipoplavnih ukrepih – postavitvi nasipov. V kolikor namreč razpolagamo s takšnim podatkom, lahko ob morebitnem nastopu poplave takoj saniramo znane točke prelivanja.



Slika 38: Točke prelivanja vode pri poplavnem scenariju C.

Kljub temu lahko iz rezultatov razberemo, da v primeru dviga gladine za 0,5 m poplavljanja še ne bi bilo; medtem ko bi v primeru dviga gladine za 1,5 m bili poplavljeni najbolj obalni predeli, na določenih mestih razbremenilnika Rižane pa bi voda prelila nasipe. Vpliv morja je zelo opazen in prisoten vzdolž celotnega obravnavanega odseka. Najbolj razvidno je to ravno iz prikaza vzdolžnega profila razbremenilnika Rižane (Slika 39). Pri dvigu gladine za 0,5 m je možno opaziti vpliv morja po strugi navzgor pri obeh pretokih (${}_sQ_{np}$ in Q_{mejni}). Največ kritičnih točk je za tretjim mostom, in sicer ravno na mestih prelivnih točk (Slika 38). Pri dvigu gladine za 1,5 m se vpliv le poveča. Pravzaprav, voda na določenih mestih tudi prestopi bregove.



Slika 39: V vzdolžnem profilu razbremenilnika Rižane vidimo, da se vpliv morja pozna na celotnem obravnavanem odseku (rdeče točke označujejo kritične točke, kjer se stikajo pretoki in brežine).

Na podlagi rezultatov lahko tudi dokočno potrdimo, da kombinacija dviga morske gladine in določenega pretoka poveča poplavno moč vodotoka, saj se poplavni območja združita. Morje igra pri poplavi veliko vlogo, saj je njegov vpliv čutiti vzdolž celotnega odseka. Seveda poplavnega območja ne moremo z natančnostjo napovedati, saj bi potrebovali več podatkov (predvsem podatke o preteklih visokih vodostajih). V veliko pomoč nam je tehnologija LIDAR, saj lahko na osnovi natančno posnetega terena določimo točke, kjer voda prelije nasipe. Na teh mestih je potrebno ukrepati, lahko z nadvišanjem nasipov ali pa poglobitvijo struge. Zatorej lahko z gotovostjo trdimo, da je pri analizi vključitve GIS orodij v postopke priprave geometrijske podlage za hidravlično modeliranje vodotokov najbolj pomembna natančnost digitalnega modela terena. Enako kot pri vhodnih podatkih o pretokih, lahko tudi tu že majhne spremembe topografije pomenijo velike napake v hidravličnih izračunih. Natančnost DMT vpliva predvsem na določanje koeficientov hrapavosti in objektov na poplavnih območjih, pri čemer za verodostojnejše hidravlične analize spet vidimo rešitev v uporabi 2D hidravličnih modelov.

6 ZAKLJUČEK

Poplave so naravni pojav, ki ga je zaradi njegove dinamičnosti težko napovedati. K večji verjetnosti pojava poplav in njihovih škodljivih učinkov prispeva tudi človekova dejavnost. Predvsem dva dejavnika kažeta na povečanje nevarnosti poplav v Evropi. Prvi izhaja iz podnebnih sprememb, ki bodo vplivale na pogostost in obseg poplav v prihodnosti (večja intenzivnost padavin in dvigovanje gladine morja). Na drugem mestu pa je bilo zabeleženo naraščanje števila prebivalcev in ekonomskih sredstev, ki se nahajajo na poplavnih območjih.

Poplavljanje morja ima nekoliko drugačno naravo kot poplavljanje rek, saj je le-to odvisno od več faktorjev. Nivo morske gladine se lahko dvigne zaradi termične ekspanzije morja, ki je posledica višanja globalne temperature in taljenja ledenega pokrova na kopnem Antarktike in Grenlandije. Eden od vzrokov za naraslo gladino morja so tudi nevihtni poplavni valovi, ki so kombinacija izjemno visoke plime, močnega vetra in nizkega zračnega pritiska. Ravno slednji predstavljajo največjo nevarnost, saj narivajo vodo proti obali in zajeziyo reke, ki se izlivajo v morja. Poplavno območje morja in rek se združi in poplava dobi rušilno moč.

Dvig morske gladine predstavlja veliko nevarnost za obalni pas in prebivalce obalnih krajev. Poplave so ciklični pojav, ki ga ni mogoče preprečiti. Zato se bo moral človek spremembam prilagoditi. Na poplavnih območjih bodo potrebne temeljite evalvacije ogroženosti iz katerih bo možno določiti stopnjo tveganja za posamezno območje. Slednje je lahko precenjeno ali podcenjeno; odvisno od razpoložljivih podatkov o posameznem območju. Med najbolj ključnimi za določanje tveganja obalne rabe bodo analize poplavljanja morja, katerih podatki morajo biti karseda natančni. To pomeni predvsem dosledno izdelavo kart poplavnih območij s pomočjo katerih se izvaja zaščita pred nevarnostmi visokih voda in različni ukrepi, ki zmanjšujejo negativne posledice poplav.

Pri obsežnih poplavnih območjih največjo težavo predstavlja sama upodobitev naravnih razmer na posameznih rečnih odsekih. Slednje se učinkovito odpravlja z uporabo matematičnih modelov. Osnovna baza podatkov hidravličnih modelov so prečni profili, ki opisujejo konfiguracijo rečne struge. Moderne tehnologije, kot so geografski informacijski

sistemi (GIS), so v veliki meri olajšale upodobitev terena. Med GIS-i še posebej izstopa snemanje površja s tehnologijo LIDAR, s pomočjo katere lahko izdelamo zelo natančne digitalne modele terena. Ti so ključni faktor za kvalitetno hidravlično analizo. Kljub temu, da ima tehnologija LIDAR nekaj pomanjkljivosti (visoka cena meritev in veliko število podatkov, za procesiranje katerih potrebujemo zmogljivo računalniško opremo), pa je njena uporabnost neprecenljiva pri snemanju površja pod vodno gladino, kjer večina tehnologije zataji. V diplomski nalogi smo obravnavali poplave morja ob slovenski obali, in sicer: območje Luke Koper, natančneje razbremenilnika reke Rižane, ki je bilo posneto z omenjeno tehnologijo.

Snemane podatke smo obdelali, tako da so bili primerni za uporabo v GIS programskih orodjih. Za pripravo geometrijske podlage struge smo izbrali kar dve programske orodji; ESRI ArcGIS in Manifold System. Namreč, eden od ciljev diplomske naloge je, poleg hidravlične analize razbremenilnika reke Rižane, bil tudi primerjava GIS programskih orodij. Ko smo na podlagi DMT izdelali geometrijo rečnega korita, smo le-to s pomočjo raznih razširitev (HEC-GeoRAS za ESRI ArcGIS in za namene diplomskega dela posebej spisana skripta za Manifold) prenesli v hidravlični 1D matematični model HEC-RAS. Preden smo izvedli hidravlične izračune v HEC-RAS-u, so bile potrebne še dodatne dopolnitve geometrije, kot npr.: objekti ob vodotoku (mostovi, prepusti, itd.), določitev koeficienta hrapavosti in zgostitev števila prečnih profilov. S hidravličnimi izračuni smo določili poligone vodnih gladin, ki smo jih prenesli nazaj v GIS orodja, saj omogočajo boljšo vizualizacijo poplavnih območij.

Na osnovi izrisanih poplavnih območij na DMT podlagi lahko sklepamo, da je od predvidenih štirih poplavnih scenarijev najbolj negativen zadnji: scenarij poplavljanja ob mejnem pretoku ($Q_{\text{mejni}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) in dvigu morske gladine za 1,5 m. Rezultat je pričakovan, saj je analizo poplav ob velikih pretokih težje izvesti, saj potrebujemo več podatkov o pretokih, s katerimi žal nismo razpolagali. Napaka pa izvira tudi iz uporabe 1D modela. V primerih, ko vodotoki prestopijo meje struge, moramo namreč privzeti 2D modele. Ravno zato izdelani hidravlični model razbremenilnika Rižane ne moremo jemati kot hidrološko študijo in z gotovostjo napovedati poplave oziroma izrisati poplavne linije. Diplomsko delo je le prikaz metodologije dela pri hidravlični analizi vodotoka. Če povzamemo, poplavnih linij ne moremo izrisati

zaradi pomanjkanja podatkov, lahko pa z gotovostjo napovemo mesta, kjer voda prelije nasipe. S tem določimo najbolj ranljiva območja, kjer je v primeru poplave potrebno najprej ukrepati.

Pri primerjavi GIS programskih orodij lahko zaključimo, da tako ESRI ArcGIS kot Manifold System podajata zadovoljive rezultate. Čeprav je najbolj učinkovita analiza izvedena s kombiniranjem obeh programskih orodij, kar smo videli tudi pri obdelavi podatkov za potrebe diplomske naloge. Prednosti Manifolda sta predvsem ekonomsko zelo sprejemljiva cena, enostavna priučitev programa in možnost dopolnjevanja programa s skriptami spisanimi v različnih programskih jezikih. ESRI ArcGIS pa svojo ekonomsko zelo visoko ceno upravičuje z daljšo tradicijo pri izdelavi programske GIS opreme in z grafično dodelanostjo programa pri izvajanju prostorskih analiz. Omenjena prednost je praktična predvsem za uporabnike, ki niso ravno podkovani v znanju programskih jezikov. ESRI ArcGIS je dolga leta, kot edini ponudnik, imel monopol na tržišču GIS programske opreme. S pojavom konkurence se situacija na trgu spreminja na boljše. Ne glede na posameznikovo izbiro ostaja dejstvo, da je Manifold dovolj konkurenčen ESRI-jevemu ArcGIS-u in omogoča kvalitetno izvedbo prostorskih analiz, kar smo dokazali tudi s končnim izdelkom tega diplomskega dela.

Večja kot je programska ponudba na trgu, boljše so tudi možnosti za izdelavo kvalitetnih hidravličnih analiz in natančnih napovedi nevarnosti poplavljanja. Poplave namreč spadajo v sam vrh najhujših naravnih nesreč, saj ne uničujejo le domove in infrastrukturo, temveč terjajo tudi človeška življenja. Zato je pomembno, da smo nanje dobro pripravljene, da lahko v času nevarnosti ustrezno ukrepamo in zmanjšamo tveganje.

VIRI

Uporabljeni viri:

Samostojne publikacije

- Bernot, F. 1993a: Poplave ob slovenski obali. Ujma 7.
- Bernot, F. 1993b: Visoka plima ob slovenski obali 8. decembra 1992. Geografski vestnik 65.
- Gosar, L.; Rak, G.; Steinman, F.; Banovec, P. 2008, Z LIDAR tehnologijo zajeta topografija v hidravličnih analizah, Gradbeni vestnik, Ljubljana
- Kolega, N. 2006, Ogroženost slovenske obale zaradi morskih poplav, Acta Geographica Slovenica 46,2: 143-169
- Kunaver, J., Drobnjak, B., Klemenčič, M.M., Lovrenčak, F., Luževič, M., Pak, M., Senegačnik, J., Buser, S. 1996, Obča Geografija, Ljubljana, DZS: 265 str.
- Mikoš, M.; Mastnak, M. 1998. Navodila za program HEC-RAS, Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 97 str.
- Pogačnik, A. 1999. Urbanistično planiranje. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 252 str.
- Pranjić, S. 2008. Dvig morske gladine in raba obalnega pasu. Seminar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 87 str.
- Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 81 str.
- Robič, M. 2004, Visoke plime v letih 2002 in 2003, Ujma 17-18: 39-45
- Robič, M. Vrhovec, T. 2002, Poplavljanje morske obale, Zbornik. Naravne nesreče in varstvo pred njimi, Uprava RS za zaščito in reševanje, str. 256–259
- Steinman, F. 1999. Hidravlika. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 295 str.
- Steinman, F., Banovec, P., Gosar, L., Rak, G. et al. 2008. Interaktivna vizualizacija poplavnih območij za podporo interventnemu ukrepanju, Raziskovalni projekt. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin: 256 str.

- Šumrada, R. 2005. Tehnologija GIS. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 330 str.
- Šumrada, R. 2005. Strukture podatkov in prostorske analize. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 284 str.
- Trdin, A. 2008. Kako to naredim v Manifoldu – uporabniški priročnik Manifold. Komunalno podjetje Velenje: 122 str.
- Vodnogospodarski inštitut, 1997. Hidrološka študija Rižane, Hidrološka študija. Vodnogospodarski inštitut Ljubljana, Vodnogospodarski oddelek: 25 f.
- Vrhovec, T. 2005, Oceani in spreminjanje podnebja, Geografski vestnik 77-1: 67-78
- Weitkamp, C. (Ur.) 2005. LIDAR range-resolved optical remote sensing of the atmosphere, Solid-State Laser Engineering, Springer, Singapur: 746 str.
- US Army Corps of Engineers; Hydrologic Engineering Center 2002. HEC-RAS, River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, Version 3.1.3. Davis, CA: 250 str.

Elektronski viri

- Agencija Republike Slovenije za Okolje, 2005. EU FP5 ESEAS-RI Razvoj infrastrukture evropske službe za višino morja.
<http://www.arso.gov.si/vode/morje/projekti/ESEASnet3.pdf> (12.11.2008)
- Chow, 1959. Manning's n for Channels.
http://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm (12.11.2008)
- Gulf of Mexico integrated science, 2006. Lidar Bathymetry Data.
<http://gulfsi.usgs.gov/tampabay/data/1mapping/lidar/> (12.11.2008)
- Environmental Systems Research Institute, 2008. ArcEditor – Desktop GIS with advanced geographic data editing and management.
<http://www.esri.com/software/arcgis/arceditor/about/features.html> (12.11.2008)
- Environmental Systems Research Institute, 2008. ArcInfo – Complete desktop GIS for the GIS professional.
<http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo/about/features.html> (12.11.2008)

- Environmental Systems Research Institute, 2008. ArcReader – ArcGIS desktop viewer.
<http://www.esri.com/software/arcgis/arcreader/about/features.html> (12.11.2008)
- Environmental Systems Research Institute, 2008. ArcView – Desktop GIS for Mapping, data integration and analysis.
<http://www.esri.com/software/arcgis/arcview/about/features.html> (12.11.2008)
- Manifold System 2008
<http://www.manifold.net/index.shtml> (12.11.2008)
- Merwade, V.M., 2004. Geospatial Description of River Channels in Three Dimensions.
<http://www.crwr.utexas.edu/reports/pdf/2004/rtp04-08.pdf> (12.11.2008)
- Merwade, V.M., 2008. Tutorial on using HEC-GeoRAS with ArcGIS 9.2.
<http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/georastutorial.pdf> (12.11.2008)
- Mestna občina Koper, 2008. Geografski informacijski sistem Mestne občine Koper.
<http://84.255.251.65/public/koper-nusz.layout> (12.11.2008)
- Mestna občina Koper, 2008. Podatki o prostoru Mestne občine Koper.
<http://84.255.251.65/public/koper-prostor.layout> (12.11.2008)
- Mestna občina Koper, 2008. Revizija ocene ogroženosti pred poplavami v Mestni občini Koper
<http://www.koper.si/povezave%5CDoc%5Cpoplave.pdf> (12.11.2008)
- Ministrstvo za okolje in prostor, 2007. Zmanjšanje poplavne ogroženosti in z njo povezane erozijske ogroženosti.
http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/okolje/pdf/zmanjsanje_poplavne_ogrozenosti_predstavitev.pdf (12.11.2008)
- Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti, 2007. UL RS št. 60/2007: 8375.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200760&stevilka=3216> (12.11.2008)
- Uprava RS za zaščito in reševanje, 2003. Vrednotenje poplavnih škod ter analiza preventivnih ukrepov.
http://www.sos112.si/slo/tdocs/poplavne_skode.pdf (12.11.2008)
- Uprava RS za zaščito in reševanje, Ogroženost – poplava.
<http://www.sos112.si/slo/page.php?src=og12.htm> (12.11.2008)

- Uprava RS za zaščito in reševanje, Povzetek načrta zaščite in reševanja ob poplavah.
<http://www.sos112.si/slo/page.php?src=na13.htm> (12.11.2008)
- Zakon o prostorskem načrtovanju, 2007. UL RS, št. 33/2007: 4585.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200733&stevilka=1761> (12.11.2008)

Ostali viri:

Samostojne publikacije

- Brilly, M., Šraj, M. 2005. Osnove hidrologije. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 309 str.
- Cverle, A. 2008. Analiza algoritmov za modeliranje 1D stalnega neenakomernega toka za potrebe distribuiranih računskih postopkov. Seminar. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 113 str.
- Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 509 str.
- Rajar, R. 1997. Hidromehanika, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana: 235 str.
- Steinman, F. 2008, Sistem varstva pred škodljivim delovanjem voda in orodja za modeliranje poplavne nevarnosti, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Ljubljana, (Power Point prezentacija)

Elektronski viri

- Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, 2007. Implementation of an operational water vapor and aerosol LIDAR system.
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/en/research/projects/lidar.html> (12.11.2008)
- GEOIN – Geodetski inženiring Maribor, 2007. Tehnologija LIDAR pri planiranju, projektiranju, vzdrževanju in upravljanju avtocest.
http://iaps.zrc-sazu.si/Files/File/Publikacije/delavnica%20lidar%202007/03_Supej.pdf
(12.11.2008)

- IGEA d.o.o., 2003. Prostorski podatki na dlani.
http://www.igea.si/clanki/132_prostorski_podatki_na_dlani.pdf (12.11.2008)
- LIDAR Services International (LSI), 2003-2006. Overview of LIDAR Technology and the HELIX LIDAR System.
<http://www.lidarservices.ca/Technology.html> (12.11.2008)
- Lohani B., Airborne Altimetric LiDAR Tutorial: Principle, Data Collection, Processing and Applications.
http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm
(12.11.2008)
- Spencer B. Gross, Inc., 2003. LIDAR - Light Detection and Ranging.
<http://www.sbgmaps.com/lidar.htm> (12.11.2008)
- Terranean Mapping Technologies, 2005. LIDAR.
<http://www.terranean.com.au/lidar.htm> (12.11.2008)
- Uprava RS za zaščito in reševanje, 2000. Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami.
<http://www.sos112.si/db/priloga/p124.pdf> (12.11.2008)
- U.S. Geological Survey, 2008. USGS Center for LIDAR Information Coordination and Knowledge.
<http://lidar.cr.usgs.gov/index.php> (12.11.2008)

**PRILOGA A: VREDNOSTI MANNINGOVIH KOEFICIENTOV
HRAPAVOSTI ZA NARAVNE VODOTOKE**

VRSTA IN OPIS KANALA IN POPLAVNIH POVRŠIN	Minimum	Običajno	Maksimalno
1. Naravni vodotoki			
Rečno korito			
a. Čisto, ravno, polno in brez tolmunov	0.025	0.030	0.033
b. Enako kot zgoraj, s kamenjem in zarastjo	0.030	0.035	0.040
c. Vijugast, čist kanal s tolmoni in prodom	0.033	0.040	0.045
d. Enako, kot "c" s kamenjem in pleveli	0.035	0.045	0.050
e. Enako, kot "d" z manjšim padcem in nižjo gladino	0.040	0.048	0.055
f. Podobno kot "d" z večjo količino kamenja	0.045	0.05	0.060
g. Počasni ravni del, z večjo količino pleveli in tolmunov	0.050	0.070	0.080
h. Korito močnejše poraščeno s plevelom in z globokimi tolmoni oziroma gosteje zaraščene poplavne poti	0.075	0.100	0.150
i. Gorski vodotok (strme brežine, brez zarasti) s peščenim ali prodnatim dnom	0.030	0.040	0.050
j. Enako kot "i" z večjimi skalami v koritu	0.040	0.050	0.070
Poplavne površine			
Travniki brez grmičevja			
a. Nizka pokošena trava	0.025	0.030	0.035
b. Visoka trava	0.030	0.035	0.050
Obdelovalne površine			
a. Brez rastlinja	0.020	0.030	0.040
b. Zreli, v vrstah gojeni, pridelki	0.025	0.035	0.450
c. Zreli, po vsej površini gojeni, pridelki	0.030	0.040	0.050
Grmičevje			
a. Posamezni grmi, goste pleveli	0.035	0.050	0.070
b. Redko grmičevje in drevje brez listja (pozimi)	0.035	0.050	0.060
c. Redko grmičevje in drevje z listjem (poleti)	0.040	0.060	0.080
d. Srednje gosto grmičevje in drevje brez listja (pozimi)	0.045	0.700	0.110
e. Srednje gosto grmičevje in drevje z listjem (poleti)	0.070	0.100	0.160
Drevje			
a. Čistina z drevesnimi štori in brez mladik	3.000	0.040	0.080
b. Čistina z drevesnimi štori in gostimi mladikami	0.050	0.060	0.120
c. Gostejši gozdovi z malo podrtimi drevesi, podrasti z gladino pod košnjami dreves	0.080	0.100	0.160
e. Enako kot "c", le da nivo vode sega do krošenj	0.100	0.120	0.160
f. Gost gozd z listjem (poleti)	0.110	0.150	0.200

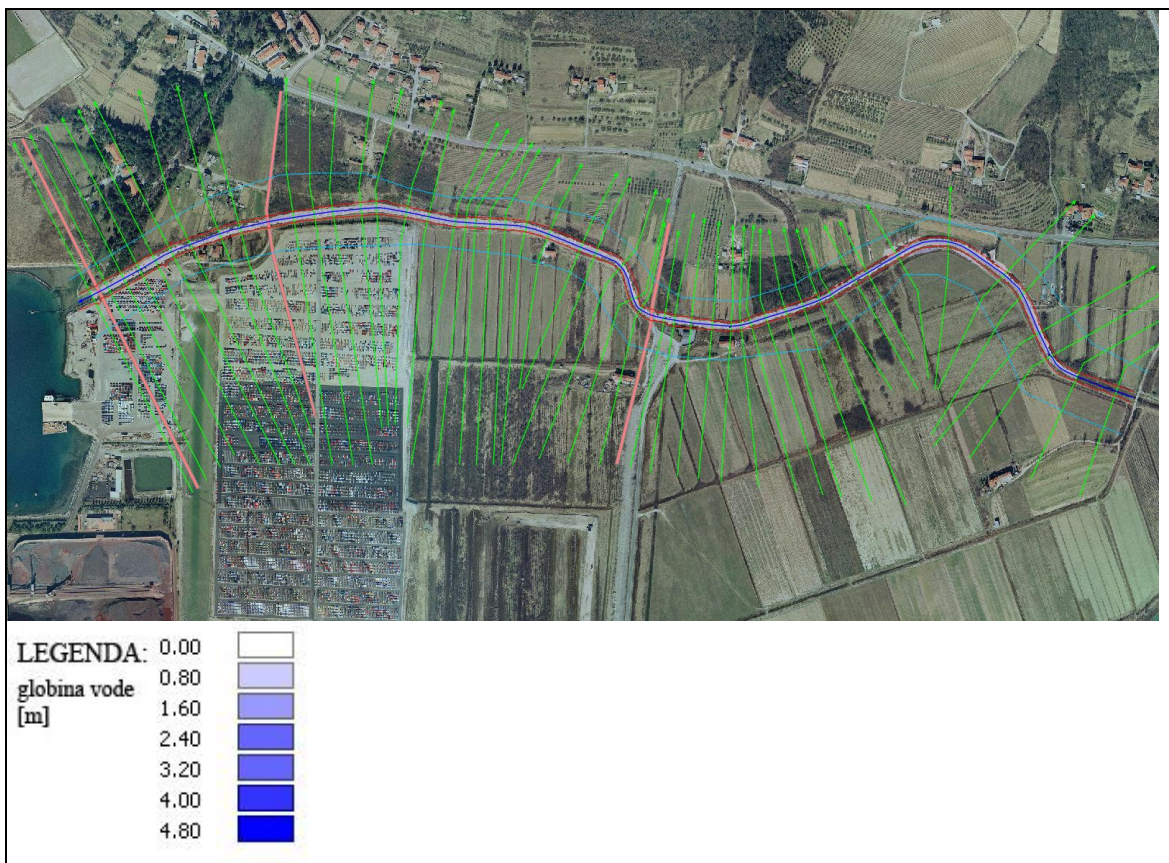
**PRILOGA B: VREDNOSTI MANNINGOVIH KOEFICIENTOV HRAPAVOSTI ZA
UMETNO PREOBLIKOVANA REČNA KORITA**

VRSTA IN OPIS KANALA IN POPLAVNIH POVRŠIN	Minimum	Običajno	Maksimalno
2. Obložena ali grajena rečna korita (delitev glede na vrsto uporabljenega materiala)			
Beton			
a. Zglajen in ometan beton	0.011	0.013	0.015
b. Ometan	0.013	0.015	0.016
c. Ometan s peskom na dnu	0.015	0.017	0.020
d. Nedokončan	0.014	0.017	0.020
e. Brizgan beton, gladek	0.016	0.019	0.023
f. Brizgan beton, valovit	0.018	0.022	0.025
g. Beton na izkopani dobri skali	0.170	0.020	
h. Beton na izkopani slabi skali	0.022	0.027	
Dno iz betona, brežine ...			
a. prevlečene z obdelanim kamnom v malti	0.015	0.017	0.020
b. prevlečene z neobdelanim kamnom v malti	0.017	0.020	0.024
c. zidane z gruščem v cementu in malti	0.016	0.020	0.024
d. zidane z gruščem v cementu	0.020	0.025	0.030
e. zidane s suhim gruščem ali odpadnim kamenjem	0.020	0.030	0.350
Prodnato dno, brežine ...			
a. iz opaženega betona	0.017	0.200	0.250
b. iz neobdelanega kamna v malti	0.020	0.230	0.026
c. suhega grušča ali odpadnega kamenja	0.023	0.033	0.036
Opeka ...			
a. glajena	0.011	0.013	0.015
b. glajena v cementni malti	0.120	0.015	0.018
Kovina			
a. Gladka kovinska površina	0.110	0.012	0.014
b. Valovita pločevina	0.210	0.025	0.030
Asfalt			
a. Gladek	0.013	0.013	
b. Grob	0.016	0.016	
Raslinska obloga	0.030		0.050
Tesan kamen	0.013	0.015	0.017
Cement			
a. Čista površina	0.010	0.012	0.013
b. Ometana površina	0.011	0.013	0.015
Les			
a. Raven, nevzdrževan	0.010	0.120	0.014
b. Raven, smoljen	0.011	0.013	0.015
c. Opaž z deskami	0.012	0.015	0.018
d. Opaž z deskami, prekrit	0.010	0.014	0.017

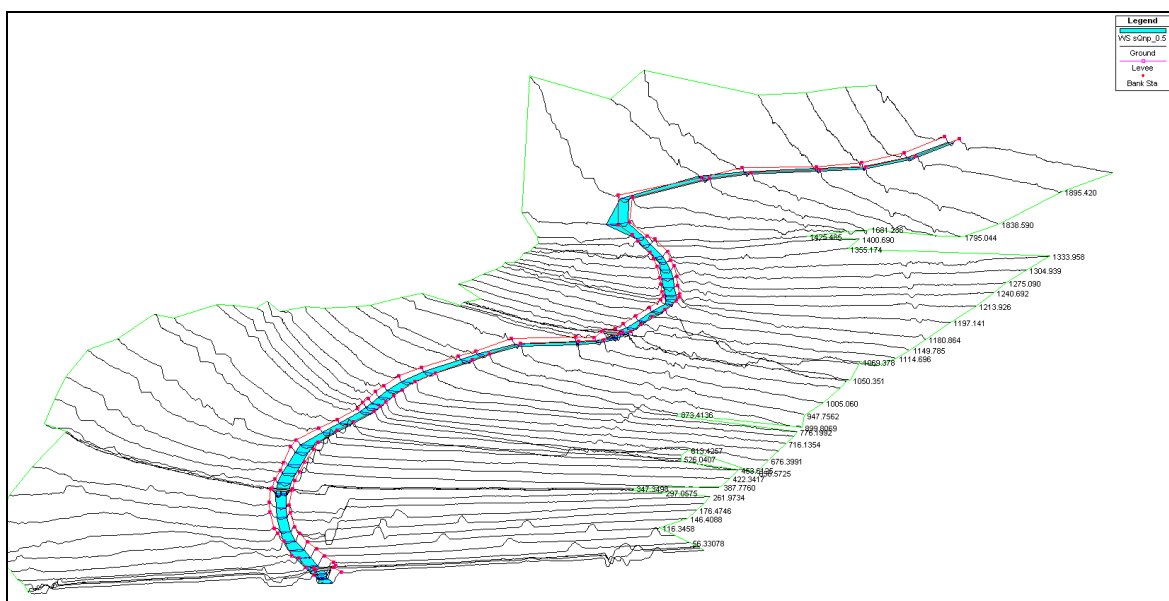
**PRILOGA C: VREDNOSTI MANNINGOVIH KOEFICIENTOV HRAPAVOSTI ZA
IZKOPANA IN OČIŠČENA REČNA KORITA**

VRSTA IN OPIS KANALA IN POPLAVNIH POVRŠIN	Minimum	Običajno	Maksimalno
3. Izkopana in očiščena naravna korita			
Zbita poravnana zemljina			
a. Čista , pred kratkim končana	0.016	0.018	0.020
b. Čista, po preperevanju	0.018	0.022	0.025
c. Prod, zbita področja, čist	0.022	0.025	0.030
d. Nizka trava, malo plevela	0.022	0.027	0.033
Vijugast in iz zemljine			
a. Brez rastlinja	0.023	0.025	0.030
b. Trava, nekaj plevela	0.025	0.030	0.033
c. Gosti plevel ali gosto vodno rastje v globokih kanalih	0.030	0.035	0.040
d. Zemeljsko dno in kamnite brežine	0.028	0.030	0.035
e. Kamnito dno in s plevelom zarasle brežine	0.025	0.035	0.040
f. Tlakovano dno in čiste brežine	0.030	0.040	0.050
Izkopana ali očiščena korita			
a. Brez vegetacije	0.025	0.028	0.033
b. Redko grmičevje na brežinah	0.035	0.050	0.060
Skalnat korito			
a. Gladko in nespremenljivo ostenje	0.025	0.035	0.040
b. Nazobčano in nepravilno ostenje	0.035	0.040	0.050
Nevzdrževani kanali, poraščeni s plevelom in grmičevjem			
a. Čisto dno, grmičevje na brežinah	0.040	0.050	0.080
b. Enako kot "a", grmičevje do gladine vode	0.045	0.070	0.110
c. Gost plevel do gladine vode	0.050	0.080	0.120
d. Gosto grmičevje, visok nivo vode	0.080	0.100	0.140

PRILOGA D: TOČKE PRELIVANJA VODE IN REZULTAT V HEC-RAS-u V PRIMERU SCENARIJA A



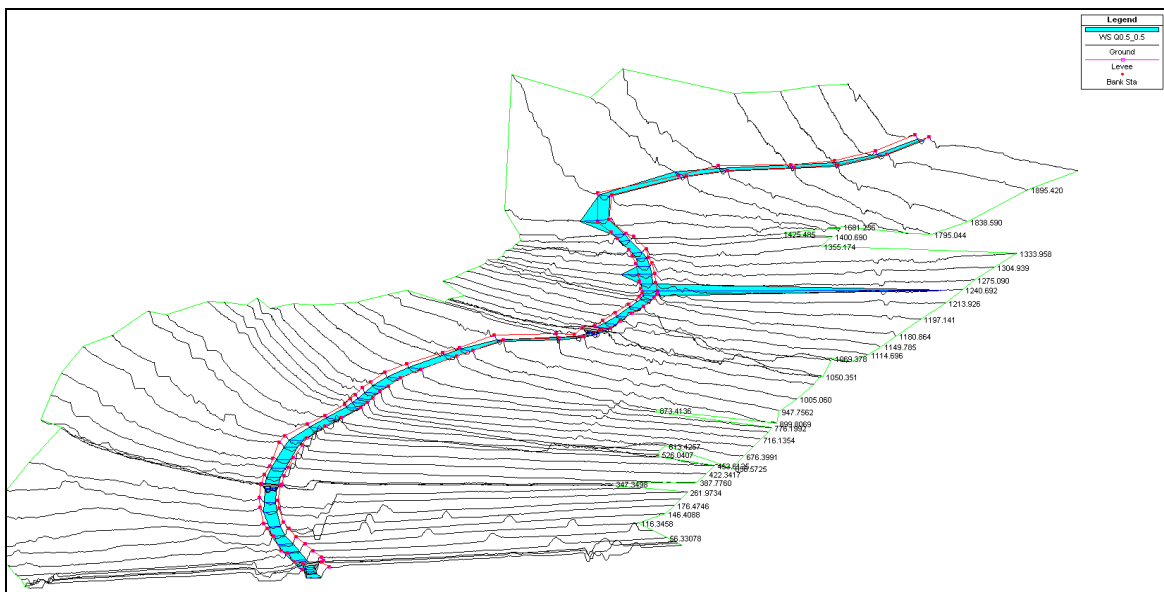
3D prikaz v programu HEC-RAS:



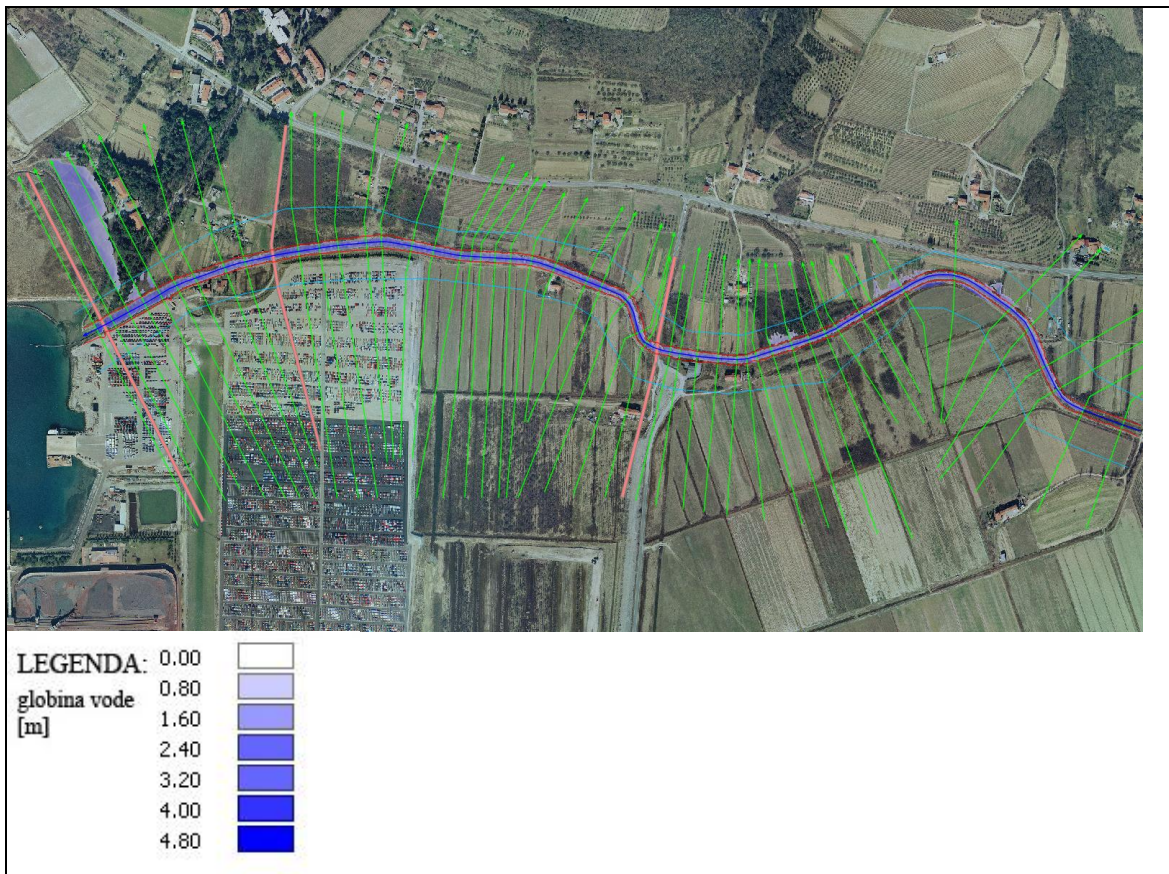
**PRILOGA E: TOČKE PRELIVANJA VODE IN REZULTAT V HEC-RAS-u V
PRIMERU SCENARIJA B**



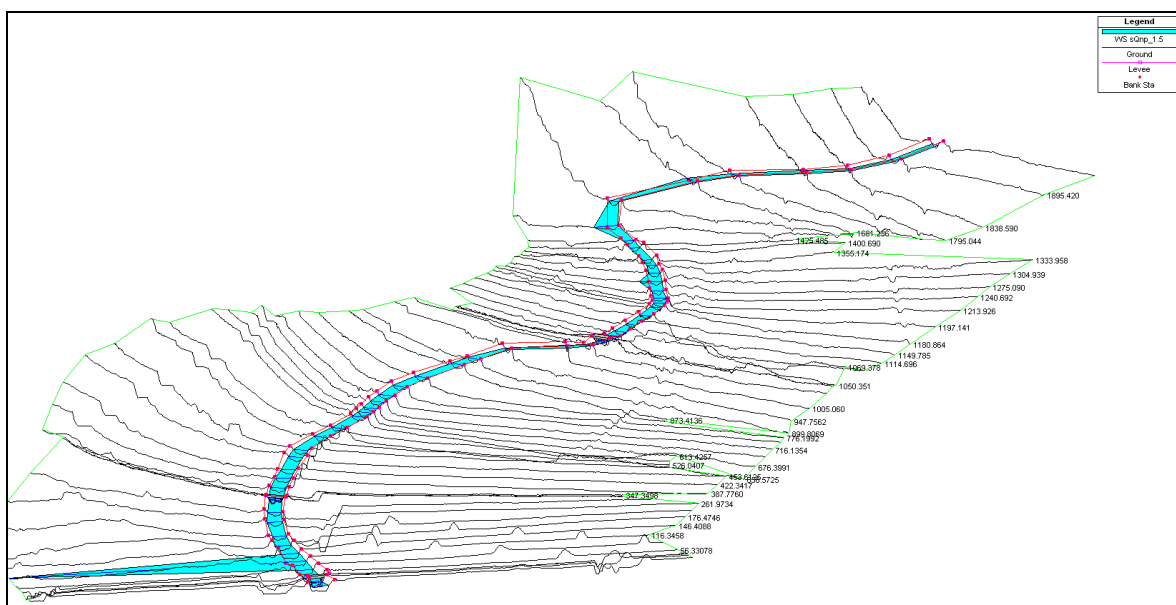
3D prikaz v programu HEC-RAS:



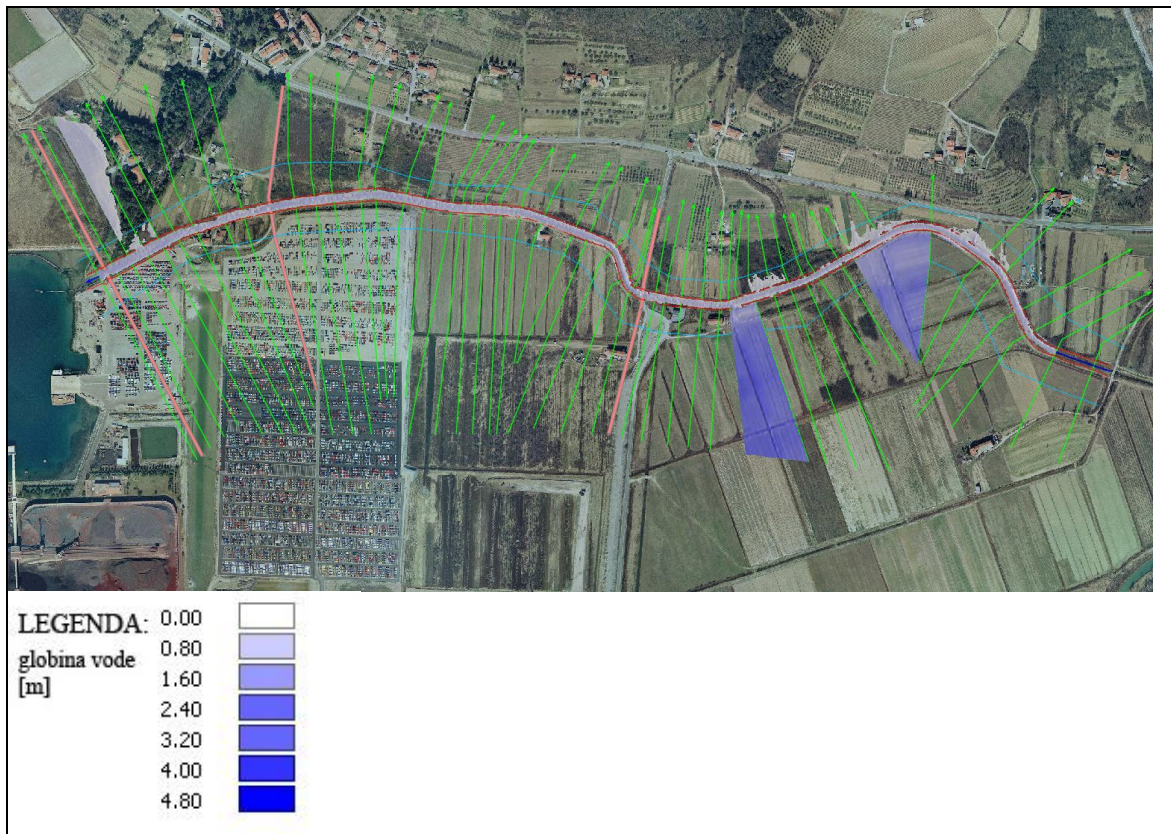
PRILOGA F: TOČKE PRELIVANJA VODE IN REZULTAT V HEC-RAS-u V PRIMERU SCENARIJA C



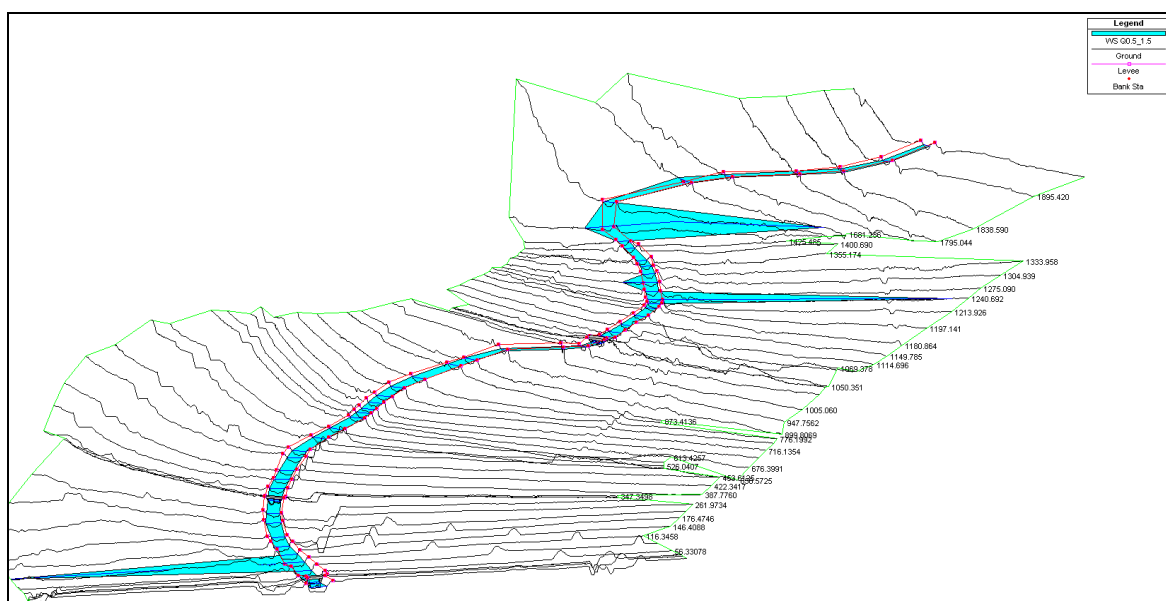
3D prikaz v programu HEC-RAS:



**PRILOGA G: TOČKE PRELIVANJA VODE IN REZULTAT V HEC-RAS-U V
PRIMERU SCENARIJA D**

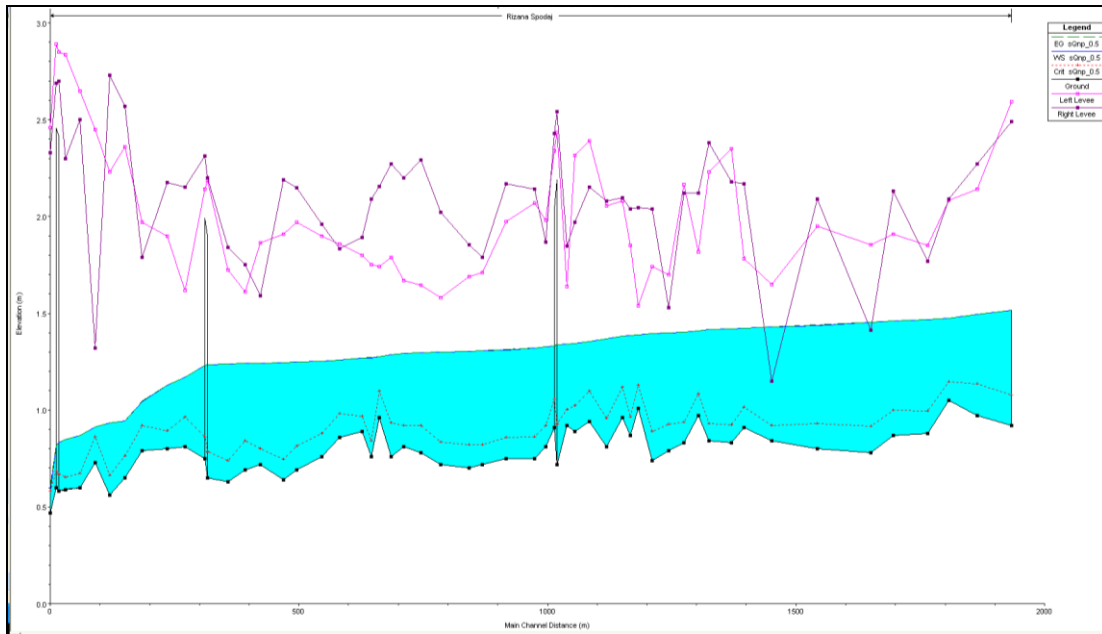


3D prikaz v programu HEC-RAS:



**PRILOGA H: PRIKAZ PRETOKOV V HEC-RAS-u V PRIMERU
SCENARIJA A IN SCENARIJA D**

**Prikaz vzdolžnega prereza struge v HEC-RAS-u s pretokom $sQ_{np} = 0.193 \text{ m}^3/\text{s}$ in
dvigom gladine za 0.5 m:**



**Prikaz vzdolžnega prereza struge v HEC-RAS-u s pretokom $Q_{mejni} = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ in dvigom
gladine za 1.5 m:**

