

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Lang, M., 2016. Poplavna nevarnost v naselju zaradi zalednih voda. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Steinman, F., somentor Rak, G.): 57 str.
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5704/>

Datum arhiviranja: 30-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Lang, M., 2016. Poplavna nevarnost v naselju zaradi zalednih voda. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Steinman, F., co-supervisor Rak, G.): 57 pp.
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5704/>

Archiving Date: 30-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM VODARSTVO IN
KOMUNALNO INŽENIRSTVO**

Kandidatka:

MAJA LANG

**POPLAVNA NEVARNOST V NASELJU ZARADI
ZALEDNIH VODA**

Diplomska naloga št.: 315/VKI

**FLOOD HAZARD IN SETTLEMENTS DUE TO
HINTERLAND-WATERS**

Graduation thesis No.: 315/VKI

Mentor:
prof. dr. Franc Steinman

Predsednica komisije:
doc. dr. Mojca Šraj

Somentor:
viš. pred. mag. Gašper Rak

Ljubljana, 13. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisana študentka Maja Lang, vpisna številka 26106957, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Poplavna nevarnost v naselju zaradi zalednih voda.

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)
 - a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
 - b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;
2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;
3. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podrobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;
7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljana

Datum: _____

Podpis študentke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**UDK:** 519.85:556.166(043.2)**Avtor:** Maja Lang**Mentor:** prof. dr. Franci Steinman**Somentor:** viš. pred. mag. Gašper Rak**Naslov:** Poplavna nevarnost v naselju zaradi zalednih voda**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga**Obseg in oprema:** 57 str., 6 pregl., 34 sl., 10 en.**Ključne besede:** Zaledne vode, naselje, hidravlično modeliranje, poplavna nevarnost,
LIDAR, GIS, HEC-RAS**Izvilleček**

Naravna nesreča je posledica delovanja naravnega pojava. V Sloveniji so med najbolj pogostimi pojavi poplave, katere vsako leto povzročijo veliko škodo. Med različnimi vrstami poplav poznamo tudi poplave, ki se pojavijo zaradi zalednih voda. Zaledne vode so vode, ki se zbirajo izven obravnavanega območja in iz zalednih površin dotekajo razpršeno na obravnavano območje. Popolna zaščita pred poplavami je praktično in ekonomsko neizvedljiva, lahko pa s pravimi protipoplavnimi ukrepi v precejšni meri preprečimo škodo in zmanjšamo ogroženost prebivalcev na tem območju. V diplomski nalogi je obravnavano naselje Podgrad, z vodotokom Besnica, ki teče skozi omenjeno naselje. Prostorski podatki so bili pridobljeni s tehnologijo LIDAR. Z uporabo GIS tehnologije smo iz pridobljenih prostorskih podatkov izdelali digitalni model terena. S podatki o vodotokih na območju Podgrada in uporabo modela terena smo z uporabo različnih programskih orodij izdelali hidravlični model območja. Uporabili smo program ESRI ArcGIS z različnimi razširitvami, v katerem smo pripravili geometrijo rečnega korita in pridobili podatke o poplavnih površinah. Program ESRI ArcGIS smo uporabili v kombinaciji s programom HEC-RAS.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 519.85:556.166(043.2)
Author: Maja Lang
Supervisor: prof. dr. Franci Steinman
Co-supervisor: viš. pred. mag. Gašper Rak
Title: Flood hazard in settlements due to hinterland-waters
Document type: Graduation thesis – University studies
Notes: 57 p., 6 tab., 34 fig., 10 eq.
Key words: Hinterland-water, settlement, hydraulic modeling, flood hazard, LIDAR, GIS, HEC-RAS

ABSTRACT

Natural disasters are a result of natural phenomena. One of the most common natural disaster in Slovenia are floods which cause a lot of damage every year. Among different types of floods we know there are floods caused by background waters. Background waters are waters that are accumulated outside of the observed area and are flowing from the background areas to the observed area in a dispersed flow. Complete protection against floods is practically and economically unachievable but with correct anti-flood measures the damage and risk to the inhabitants can be reduced. The thesis presents settlement Podgrad with the watercourse Besnica that flows through it. Spatial data was acquired with the use of LIDAR technology. Using GIS technology to process the acquired spatial data a digital model of the terrain was created. From the acquired data we have created a digital model of the terrain. We used different software packages to process the data about the watercourses on the area of Podgrad and the terrain model to create the hydraulic model of the area. We used an application ESRI ArcGIS with several extensions with which we prepared the geometry of the riverbed and obtained the data about the flooding area. The application ESRI ArcGIS was used together with application HEC-RAS.

ZAHVALA

Za strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge se najlepše zahvaljujem mentorju prof. dr. Franciju Steinmanu in somentorju viš. pred. mag. Gašperju Raku.

Zahvaljujem se tudi vsem ostalim, ki so mi pomagali pri izdelavi naloge. Še posebej hvala moji družini in fantu za podporo in vzpodbudo v času študija ter pri pisanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
2.1	Poplave	3
2.1.1	Splošno po poplavah	3
2.1.2	Vpliv poplav na naselja	4
2.2	Pregled predpisov	6
2.3	Izračun vodne bilance za obravnavano območje	8
2.4	Prostorski podatki	10
2.5	Protipoplavni ukrepi	16
3	PROGRAMSKA ORODJA	18
3.1	Določanje površinskega dotoka na obravnavano območje s HEC-HMS	18
3.2	Obdelava in prikaz rezultatov dela s prostorskimi podatki – Esri ArcGIS	22
3.2.1	ArcMap	23
3.2.2	Razširitvi 3D Analyst in Spatial Analyst	23
3.2.3	HEC-GeoRAS	24
3.3	Določanje odtoka v vodotok iz obravnavanega območja ali modeliranje s programom HEC-RAS	24
4	OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA	30
4.1	Naselje Podgrad pri Ljubljani	30
4.2	Značilne razmere ob poplavi zalednih voda	33
4.3	Priprava podatkov	35
4.3.1	Določanje površinskega dotoka na obravnavano območje	35
4.3.2	Modeliranje površinskega odtoka	37
5	IZRAČUNI IN REZULTATI OBRAVNAVANEGA OBMOČJA	39
5.1	Izračun dotoka zalednih voda	39
5.2	Izračun poplavnega območja za različne razmere v vodotoku Besnica	41
5.2.1	Poplavni scenarij 1	41
5.2.2	Poplavni scenarij 2	43

5.2.3	Poplavni scenarij 3.....	44
5.2.4	Poplavni scenarij 4.....	46
5.3	Poplavna nevarnost zaradi zalednih voda.....	47
5.4	Ukrepi pri poplavni nevarnosti zaradi zalednih voda.....	48
5.4.1	Prestrežanje in preusmerjanje zalednih voda.....	48
5.4.2	Nove vodne poti z zadrževanjem zalednih voda.....	49
5.4.3	Individualni ukrepi.....	50
6	ZAKLJUČEK.....	52
7	LITERATURA.....	54

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz ločevanja na tuje, lastne in zaledne vode.....	5
Slika 2: Prikaz kako razvoj urbanizacije vpliva na spreminjanja odtočnega hidrograma iz povodja. ...	6
Slika 3: Postopek, kako se določajo poplavna in erozijska območja	7
Slika 4: Dotoki in odtoki vode na območje poselitve	9
Slika 5: Primer ortofoto posnetka.....	13
Slika 6: Prikaz skeniranja terena s pomočjo Lidarja nameščenega v letalu. Lidar s pomočjo GPS signala, žiroskopov in prečnega skeniranja določi višinske točke terena.	15
Slika 7: Ponazoritev intenzivnosti izmerjene svetlobe, povzročene zaradi poraščene terena. Vidnih je več vrhov intenzivnosti odboja svetlobe, ki jih povzročijo krošnje ter veje.	16
Slika 8: Orodno okno programa HEC-HMS	18
Slika 9: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka.....	21
Slika 10: Primer prikaza nekaterih podatkov s programom HEC-RAS	25
Slika 11: Prikaz elementov energijske enačbe	26
Slika 12: Območje naselja Podgrad	30
Slika 13: Prikaz digitalnega modela reliefa in osi vodotokov	31
Slika 14: Prikaz razreda majhne poplavne nevarnosti poplavljanja vodotoka	32
Slika 15: Vodotok Besnica.....	32
Slika 16: Prikaz reliefa izdelanega s podatki merjenimi s tehnologijo LIDAR ter vris suhih grap z rdečo črto.....	33
Slika 17: Prikaz reliefa izdelanega s podatki merjenimi s tehnologijo LIDAR ter vris razpršenega dotoka z zeleno črto	33
Slika 18: Cestni in železniški prepust	34
Slika 19: Histogram padavin upoštevanih za obravnavano območje.....	36
Slika 20: Naselje Podgrad z okolico je posneto z Lidar sistemom.....	37
Slika 21: Prečni profili našega hidravličnega modela, pravokotni na os vodotoka.....	38
Slika 22: Rezultati izračunov s programom HEC-HMS	39
Slika 23: Povodje potoka Besnica razdeljeno na različne prispevne površine glede na dotok v Besnico	40
Slika 24: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku Q(20).....	42
Slika 25: Prikaz obsega poplavljanja vodotoka Besnice pri pretoku Q(20) na ortofoto posnetku	42
Slika 26: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku Q(20) in poplavljanju s strani Save.	43
Slika 27: Prikaz obsega poplavljanja vodotoka Besnice pri pretoku Q(20) in poplavljanju s strani Save na ortofoto podlagi	44
Slika 28: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku Q(100).....	45

Slika 29: Prikaz obsega poplavljanja reke Besnice pri pretoku Q(100) na ortofoto podlagi.....	45
Slika 30: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku Q(100) in poplavljanju s strani Save.	46
Slika 31: Prikaz obsega poplavljanja reke Besnice pri pretoku Q(100) in poplavljanju s strani Save na ortofoto podlagi.	47
Slika 32: Prikaz obravnavanega območja v 3D obliki s prikazanimi rešitvami	48
Slika 33: Prestrežanje in preusmeritev zalednih voda z obcestno kanaletom.....	49
Slika 34: Preusmeritev zalednih voda z neprepustno ograjo.	51

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Koeficienti CN za poseljena območja	20
Preglednica 2:SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine.....	20
Preglednica 3: Padavinski podatki iz meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad	36
Preglednica 4: Prikaz velikosti prispevnih površin vodotoka Besnica.....	40
Preglednica 5: Pretoki Q(20) v posameznih točkah	41
Preglednica 6: Pretoki Q(100) v posameznih točkah	44

PRILOGE**PRILOGA A: Manningovi koeficienti hrapavosti za naravno oblikovane vodotoke****PRILOGA B: Manningovi koeficienti hrapavosti za rečna korita, ki so umetno oblikovana****PRILOGA C: Manningovi koeficienti hrapavosti rečna korita, ki so očiščena in izkopana**

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Voda je prozorna tekočina, ki tvori svetovne tokove, jezera, oceane in dež. Približno 70 procentov zemeljske površine je prekrivane z oceani, ki skupaj vsebujejo kar 97 procentov planetarne vode. Dobra dva procenta voda se zadržujeta v snegu in ledenikih. Malo manj kot en procent je sladke vode, medtem, ko je človeku dosegljiva le slaba tretjina, od katere je odvisna vsa naša civilizacija.

Voda je naravna dobrina, brez katere življenje na Zemlji ni mogoče in katera se na Zemlji nenehno premika skozi vodni krog. Voda z izhlapevanjem prehaja v ozračje ter se nato s padavinami vrne na površje Zemlje, kjer se je del porabi za vsakdanje življenje, del je odteče v reke in v podzemlje, del pa izhlapi. Zaradi vode se je razvilo življenje na Zemlji, in sicer ob potokih, rekah, jezerih in morskih obalah. Po drugi svetovni vojni je človek začel vse bolj posegati v poplavni svet in je s poseljevanjem, industrializacijo ter intenzivno izrabo zemlje močno vplival na naravno dinamiko tekočih voda in okolja, ter na povečanje poplavne ogroženosti.

Med najhujše naravne ujme v Sloveniji, poleg potresov, štejemo poplave, ki lahko ogrožajo človeška življenja in povzročajo veliko škode. V Sloveniji prebiva približno 65% vsega slovenskega prebivalstva in gospodarskih dejavnosti na dnu kotlin in širših dolin. Velik del teh je varen pred poplavami, precejšen del pa prebiva na poplavno ogroženih območjih, tako na podeželju kot v mestih. Glavni vzroki poplav so naravnogeografski, med njih spadajo še posebej vremenske, geološke, hidrološke, pedološke in vegetacijske lastnosti pokrajin. Do poplav prihaja zaradi dolgotrajnih padavin, vendar tudi zaradi kratkotrajnih nalivov. Med dejavnike, ki vplivajo na poplave, štejemo tudi relief ter predhodno namočenost podlage, vendar gre za zapletene povezave, ki so lahko od pokrajine do pokrajine različne.

Poplave se vedno pogosteje pojavljajo na območjih poselitve, saj človek vedno bolj posega v vodna območja. Poplave imajo na naselja negativen vpliv, kajti lahko povzročijo ogromno gmotno škodo in ogrožajo človeška življenja. Med vrste poplav spadajo tudi zaledne poplave, ki na območje poselitve dotekajo razpršeno iz brežin. Kakšna je stopnja poplavne ogroženosti se prikaže v grafični obliki na poplavnih in erozijskih kartah nevarnosti.

Stopnjo poplavne ogroženosti lahko zmanjšamo z gradbenimi in negradbenimi protipoplavnimi ukrepi. Z gradbenimi protipoplavnimi ukrepi, kot so zadrževalniki, nasipi, regulacije in pregrade, preprečujemo poplavnim vodam škodljivo delovanje na ogroženih območjih. Z negradbenimi protipoplavnimi ukrepi pa vplivamo na obnašanje z izdelavo upravno-administrativnih predpisov,

obveščanje prebivalcev na ogroženih območjih, zavarovanje objektov, ipd.. S protipoplavnimi ukrepi poplav na žalost ne moremo popolno preprečiti, vendar jih pa lahko vsaj omejimo in omilimo.

Pri izdelavi kart poplavne nevarnosti je pomembna natančnost podatkov, na podlagi katerih se lahko bolj natančno napove v kakšni meri bo voda prestopila bregove vodotoka oz. kako bo po površini dotekala voda na območje naselja. Eden izmed pomembnih podatkov je topografija terena, katera se lahko posname z najsodobnejšo LIDAR tehnologijo ter obdela in analizira z geografskim informacijskim sistemom.

Namen diplomske naloge je izdelava hidravličnega modela vodotoka skozi naselje Podgrad pri Ljubljani s programom HEC-RAS, ter na te razmere navezati stanje v naselju, ki ga določajo zaledne vode s pobočij ob naselju z geografskim informacijskim sistemom ArcMap. S pomočjo pridobljenih podatkov s tehnologijo LIDAR je izdelan digitalni model reliefa, na podlagi katerega se izriše rečno korito ter izdelata različne poplavne scenarije v naselju.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

2.1 Poplave

Poplave so naravni pojav, ko voda začasno prekrije zemljišča z vodo, katero ponavadi ni prekrito z vodo. Nastanejo, ko se pojavijo močne padavine, naglo taljenje snežne odeje ali ko skupaj delujeta oba pojava. Poplave lahko nastanejo tudi zaradi zajezenega odtoka, zaježitev, katere povzročijo snežni ali zemeljski plazovi, hudourniškega delovanja, naravnega posedanja tal ali posedanja, katerega povzroči gospodarska dejavnost, dvignjene podtalnice ali zaradi visokega plimovanja morja. Sestavni del vodotokov so poplavno ogrožena območja, katera pomembno vplivajo na ekosistem vode in veliko vpliva na delovanje rečnega režima. Pojavljanje poplav ni odvisno zgolj od količine padavin, na njih vplivajo še drugi geografski dejavniki. Zaradi različnih pokrajinskih učinkov in ogroženosti ljudi ter njihovega premoženja, je močno ovirano varovanje pred poplavami. Poleg potresov so to najhujše naravne ujme pri nas, katere lahko povzročijo ogromno gnotne škode in včasih ogrožajo tudi življenje človeka.

Podnebje se spreminja in prihaja do sprememb pri povprečnih temperaturah zraka in oceanov, ki se večajo, polarni led in ledeniki se talijo in s tem se posledično dviga morska gladina. V povezavi s tem prihaja do močnejših termodinamičnih procesov v ozračju in te spremembe so lahko vzrok za večjo verjetnost poplav. Do sprememb prihaja tudi pri padavinskih vzorcih, količinah in intenziteti padavin. Na pojavljanje ekstremnih hidroloških pojavov vpliva tudi človek, ki vedno bolj posega v vodni režim.

2.1.1 Splošno po poplavah

Na podlagi glavnih značilnosti poplav in območij poplavljanja v Sloveniji Natek (2005) deli poplave na pet vrst:

- hudourniške poplave;
- nižinske poplave;
- poplave na kraških poljih;
- morske poplave in
- mestne poplave.

Do poplavljanja pride tudi zaradi porušitvenih valov ob poružitvi pregrad ter zaradi zalednih voda. Pregrade se lahko porušijo zaradi prelitja ali pronicanja vode skozi pregrade, pogosto pa do poružitve pride ob prvem polnjenju jeza. Pri porušenju nastane velik in hiter poplavni val, ki močno ogroža naselja, saj razlitje vode zaradi velike energije poleg poplav povzroča še veliko škodo in erozijo.

Pregrade vplivajo tudi na pobočne procese, kar se je pokazalo tudi v ozki dolini Vajont v italijanski provinci Pordenone, ko se je ob polnjenju jezera sprožil zdrs, ki je padel v jezero in povzročil, da je voda premostila jez in vdrla v dolino reke Piave ter zahtevala veliko smrtnih žrtev.

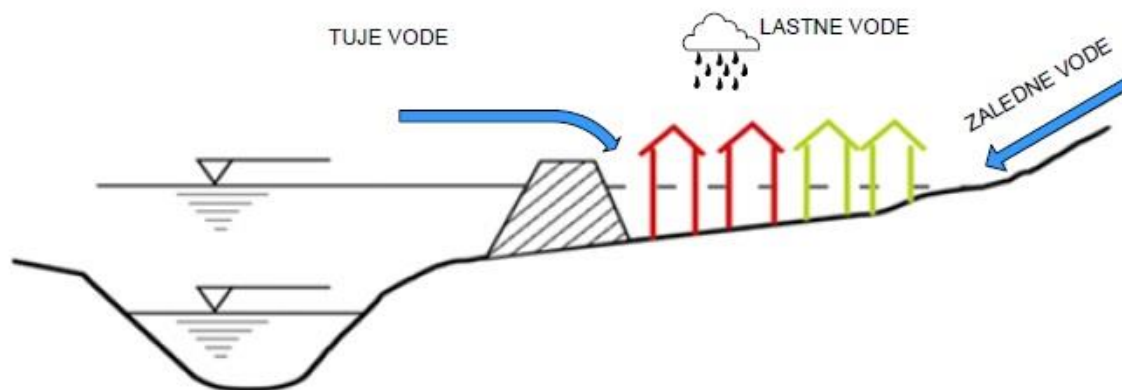
Vsako pokrajino sestavljajo naravni procesi in predstavljajo določeno nevarnost, ki lahko povzroči škodo ali nesrečo. Poplavna nevarnost v območjih poselitve ljudem predstavlja določeno izpostavljenost tem nevarnostim in z njimi povezano tveganje. Za določanje poplavne nevarnosti je potrebno poznati vire nevarnosti, ki se delijo na naravne (zaledne vode, lastne vode, tuje vode) ter na antropogene (npr. nedovoljeni posegi v vodotoke, porušitev nasipov,...). Nevarnost predstavlja potencialno grožnjo ljudem in njihovem premoženju, tveganje je pa verjetnost, da se bo zgodila določena nevarnost. Na stopnjo tveganja vpliva tudi ranljivost oz. neopornost, ki pomeni izpostavljenost in dovzetnost človeka, dejavnosti in objektov za poškodbe zaradi poplav. Ranljivost je v odvisnosti od socialnih, gospodarskih in fizičnih procesov in elementov, kot je npr. prostorska lega, časovna izpostavljenost in strukturna odpornost. Ko se združita verjetnost nastopa dogodka in posledice, ki lahko povzročajo škodo pri zdravju ljudi, okolju, kulturni dediščini in gospodarskim dejavnostim, ki so povezane s poplavo, govorimo o poplavni ogroženosti.

2.1.2 Vpliv poplav na naselja

Poplave se vedno večkrat pojavljajo v urbanih območjih, kar je tudi posledica vedno večjega človeškega posega v vodna območja. Do poplavne nevarnosti na območju poselitve v večini primerov pride zaradi poplavljanja bližnjih vodotokov ob intenzivnih padavinah in zaradi njih lahko pride do škode ali nesreče. Določanje območja nevarnosti se izvede skladno z opozorilno karto poplav in erozije, prednost imajo območja, na katerih je večja ogroženost. Prikažejo se v grafični obliki na kartah poplavne in erozijske nevarnosti, vsebujejo pa informacije o mejah območij poplavne nevarnosti pri pretoku $Q(10)$, $Q(100)$ in $Q(500)$. Na podlagi meril se poplavna nevarnosti deli v razrede velike nevarnosti, srednje nevarnosti, preostale nevarnosti in zelo majhne nevarnosti. S poplavno nevarnostjo je povezana tudi ranljivost, katere razred se določi skladno z merili, kjer so elementi ogroženosti razvrščeni v skupine po velikosti in pomembnosti možnih škodnih posledic. Stopnjo dovoljenega ali spremenljivega tveganja se določi na podlagi karte ogroženosti, katere razredi so določeni skladno z merili o razvrščanju erozijske in poplavne ogroženosti in so odvisni od razreda nevarnosti in ranljivosti elementov ogroženosti. Razredi poplavne in erozijske ogroženosti so razvrščeni v razrede velike ogroženosti, srednje ogroženosti in majhne ogroženosti.

Poleg nevarnosti poplav iz vodotokov obstaja še nevarnost poplavljanja zalednih voda, katera se nad območje poselitve dotekajo razpršeno s posameznih brežin na območje obravnavanega objekta, brez

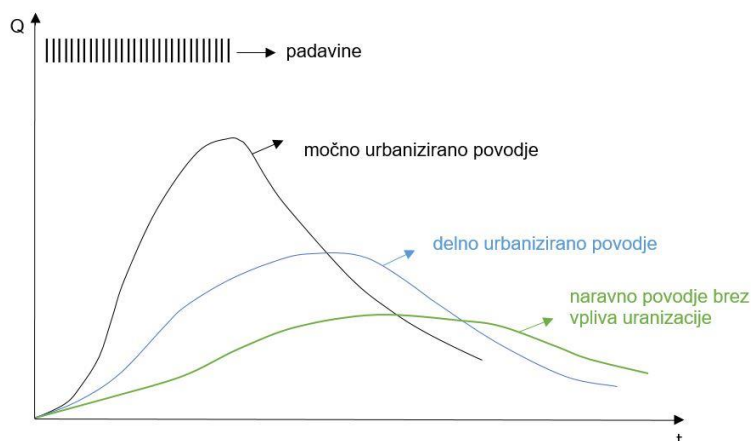
hidrografske mreže. V večjem delu se dotekajo po površini in obcestnih jarkih. Ob večjih nalivih lahko območja poselitve zaledni odtok ogroža kot hudournik.



Slika 1: Shematski prikaz ločevanja na tuje, lastne in zaledne vode (Vir: Steinman, Banovec, 2008: Povečanje zavedanja poplavne varnosti v mestih na območju Alp - vmesno poročilo)

Vsako območje poselitve, ki leži ob vodotoku ali v njegovi bližini je lahko poplavno ogroženo. Če je območje poselitve res poplavno ogroženo je razvidno iz kart poplavne in erozijske ogroženosti, na podlagi katerih se odloči kako varovati ljudi, njihovo premoženje in objekte. Za varovanje morajo biti izdelani protipoplavni ukrepi, katerih cilj je zmanjševanje poplavne nevarnosti na poplavnih območjih.

Kompare (1991) definira »zaledne vode urbaniziranih površin tiste vode, katere se formirajo v vododelnicah (vendar zunaj urbaniziranega območja), ki obkrožajo urbanizirano območje. V območja poselitve zaledne vode dotekajo v obstoječih naravnih ali umetno izgrajenih koritih, pogosto bolj ali manj koncentrirano, najpogosteje pa na urbanizirane površine dotekajo docela disperzno. Najkrajše so to definirali Kozelj, Steinman, Gosar (2008) in sicer kot »zaledne vode so vode, ki se zbirajo izven obravnavanega območja, in dotekajo razpršeno iz zalednih površin« (str.147).



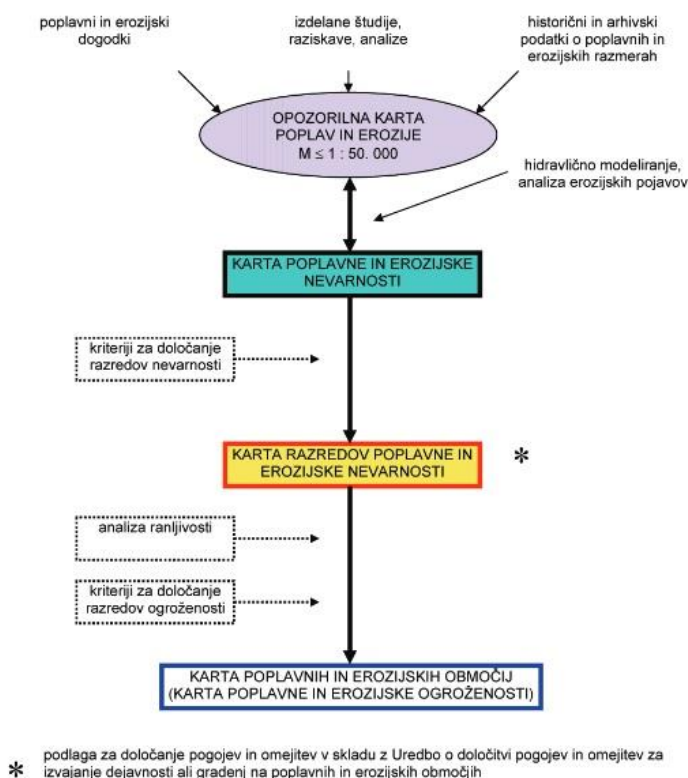
Slika 2: Prikaz kako razvoj urbanizacije vpliva na spreminjanja odtočnega hidrograma iz povodja (Kompere, 1991).

Poleg nevarnosti poplav iz vodotokov obstaja še nevarnost poplavljanja zaradi zalednih voda. Zaledne vode so v različnih literaturah različno definirane. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest (Uradni list RS št. 47/2005) določa zaledne vode kot vode, ki odtekajo s površin javnih cest kot posledica meteorskih padavin, katerih površine niso površine cestišča v skladu s predpisi, ki urejajo javne ceste, kot so brežine vkopov in nasipov.

2.2 Pregled predpisov

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 ([Uradni list RS št. 60/2007](#)) določa za omenjena območja način kako se določajo poplavna in erozijska območja, kako se razvrščajo zemljišča v razrede poplavne in erozijske ogroženosti ter vrsto meril, ki se upoštevajo pri določanju razredov poplavne in erozijske ogroženosti. S pravilnikom so določeni tudi načini za pripravo kart poplavnih območij in skupne oznake vsebin, ter skupaj s tem povezane zadolžitve. Območje poplavne in erozijske nevarnosti je definirano kot območje, kjer je določena verjetnost za nastanek naravnega pojava, in sicer na podlagi hidroloških podatkov, značilnosti vodnega toka in na podlagi analize geoloških in geografskih lastnosti prostora. Območje poplavne in erozijske ogroženosti je območje, kjer se pojavi poplavna nevarnost. Na teh območjih prihaja do ogroženosti življenj ter zdravja ljudi, kakovosti dejavnosti in okolja pri čemer je stopnja ogroženosti odvisna od različne ranljivostne stopnje in moči naravnega pojava. Cilji tega pravilnika so ocene poplavnega in erozijskega stanja na določenem območju, dobro načrtovani ukrepi, ki zmanjšujejo poplavno in erozijsko ogroženost, načrtujejo rabo prostora, ukrepov zaščite in reševanja ob pojavu poplav, obveščanje javnosti kdaj so v poplavni in erozijski nevarnosti oziroma kadar so ogroženi, in izvajanja mednarodnih obveznosti. Omenjena območja so določena skladno z oceno poplavne in erozijske

nevarnosti (opozorilna karta poplav in erozije), definiranjem območij poplavne in erozijske nevarnosti (karta poplavne in erozijske nevarnosti), definiranjem razredov poplavne in erozijske nevarnosti (karta razredov poplavne in erozijske nevarnosti) in ocene ranljivosti na teh območjih. Skladno z merili, ki razvrščajo moč poplavnega toka pri enaki verjetnosti nastanka dogodka, so razredi nevarnosti razdeljeni na razred velike nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode enaka ali večja od 1,5 m, razred srednje nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode enaka ali večja od 0,5 m in manjša od 1,5 m, razred preostale nevarnosti, kjer je pri pretoku $Q(100)$ ali gladini $G(100)$ globina vode manjša od 0,5 m in razred zelo majhne nevarnosti, kjer poplava nastane zaradi izrednih dogodkov, ki so lahko naravni ali povzročeni od človeka. Na območjih teh posameznih razredov se naredi analiza ranljivosti in sicer za potrebe ocene ogroženosti posameznih elementov ogroženosti, na podlagi katere se elementi ogroženosti delijo v razrede velike, srednje, majhne in zelo majhne ranljivosti. Na podlagi analize ranljivosti elementov ogroženosti na poplavno nevarnih območjih se določita poplavna in erozijska ogroženost, ki se razvrsti v razred velike ogroženosti, razred srednje ogroženosti in razred majhne ogroženosti. Naloga ministrstva, pristojnega za vode je, da za območje Republike Slovenije pripravi opozorilno karto poplav in erozije, na podlagi katere so določena pomembna območja poplavne nevarnosti ter poplavne ogroženosti. Njegova naloga je tudi, da za omenjena območja, v skladu s tem pravilnikom pripravi karte poplavne in erozijske nevarnosti oziroma ogroženosti.



Slika 3: Postopek, kako se določajo poplavna in erozijska območja (vir: Pravilnik o metodologiji (Uradni list RS, št. 60/2007))

Uredba o pogojih in omejitvah za izvajanje dejavnosti in posegov v prostor na območjih, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja (Uradni list RS št. 89/08) določa pogoje za posege v okolje, kateri ob pojavu poplav lahko ogrožajo vodno območje, ter za načrtovanje rabe prostora in preventivnih ukrepov, ki zmanjšujejo poplavno ogroženost. V Uredbi imajo pogoji in omejitve namen da zmanjšujejo erozijsko in poplavno ogroženost prebivalcev, bližnjih gospodarskih dejavnosti in objektov uvrščenih kot kulturno dediščino, kateri so v skladu s predpisi o vodah in o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami. Namen je tudi ohranjanje vodnega in obvodnega prostora, ki je potreben za poplavne in erozijske procese, ter na predelih poplav in erozije zagotoviti okoljske cilje v skladu s predpisi o varstvu okolja in s predpisi o vodah. Uredba določa pogoje in omejitve za območja pomembnega vpliva poplav, ter za območja, ki niso upoštevana kot območja pomembnega vpliva poplav, ker na njih ni določeno poplavno območje in se pogoji in omejitve za ta območja določijo na podlagi podatkov o globinah vode ki poplavi in o debelini odplavljenega in odloženega preperelega kamninskega materiala pri vrednosti pretoka vode s povratno dobo 100 let. Za pomemben vpliv velja tisti vpliv, ki:

- ogroža območja, kjer je gostota prebivalcev, ki so ogroženi, večja kot 500 prebivalcev na km². Upoštevan mora biti pogoj, da je skupna površina območja s takšno gostoto prebivalcev znotraj območja zelo redkih poplav večja kakor 1,25 km²,
- ogroža obrate in naprave, zaradi katerih lahko pride do velikega onesnaženja, ali druge naprave in obrate, ki okolju predstavljajo tveganje in nevarnost za nastanek nesreč,
- ogroža objekte kulturne dediščine.

Ti pogoji in omejitve, ki jih določa Uredba so sorazmerni razredu poplavne nevarnosti in z njo povezane erozijske nevarnosti na območjih, kateri določajo posamezno območje poplavne in z njim povezane erozijske nevarnosti, in veljajo tudi za prostorske ukrepe za zmanjšanje škodljivih vplivov poplav. Pri izvajanju dejavnosti in posegov v prostor se morajo poleg že omenjenih pogojev in omejitev iz te uredbe upoštevati tudi bolj podrobni pogoji in omejitve ter omilitveni ukrepi, ki so določeni z natančnejšim načrtom za zmanjševanje ogroženosti zaradi poplavne po predpisih o vodah.

2.3 Izračun vodne bilance za obravnavano območje

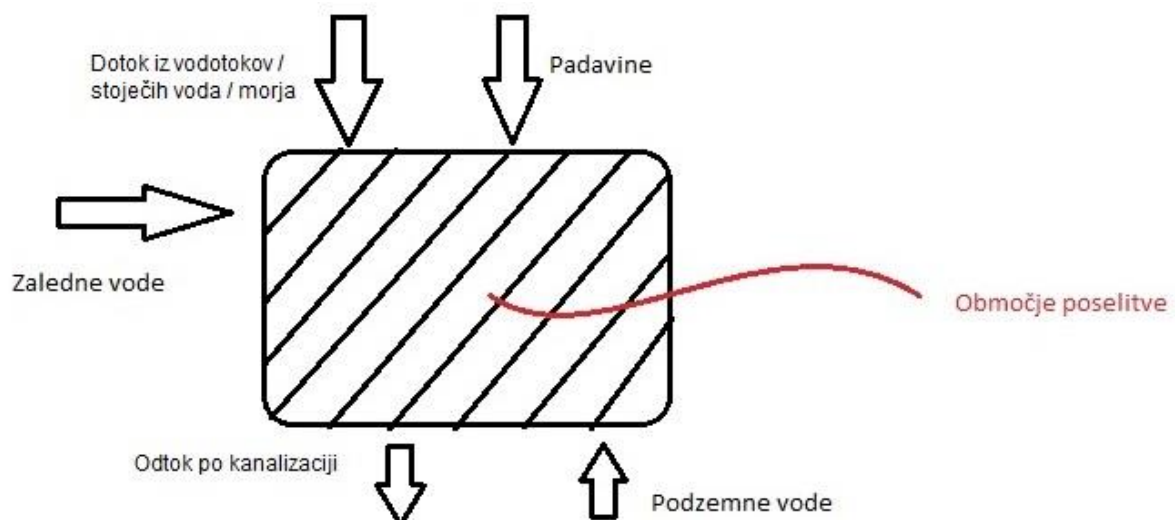
Območje poselitve, ki ga ob neustrezni topografiji poplavijo zaledne vode, se lahko zaradi zadrževanja vode oz. naraščanja gladine vode spremeni v majhen zadrževalnik. Do tega pride, če je vsota dotokov večja od možnosti odtoka. Kakšne bodo količine zadržane vode na nekem območju v omejenem časovnem obdobju lahko ocenimo z vodno bilanco, ki je vezana na vodni krog. Osnovna enačba vodne bilance je sledeča:

$$P + D_{pov} + D_{podz} - (ET + O_{pov} + O_{podz}) = Z \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

Kjer je:

- P padavine
- D_{pov} dotok površinskih voda v območje
- D_{podz} dotok podtalnice
- ET evapotranspiracija
- O_{pov} odtok površinskih voda iz območja
- O_{podz} odtok podtalnice
- Z voda, ki se zadržuje na površini, na biosferi, v snežni odeji

Evapotranspiracija in pretoki podtalnice so hidrološke spremenljivke, ki jih je težko meriti, zato se enačba vodne bilance rešuje z upoštevanjem veličine, ki se ocenjuje kot neznana vrednost.



Slika 4: Dotoki in odtoki vode na območje poselitve

Posamezne količine dotokov in odtokov vode na območje poselitve bodo obravnavane z različnimi računskimi modeli, ki so predstavljeni v nadaljevanju diplome. Za določanje površinskega dotoka na obravnavano območje bomo uporabili program HEC-HMS, za določanje odtoka v vodotok iz obravnavanega območja bomo uporabili program HEC-RAS, ter za obdelavo in prikaz rezultatov dela s prostorskimi podatki bomo uporabili program Esri ArcGIS.

2.4 Prostorski podatki

Prostorski podatki se lahko za različne namene obdelujejo v geografskih informacijskih sistemih (GIS) ali drugih geolokacijskih orodjih. Prostorski podatki so sestavljeni iz točk, črt, poligonov in drugih geografskih in geometričnih podatkovnih gradnikov, ki jih lahko preslikamo glede na lokacijo, shranimo s predmetom (npr. metadata zapis) ali uporabimo kot komunikacijski sistem za iskanje naprav končnih uporabnikov. Prostorski podatki se lahko klasificirajo kot rastrski ali kot vektorski podatki. Vsak daje posebne informacije v zvezi z geografskimi ali prostorskimi lokacijami, s pomočjo katerih se izdelata digitalni model terena.

Ena najpomembnejših komponent prostorskega informacijskega sistema (PIS) so prostorski podatki, katerih uporaba zahteva dovolj veliko količino podatkov takšne kakovosti, da zadostijo namenom uporabe. Najzahtevnejša faza v procesu vzpostavitve in vzdrževanja PIS-a je pridobivanje kakovostnih podatkov, tako cenovno kot časovno. S pomočjo različnih tehnologij se lahko izvede množični zajem podatkov:

- *digitalizacija* analognih podatkovnih virov (vektORIZIRANJE, skeniranje),
- *geodetske meritve*: z njimi pridobivamo prostorske podatke na osnovi terenskih izmer klasične geodezije (na primer tehnologija GPS),
- *daljinsko zaznavanje*: na osnovi radarskih ali satelitskih posnetkov se pridobijo prostorski podatki,
- *fotogrametrija*: na podlagi stereo – parov se pridobivajo prostorski podatki, kateri so izdelani na podlagi aero posnetkov,
- *kombiniran zajem*: podatki se pridobijo na osnovi terenskih meritev ter skupaj z drugo tehnologijo, ki se ukvarja z zajemom podatkov,
- *druge evidence*: prostorski podatki se pridobijo iz javnih evidenc ali iz podatkovnih baz drugih virov.

S tem, ko zajamemo prostorske podatke, tudi oskrbujemo prostorski informacijski sistem z ustreznimi podatki, vendar to ni edina naloga pridobivanja prostorskih podatkov. Potrebno je tudi obstoječe prostorske podatkovne baze posodabljati ali dopolnjevati z novimi podatki ter vzdrževati že pridobljene podatke.

Načrtovanje

Ureditev prostora je sklop usklajeno načrtovanih posegov v prostor, dejavnosti in omrežja, z njim pripadajočimi površinami na določenem območju. Sestavni del urejanja prostora je prostorsko načrtovanje. Prostorsko načrtovanje sodi med interdisciplinarne dejavnosti, s katero se načrtuje posege

v prostor in prostorske ureditve, in sicer na podlagi smernic ob upoštevanju javnih koristi na področjih ohranjanja narave, varstva okolja, varstva premoženja, varstva živali in naravnih dobrin, varstva kulturne dediščine, naravnih virov, obrambe in varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Načrtovanje posegov v prostor se mora izvajati tako, da je omogočen trajnostni razvoj v prostoru ter učinkovita in gospodarna zemljiška raba, da so omogočane kakovostne bivalne razmere, varstvo okolja, ohranjanje narave ter naravnih virov, itn. Najpomembnejše planiranje je planiranje na državni ravni, temu sledi regionalno in občinsko planiranje.

Država je na področju prostorskega načrtovanja zadolžena za določitev ciljev državnega prostorskega razvoja, določanja izhodišč in usmeritev za načrtovanje prostorskih ureditev na državni ravni in za izvajanje nadzora nad zakonitostjo občinskega prostorskega načrtovanja.

Državni prostorski načrt (DPN) je prostorski akt, ki se pripravi za državne prostorske ureditve oz. posege, s katerim se zagotovi učinkovitost prostorskega razvoja ob preišljeni rabi prostorskih, naravnih in drugih razvojnih možnosti. DPN se izdelava na podlagi državnega strateškega prostorskega načrta, ter na podlagi državnih razvojnih potreb. Potrebno je tudi upoštevati javne koristi na okoljevarstvenem področju, trajnostne rabe naravnih dobrin, ohranjanja narave ter vzdrževanje človekovega zdravja, na podlagi katerih se izdelajo cilji in izhodišča državnega prostorskega razvoja.

Na področju prostorskega načrtovanja je občina zadolžena za določanje ciljev prostorskega razvoja občine, določanje prostorske rabe ter za določanje pogojev pri umeščanju posegov v prostor in načrtovanje prostorskih ureditev na lokalni ravni.

Občinski prostorski načrt (OPN) je temeljni prostorski akt občine, v katerem so za občinski prostorski razvoj določena izhodišča in cilji, in sicer z upoštevanjem usmeritev iz državnih prostorskih aktov, ter občinskih razvojnih in varstvenih potreb. Načrtujejo se tudi lokalne prostorske ureditve ter določajo pogoji, ki omejujejo umeščanje objektov v prostor. Za zagotavljanje kakovostnih življenjskih pogojev in dela prebivalcev občine je občinski prostorski načrt pomembna podlaga. Vsebinsko se OPN deli na izvedbeni in strateški del, pri čemer so v strateškem delu določena izhodišča, cilji in zasnova občinskega prostorskega razvoja ter usmeritev pri razvoju poseljevanja in za celovito prenavo, smernice za krajinski razvoj ter pogoje pri gospodarski javni infrastrukturi lokalnega pomena. Medtem, ko so v izvedbenem delu OPN-ja določena območja namenske rabe prostora, njene izvedbene pogoje, ter območja, za katera je potrebno pripraviti občinski podrobni prostorski načrt.

Geografski informacijski sistem (GIS)

Geografski informacijski sistem je računalniško podprt informacijski sistem, razvit posebej za zajemanje, shranjevanje, manipulacijo, analiziranje, obdelavo in celotni prikaz vseh prostorskih geografskih podatkov. Geografski informacijski sistem s kratico označujemo kot GIS (ang. Geographic information system).

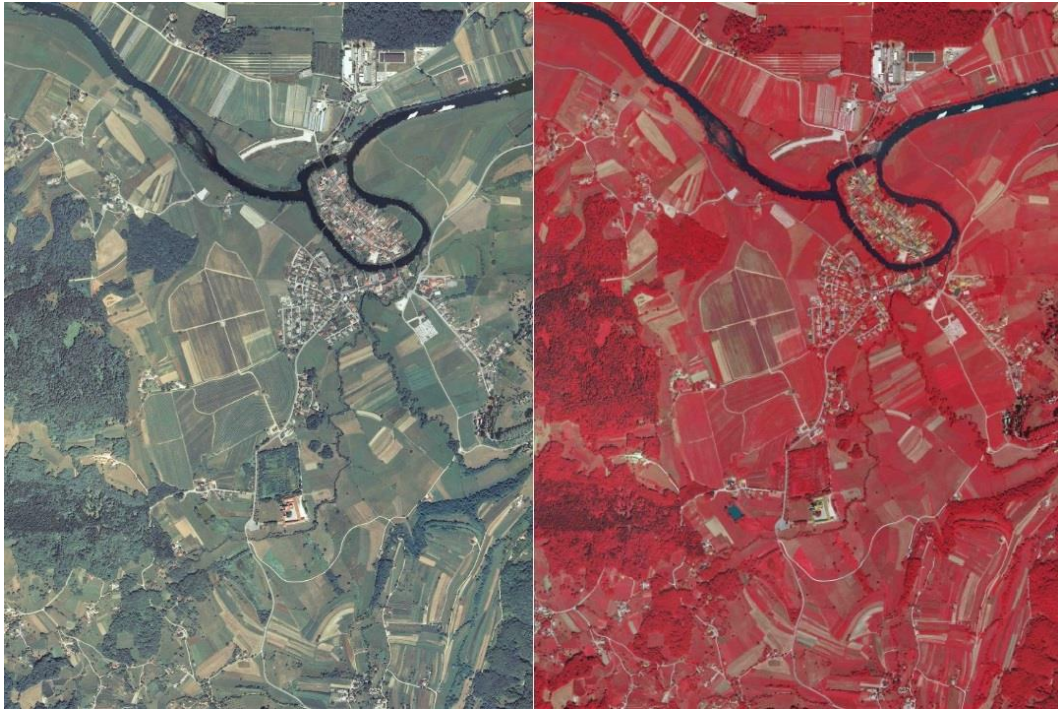
»Oče GIS-a« je sedaj že pokojni (2014) Dr. Roger F. Tomlinson, kateri je kot prvi tudi objavil oznako GIS leta 1968, v svoji objavi z naslovom Geografski informacijski sistem za regionalno planiranje (A Geographic Information System for Regional Planning).

Prva uporaba prostorske analize pa je bila zabeležena že leta 1832 ob izbruhu epidemije kolere. Francoski geograf Charles Picquet je 48 okrožij mesta Pariz barvno ovrednotil glede na število umrlih za kolero. Leta 1854 pa je John Snow s pomočjo prostorske analize podatkov uspel v Londonu locirati mesto izbruha kolere, za katero se je izkazalo, da je bilo krivo onesnaženo zajetje vode. Z zaprtjem zajetja so tudi omejili širjenje bolezni.

Zajemanje podatkov se mora izvajati zelo natančno, saj morajo pridobljeni podatki prikazovati dejansko sliko v danem trenutku. Pridobivanje in obdelava podatkov sta lahko zelo dolgotrajna postopka, zato to navadno izvajajo GIS strokovnjaki, do določene meje pa ta orodja uporabljajo tudi strokovnjaki različnih področij. Za zajem teh podatkov so nam na voljo sodobne tehnologije, za obdelavo pa potrebujemo zmogljivo strojno opremo.

Digitalizacija in skeniranje nam omogoča pretvorbo obstoječih kart in filmov v digitalno obliko. Digitizer naredi vektorske podatke kot skupek točk in črt, medtem ko je skenirani izhodni podatek rasterskega tipa, kateri pa se lahko kasneje pretvori tudi v vektorsko obliko.

Pozicije pridobljene s tehnologijo globalnega satelitskega navigacijskega sistema oz. GPS je mogoče prenesti direktno v GIS s pomočjo računalniške opreme in brezžične povezave. Pridobljeni podatki so vhodni podatki v realnem času tudi na 1dcm natančno. Ta tehnologija omogoča izredno hitro pridobivanje in prikaz podatkov direktno na terenu, kar zagotavlja še bolj natančen in učinkovit popis. Zelo pomemben način pridobivanja podatkov je tudi daljinsko zaznavanje. Sistem deluje s pomočjo senzorike oz. skupka senzorjev povezanih v bazo. Senzorji so lahko digitalni skanerji, lidar in kamere, medtem, ko so baze navadno letala in sateliti. Dandanes se večji del digitalnih podatkov pridobiva iz ortofoto posnetkov.



Slika 5: Primer ortofoto posnetka (vir: MOP. Geodetska uprava Republike Slovenije.)

Ortofoto - zračna fotografija ali aerofotografija je produkt fotografiranja iz zraka s pomočjo letala, helikopterja... Izvaja se s pomočjo profesionalne aerofotogrametrične kamere, kjer se podatki shranjujejo na fotografski film ali direktno na digitalni medij. Rezultat je pridobitev topografskih podatkov ter namensko in sistematično spremljanje stanja v prostoru. Pridobljeni podatki se uporabljajo tudi za izdelavo digitalnega reliefnega modela.

Zanesljivost GIS-a je zelo odvisna od kakovosti pridobljenih informacij in na kakšen način so te informacije kodirane. Tehnološki razvoj, možnost izdelave vedno boljših digitalnih posnetkov, visokozmogljiva strojna in programska oprema, globalna mreža... zagotavlja obstoj in vedno večjo točnost sistema GIS. Na točnost GIS-a imajo velik vpliv tudi drugi viri podatkov, kot so tiskani zemljevidi, kateri so primerni za doseganje potrebne natančnosti, vendar pa je potrebo upoštevati vpliv staranja. Zaradi novih posegov v prostor kartni material ne odraža več dejanskega stanja.

Zaradi vedno večje količine in ponudbe prostorskih podatkov je zagotovitev kontrole in kakovosti podatkov zelo pomembna. Netočnost podatkov oz. slabi podatki lahko privedejo do napačnega analiziranja le teh, kar pa se posledično lahko odraža v veliki gospodarski škodi. Sam nadzor nad kakovostjo prostorskih podatkov je na eni strani zagotovljen z minimalnimi normativi na drugi strani pa samo točnost podatkov preverjajo sami uporabniki sistema oz. naročniki. Kakovost in točnost podatkov je v poročilu ICA (International Cartographic Association) definirana s sedmimi medsebojno odvisnimi pokazatelji (Guptill et al., 1995):

- nastanek podatkov (izvor, proizvodnja, tehnologija);

- položajna natančnost (georeferenčna) grafičnih podatkov;
- atributna natančnost (zanesljivost opisnih podatkov);
- popolnost podatkov;
- logična usklajenost podatkov;
- semantična natančnost;
- posodobljenost (ažurnost) podatkov (skladno z ISO 19113).

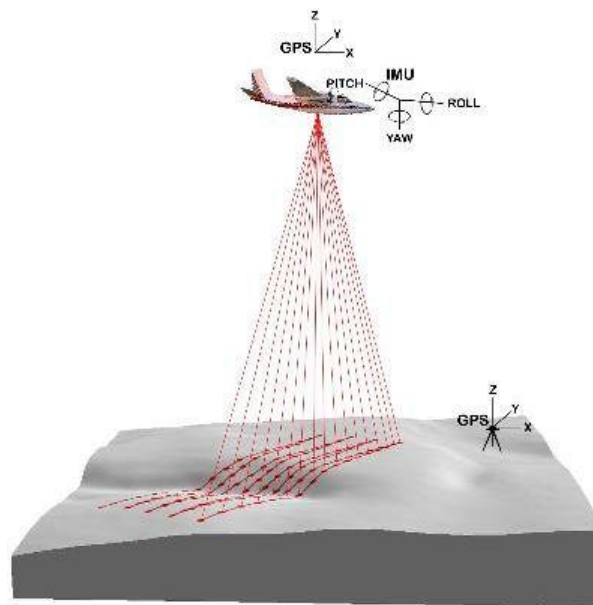
Lidar tehnologija

Napredek senzorske tehnike, laserske tehnike ter povečanje računalniške moči so omogočili nove učinkovite oblike zajema podatkov Zemlje. Ena izmed teh tehnologij je tehnologija Lidar (tudi LIDAR, LiDAR), ki z izrabo lastnosti odboja svetlobe od merjenega objekta omogoča digitalizacijo vizualnih lastnosti merjenega objekta. V našem primeru ga največkrat uporabljamo za izdelavo digitalnega reliefa nekega območja ali pa izdelavo 3D modelov objektov.

Lidar naprava opravlja meritve tako, da v objekt, ki ga meri usmeri laser za kratek čas in meri čas odboja paketa svetlobe. Iz izmerjenega časa in s poznavanjem hitrosti svetlobe nato izračuna oddaljenost točke na merjenemu objektu od Lidarja. V primeru, da je ta Lidar namenjen izdelavi 3D modela sobe v zgradbi je opremljen tudi z merilikom naklona ter odklona, s čimer lahko določi polarni kot ter azimut sferičnega koordinatnega sistema, s čimer imamo vse tri koordinate točke, ki jo merimo (seveda s središčem koordinatnega sistema v optičnem središču Lidarja). V naslednjem koraku Lidar usmeri laser v sosednjo točko (katera je sosednja točka je odvisno od načina skeniranja objekta ter izdelave lidarja, ki navadno laserski žarek usmerja s premikanjem zrcala, ki je precej hitrejše od ostalih mehanskih gibov Lidarja), za katero ponovno izmeri vse tri koordinate. S premikanjem enega od kotov laserja Lidarja se lahko izmeri celotno merjeno območje. Rezultat takšne meritve je seznam točk, ki pa jih je potrebno analizirati ter prevesti v sistem, ki nam da rezultate, ki jih želimo.

Uporaba Lidar tehnologije je močno razširjena in je v uporabi tako v civilni kot v vojaški industriji. V civilni prevladuje za merjenje 3D slik objektov, reliefov, merjenje hitrosti v prometu, itd. medtem ko je v vojaški tehniki uporabljen predvsem za navigacijo izstrelkov.

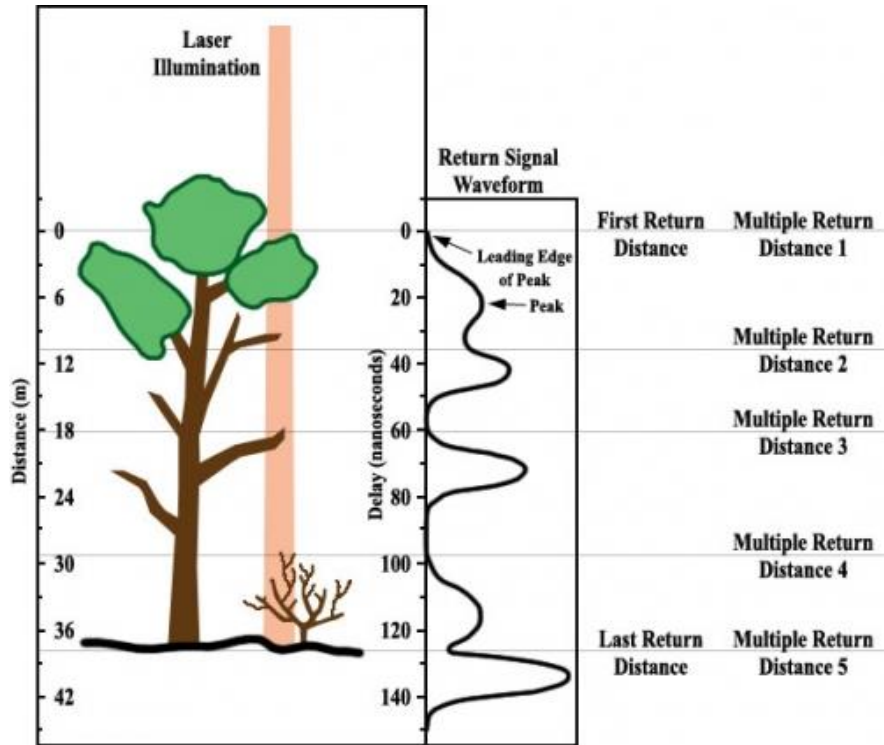
Za analizo reliefov je večinoma uporabljeno letalsko ali helikoptersko lasersko skeniranje, ki uporablja Lidar nameščen v ali pod trup letala. Snop svetlobe laserja je s pomočjo prizme ali nihajočega zrcala usmerjen proti tlor, premika pa se prečno glede na let letala.



Slika 6: Prikaz skeniranja terena s pomočjo Lidarja nameščenega v letalu. Lidar s pomočjo GPS signala, žiroskopov in prečnega skeniranja določi višinske točke terena.

Rezultat takšne meritve so koordinate točk, ki pa imajo za center koordinatnega sistema napravo v letalu iz katere je bila meritev opravljena. Te koordinate točk morajo biti s pomočjo poznavanja lege in pozicije letala preračunane v zemeljski koordinatni sistem. Za natančne meritve tako potrebuje Lidar zanesljiv GPS signal brez katerega se natančnost meritve močno zmanjša (ocena lokacije brez GPS signala je odvisna od hitrosti letala, ki pa je odvisan od vetra v okolici letala). Za večjo natančnost ter korekcijo višine leta se tako uporabljajo tako signali satelitov kot zemeljskih postaj. Lega letala in s tem Lidarja je definirana z žiroskopi.

Na natančnost Lidarja vpliva precej dejavnikov. Prvi dejavnik je svetilnost laserja, ki določi kako daleč je lahko objekt, ki ga merimo, saj se zaradi razpršenja pri odboju proti detektorju Lidarja odbije le majhen del fotonov. Prav tako je pomemben tudi sam detektor, ki potrebuje za natančno meritev dovolj jasen snop svetlobe. Zunanji vplivi, ki vplivajo na natančnost sta vreme ter predvsem poraščenost terena. Vlaga v oblakih ter listje in veje na drevesih povzročijo, da se veliko svetlobe razprši tako na poti proti tlam kot pri vračanju nazaj proti letalu. To povzroči, da manj fotonov doseže detektor, poleg tega pa so bolj razpršeni v primerjavi z meritvijo očiščenega terena pri jasnem vremenu.



Slika 7: Ponazoritev intenzivnosti izmerjene svetlobe, povzročene zaradi poraščenega terena. Vidnih je več vrhov intenzivnosti odboja svetlobe, ki jih povzročijo krošnje ter veje.

Poleg natančnosti meritve oddaljenosti točke je prav tako pomembna resolucija meritve. Ta je definirana z natančnostjo Lidarja ter oddaljenostjo letala od tal. Večja oddaljenost Lidarja od tal zmanjša število točk na površino vendar pa poveča hitrost merjenja saj se poveča območje, ki ga Lidar pokrije.

Normalna oddaljenost letala za merjenje terena je med 1000 in 2000 metri. Velikost žarka, ki pri izstopu iz laserja meri nekaj milimetrov, ob omenjeni višini doseže velikost nekaj deset centimetrov (točne številke so odvisen od optičnih lastnosti Lidarja). Hitrost merjenja Lidarja dovoljuje zajem velike količine točk (med 10 in 20 na kvadratni meter) kar omogoči veliko natančnost meritev topografije. Merjenje točk z Lidarjem ustvari ogromno količino podatkov, za obdelavo katerih je potreben dovolj zmogljiv računalnik. Z uporabo ustreznih algoritmov se iz podatkov izračunajo digitalni modeli terena.

2.5 Protipoplavni ukrepi

Poseganje v poplavna območja je vse večje, zato je potrebno, da bi preprečili poplavno škodo, urejati vodotoke in zagotavljati večje varstvo pred poplavami. Pogostost poplav so ponekod zmanjšali z melioracijami in regulacijami ali z gradnjo zadrževalnikov. Vendar se kljub različnim ukrepom ne da

preprečiti večjih poplav, ki se pojavijo enkrat na deset let ali še redkeje. Ukrepi, ki varujejo pred poplavami, imajo lahko tudi velikokrat nasprotni učinek. Zaradi varovalnih ukrepov se poveča občutek varnosti, kar sproži povečanje dejavnosti in gradnjo na poplavnih ravninah, kar povečuje škodni potencial, zato se ob pojavu katastrofalnih poplav škoda zaradi tega samo še poveča.

Ukrepi za zaščito pred poplavami so lahko gradbeni (z gradbenimi posegi) ali negradbeni (preventiva, npr. pri prostorskem načrtovanju). Gradbeno lahko ukrepamo z graditvijo hidrotehničnih objektov, saj z njimi vplivamo na verjetnost pojava in pretočno krivuljo. Z gradbenimi ukrepi lahko s postavitvijo nasipa odstranimo (zmanjšamo) nevarnost na poplavnem območju, z regulacijo vodotokov se poveča pretočnost, kar ščiti območje poselitve pred škodljivim delovanjem voda, ter z zadrževalniki zmanjšamo pretok v strugi vodotoka saj se hidrogram odtoka splošči. Negradbeni ukrepi so izdelava upravno-administrativnih predpisov, obveščanje prebivalcev na ogroženih območjih, zavarovanje objektov,... (Brilly, Mikoš, Šraj, 1999)

Za zmanjševanje prekomerne globine poplavljanja je mogoče vodotoke urediti, regulirati ali kanalizirati, s čimer se zmanjšuje erozija in povečuje prevodnost struge. K boljšemu in večjemu pretoku struge pripomore čiščenje in redno vzdrževanje struge. Vendar to pospešuje odtok dolvodno.

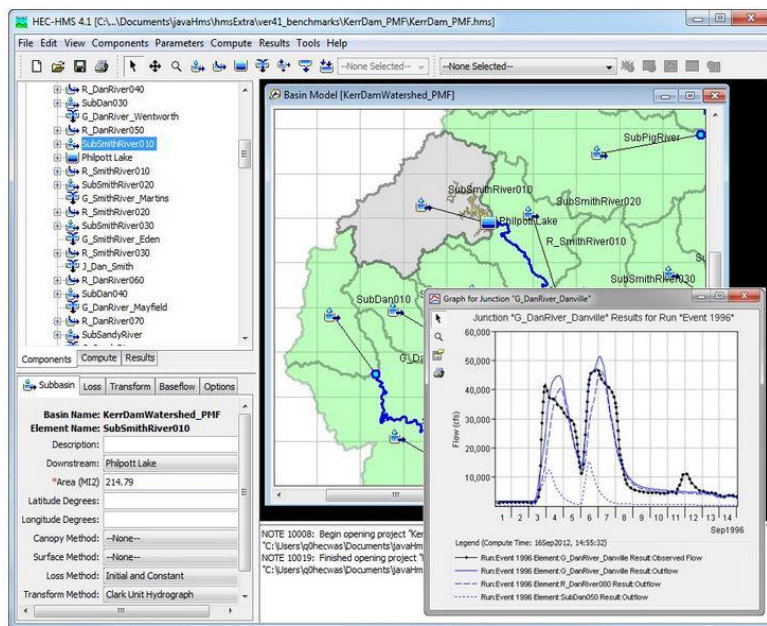
Kot ukrep za zaščito pred poplavami je lahko preusmeritev vodnih tokov in sicer preusmerjanje po sistemu oddušnih (razbremenilnih) kanalov, ki odvajajo vodo po suhi ali mokri strugi mimo območja poselitve. Ta ukrep vpliva na spremembo verjetnosti poplav. Zaradi manjše nevarnosti je manjša tudi ogroženost območja. Pri teh posegih je treba biti pozoren, da zaradi preusmerjanja toka voda ne pride do poplav v nižjih območjih poselitve.

3 PROGRAMSKA ORODJA

Dandanes si zelo težko predstavljamo, da bi delo, kot je na primer reševanje hidravličnih in hidroloških problemov, opravljali brez tehnološko naprednih orodij. Današnja tehnologija nam omogoča pridobitev natančnih podatkov za zahtevano območje. Pri izvedbi diplomske naloge smo pri izdelavi hidrološke analize uporabili program HEC-HMS, s katerim smo določili površinski dotok na obravnavano območje. Za izdelavo hidravličnega modeliranja smo potrebovali digitalni model terena (DMT), ki smo ga pridobili na podlagi višin terena, ki so bile posnete z orodjem LIDAR. Te podatke smo vnesli v ArcMap, v katerem smo s pomočjo različnih razširitev in digitalnega modela terena izdelali podlago rečnega korita. Te podatke smo prenesli v program HEC-RAS, s pomočjo katerega smo izdelali izračune za enodimenzionalen stalen tok v vodotoku Besnica.

3.1 Določanje površinskega dotoka na obravnavano območje s HEC-HMS

Za izračun količin zalednih voda, ki se zbirajo iz prispevnega območja in odteka v naselje lahko uporabimo program Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). HEC-HMS je eden izmed produktov Hidrološkega inženirskega centra v US Army Corps of Engineers, kateri je bil razvit leta 1992 in se je do zdaj že večkrat nadgradil in dopolnil. Zasnovan je tako, da simulira hidrološke procese razvejanih razvodnih sistemov.



Slika 8: Orodno okno programa HEC-HMS

Metode, ki jih program HEC-HMS uporablja za račun zveze med padavinskimi odtoki, upoštevajo različne načine upoštevanja padavinskih izgub:

- Model začetnih in enakomernih izgub
- Model deficita in enakomernih izgub
- Krivulje SCS
- Postopek Green-a in Ampt-a

S temi naštetimi metodami lahko preračunamo kakšne so padavinske izgube glede na določen časovni interval. Izgube so odvisne od višine padavin, ki padejo v določenem časovnem obdobju. Ostanjejo nam učinkovite padavine, za katere velja, da so porazdeljene enakomerno in predstavljajo površinski odtok. Izdelava modela površinskega odtoka s programom HEC-HMS poteka tako, da je potrebno prvo določiti lego in površino povodja. Na podlagi podatkov o količinah padavin za dano povodje se lahko izriše histogram padavin, ki se uporablja kot osnovni podatek pri izračunu površinskega odtoka. Predpostavimo, da so padavine enakomerno razporejene po vodozbirnem območju. V primeru, da se odločimo za izračun padavinskih izgub po metodi SCS modela, moramo upoštevati lastnosti zemljine, katere so opisane s koeficientom CN, v katerem so zajeti vplivi pedologije, rabe tal in predhodne vlažnosti zemljine (preglednica 2). Za izračun akumuliranih učinkovitih padavin (koeficient P_e) v določenem časovnem obdobju je potrebno poznati višino padavin (koeficient P) v tem časovnem obdobju, začetne izgube (koeficient I_a), to so površinske izgube povodja preden se voda infiltrira v zemljino, ter maksimalno potencialno zadrževanje (koeficient S). Uporabi se enačbo: (Brilly in Šraj, 2005)

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (2)$$

P_e akumulirane učinkovite padavine v času t ,

P padavine v času t ,

I_a začetne izgube,

S maksimalno potencialno zadrževanje (retenzija – mera za sposobnost povodja odvzeti in zadržati padavine).

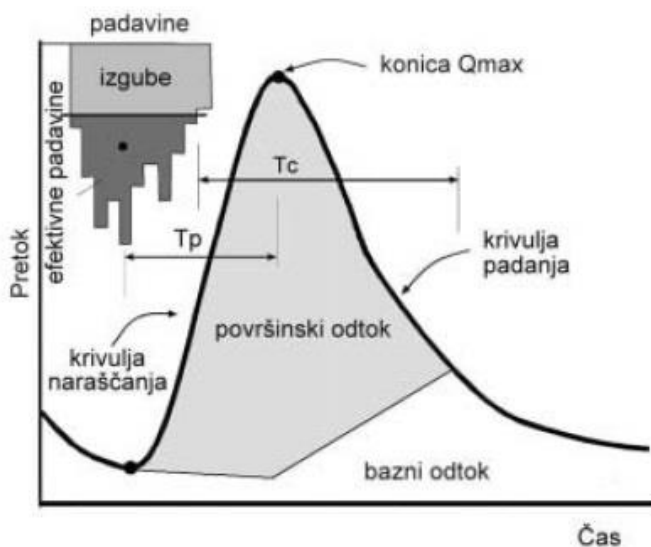
Preglednica 1: Koeficienti CN za poseljena območja
(US Army Corps of Engineers, 2000)

Raba tal	% neprep. površin	Vrednosti CN glede na odtočni potencial			
		A	B	C	D
<i>Odprte površine (parki, nasadi, golf igrišča, pokopališča itd.)</i>					
slabi pogoji (pokritost s travo < 50 %)		68	79	86	89
povprečni pogoji (pokritost s travo 50 % do 75 %)		49	69	79	84
dobri pogoji (pokritost s travo > 75 %)		39	61	74	80
<i>Neprepustne površine</i>					
tlakovane površine, strehe, ceste		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z robniki in kanaliziranimi odtoki		98	98	98	98
tlakovane ulice in ceste z odprtimi kanali		83	89	92	93
makadamske ceste (pesek)		76	85	89	91
neobdelane poti (zemlja)		72	82	87	89
<i>Urbana območja</i>					
komercialna in poslovna območja	85	89	92	94	95
industrijska območja	72	81	88	91	93
<i>Stanovanjske površine</i>					
povprečna velikost parcele do 500 m ²	65	77	85	90	92
povprečna velikost parcele 1000 m ²	38	61	75	83	87
povprečna velikost parcele do 1300 m ²	30	57	72	81	86
povprečna velikost parcele do 2000 m ²	25	54	70	80	85
povprečna velikost parcele do 4000 m ²	20	51	68	79	84
povprečna velikost parcele do 8000 m ²	12	46	65	77	82

Preglednica 2: SCS klasifikacija zemljin in infiltracijske izgube v odvisnosti od vrste zemljine

Skupina zemljine	opis	Stopnja izgub (mm/hr)
A	Nizek odtočni potencial. Zemljina ima tudi, če je nasičena, visoko stopnjo infiltracije. Globoke, dobro drenirane zemljine z zmerno teksturo (pesek, globoka rečna naplavina)	7.5 – 11.5
B	Povprečni do nizek odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, povprečno stopnjo infiltracije vode. Pltve rečne naplavine, peščena ilovica z zmerno prepustnostjo.	3.85 – 7.5
C	Visok do zmeren odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, nizko stopnjo infiltracije vode. Glinena ilovica, plitva peščena ilovica, zemljine z nizko vsebnostjo organskih snovi in zemljine z običajno visoko vsebnostjo gline	1.3 – 3.85
D	Visok odtočni potencial. Zemljina ima, če je nasičena, zelo nizko stopnjo infiltracije vode. Zemljine z visoko gladino talne vode, z glinastim slojem ali neprepustnim slojem na površini ali tik pod površino, zaslanjena zemljišča ipd. Zemljine imajo zelo nizko stopnjo prepustnosti.	0.00 – 1.3

Za izračun in razdelitev odtoka v vodozbirnem območju se uporablja diagram sprememb v določenem času, imenovan hidrogram. Hidrogram odtoka se deli na površinski odtok in bazni odtok. Padavine, ki padejo neposredno v strugo in tiste, ki odtečejo po površini ter medtok, med in tik po deževju predstavljajo površinski odtok. Bazni odtok pa zajema podpovršinski odtok, ki je odvisen od predhodnih razmer v zemljini ter izcejanje podzemnih voda v strugo vodotoka. Da lahko določimo celoten odtok mora biti upoštevan skupek površinskega in baznega odtoka (Us Army Corps of Engineers, 1994).



Slika 9: Osnovne lastnosti hidrograma odtoka (vir: Brilly, Šraj, 2005. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za program HEC-HMS).

Modeli za izračun površinskega odtoka, s katerimi lahko HEC-HMS preoblikuje učinkovite padavine v površinski odtok so:

- Empirični modeli – vsi ti modeli delajo s hidrogramom enote
- Konceptualni modeli – eden izmed takšnih modelov je model kinematičnih valov

V več primerih uporabljamo empirični model, se pravi hidrogram enote, katerega trajanje T_d je opredeljeno kot površinski odtok, katerega povzroča enota učinkovite padavin 10 mm, ki so bile v času T_d enakomerno razporejene po povodju.

Postopek za uporabo hidrograma enote (HE) je obraten kot postopek njegovega določanja. Padavine poljubnega trajanja se delijo na učinkovite padavine in padavinske izgube. Čas trajanja učinkovite padavin se razdeli na intervale, katere vrednost je enaka trajanju hidrograma enote (Brilly in Šraj, 2005).

Kadar nimamo zadostnih meritev ali pa te meritve niso dovolj točne, potem za preoblikovanje učinkovitih padavin v iztok povodja uporabljamo metode sintetičnih hidrogramov enote (HE). Sintetični hidrogrami enote se delijo v tri skupine:

1. Snyder HE – hidrogrami enote, ki povezujejo lastnosti HE, kot je konica HE in čas njenega nastopa, in povodja
2. SCS HE – bazirajo na brezdimenzijski osnovi
3. Clark HE in ModClark – bazirajo na konceptualnem računu za skladiščenje na povodju

3.2 Obdelava in prikaz rezultatov dela s prostorskimi podatki – Esri ArcGIS

Ameriški inštitut Esri (Environmental Systems Research Institute) je leta 1999 razvil paket programske opreme ArcGIS. Inštitut je bil ustanovljen leta 1969 in je specializiran za razvoj GIS programske opreme s katero ima največji tržni delež na svetu. ArcGIS je geografski informacijski sistem (GIS) za delo z geografskimi informacijami in zemljevidi. Programska oprema ArcGIS vsebuje naslednje aplikacije:

- *ArcMap* je glavna komponenta ArcGIS-a in se uporablja za pregledovanje, urejanje, ustvarjanje in analizo geoprostorskih podatkov. Uporabniku je omogočeno ustrezno raziskovanje podatkov in ustvarjanje zemljevidov.
- *ArcCatalog* omogoča pojavno okno katalog, katero se uporablja za organiziranje in upravljanje več vrst geografskih podatkov, kot na primer geodatabaze, rastrske datoteke, plastnice, dokumente z zemljevidi, itd.
- *ArcGlobe* je del ArcGIS 3D Analyst razširitve. Aplikacija se uporablja pri obdelovanju zelo velikih baz podatkov in omogoča brežhibno vizualizacijo rasterskih in baznih podatkov. Temelji na globalnem pogledu, s projiciranimi podatki kateri prikazujejo različne nivojske poglede, razporejene v plošče. Vektorski detajli so rasterizirani in prikazani glede na povezavo na nivojske plošče, kar omogoča hitro navigacijo in prikaz.
- *ArcScene* je 3d prikazovalnik, ki je zelo primeren za generiranje perspektivne projekcije in omogoča navigacijo in interakcijo s 3d rasterskimi detajli. Baziran je na odprti kodi (OpenGL). Podpira kompleksno 3d teksturno kartiranje kot tudi oblikovanje površine in prikaz TIN datotek. Vsi podatki se naložijo v predpomnilnik, kar omogoča relativno hitro navigacijo, premik in hitro povečavo detajlov. Vektorski podatki so pretvorjeni v vektorje, rasterski podatki pa skrčeni oz. pretvorjeni v fiksne številke v vrstičnem in stolpičnem zaporedju.

Vse aplikacije programske opreme ArcGIS so si med sabo podobne, zato je prehod med njimi mogoč in s tem je tudi omogočena izmenjava podatkov, slojev, kart, simbolov, modelov, itd. Z različnimi razširitvami povečamo uporabnost programa ArcGIS.

3.2.1 ArcMap

Pri izdelavi diplomske naloge smo uporabili program ArcMap s katerim se na zemljevidu predstavijo geografski podatki kot zbirka plasti in drugih prostorskih elementov. Podatkovni niz zagotavlja geografsko okno, v katerem se lahko z različnimi sloji kart prikaže in dela z geografskimi informacijami, kjer vsak sloj predstavlja določen nabor podatkov, označenih na zemljevidu. Sloji zemljevidov pomagajo posredovati informacije na sledeče načine:

- z diskretnimi razredi značilnosti, kot so zbirke točk, linij in poligonov,
- z neprekinjenimi površinami, npr. nadmorskih višin, ki so lahko predstavljene na več različnih načinov, npr. kot zbirko kontur in nadmorskih višin, ali kot senčen relief,
- z zračno ali satelitsko fotografijo, ki pokriva celoten obseg zemljevida.

Poleg tega, da predstavlja geografske podatke, se s pomočjo simbolov, barv in oznak slojev pomaga opisati predmete na zemljevidu. Dokumenti, ki jih shranimo z ArcMap-om, vsebujejo prikazne lastnosti geografskih informacij s katerimi smo delali, kot so lastnosti in opredelitve plastnic, podatkovnih okvirjev ter postavitve karte za tiskanje, kot tudi vse izbrane prilagoditve, ki smo jih dodali na naš zemljevid. Pomemben del ArcMap-a so tudi dodatne razširitve, ki omogočajo pri prostorskih analizah bolj poglobljene študije ter s katerimi lahko na še več načinov prikažemo rezultate. Razširitev HEC-GeoRAS nam je v veliko pomoč pri izdelavi hidravličnega modela, ki ga nato obdelamo s programom HEC-RAS. Pomembni razširitvi sta tudi Spatial Analyst in 3D Analyst.

3.2.2 Razširitvi 3D Analyst in Spatial Analyst

Razširitev *3D Analyst* nam zagotavlja orodja za tridimenzionalno (3D) vizualizacijo in analizo, s čimer lažje razumemo in oblikujemo teren, ki narekuje odtočne razmere, npr. odtok vode in poplave. V programu ArcMap nam ta razširitev omogoča, da ustvarimo nove površine iz pridobljenih GIS ali LIDAR podatkov, ter pretvorbo teh podatkov na osnovi linij, točk ali poligonov v mrežo TIN, s pomočjo katerega smo nato izdelali digitalni model terena (DMT). Prikažemo lahko tudi višine posameznih točk, izrišemo izohipse, perspektivo poljubne točke, podatke o površinskih naklonih ali izvedemo interpolacijo rezultatov. (Rak, 2006)

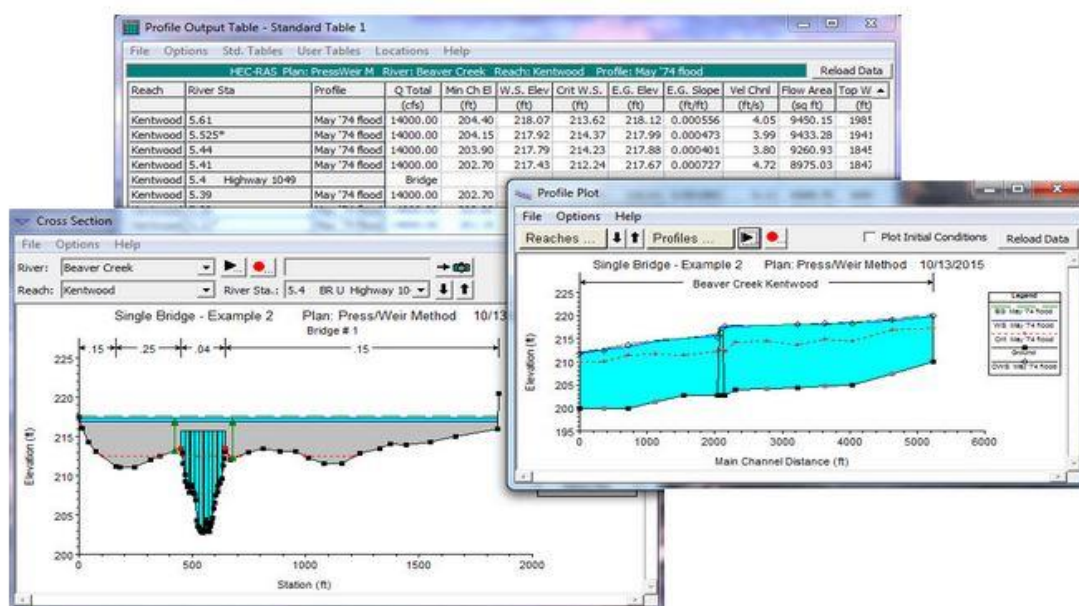
Razširitev *Spatial Analyst* nudi široko paleto prostorskega modeliranja in možnosti analiziranja. Lahko se ustvari, proizvede in analizira celice, ki temeljijo na rastrskih podatkih, pridobijo se lahko novi podatki iz obstoječih podatkov in pridobijo informacije iz več podatkovnih slojev. Z njo se lahko izriše razdalja do točke, lomljene linije ali poligone, izračuna gostoto prebivalstva na določenih točkah na podlagi izmerjenih količin, opravi preklasifikacijo obstoječih podatkov v ustrezne razrede, ustvarjanje naklona ali senčenja iz podatkov višin terena.

3.2.3 HEC-GeoRAS

Ena izmed razširitev programskega orodja ArcMap je tudi *HEC-GeoRAS*, s katero je možno pripraviti prostorske podatke za hidravlično modeliranje s programom HEC-RAS. S pomočjo pridobljenih LIDAR podatkov smo z razširitvijo *3D Analyst* izdelali TIN format, ki ga *HEC-GeoRAS* lahko prebere. V TIN formatu je za hidravlično modeliranje potrebno definirati glavni rečni kanal struge, brežine, prečne profile, linije rečnega toka ter morebitne mostove ali druge ovire. Te podatke s pomočjo *HEC-GeoRAS* prenesemo v HEC-RAS, v katerem dodamo hidravlične podatke, ki nam opišejo npr. še hidravlične robne pogoje ipd. in opravimo izračun. Rezultate prvotno analiziramo s programom HEC-RAS, ter jih nato uvozimo nazaj v *HEC-GeoRAS*, saj nam ta natančneje prikaže izris rečnega sistema in prikaz poplavnih območij v 3D. Kot rezultat dobimo tudi potek vodne gladine in podatke o hitrosti vode, s katerimi je možno določiti karte poplavnih območij in predvidevati kakšen bo potek poplavnih tokov. S pomočjo razširitve *Spatial Analyst* lahko izrišemo še globino vode (izobate), izris linij hitrosti vode (izotahe) in oblikujemo histograme. (Rak, 2006)

3.3 Določanje odtoka v vodotok iz obravnavanega območja ali modeliranje s programom HEC-RAS

Pod okriljem ameriške vojske je bil v Hidrološkem inženirskem centru razvit računalniški program HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), ki je dostopen od leta 1995. Izdelan je za modeliranje enodimenzionalnih stalnih neenakomernih in enakomernih tokov, eno in dvodimenzionalnih nestalnih tokov, za izračun transporta sedimentov in spreminjanje temperature vode. Z njim lahko analiziramo tudi kakšen vpliv imajo različni objekti na vodotok, kot na primer mostovi, kanali, nasipi in prepusti. Pri izdelavi hidravličnega modela je pomemben parameter Manningov koeficient, s katerim ponazorimo vpliv rastja in razmere na rečnem dnu. Pri diplomski nalogi je bila uporabljena verzija 5.0.1, ki je tudi zadnja izdelana verzija. Z uporabo programa in hidravličnega modela pridobimo kot rezultat podatke o prečnih profilih, prepustih, krivuljah pretokov, mostovih, nivojev gladine vode in o energijski izgubi. Vsi ti podatki so lahko prikazani v grafični obliki ali v tabelah.



Slika 10: Primer prikaza nekaterih podatkov s programom HEC-RAS. (vir: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/> pridobljeno 12. 7. 2016.)

Predpostavke na podlagi katerih je HEC-RAS zasnovan (Pranjić, 2008):

- stalen tok,
- enodimenzionalen tok,
- postopno spreminjajoči se tok,
- upoštevanje le komponent hitrosti v smeri toka,
- vzdolžni padec vodotoka ne sme biti večji od 10%.

Energijska enačba za tok s prosto gladino je temelj za izračun hidravličnih lastnosti vodotokov:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 \cdot V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (3)$$

kjer velja:

Y_i globina vode

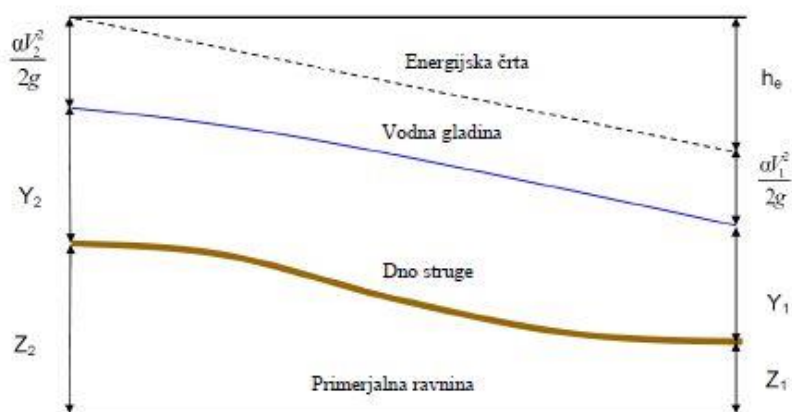
Z_i višina nad primerjalno ravnino

h_e energijske izgube zaradi trenja med obema kontrolnima prerezoma

a_i Coriolisov energijski koeficient

g težnostni pospešek

V_i srednja pretočna hitrost



Slika 11: Prikaz elementov energijske enačbe

Stalni enakomerni tok nastopi takrat, ko so v daljšem časovnem obdobju in v vseh prečnih profilih globina, površina, pretok in hitrost konstantne, ter ko sta vodna gladina in dno struge vzporedni z energijsko črto. Takrat so vzdolžni nakloni enaki in velja (Steinman, 1999):

$$I_E = I_{gl} = I_d = I_0 \quad (4)$$

kjer velja:

I_E naklon energijske črte

I_{gl} naklon vodne gladine

I_d naklon dna kanala

I_0 oznaka za normalni tok

V naravi pa so takšne razmere redke, saj se pojavlja neenakomerni tok. V tem primeru pa iste enačbe uporabljamo na posameznih odsekih med prerezi, kjer se spreminja geometrija vodotoka.

Višinska izguba energije med dvema profiloma se pojavi zaradi trenja in zaradi razširitve oz. zožitve prereza, kar je prikazano v enačbi:

$$h_\varepsilon = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{a_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{a_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \right| \quad (5)$$

kjer velja:

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

Pri zgornji enačbi moramo upoštevati povprečni energijski padec zaradi hrapavosti, ki se izračuna:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (6)$$

kjer velja:

Q pretok

K prevodnost

Prevodnost se izračuna z enačbo:

$$K = \frac{1.486}{n_g} \cdot A \cdot R^{2/3} \quad (7)$$

kjer velja:

n_g Manningov koeficient hrapavosti

A površina prečnega preseka

R hidravlični polmer

Pri izdelavi hidravličnega modela ima velik vpliv na izračunane količine Manningov koeficient hrapavosti. Program HEC-RAS na začetku predpostavi miren režim toka, vendar pravilnost predpostavke preverja za vsak prečni profil s Froudovim številom (Fr). Froudovo število je brezdimenzijska količina, definirana kot razmerje med hitrostjo vodnega toka in hitrostjo širjenja valov in se uporablja za opis tokovnih razmer.

Froudovo število se določi z enačbo:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h_0}} \quad (8)$$

kjer velja:

v srednja pretočna hitrost

h_0 globina vode v prečnem profilu

g težnostni pospešek

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

Kritični tok je nestabilen in pogosto postavlja valovanje med mirnim tokom in deročim tokom. V mirnem toku se tok nadzoruje dolvodno, informacije se pa posredujejo proti toku. Pri deročem toku se pretok kontrolira gorvodno, motnje se pa prenašajo navzdol.

Določanje Manningovega koeficienta n_G je ključnega pomena pri računanju vodotoka. Nič manj pomembna ni določitev točne geometrije same struge vodotoka in padca samega rečnega dna. Pri določitvi naravnega vodotoka moramo upoštevati, da se ta spreminja po odsekih, kar v računskem modelu pomeni večje število spremenljivk. Za računanje števila spremenljivk lahko uporabimo empirično W.H. Shen-ovo enačbo, ki ima obliko:

$$n_G = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (9)$$

Kjer je:

n_0, n_1, n_2, n_3, n_4	material, ki iz katerega je sestavljeno rečno korito oz. rečno dno po presekih.
m	vpliv stopnje meandriranja osi vodotoka.

Manningov koeficient določa hrapavost rečne struge. Hrapavost samega rečnega dna, še posebej pri naravnih vodotokih je lahko zelo variabilna zato je ključnega pomena, da se le ta pravilno oceni. Najbolj točna ocena se opravi na terenu, kjer pa to ni mogoče pa se poslužujemo podatkov iz topografskih kart. Vrednosti, ki definirajo koeficient so pretok, gostota vegetacije, hrapavost brežin, naravne in umetne prepreke, temperatura, višina vodostaja itd.

$$\bar{u} = \frac{1}{n_g} \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{I_0} \quad (10)$$

Kjer je:

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

Največji vpliv na hrapavost ima sama sestava dna vodotoka oz. rečnega kanala. Le ta je sestavljen iz različnega tipa zrnivosti materiala. Manjša kot je zrnavost materiala, manjši je vpliv na sam koeficient. Večja kot je zrnavost, večji je vpliv. V primerih, kjer je visok vodostaj in majhna zrnavost materiala (npr. prod, pesek) pa nastane vodni film oz. mejna plast, zaradi česar lahko zanemarimo vpliv podlage. Pri nizkem vodostaju in visoki zrnivosti materiala pa dobimo visoko vrednost Manningovega koeficienta hrapavosti, saj se agregat zbira na rečnem dnu in predstavlja veliko oviro. Vrednosti Manningovih koeficientov hrapavosti so predstavljene v prilogi A, B in C.

Robni pogoji

Za vzpostavitev začetne globine vodnega rečnega sistema so potrebni robni pogoji. Z začetno gladino vode lahko program izvede izračun gladin. Robni pogoji se določijo glede na režim toka vode. Za mirni vodni tok je potrebno določiti spodnji robni pogoj, za deroči vodni tok zgornji robni pogoj in za mešani vodni tok oba robna pogoja. V naši diplomski nalogi smo predpostavili, da gre za mirni tok, za katerega je potreben spodnji robni pogoj. V programskem orodju HEC-RAS so možni štirje tipi robnih pogojev:

- *Znana višina vodne gladine:* potrebno je vnesti višino gladine vode na določenem profilu.
- *Kritična globina:* v primeru, da izberemo ta robni pogoj je to zadostni podatek, saj na podlagi tega program izračuna kritično globino za vsak profil in to uporabi kot robni pogoj.
- *Normalna globina:* potrebno je vnesti naklon energijske črte, na podlagi katerega se bo za vsak prečni profil izračunala normalna globina.
- *H/Q krivulja:* pri tem robnem pogojju je potrebno določiti podatke za krivuljo, na kateri je predstavljena odvisnost višine od pretoka. Na podlagi teh podatkov se dobijo višine vodne gladine za vsak profil.

Z uvozom podatkov iz programa ArcGIS v program HEC-RAS se naše hidravlično modeliranje v HEC-RAS-u začne. Potrebno je pregledati vse prečne profile, saj ima program napako pri risanju višine vode v koritu, zato je potrebno določiti ob brežinah tudi točke višin nasipov. Določiti je potrebno lego in dolžino mostu, ki močno vpliva na poplavljanje vodotoka. Z izbiro pravega Manningovega koeficienta, robnega pogoja ter določitvijo pretoka vodotoka lahko zaženemo hidravlične izračune, ki nam pokaže kam in v kolikšni meri se vode razlivajo. Nato te podatke prenesemo nazaj v HEC-GeoRas, ki prikaže poplavne površine na digitalnem modelu terena.

4 OPIS OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

4.1 Naselje Podgrad pri Ljubljani

Naselje Podgrad pri Ljubljani leži na vzhodnem delu ljubljanske kotline ob vznožju Posavskega hribovja, z leve strani ga obdaja hrib Grad ter z desne strani hriba Lazar in Murjevka. Skozi naselje vodi Podgrajska cesta, ob vznožju hriba Grad ter večji del vzporedno s cesto pa leži vodotok Besnica. Potok Besnica se nato izliva v reko Ljubljanico, katera se kmalu zlije v reko Savo. Obravnavano naselje leži na nadmorski višini 275,2 m n.m., njeno skupno število prebivalstva je 263, gostota prebivalstva je 65 preb/km² ter njena površina znaša 4,07 km². Glede na lego naselja Podgrad obstaja največja verjetnost, da pride do poplavljanja zaradi zalednih voda ob Podgrajski cesti.



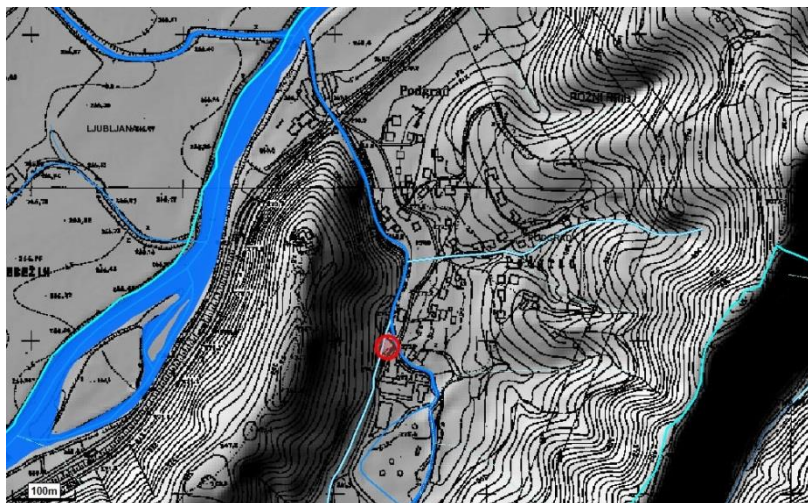
Slika 12: Območje naselja Podgrad

Vodotok Besnica je največji vodotok med malimi vodnimi tokovi v vzhodnem delu ljubljanske mestne občine in drugi največji hudournik. Porečje vodotoka je podolgovato, katerega poleg glavnega potoka sestavljajo še številne kratke in strme grape. Zaradi oblike porečja se lahko ob intenzivnih padavinah zbere velika količina vode, katera lahko povzroči poplave. Kamninska podlaga naselja Podgrad in njegove okolice je v večjem delu sestavljena iz neprepustnih skrilavih glinovcov in kremenovih peščenjakov. V sedANJI pokrajini je vidno, da prihaja pogosto do poplavljanja, saj je poplavam izpostavljeno dolinsko dno ostalo večinoma neposeljeno. Del poti teče potok po izrazitem naravnem nasipu, iz česar je razviden močan vpliv geografskih procesov in hudourniška narava vodotoka (Natek, 2011).

Zaledne vode se v naselje Podgrad zbirajo v večjem delu iz zahodne strani hriba Lazar in Murjevka. Eno izmed območji, ki je v nevarnosti pred poplavami iz vodotoka, leži na koncu naselja na skoraj najnižji točki in na njem stoji tudi poslovni objekt in sicer gre za podjetje Arbo barve d.o.o., v katerem se ukvarjajo s proizvodnjo barv, lakov in podobnih premazov ter kitov. Podjetje leži na 272,9 m n.m., poleg se pa cesta spusti tudi na 272,7 m n.m., vendar je med objektom in cesto visoka betonska ograja, ki zadržuje vode. Konfiguracija terena se proti hribu Lazar hitro dviguje in tako se lahko voda ob večjih nalivih hitro začne zadrževati na dvorišču objekta.

Obravnava območje, ki leži na začetku naselja Podgrad in zajema približno 10 hiš, je v nevarnosti pred poplavami zalednih voda. Ena nižjih točk obravnavanega območja leži na 270,7 m n.m., in kljub temu, da je med njo in železniško progo travnik, ki leži približno 1 meter nižje in lahko deluje kot zadrževalnik, je to območje lahko poplavljen zaradi zalednih voda.

Iz spodnje slike je med drugim razvidno, da skozi naselje iz hribov teče potok, ki se izoblikuje ob večjih nalivih in v katerega se zbirajo zaledne vode. Takrat ta potok močno vpliva na stanje vodotoka Besnica ter možnost poplavljanja naselja Podgrad. Dotok vode iz potoka v vodotok Besnica bi lahko omejili, če bi bila pred izlivom možnost zajezebe.



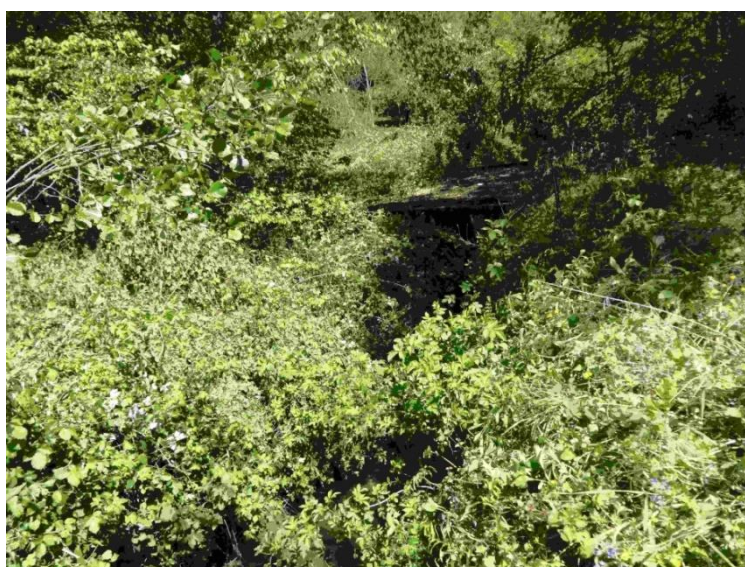
Slika 13: Prikaz digitalnega modela reliefa in osi vodotokov
(vir: ARSO, Atlas okolja)

Na podlagi Pravilnika ([Uradni list RS št. 60/2007](#)) naselje Podgrad spada v razred majhne ranljivosti glede na gostoto prebivalstva. Iz poplavnih kart nevarnosti, katere so objavljene na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) (Slika 14), je razvidno da večji del obravnavanega območja ob vodotoku spada v območje razreda majhne poplavne nevarnosti (obarvano s poševno šrafuro rumene barve). Na podlagi že omenjenega razreda nevarnosti in ranljivosti za obravnavano območje, lahko ugotovimo, da območje spada v majhen razred ogroženosti.



Slika 14: Prikaz razreda majhne poplavne nevarnosti poplavljanja vodotoka
(Vir ARSO, Atlas okolja)

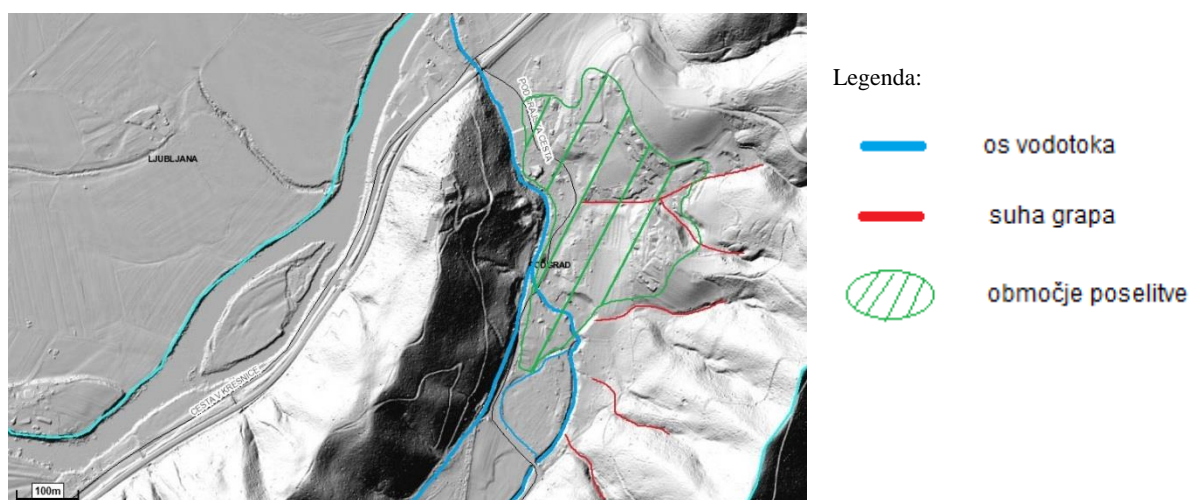
Kako hitro bodo zaledne vode odtekle oziroma kako dolgo se bodo zadržale na območju naselja Podgrad je delno odvisno od vodotoka Besnica, vodostaj katerega ob padavinah naraste zaradi tuje vode, katere se zbirajo izven obravnavanega območja vendar dotekajo po rečnih koritih, ter lastne vode, ki nastanejo iz padavin, katere padejo na obravnavano območje. (Kozelj, 2008) Do počasnejšega odtekanja zalednih voda lahko pride tudi zaradi zamašitve prepustov, kar bi povzročilo višanje vodne gladine gorvodno in ob večjih nalivih pojav visokih voda, ki lahko poplavijo kleti, pritličja itd.



Slika 15: Vodotok Besnica (foto: M. Lang)

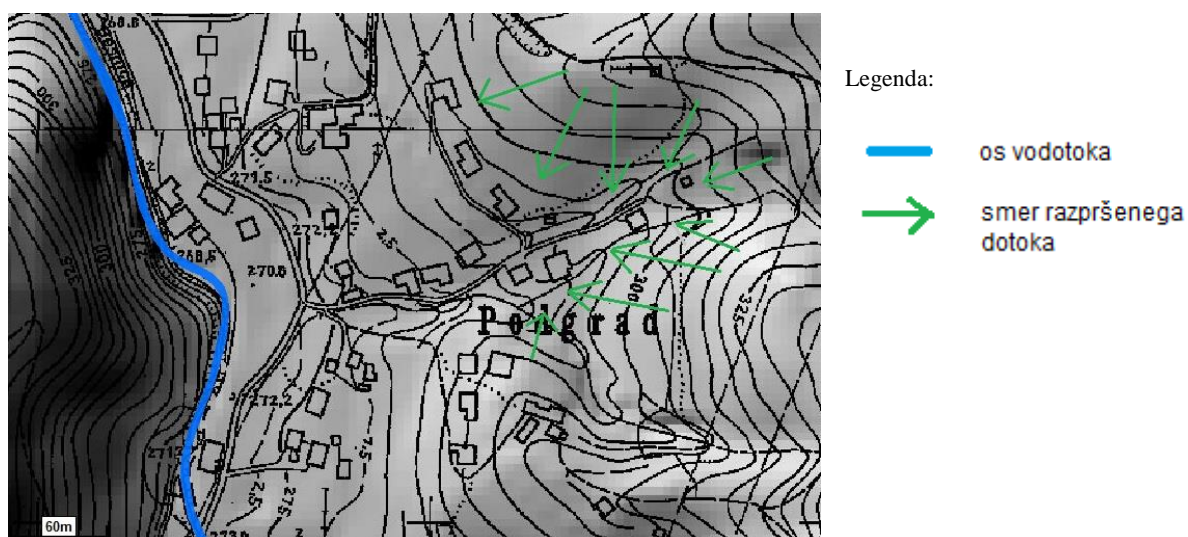
4.2 Značilne razmere ob poplavi zalednih voda

Poplave zaradi zalednih voda se pojavijo ob kratkotrajnih in intenzivnih padavinah. Zaledne vode se zbirajo izven obravnavanega območja in iz zalednih površin dotekajo razpršeno. Pritekajo lahko tudi po suhih grapah, ki jih je na našem območju kar nekaj in so prikazane z rdečo črto spodaj na Slika 16.



Slika 16: Prikaz reliefa izdelanega s podatki merjenimi s tehnologijo LIDAR ter vris suhih grap z rdečo črto

V naselje Podgrad lahko zaledne vode dotekajo tudi po padnicah, ki so z zelenimi črtami vrisane v Slika 17.



Slika 17: Prikaz reliefa izdelanega s podatki merjenimi s tehnologijo LIDAR ter vris razpršenega dotoka z zeleno črto

Natek (2011) podaja podatke vrednosti pretoka vode $Q(20)$ in $Q(100)$, tudi za vodotok Besnica. Pretok vodotoka Besnica $Q(20) = 35,25 \text{ m}^3/\text{s}$, to je vrednost pretoka vode, ki je v določenem letu lahko dosežen ali presežen z verjetnostjo 5%. Pretok $Q(100) = 97,56 \text{ m}^3/\text{s}$, to je vrednost pretoka vode, ki je v določenem letu lahko dosežen ali presežen z verjetnostjo 1%. Na podlagi podatkov o mejah območij poplavne nevarnosti tudi pri pretoku $Q(100)$, se prikažejo območja poplavne in erozijske nevarnosti ob tekočih vodah v grafični obliki na kartah poplavne in erozijske nevarnosti. Iz omenjenih kart, ki so objavljene na spletnih straneh ARSO, lahko odčitamo, da obravnavano območje spada v razred majhne poplavne nevarnosti. Podatek o razredu poplavne nevarnosti in ranljivosti nam povesta, da spada območje v razred majhne poplavne ogroženosti. Kljub temu, da ogroženosti ni velika, se je potrebno na možen dogodek čim bolj pripraviti.

Kratkotrajni nalivi se najpogosteje pojavljajo v topli polovici leta, skupaj s plohami in nevihtami. Lahko pride tudi do izredno močnih nalivov, ki običajno trajajo kratek čas. Redko se zgodi, da bi takšne padavine trajale več ur. V eni uri lahko količina padavin, ki pade na območje, preseže tudi 50 mm. V urbaniziranih območjih se najbolj poznajo učinki kratkotrajnih močnih nalivov, saj asfaltirane, tlakovane in utrjene površine ne infiltrirajo vode, temveč po njih voda hitro odteka. Zamašijo se lahko odtoki, prepusti in kanalizacija, saj so njihove dimenzije omejene, objekti so pa kot ovire odtekajoči vodi, zato se ob njih akumulira največ erodiranega materiala. (Natek, 2011)



Slika 18: Cestni in železniški prepust
(foto: M. Lang)

Ko začne voda dotekati v urbanizirano območje, po že zgoraj omenjenih padnicah in suhih grapah, pride pri odtoku zaledne vode do ovir v prostoru, kot so vrtno ograje, ceste in objekti. Pri odtoku

zaledne vode nastane problem tudi pri slabi infiltraciji padavin, saj je vedno večji del območja pozidan, zato se padavine ne morejo infiltrirati in odtečejo v nižje ležeče predele naselja. Del zaledne vode odteče po zgrajeni kanalizaciji, ki omogoča pretok lastnih voda od Q2 do Q5 in lahko vpliva na spodnje robne pogoje, delno po površini cestišč in obcestnih jarkih ter kanaletah.

Eno izmed najhitreje poplavljenih območij je območje, kjer se nahaja podjetje Arbo d.o.o., saj leži na eni najnižjih točk v naselju Podgrad. Podjetje je delno obdano z visoko betonsko ograjo, ki dobro zajezí vode, katere se potem zbirajo na njihovem dvorišču. Do nevarnosti poplavljanja pride tudi, ko se zalednim vodam pridružijo še lastne in tuje vode, katere povzročijo poplavljanje vodotoka in tako ogrožajo vse nižje ležeče hiše ob vodotoku. Ker gre za hudourniški vodotok, lahko poleg voda s seboj nosi še drug material, s katerim lahko pride celo do zamašitev prepustov, kar povzroči še večje poplavljanje gorvodno in poplavljanje kletnih prostorov.

Kljub današnji tehnologiji se dostikrat zgodi, da nas poplave še vedno presenetijo. Zato, da bi bilo takšnih presenečenj čim manj, je potrebna dobra ozaveščenost ljudi ter učinkovito varstvo pred poplavami s protipoplavnimi ukrepi, kot so izgradnja primerne protipoplavne infrastrukture, katerih investitorji in upravljalci so Republika Slovenija ali lokalna skupnost. Za učinkovito zaščito ni vedno zadolžena samo država oz. lokalna skupnost, temveč je potrebno ukrepati tudi skupinsko ali se zaščititi individualno, o čemer je več opisano v naslednjem poglavju.

4.3 Priprava podatkov

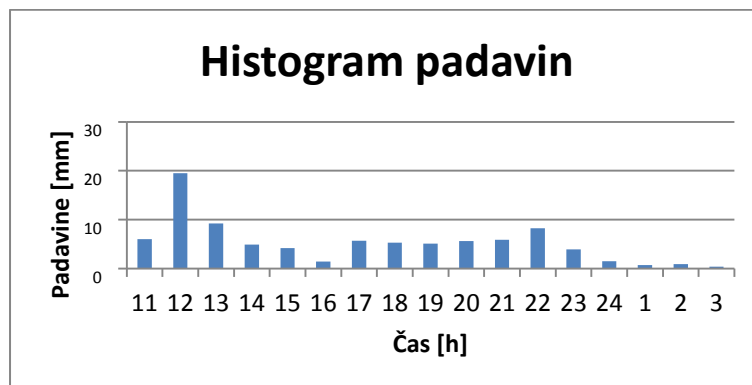
4.3.1 Določanje površinskega dotoka na obravnavano območje

Za izdelavo hidrološkega modela naselja Podgrad, smo vključili vodotok Besnica in sicer del vodotoka, ki teče mimo naselja ter celotno naselje Podgrad. Obravnavano naselje je majhno, zato je težko pridobiti vse potrebne podatke za določanje površinskega dotoka. Ker naselje Podgrad nima svoje meteorološke postaje, smo v ta namen privzeli najbližjo meteorološko postajo, to je meteorološka postaja Ljubljana Bežigrad. Pridobili smo enourne padavinske podatke za mesec junij v letu 2015, ki so prikazani v spodnji tabeli.

Preglednica 3: Padavinski podatki iz meteorološke postaje Ljubljana Bežigrad

datum	ura	višina padavin [mm]
23.6.2015	11	6
23.6.2015	12	19,5
23.6.2015	13	9,2
23.6.2015	14	4,9
23.6.2015	15	4,2
23.6.2015	16	1,4
23.6.2015	17	5,7
23.6.2015	18	5,3
23.6.2015	19	5,1
23.6.2015	20	5,6
23.6.2015	21	5,9
23.6.2015	22	8,2
23.6.2015	23	3,9
23.6.2015	24	1,5
24.6.2015	1	0,7
24.6.2015	2	0,9
24.6.2015	3	0,4

Intenziteta padavin v odvisnosti od časa se prikaže kot histogram padavin (Slika 19). Kot padavine so upoštevane efektivne padavine, to so padavine, ki padejo na površje in odtečejo s površja.

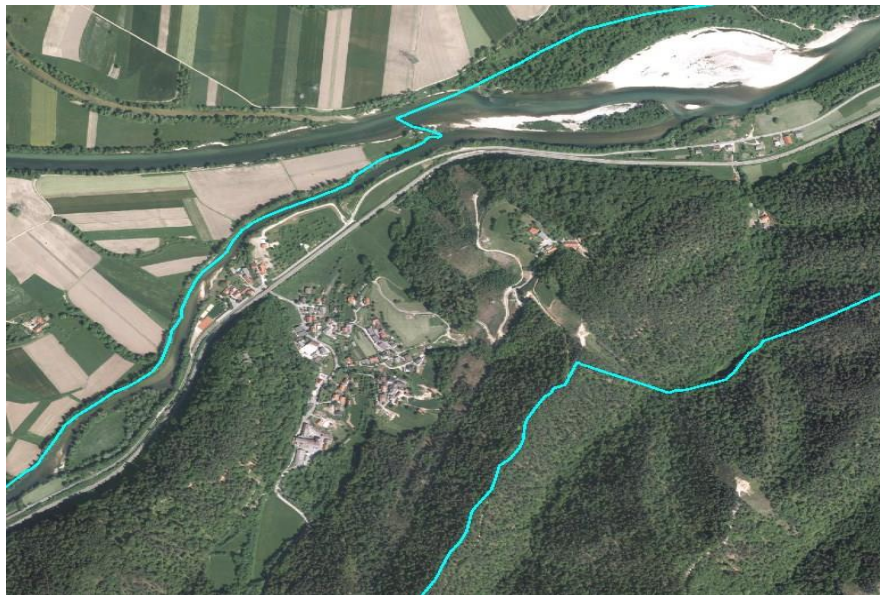


Slika 19: Histogram padavin upoštevanih za obravnavano območje

Pri izračunu površinskega dotoka zalednih voda smo uporabili podatek, da je površina iz katere se zbirajo zaledne vode v velikosti 3,33 km². Kamninska podlaga naselja Podgrad in bližnje okolice je iz neprepustnih skrilavih glinavcev in kremenovih peščenjakov, na podlagi katerega smo se odločili za odtočni potencial C, ki ima stopnjo izgub med 1,3 in 3,85 mm/hr. Višinska razlika povodja je kar 37,8m, zaradi česar je padec povodja visok. Na podlagi podatkov in izbranega Snyderjevega hidrograma enote (HE) smo v programu HEC-HMS izdelali model in izračunali kakšen je površinski dotok na obravnavano območje.

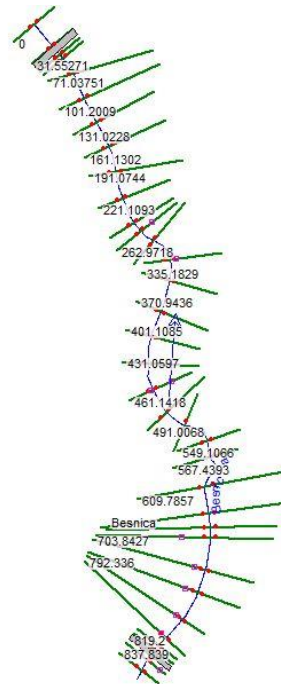
4.3.2 Modeliranje površinskega odtoka

Pri izdelavi hidravličnega modela je potrebno zbrati in obdelati prostorske in hidravlične podatke. Pri prostorskih podatkih gre za podatke GIS določenega območja z izdelavo digitalnega modela. V našem primeru smo za izdelavo digitalnega modela terena uporabili točke, katere so bile izmerjene s sodobno tehnologijo LIDAR (Slika 20) , po listih v projekciji D48GK. S to tehnologijo smo pridobili podatke X, Y in Z koordinatnih točk terena. V diplomu smo obravnavali vodotok Besnica in sicer del vodotoka, ki teče mimo naselja Podgrad pri Ljubljani. Podatke LIDAR smo nato prenesli v program ArcMap, v katerem smo iz teh podatkov naredili TIN, na podlagi smo izdelali hidravlični model. Najprej smo v situacijo vrisali os vodotoka in ga poimenovali. Os vodotoka smo vrisali v sredino korita ter v dolvodni smeri. Vrisati je bilo potrebno tudi brežine ter določiti levi in desni breg, ter glavni kanal.



Slika 20: Naselje Podgrad z okolico je posneto z Lidar sistemom. (vir: ARSO, Atlas okolja)

Med hidravlične podatke štejemo podatke o prečnih profilih in geometriji mostov, podatke koeficientov izgub ter podatke o pretokih vodotoka in njenih robnih pogojih. Prečne profile je potrebno razporediti na dovolj majhni medsebojni razdalji ter v primeru mostu, zelo blizu mostu dolvodno in gorvodno, saj lahko močno vpliva na hidravlične lastnosti. Prečni profili so pravokotni na os vodotoka in se med seboj ne smejo sekati. Paziti je potrebno, da zajamejo vse spremembe poteka osi, prečnih prereзов, vzdolžnih nagibov in spremembe hrapavosti.



Slika 21: Prečni profili našega hidravličnega modela, pravokotni na os vodotoka

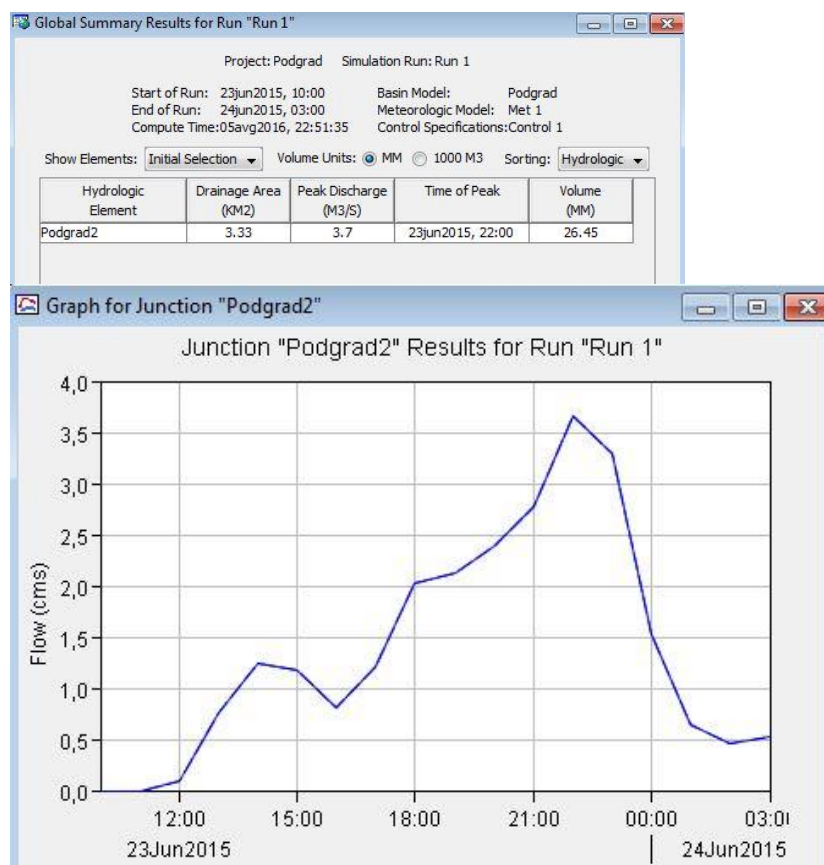
Spodnji robni pogoj določa reka Ljubljanica pri višjih visokih vodah, pri nižjih pa razmere v prepustu, ki je prikazan na sliki 18.

5 IZRAČUNI IN REZULTATI OBRAVNAVANEGA OBMOČJA

V tem delu diplomske naloge bodo prikazani izračuni za dotoke zalednih voda, poplavna območja vodotoka Besnice ter različni scenariji. V teh scenarijih bomo poskušali ugotoviti kako sovplivajo dotoki zalednih voda in vpliv gladine vode v reki Besnici.

5.1 Izračun dotoka zalednih voda

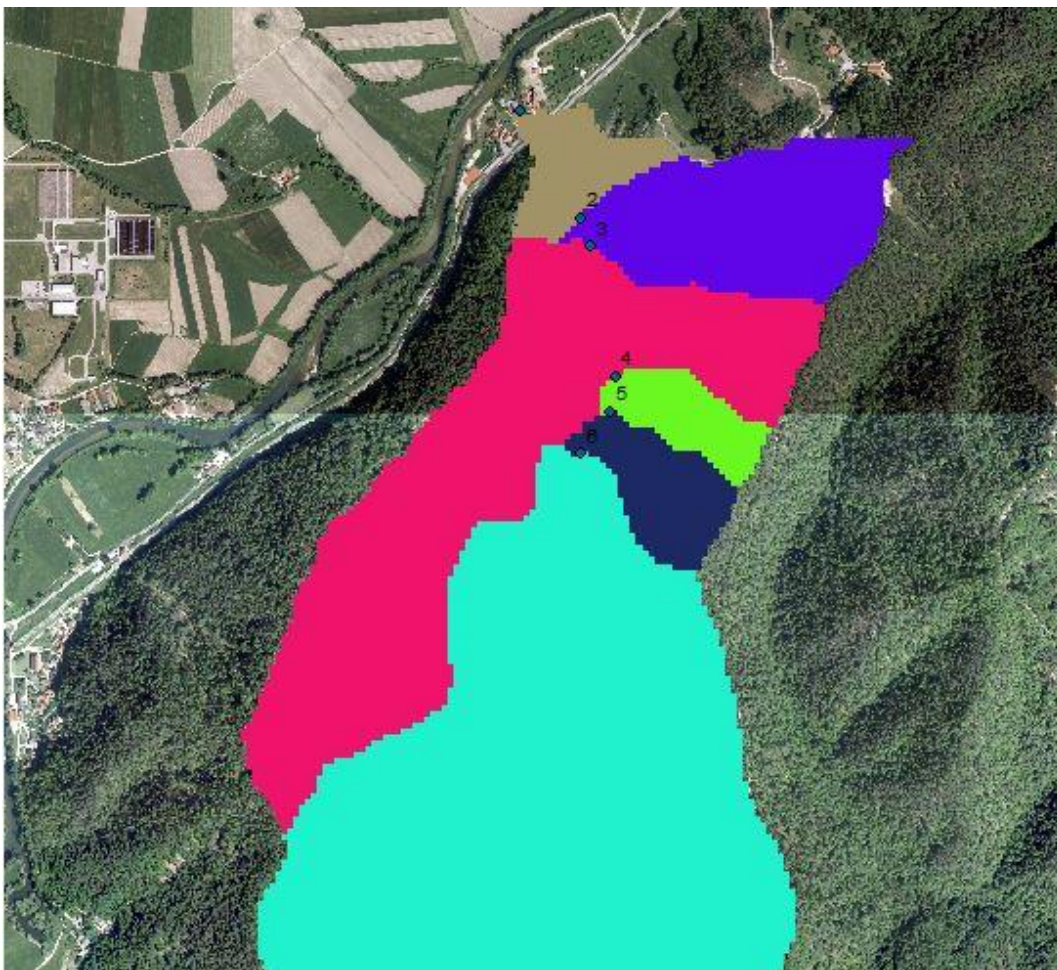
Izvedli smo izračun dotoka zalednih voda na obravnavano območje s pomočjo programa HEC-HMS. Določili smo velikost območja s katerega se vode zbirajo, ter pridobili podatke o padavinah. S pomočjo izbire prave metode smo določili odtok vode s tega določenega območja, ki znaša 3,7 m³/s. Iz rezultatov je tudi možno razbrati, kdaj je pri obravnavanem padavinskem dogodku pretok največji, in sicer je to prvi dan ob 22:00 (Slika 22).



Slika 22: Rezultati izračunov s programom HEC-HMS

Pritok zalednih voda je na območje naselja razmeroma majhen. Da bi ugotovili kje se te vode izlivajo v vodotok Besnico, smo celotni vodotok razdelili na posamezne prispevne površine. Kot kriterij smo za prvo in zadnjo točko določili začetek in konec obravnavanega območja (naselja Podgrad pri

Ljubljani), ter vmesne točke, ki določajo prispevne površine za vsako suho grapo posebej. Na sliki (Slika 23) so prikazana razdeljena območja na podlagi ortofoto posnetka.



Slika 23: Povodje potoka Besnica razdeljeno na različne prispevne površine glede na dotok v Besnico

Prispevne površine, ki so na območju naselja Podgrad pri Ljubljani so zelo majhne v primerjavi s celotno prispevno površino vodotoka Besnica, vsega skupaj samo dobre 3 procente. Kar pomeni da padavine na tem območju nimajo velikega vpliva na pretok v vodotoku Besnica, lahko pa vplivajo lokalno na razmere v naselju.

Preglednica 4: Prikaz velikosti prispevnih površin vodotoka Besnica

točka	A [m ²]	%
1	54062.5	0.23
2	170000	0.72
3	445625	1.90
4	45781.3	0.19
5	61250	0.26
6	22705900	96.69
skupna površina =	23482618.8	100

5.2 Izračun poplavnega območja za različne razmere v vodotoku Besnica

Izdelavo hidravličnega modela smo začeli s programom ArcMap, ki je eden izmed orodij programa ESRI ArcGis. Na podlagi LIDAR tehnologije smo pridobili x, y in z koordinate iz katerim smo izrisali digitalni model terena. Na njem smo izdelali geometrijo rečnega korita, katero smo prenesli v hidravlično orodje HEC-RAS. Z ureditvijo prečnih profilov, določitvijo Manningovega koeficienta hrapavosti ter robnih pogojev smo model že skoraj pripravili. Določiti je potrebno še pretok vodotoka, za katerega imamo le dva podatka in sicer $Q(20)$, ki je $35,25 \text{ m}^3/\text{s}$ in $Q(100)$, ki je $97,56 \text{ m}^3/\text{s}$. Predpostavimo, da gre za pretoke, ki so določeni na vodotoku Besnica tik pred izlivom v reko Ljubljano. V posameznih poplavnih scenarijih zanemarimo evapotranspiracijo ter predpostavimo, da odtok po kanalizaciji ni možen.

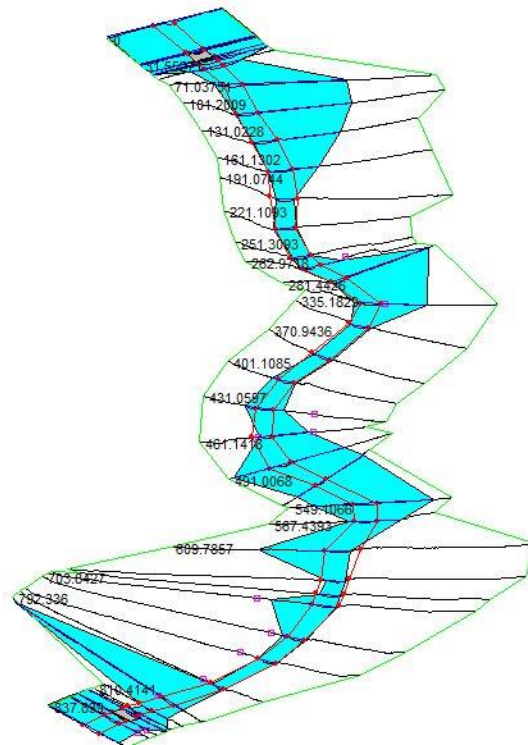
5.2.1 Poplavni scenarij 1

V prvem scenariju predpostavimo, da je pretok v vodotoku Besnica z 20 letno povratno dobo, torej znaša tik pred iztokom v reko Ljubljano $35,25 \text{ m}^3/\text{s}$, ter da Ljubljana ni zajezena s strani vodotoka Save. Glede na določene točke in njihove prispevne površine smo izračunali pretoke v točkah, ki znašajo:

Preglednica 5: Pretoki $Q(20)$ v posameznih točkah

točka	pretok $Q(20)$ [m^3/s]
1	35.25
2	35.17
3	34.91
4	34.24
5	34.18
6	34.08

Pretok se v delu obravnavanega območja zelo malo spremeni, kar pomeni, da tudi količine zaledne vode nimajo velikega vpliva na vodotok. Izdelali smo hidravlični model za prvi poplavni scenarij in pridobili naslednje rezultate:



Slika 24: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku $Q(20)$.



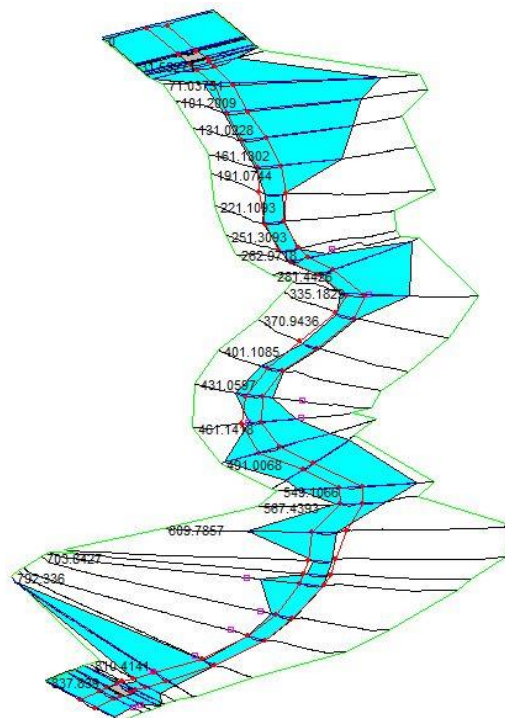
Slika 25: Prikaz obsega poplavljanja vodotoka Besnice pri pretoku $Q(20)$ na ortofoto posnetku

Pred izdelavo hidravličnega modela smo predvidevali, da sta na obravnavanem območju naselja Podgrad pri Ljubljani v največji nevarnosti pred poplavami in zalednimi vodami dve območji objektov. Eno izmed teh območij je v začetku naselja, obsega približno 10 hiš in so stanovanjske hiše

tukaj na najnižji točki celotnega naselja. Drugo je pa območje podjetja Arbo d.o.o.. Po izdelanem prvem poplavnem scenariju lahko vidimo, da za ti dve območji ni večjih nevarnosti, edino na dvorišču podjetja Arbo d.o.o. voda že začenja prestopat bregove.

5.2.2 Poplavni scenarij 2

V drugem poplavnem scenariju prav tako predpostavimo, da je pretok tik pred iztekom v reko Ljubljanico z 20 letno povratno dobo, vendar da je Ljubljanica zajezena zaradi velikih pretokov reke Save. Zaradi česar predpostavimo, da se pretok v Besnici dvigne za en meter. V prejšnjem poplavnem scenariju smo pridobili podatek, da je višina gladine v prvi točki 268,42 m n.m., torej zdaj kot spodnji robni pogoj v programu HEC-RAS upoštevamo višino gladine 269,42 m n.m.. S pomočjo že omenjenega programskega orodja in pridobljenih podatkov smo izračunali novo območje poplavljanja.



Slika 26: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku $Q(20)$ in poplavljanju s strani Save.

Če izračune iz programa HEC-RAS s pomočjo HEC-GeoRAS prenesemo v GIS orodje, lahko izdelamo prikaz poplavljenih območij na ortofoto podlagi.



Slika 27: Prikaz obsega poplavljanja vodotoka Besnice pri pretoku $Q(20)$ in poplavljanju s strani Save na ortofoto podlagi

Tudi v drugem poplavnem scenariju ni večjih razlik pri že prej omenjenih območjih. Sta pa v nevarnosti pred poplavami drugi dve območji, in sicer nekaj hiš, ki ležijo na drugi strani vodotoka, kot podjetje Arbo d.o.o., ter posestvo, ki leži med vodotokom in glavno cesto približno na sredini naselja Podgrad pri Ljubljani.

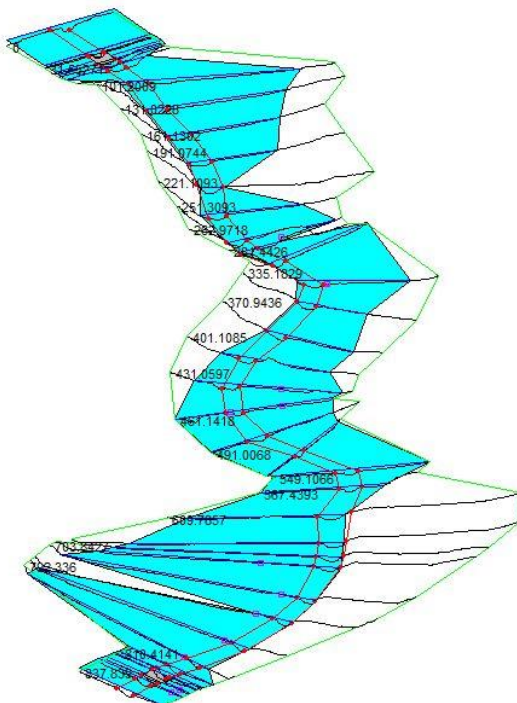
5.2.3 Poplavni scenarij 3

Pri poplavnem tretjem scenariju predpostavimo, da je pretok v vodotoku Besnica s 100 letno povratno dobo, torej znaša tik pred iztokom v reko Ljubljanico $97,56 \text{ m}^3/\text{s}$, ter da ni zaježitve s strani Save. Glede na določene točke in njihove prispevne površine smo izračunali pretoke v točkah, ki znašajo:

Preglednica 6: Pretoki $Q(100)$ v posameznih točkah

točka	$Q_{100} [\text{m}^3/\text{s}]$
1	97.56
2	97.34
3	96.63
4	94.78
5	94.59
6	94.33

Hidravlični model v programskem orodju HEC-RAS s pretokom $Q(100)$ zгледа sledeče:



Slika 28: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku $Q(100)$.



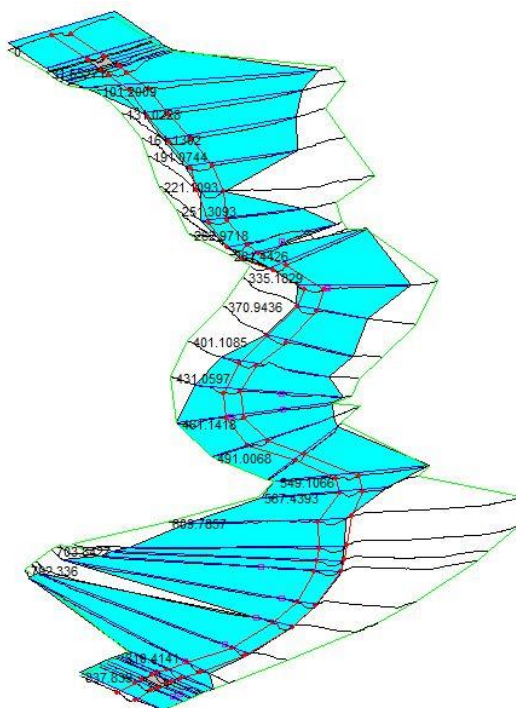
Slika 29: Prikaz obsega poplavljanja reke Besnice pri pretoku $Q(100)$ na ortofoto podlagi.

V primeri, da iz programa HEC-RAS s pomočjo HEC-GeoRAS prenesemo v GIS orodje, lahko na ortofoto podlagi izdelamo prikaz poplavljenih območij.

Višji pretoki v vodotoku po navadi pomenijo tudi večjo nevarnost pred poplavami. Prav tako je tudi v našem primeru, ko v primerjavi s prejšnjima dvema scenarijema, poplavni scenarij 3 prikazuje veliko večjo poplavljenost. Območje stanovanjskih hiš na začetku naselja je še vedno varno, vendar se poplavne vode vztrajno bližajo. Poplave so v večjem delu dosegle podjetje Arbo d.o.o. ter celoten del naselja, ki leži med vodotokom Besnica in glavno cesto skozi naselje Podgrad pri Ljubljani.

5.2.4 Poplavni scenarij 4

Zadnji poplavni scenarij v moji diplomski nalogi ima predpostavljen pretok s 100 letno povratno dobo, ter s predpostavljenim vplivom (zaježbo) s strani Save, zaradi česar zvišamo nivo vode za en meter. V hidravličnem modelu, ki smo ga izdelali za poplavni scenarij 3, smo pridobili podatek, da je nivo gladine v točki ena 269,46 m n.m., torej zdaj kot spodnji robni pogoj v tej isti točki določimo višino gladine 270,46 m n.m.. Novo območje poplavljanja je prikazano na spodnjih slikah.



Slika 30: Prikaz hidravličnega modela s programom HEC-RAS pri pretoku $Q(100)$ in poplavljanju s strani Save.

Če izračune iz programa HEC-RAS s pomočjo HEC-GeoRAS prenesemo v GIS orodje, lahko izdelamo prikaz poplavljenih območij na ortofoto podlagi.



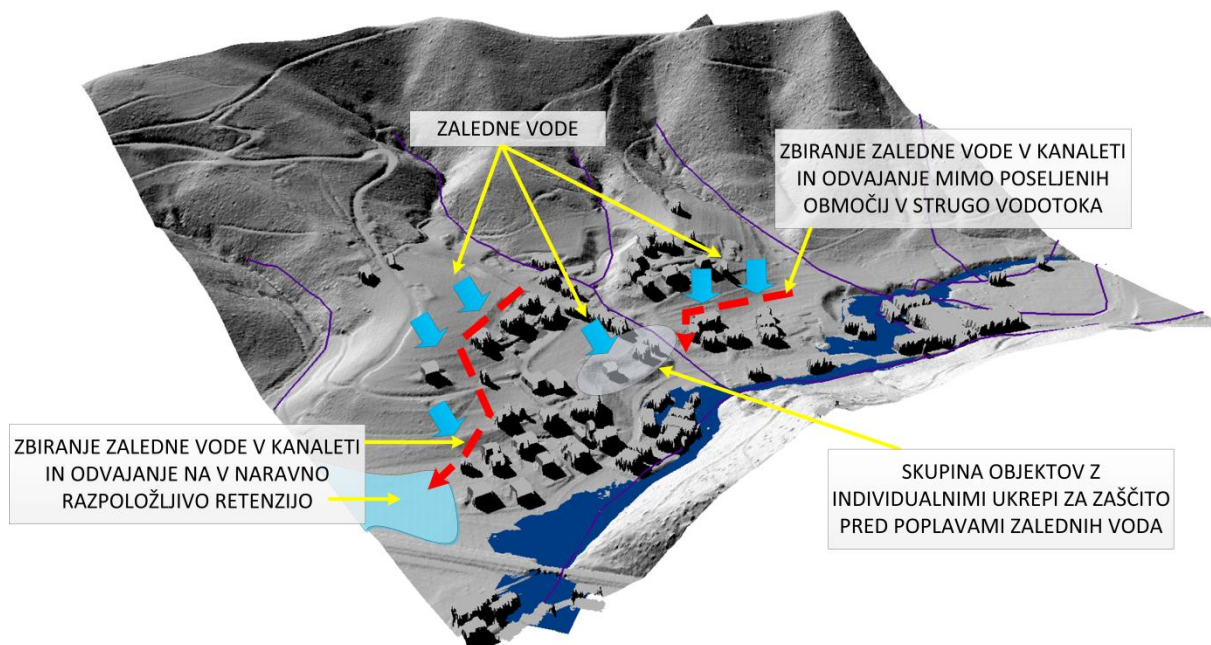
Slika 31: Prikaz obsega poplavljanja reke Besnice pri pretoku $Q(100)$ in poplavljanju s strani Save na ortofoto podlagi.

Kljub temu da gre za poplavljanje s strani Savi in smo predvidevali, da se dvig nivoja vodotoka dvigne za en meter, se poplavno območje v primerjavi s poplavnim scenarijem 3 ne spremeni, razen pri območju hiš, ki ležijo na začetku naselja. Tam pa pride do poplavljanja ene izmed hiš tega območja.

Seveda so možni še drugi scenariji – precej verjeten je primer, ko bi se prepust (slika 18) zamašil s plavjem in bi prišlo do poplavljanja potoka Besnice gorvodno.

5.3 Poplavna nevarnost zaradi zalednih voda

Tekom izdelave diplomske naloge in hidravličnega modela smo prišli do ugotovitev, da zaledne vode v naselju Podgrad pri Ljubljani nimajo zelo velikega vpliva na poplavljanje obravnavanega območja s strani potoka Besnice. Vendar pa kljub temu zaledne vode prispevajo svoj delež in z dotokom iz bližnjih brežin lahko lokalno vplivajo na poplavna območja. V prejšnjih poglavjih so predstavljena območja, ki se poplavlja v večjem delu zaradi vodotoka Besnica. Kadar vodotok poplavlja, zaledne vode težko odtečejo in se še v večji meri zadržujejo na obravnavanem območju. Da bi dotok zalednih voda na obravnavano območje zmanjšali oziroma, da bi zmanjšali poplavno ogroženost objektov je potrebno uvesti določene protipoplavne ukrepe.



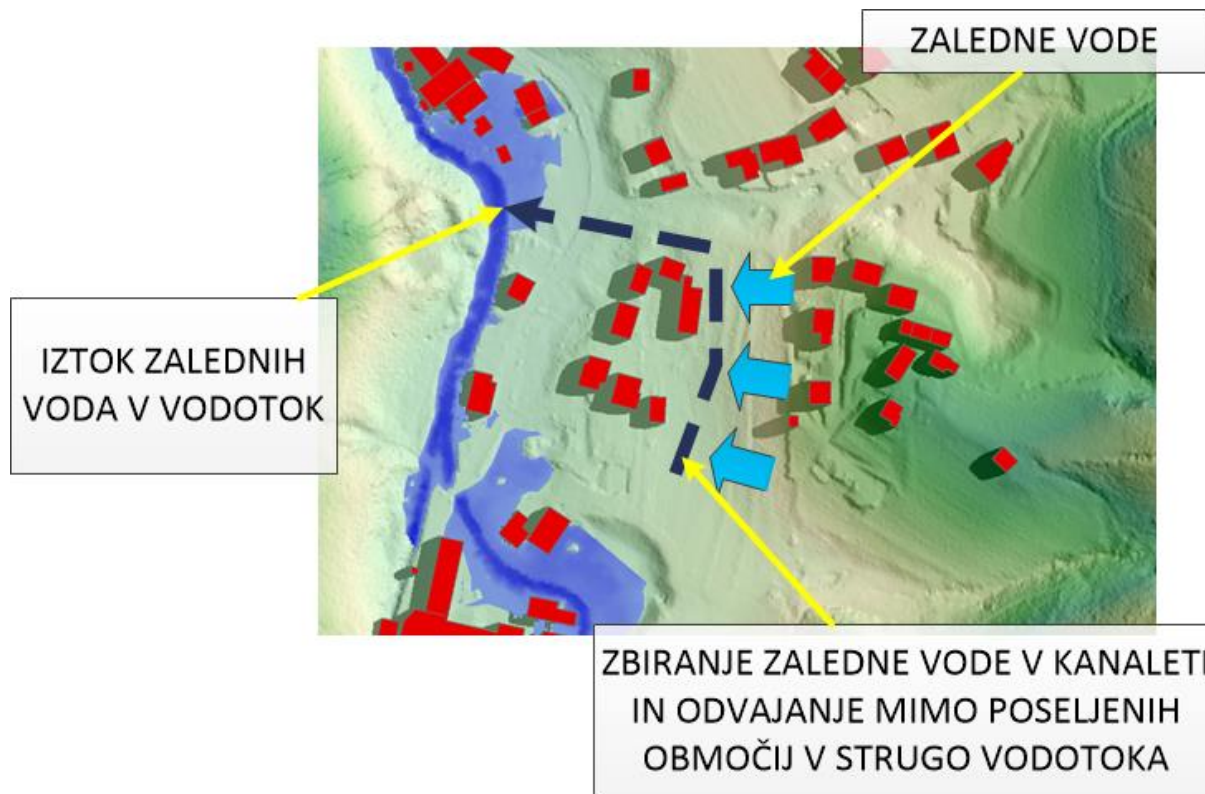
Slika 32: Prikaz obravnavanega območja v 3D obliki s prikazanimi rešitvami

Zgornja slika prikazuje obravnavano območje v 3 dimenzionalni obliki, na kateri so predstavljeni protipoplavni ukrepi, da se naselje Podgrad zaščiti pred poplavno nevarnostjo zalednih voda. Izdelali smo tri rešitve, in sicer da se zaledne vode zbirajo v kanaleti in se odvajajo v naravno razpoložljivo retenzijo, da se zaledne vode zbirajo v kanaleti in se odvajajo mimo poseljenih območij v vodotok Besnica, ter da se skupina objektov zaščiti z individualnimi ukrepi in sicer z granjo neprepustne ograde.

5.4 Ukrepi pri poplavni nevarnosti zaradi zalednih voda

5.4.1 Prestrežanje in preusmerjanje zalednih voda

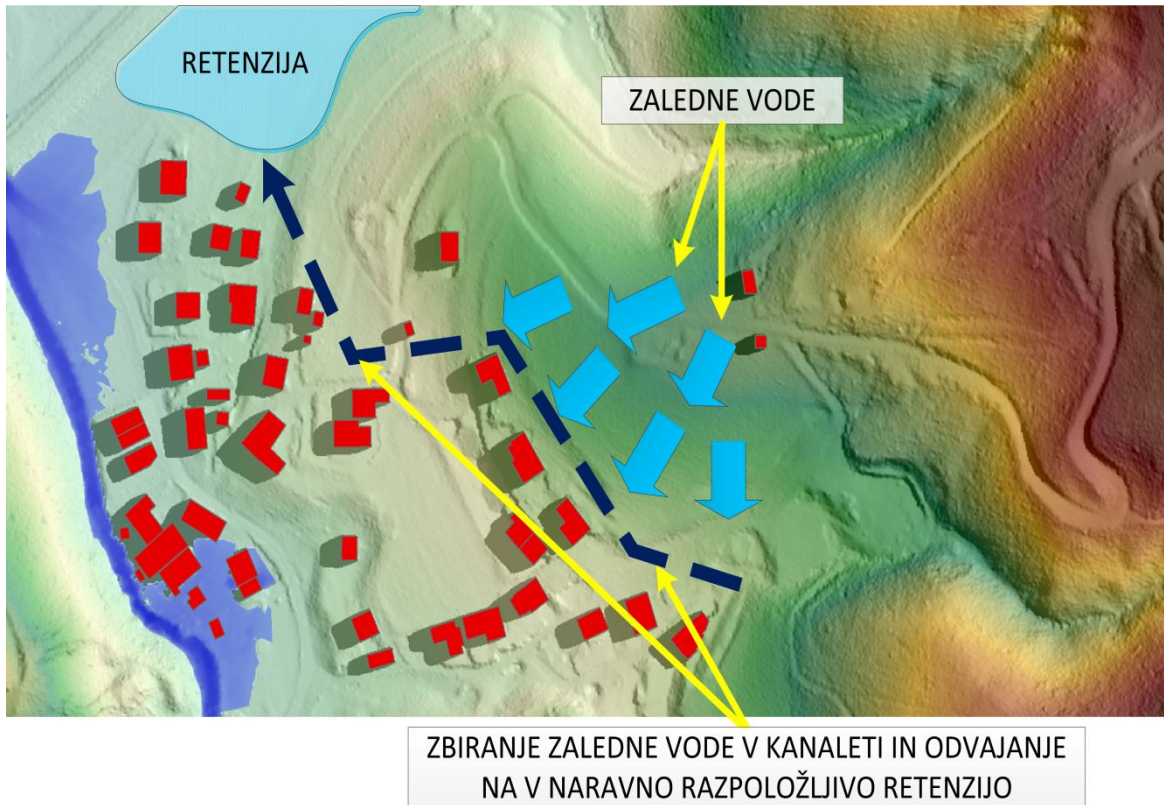
Kot ukrep za zaščito pred poplavami zaradi zalednih voda je lahko preusmeritev vodnih tokov in sicer tako, da se zaledne vode zbirajo in odteka po obcestni kanaleti s katero se te vode preusmeri po pobočju mimo območja poselitve do vodotoka Besnica. Ta ukrep vpliva na spremembo verjetnosti poplav varovanih objektov do stopnje, ki jo zagotavlja pretočnost kanalete. Zaradi manjše nevarnosti je manjša tudi ogroženost območja. Pri takšnih posegih je treba biti pozoren, da zaradi preusmerjanja toka vode ne pride do poplav v nižjih območjih poselitve.



Slika 33: Prestrežanje in preusmeritev zalednih voda z obcestno kanaletno

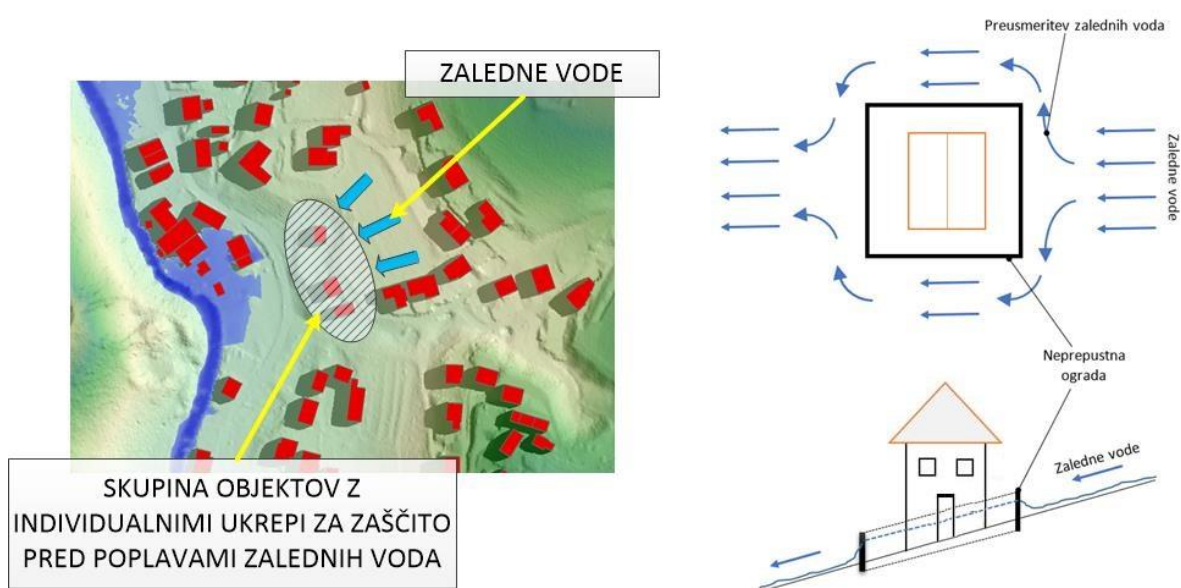
5.4.2 Nove vodne poti z zadrževanjem zalednih voda

Druga možnost za zmanjšanje poplavne nevarnosti zaradi zalednih voda je ureditev nove vodne poti z zadrževanjem, da se ne povečuje poplavna nevarnost dolvodno. Zaledne vode se zbirajo v kanaleti s katero se po pobočju preusmerijo v bližnje naravno razpoložljive retenzije, ki se pojavljajo na obravnavanem območju in kjer bi se vode zadržale.



5.4.3 Individualni ukrepi

Ljudje se lahko pred poplavno nevarnostjo zaradi zalednih voda zaščitijo tudi sami z individualnimi ukrepi. Primer individualnega ukrepa, ki bi ga ljudje v naselju Podgrad lahko uporabili, je gradnja neprepustne ograje okrog stanovanjske hiše, ki bi preusmerila zaledne vode mimo stanovanjskega objekta in nato v nižje ležeča območja. V ta namen bi se lahko primerno predelale npr. vrtno ograje. V primeru, da bi vse hiše uredile ta individualni ukrep, potem ni nevarnosti, da bi na nižje ležečih območjih prihajalo do poplavljanja zaradi teh zalednih voda.



Slika 34: Preusmeritev zalednih voda z neprepustno ograjo.

V primeru, da se prepozna poplavna nevarnost zalednih voda, se lahko ukrepa oz. primerno pripravi s protipoplavnimi ukrepi, ki so že predstavljeni v tej diplomski nalogi.

6 ZAKLJUČEK

Eden izmed naravnih pojavov so poplave, do katerih pride ob izredno močnih padavinah ali pa ob naglem taljenju snežne odeje, če je odvodna sposobnost vodotokov premajhna. Lahko se tudi zgodi, da se oba pojava medsebojno dopolnjujeta. Ne smemo pa zanemariti tudi dejstva, da v zadnjem času k nastanku poplav prispeva tudi človek z nespametnim poseganjem v naravo. Poplav ni možno povsem preprečiti, lahko pa ukrepamo z izvajanjem nalog, ki omilijo nastalo škodo.

Vodotok Besnica je v Mestni občini Ljubljana za Gradaščico drugi največji hudournik. Porečje ne sestavlja samo glavni vodotok, temveč tudi številne kratke in strme grape, ki ob večjih in kratkih nalivih pripomorejo k poplavljanju vodotoka. Del vodotoka teče ob naravnem nasipu, ki nastaja ob visokih vodah, saj Besnica takrat prenaša velike količine proda, katere v fazi upadanja odlaga v lastni strugi, finejše plavine pa odlaga v grmovje ob bregovih. (Natek, 2011)

Pri gradnji mostov pred izlivom Besnice v Ljubljano tudi niso bile upoštevane vse naravne danosti. Železniški most, ki je bil zgrajen že pred več kot 150 leti, ima tri oboke, ki so okrog 4 m nad strugo potoka, medtem ko je zelo blizu most, ki povezuje cesto Zalog-Laze in je ta nad strugo potoka visok le en meter. Ob večjih nalivih prenike most povzroči zajezbo gorvodno, ko pride do poplav zaradi zalednih voda, pa se zna zgoditi, da voda zalije cestni most in prekine cestno povezavo, medtem ko železniški promet ostane neprekinjen.

V Sloveniji največ škode povzročajo poplave, predvsem zaradi svoje pogostosti in silovitosti, na žalost pa velikokrat terjajo tudi človeška življenja. Največji smrtni davek se je zgodil ob poplavah leta 1954 v porečju Savinje, kjer je 11 ljudi izgubilo življenje. Več kot 300.000 hektarov zemljišč (200.000 hektarov zemljišč ogrožajo predvsem hudourniške poplave) je poplavno ogroženih, kar predstavlja 15% površine Slovenije. Trenutno na območju rednih poplav živi 7% celotnega prebivalstva, medtem ko na območju katastrofalnih poplav živi 24% prebivalstva. Kdaj bodo poplave nastopile ni možno predvideti, saj se le te lahko pojavijo skozi celo leto, vendar so pri nas najpogosteje v jesenskem obdobju.

Ko govorimo o zalednih vodah oz. o poplavah, ki nastanejo zaradi zalednih voda, kaj kmalu ugotovimo, da so te še zelo neraziskane in da jih človek še ne obravnava dovolj resno. Vzrok za njihov nastanek so kratkotrajne in intenzivne padavine, ki se stekajo s hribovitega območja proti urbaniziranim površinam in nižje ležečim vodotokom. Potrebe po zazidalnih in drugih urbanih površinah so vedno večje, vedno bolj se posega v vodotok oz. obvodni prostor. Posledica pa se v naravi odraža kot zmanjšanje dragocenih vodnih in obvodnih habitatov. Bistveno se zmanjša tudi rekreacijska in estetska vrednost.

Posledica poplav je lahko nastanek velike gmotne škode in ogroženost človeških življenj. Zadnja leta so poplave povzročile veliko težav zaradi neprimerno zaščitenih in urejenih območij. Vsak človek je dolžan ravnati samozaščitno, kajti šele pri večjih nevarnostih pomaga družba. Da bi človek lahko individualno ukrepal in zaščetil objekt pred poplavami ima dve možnosti in sicer odvrniti oz. zmanjšati nevarnost ali zmanjšati občutljivost oz. povečati odpornost. Treba se je čim več informirati, objekt in opremo je potrebno ustrezno zavarovati pri zavarovalnici, pomembno lastnino je treba shraniti v višje ležeče prostore v objektu, če je to mogoče ter pritrditi naprave, katere lahko izplavajo.

Ko govorimo o poplavah si vedno predstavljamo najhujše in škodo, ki jo seboj prinašajo za ljudi in gospodarstvo. Veliko manj se omenja pozitivne učinke poplav, pogostejših in manjših, saj te s seboj prinašajo npr. polnitev podtalnic, zemlji prinašajo nekatera hranila in povečajo rodovitnost tal, ohranjajo rečne ekosisteme in so ključne pri ohranjanju razlivih polj.

V prihodnosti se je potrebno zavzemati za čim manjšo škodo zaradi poplav ter da se s pametno izbiro metod in sistemov zagotovi čim boljša zaščita za prebivalce in njihovo premoženje na območjih ogroženih zaradi poplav.

7 LITERATURA

Agencija RS za okolje. 2016. Opazovani in merjeni meteorološki podatki po Sloveniji. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Agencija Republike Slovenije za okolje, Atlas okolja.
http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso
(Pridobljeno 12. 2. 2016.)

ArcGIS for Desktop. 2016 <http://desktop.arcgis.com/en/> (pridobljeno 25. 6. 2016.)

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

Brilly, M., Šraj, M. 2005. Modeliranje površinskega odtoka in navodila za HEC - HMS. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 172 str.

Campbell, J., Wynne, R., 2011. Introduction to remote sensing. Fifth edition. New York, A Division of Guilford Publications, Inc. 667 str.

Direktiva 2007/60/ES Evropskega Parlamenta in Sveta, z dne 23. oktobra 2007 o oceni in obvladovanju poplavne ogroženosti. Uradni list Evropske unije 288/27.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:EN:PDF>
(Pridobljeno 10. 4. 2016.)

Esri – GIS Mapping Software, Solutions, Services, Map Apps and Data. 2016. <http://www.esri.com/>
(pridobljeno 25. 6. 2016.)

Floodplain. Science Clarified. Medmrežje: <http://www.scienceclarified.com/landforms/Faults-to-Mountains/Floodplain.html> (Pridobljeno 25. 5. 2016.)

Jha, A., Bloch, R., Lamond, J. 2012. Cities and Flooding. A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century. The World Bank, Washington. 631 str.

Kaliopa. 2016. <http://company.kaliopa.si/kaliopa/> (Pridobljeno 1. 7. 2016.)

Kobold, M. 2009. Vpliv podnebnih sprememb na ekstremne hidrološke pojave. UJMA, št. 23: 128-135 str.

Kompare, B. 1991. Modeliranje deževnega odtoka iz urbaniziranih povodij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 509 str.

Kozelj, D., Kozelj, K., Steinman, F., Gosar, L.. 2008. Poplavna ogroženost in posledice dogodkov preostalega tveganja. UJMA št. 22: 145-151 str.

Mestna občina Ljubljana, 2009. Načrt zaščite in reševanje ob poplavih. Ljubljana. 83 str.
<http://www.ljubljana.si/si/mol/mestna-uprava/oddelki/zascita-resevanje-civilna-obramba/nacrti-zascite-in-resevanja/> (Pridobljeno 17.4.2016.)

Mikoš, M. 2008. Osnove hudourništva. Skripta. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 52 str.

Ministrstvo za okolje in prostor. Geodetska uprava Republike Slovenije. Prostorski portal. 2016.
http://www.e-prostor.gov.si/si/zbirke_prostorskih_podatkov/topografski_in_kartografski_podatki/ortofoto/
(pridobljeno 13. 7. 2016.)

Miška, B. 2014. Analiza izhodišč za urejanje odtočnega režima reke Vipave. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Oddelek za okoljsko gradbeništvo, Vodarstvo in komunalno inženirstvo (samozaložba B. Miška): 104 str.

Natek, K. 2011. Mali vodni tokovi in njihovo poplavno ogrožanje Ljubljane. Ljubljana, Znanstvena založba Filozofske fakultete: 119 str.

Oblack, R. Urban Flooding. About education.
Medmrežje: http://weather.about.com/od/u/qt/urban_flooding.htm (Pridobljeno 28. 5. 2016.)

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

Rak, G. 2006. Uporaba prostorskih podatkov v analizi hidravličnih lastnosti vodotokov. Diplomsko naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 81 str.

Republika Slovenija. Ministrstvo za okolje in prostor.

http://www.mop.gov.si/si/delovna_podrocja/prostorski_nacrti/ (Pridobljeno 22. 7. 2016.)

Steinman, F., Šantl, S. 2010. Individualni samozaščitni protipoplavni ukrepi – dokler vodnogospodarski ukrepi ne bodo izvedeni. Ljubljana, Mišičev vodarski dan 2010: 5 str.

Trobec, T. 2011. Vodogradbeni protipoplavni ukrepi za varstvo pred škodljivim delovanjem hudourniških poplav kot sestavni del obvladovanja poplavnega tveganja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta: 22 str.

Types of Floods and Floodplains.

Medmrežje: <http://training.fema.gov/hiedu/docs/fmc/chapter%202%20-%20types%20of%20floods%20and%20floodplains.pdf> (Pridobljeno 28. 5. 2016.)

Ukaz o razglasitvi Zakona o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt). Uradni list RS št. 33/2007.

Unesco-IHE, Institute for Water Education. Urban Flood Management and Disaster Risk Mitigation.

Medmrežje: <https://www.unesco-ihe.org/urban-flood-management-and-disaster-risk-mitigation>
(Pridobljeno 7. 5. 2016.)

Urban flooding. Imperial College London. Medmrežje: <https://www.imperial.ac.uk/grantham/our-work/impacts-and-adaptation/ipcc-working-group-ii/water-security-and-flood-risk/urban-flooding/>
(Pridobljeno 10. 5. 2016.)

Uredba o emisiji snovi pri odvajanju padavinske vode z javnih cest. Uradni list RS št. 41/04.

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

U.S. Army Corps of Engineers, 1994. Hydraulic design of flood control channels. Engineer Manual, Washington.

US Army Corps of Engineers. 2016. <http://www.hec.usace.army.mil/> (pridobljeno 10. 5. 2016.)

Zakon o vodah (ZV-1). Uradni list RS št. 67/2002.

Zavarovalnica Maribor, blog.

<http://blog.zav-mb.si/2012/09/13/poplava/> (Pridobljeno 29. 2. 2016.)

**PRILOGA A: MANNINGOVI KOEFICIENTI HRPAVOSTI ZA NARAVNO OBLIKOVANE
VODOTOKE**

<i>VRSTA IN OPIS KANALA IN POPLAVNIH POVRŠIN</i>	<i>Minimum</i>	<i>Običajno</i>	<i>Maksimalno</i>
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 tolmuni 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	0,050	0,060
g. Počasni ravni del, z večjo količino pleveli in tolmunov	0,050	0,070	0,080
h. Korito močneje poraščeno s plevelom in z globokimi tolmuni 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
2. 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: MANNINGOVI KOEFICIENTI HRPAVOSTI ZA REČNA KORITA, KI SO
 UMETNO OBLIKOVANA**

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 odpa dnim 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 odpa dnega 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	
Rastlinska obloga	0,030		0,050
Tesan kamen	0,013	0,015	0,017
Cement			
a. Čista površina	0,010	0,012	0,050
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: MANNINGOVI KOEFICIENTI HRAPAVOSTI ZA REČNA KORITA, KI SO
OČIŠČENA IN IZKOPANA**

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. Zemljsko 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	0,025	0,033
b. Redko grmičevje na brežinah	0,035	0,050	0,060
Skalnato 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