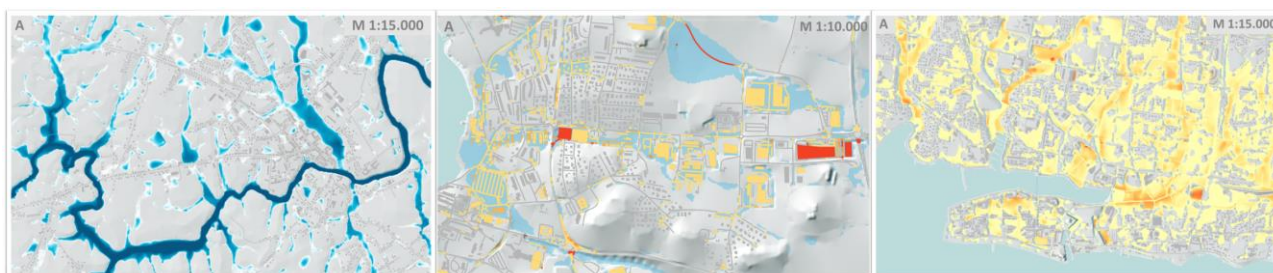


Studija procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj (projekt STREAM)

KNJIGA 2: PROCJENA OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA



Rijeka – Zagreb, prosinac, 2022.

Naručitelj:

SVEUČILIŠTE U ZADRU

Ulica Mihovila Pavlinovića 1

23 000 Zadar



Sveučilište u Zadru
Universitas Studiorum
Jadertina | 1396 | 2002 |

Predmet:

**USLUGA IZRADE HIDROLOŠKO-HIDRAULIČKE ANALIZE I
PRIPADAJUĆIH KARATA TE IZRADE PLANA UPRAVLJANJA
POPLAVNIM RIZICIMA**

Naziv:

**STUDIJA PROCJENE OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA
USLIJED JAKIH OBORINA I DJELOVANJA MORA
KNJIGA 2: PROCJENA OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA
USLIJED JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA**

Razina dokumentacije:

Studija

Voditelj projekta:

Dr. sc. Nino Krvavica

Broj ugovora:

Sveučilište u Zadru (KLASA: 406-01/21-01/145)

Građevinski fakultet u Rijeci (KLASA: 361-08/21-01/11)

Vodoprivredno-projekttni biro d.d. (KLASA: VPB – KUG – 21-0034)

Državni hidrometeorološki zavod (KLASA: 920-08/21-13/14)

Izvršitelj:

(Zajednica gospodarskih
subjekata)

SVEUČILIŠTE U RIJECI, GRAĐEVINSKI FAKULTET

VODOPRIVREDNO-PROJEKTNI BIRO d.d.

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

Podizvoditelj:

CENTAR GRAĐEVINSKOG FAKULTETA d.o.o.

Mjesto i datum:

Rijeka – Zagreb, prosinac, 2022.

**Stručni tim Izvršitelja:
(nositelji pojedinih područja)**

Voditelj projekta i hidrauličkih istraživanja:	dr. sc. Nino Krvavica, dipl. ing. građ.
Voditelj hidroloških istraživanja:	dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.
Voditelj istraživanja dinamike mora:	dr. sc. Goran Lončar, dipl. ing. građ.
Voditelj izrade plana upravljanja rizicima od poplava:	Ana Jelka Graf, dipl. ing. građ.
Savjetnik za hidrološko-hidrauličko modeliranje poplava:	Dario Kolarić, dipl. ing. građ.
Stručnjak za kvalitetu vode:	dr. sc. Neven Cukrov
Stručnjak za klimatologiju:	dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin, dipl. ing. fiz.
Stručnjak za održive sustave odvodnje oborinskih voda:	Tatjana Uzelac, dipl. ing. građ.

Dekan:


dr. sc. Mladen Bulić



Direktorica:


Helena Jeftimija



Glavna ravnateljica:


dr. sc. Branka Ivančan-Picek



SADRŽAJ PO KNJIGAMA

RADNI ZADATAK 1: Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj

- KNJIGA 1: Analiza oborina na pilot područjima
- **KNJIGA 2: Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima**
- KNJIGA 3: Sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru te unaprjeđenje sustava prognoze poplava

RADNI ZADATAK 2: Izrada plana upravljanja rizicima od poplava uslijed obilnih oborina i djelovanja mora

- KNJIGA 4: Plan upravljanja rizicima od poplava

KLASA: 361-08/21-01/11

URBROJ: 2170-57-05-00-22-10

Naručitelj: **SVEUČILIŠTE U ZADRU**
Ulica Mihovila Pavlinovića 1, 23 000 Zadar

Izvršitelj: **SVEUČILIŠTE U RIJECI, GRAĐEVINSKI FAKULTET**
(Zajednica gospodarskih subjekata) **VODOPRIVREDNO-PROJEKTI BIRO d.d.**
DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

Podizvoditelj: **CENTAR GRAĐEVINSKOG FAKULTETA d.o.o.**

STUDIJA PROCJENE OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA I DJELOVANJA MORA

KNJIGA 2: PROCJENA OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA

Broj studije: 033/2021

Voditelj studije: **dr. sc. Nino Krvavica**

Voditelj studije:



dr. sc. Nino Krvavica

Dekan Građevinskog fakulteta u Rijeci:



dr. sc. Mladen Bulić

Naziv: STUDIJA PROCJENE OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA
USLIJED JAKIH OBORINA I DJELOVANJA MORA
KNJIGA 2: PROCJENA OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA
USLIJED JAKIH OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA

Naručitelj: SVEUČILIŠTE U ZADRU
Ulica Mihovila Pavlinovića 1, 23 000 Zadar

Izvešće izradili: SVEUČILIŠTE U RIJECI, GRAĐEVINSKI FAKULTET
DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD

Voditelj studije: dr. sc. Nino Krvavica, dipl. ing. građ.

Suradnici:

Sveučilište u Rijeci, dr. sc. Bojana Horvat, dipl. ing. građ.
Građevinski fakultet dr. sc. Nevenka Ožanić, dipl. ing. građ.
(vodeći član) dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ.
 Andrea Tadić, dipl. ing. građ.
 Tatjana Uzelac, dipl. ing. građ. (Starum d.o.o.)

Centar Građevinskog fakulteta dr. sc. Damir Bekić, dipl. ing. građ.
d.o.o. (podizvoditelj)

Državni hidrometeorološki dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin, dipl. ing. fiz.
zavod (član) Ivana Marinović, mag.phys-geophys
 Davor Nikolić, dipl.ing.fiz.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Uvodno o STREAM projektu	1
1.2	Projektni zadatak.....	2
1.2.1	<i>Radni zadatak.....</i>	3
1.2.2	<i>Sadržaj studije</i>	5
2	Uvodno o problematici pluvijalnih poplava	6
2.1	Zakonodavni okvir	6
2.2	Općenito o poplavama	7
2.3	Rizik od poplava – definicije pojmova	10
2.4	Konceptualni model procjene pluvijalnih poplava.....	14
2.5	Razine složenosti procjene pluvijalnih poplava.....	15
2.6	Kartiranje poplava - razine, korisnici i sadržaj.....	17
3	Metodologija procjene rizika od poplava.....	21
3.1	Metodološki okvir procjene rizika od pluvijalnih poplava	21
3.2	Analiza opasnosti od pluvijalnih poplava	24
3.2.1	<i>Priprema podloga za procjenu opasnosti od poplava.....</i>	24
3.2.2	<i>Definiranje scenarija za procjenu opasnosti od poplava</i>	30
3.2.3	<i>Uspostava matematičkog modela površinskog otjecanja jakih oborina.....</i>	30
3.2.4	<i>Indikatori opasnosti od poplava.....</i>	34
3.3	Analiza rizika od pluvijalnih poplava	36
3.3.1	<i>Priprema podloga za procjenu rizika od poplava.....</i>	36
3.3.2	<i>Analiza ranjivosti – izloženost receptora poplavama</i>	50
3.3.3	<i>Kvalitativna analiza rizika – procjena razine rizika</i>	52
3.3.4	<i>Kvantitativna analiza rizika – procjena direktne štete.....</i>	54
3.4	Analiza mogućnosti i prioriteta implementacije zelene infrastrukture	56

4	Rezultati procjene opasnosti i rizika od poplava na pilot područjima	59
4.1	Pilot područje Poreč	59
4.1.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Poreč</i>	<i>59</i>
4.1.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč</i>	<i>62</i>
4.1.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Poreč</i>	<i>66</i>
4.1.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč</i>	<i>68</i>
4.1.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Poreč</i>	<i>74</i>
4.1.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Poreč.....</i>	<i>75</i>
4.2	Pilot područje Gospić	77
4.2.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Gospić.....</i>	<i>77</i>
4.2.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić.....</i>	<i>82</i>
4.2.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Gospić</i>	<i>86</i>
4.2.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić.....</i>	<i>88</i>
4.2.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Gospić</i>	<i>93</i>
4.2.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Gospić.....</i>	<i>94</i>
4.3	Pilot područje Zadar	96
4.3.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Zadar</i>	<i>96</i>
4.3.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar</i>	<i>103</i>
4.3.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Zadar</i>	<i>107</i>
4.3.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar</i>	<i>109</i>
4.3.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Zadar.....</i>	<i>114</i>
4.3.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Zadar</i>	<i>115</i>
4.4	Pilot područje Biograd na Moru	117
4.4.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Biograd na Moru</i>	<i>117</i>
4.4.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru</i>	<i>120</i>
4.4.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Biograd na Moru.....</i>	<i>123</i>
4.4.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru</i>	<i>125</i>
4.4.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Biograd na Moru.....</i>	<i>131</i>

4.4.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Biograd na Moru</i>	132
4.5	Pilot područje Split	134
4.5.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Split</i>	134
4.5.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Split</i>	138
4.5.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Split</i>	142
4.5.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Split</i>	144
4.5.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Split</i>	150
4.5.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Split</i>	151
4.6	Pilot područje Metković	153
4.6.1	<i>Povijesne poplave na pilot području Metković</i>	153
4.6.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Metković</i>	158
4.6.3	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Metković</i>	165
4.6.4	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Metković</i>	167
4.6.5	<i>Kritični podslivovi na pilot području Metković</i>	169
4.6.6	<i>Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Metković</i>	169
4.7	Karte pluvijalnih poplava na pilot područjima	176
4.8	Hidraulička analiza učinkovitosti zelene infrastrukture	181
4.8.1	<i>Ulazni parametri</i>	182
4.8.2	<i>Rezultati otjecanja s prirodnog sliva (prije izgradnje)</i>	184
4.8.3	<i>Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva</i>	185
4.8.4	<i>Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva s NBS sustavom</i>	186
4.9	Smjernice za planiranje i projektiranje zelene infrastrukture.....	192
4.9.1	<i>Uvodno o zelenoj infrastrukturi</i>	192
4.9.2	<i>Tipologija zelene infrastrukture</i>	193
4.9.3	<i>NBS sustavi odvodnje površinskih i oborinskih voda kao dio zelene infrastrukture</i> ..	195
4.9.4	<i>Smjernice za prostorne planere</i>	206
4.9.5	<i>Smjernice za projektante</i>	207
4.9.6	<i>Čuvanje i korištenje postojećih resursa</i>	207

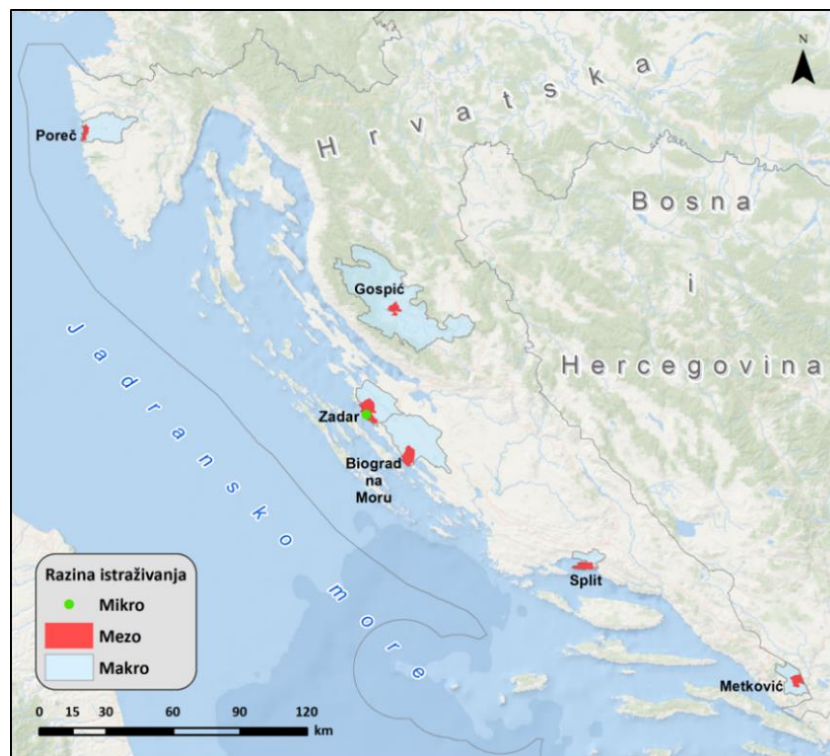
4.9.7	<i>Preporuke za izradu idejnih konceptijskih rješenja NBS sustava</i>	208
4.9.8	<i>Preporuke za proračun i dimenzioniranje NBS sustava</i>	210
4.9.9	<i>Preporuke za upravljanje NBS sustavom</i>	211
4.9.10	<i>Zaključno o zelenoj infrastrukturi i NBS sustavima</i>	211
5	Zaključci i preporuke	212
6	Literatura	215

1 Uvod

1.1 Uvodno o STREAM projektu

STREAM projekt je pokrenut u sklopu programa prekogranične suradnje INTERREG V-A Italija – Hrvatska 2014. – 2020. s ciljem unaprjeđenja sustava praćenja rizika i upravljanja rizikom od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na šest odabranih pilot područja u Republici Hrvatskoj. Ona uključuju šira područja gradova Poreča, Gospića, Zadra, Biograda n/M, Splita i Metkovića, kako je prikazano na Slici 1.1.1.

Cilj projekta STREAM je doprinijeti povećanju sigurnosti projektnih pilot područja te smanjenju štetnih posljedica koje poplave uslijed jakih oborina i djelovanja mora imaju na ljudsko zdravlje, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarstvo. Specifični ciljevi projekta su postići bolje razumijevanje rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora, poboljšati sustav informiranja i uzbunjivanja s ciljem smanjenja rizika te unaprijediti upravljanje rizicima kroz integraciju rezultata u planske dokumente.



Slika 1.1.1. Pilot područja projektnog zadatka (iz Dokumentacije za nadmetanje, Knjiga 3. Projektni zadatak)

Projekt STREAM sastoji se od pet međusobno povezanih i usklađenih radnih paketa, unutar kojih se provodi niz aktivnosti iz tematski različitih područja, a to su ukratko:

- **Katastar poplava** koji omogućuje bolje razumijevanje urbanog i prirodnog planiranja te upravljanja u svrhu prevencije ili umanjenja štete od moguće poplave.
- **Kartiranje opasnosti i rizika od poplava** što omogućava prostorni prikaz područja koja bi mogla biti poplavljena prema tri vjerojatnosti, indikativan broj potencijalno pogođenih stanovnika, vrste potencijalno pogođene gospodarske aktivnosti područja, infrastrukturu koja bi mogla uzrokovati slučajno onečišćenje u slučaju poplave te prosječnu štetu po jedinici površine.
- **Sustav prognoziranja poplava** koji će se zasnivati na iskustvu višemodelskog sustava razvijenog u EU-Adriion I-STORMS projektu, pomorskoj službi Copernicus i postojećim regionalnim proizvodima.
- **Plan upravljanja rizicima od poplava (FRMP)** koji treba obuhvaćati ključne elemente za upravljanje poplavama: integrirati upravljanje vodama i korištenjem zemljišta, upravljati rizikom i nesigurnošću, usvojiti najbolje kombinacije strategija, osigurati participativni pristup te usvojiti integrirani pristup upravljanju opasnostima.
- **Međunarodni upravni odbor** koji se sastoji od multidisciplinarnih stručnjaka te predstavnika nacionalnih i regionalnih institucija koji će podržati provedbu projekta sudjelovanjem u obuci, aktivnostima komunikacije i diseminacije te podržavanjem implementacije FRMP-a.

Previđeno trajanje predmetnog projekta je od 01. travnja 2020. do 31. prosinca 2022. godine

1.2 Projektni zadatak

S područja hrvatske jedan od projektnih partnera je Sveučilište u Zadru (Naručitelj), za čije potrebe zajednica gospodarskih subjekata (Izvršitelj): Građevinski fakultet u Rijeci (GRADRI), Vodoprivredno-projekttni biro d.d. (VPB) i Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) te podizvoditelj Centar Građevinskog fakulteta d.o.o. (CGF) provode predmetni zadatak s ciljem realizacije predviđenih aktivnosti kroz radne pakete.

Projektni zadatak podijeljen je u dvije cjeline:

- **Radni zadatak 1 - Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj.**
- **Radni zadatak 2 - Izrada Plana upravljanja rizicima od poplava uslijed obilnih oborina i djelovanja mora.**

U nastavku se daje detaljan opis dijela radnog zadatka 1 vezanog uz procjenu opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima, kako je to specificirano u Projektnom zadatku Knjige 3. Dokumentacije za nadmetanje.

1.2.1 Radni zadatak

Osnovni cilj radnog zadatka 1 je izrada **Studije procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora** (u nastavku Studija). U okviru Studije, a i cijelog projekta STREAM, potrebno je provesti aktivnosti koje će rezultirati izrađenim katastrom poplava, odnosno kartama opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na šest pilot područja u Hrvatskoj te uspostavi i unaprjeđenju sustava za prognoziranje poplava od jakih oborina i djelovanja mora u Zadru, a sve uz pomoć hidrološko-hidrauličkih modeliranja. Također, iako postoje karte opasnosti i rizika od poplava s mora, iste su izrađene samo na osnovu projekcija visokih morskih razina i topografskih podloga te ne uključuju dinamiku mora, odnosno utjecaj valova, olujnih uspora i meteotsunamija, koji mogu znatno utjecati na obuhvat poplavljenog obalnog područja.

Odabrana pilot područja na kojima je potrebno procijeniti opasnosti i rizike od pluvijalnih poplava, izraditi odgovarajuće karte te ih uključiti u katastar poplava su šira područja sljedećih gradova:

- Poreč
- Gospić
- Zadar
- Biograd na Moru
- Split
- Metković

Odabrano pilot područje za procjenu opasnosti i rizika od poplava s mora kao integralnog dijela višemodelnog sustava za prognoziranje obalnih poplava je grad Zadar.

Tijekom izrade Studije, Naručitelj će u dogovoru s Izvršiteljem odabrati dodatno pilot područje na užem području u gradu Zadru za detaljnije analize poplava. Navedene analize poplava će uključivati i sveobuhvatna modelska istraživanja urbanih poplava s ciljem izrade probabilističkog modela za bolje razumijevanje pluvijalnih poplava.

Konačno, rezultati navedene Studije trebali bi pružiti podršku Naručitelju u ostvarivanju ciljeva i rezultata projekta STREAM, stoga je potrebna stalna suradnja između Naručitelja, Izvršitelja i ostalih partnera na projektu tijekom trajanja projekta. Također, ova Studija trebala bi doprinijeti ispunjavanju obveza koje je Naručitelj preuzeo u sklopu projekta STREAM, a što pored prethodno navedenih stavki uključuje i objavu pet znanstvenih radova.

U sklopu studije potrebno je provesti procjenu opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina (pluvijalne poplave) na šest pilot područja (Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić i Biograd na Moru)

te izraditi karte opasnosti i rizika od poplava. Navedene karte potrebno je implementirati u katastar poplava zajedno sa svim korištenim podlogama. U početku aktivnosti Izvršitelj će napraviti izvještaj o prikupljenim i sistematiziranim podacima.

Na jednom pilot području (Zadar) Izvršitelj će provesti sveobuhvatna istraživanja urbanih poplava na mikro razini s ciljem razvoja sustava prognoze poplava od jakih oborina i poplava s mora (Flood Forecasting System).

Studija se sastoji od tri tematske cjeline:

1. Analiza oborina na pilot područjima
2. Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima
3. Sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru te unaprjeđenje sustava prognoze urbanih poplava

U nastavku je dan detaljan opis projektnog zadatka vezan uz tematsku cjelinu Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima, što je i predmet ovog dokumenta.

B. Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima. Izvršitelj će provesti hidrološko-hidrauličke analize poplava uslijed kratkotrajnih jakih oborina za tri različite vjerojatnosti pojave na svih šest pilot područja (Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić i Biograd na Moru). Navedene analize koje Izvršitelj provodi uključuju sljedeće:

- Analizu pilot područja te povijesnih zabilježenih poplava uzrokovanih jakim oborinama
- Razradu metodologije za procjenu otjecanja jakih oborina u urbanim sredinama
- Analizu i obradu podloga za provedbu hidrološko-hidrauličkih analiza (topografske, hidrološke, geološke, pokrov zemljišta, infrastruktura)
- Izradu matematičkog modela otjecanja oborina u odgovarajućem računalnom programu
- Provedbu simulacija za sva trajanja oborina od 1 do 24 h te za tri različite vjerojatnosti pojave oborina na svakom pilot području
- Provedbu simulacija za tri odabrana povijesna događaja na svakom pilot području
- Prijedlog metodologije i pristupa za izradu karata opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina
- Prikupljanje podataka od lokalne samouprave o zabilježenim posljedicama poplava na odabраних šest pilot područja radi validacije modelskih rezultata
- Izrada karata opasnosti od poplava za tri vjerojatnosti pojave jakih oborina na odabраних šest pilot područja
- Definiranje ranjivosti odabраних pilot područja
- Procjenu rizika od plavljenja na odabраних šest pilot područja te određivanje područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava
- Izradu karata rizika od poplava uslijed jakih oborina na odabраних šest pilot područja

- Određivanje kritičnih točaka (tzv. Hot-spots) s neprihvatljivo visokim rizikom od poplava uslijed jakih oborina
- Definiranje mogućih lokacija za implementaciju plavo-zelene infrastrukture za ublažavanje posljedica od pluvijalnih poplava te hidrauličku analiza učinkovitosti predloženih rješenja.

U navedenim analizama Izvršitelj treba nužno koristiti moderne i napredne računalne alate te podloge najvišeg stupnja detaljnosti (digitalni model terena razlučivosti < 1 m). Pritom, analize poplava treba provesti pomoću hidrološko-hidrauličkog modela koji nužno treba biti nestacionaran i dvodimenzionalan (2D) te treba omogućavati zadavanje vremenski nejednolike oborine kao rubnog uvjeta. U simulacije poplava potrebno je uključiti prostorno nejednoliku infiltraciju oborine u podlogu ovisno o pokrovu te pedološkim i geološkim karakteristikama. Rezultati moraju uključivati dubinu vode, brzinu vode te prostorni obuhvat poplave za tri različite vjerojatnosti pojave oborina te tri povijesne jake oborine. Karte opasnosti i rizika od poplava Izvršitelj izrađuje u mjerilu 1:2000 u geoinformacijskom sustavu (GIS) te ih priprema za implementaciju u katastar poplava.

1.2.2 Sadržaj studije

Studija je podijeljena u četiri cjeline. U drugom poglavlju se opisuje problematika pluvijalnih poplava s osvrtom na zakonodavni okvir, definiraju se pojmovi vezani uz poplave i rizike od poplava, predstavlja se konceptualni model procjene rizika od poplava, obrazlažu se različite razine složenosti procjene pluvijalnih poplava te se daje prikaz razina, sadržaja i ciljanih korisnika karata poplava. U trećem poglavlju se daje prijedlog metodologije i pristupa za procjenu otjecanja jakih oborina na pilot područjima te za izradu karata opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava. U četvrtom poglavlju prikazuju se rezultati procjene opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na svakom pilot području, pri čemu se daje prikaz povijesnih poplava te procijenjenih opasnosti, ranjivosti i rizika od pluvijalnih poplava. U četvrtom poglavlju se također prikazuje analiza učinkovitosti zelene infrastrukture te daju smjernice za planiranje i projektiranje zelene infrastrukture i prirodnih rješenja za odvodnju oborinskih voda. Konačno, u petom poglavlju daju se zaključci i smjernice za daljnje aktivnosti i smjerove istraživanja u kontekstu problematike pluvijalnih poplava na pilot područjima.

2 Uvodno o problematici pluvijalnih poplava

2.1 Zakonodavni okvir

Procjena opasnosti i rizika od poplava u ovom dokumentu provedena je u skladu sa **Zakonom o vodama** (NN 66/2019, 84/21) kojim se, među ostalim, uređuje zaštita od štetnog djelovanja voda. Ovim zakonom se također u pravni poredak Republike Hrvatska prenosi i Direktiva 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. godine o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (u nastavku **Direktiva o poplavama**). Osnovna svrha Direktive o poplavama je uspostaviti okvir za procjenu i upravljanje poplavnim rizicima s ciljem smanjenja štetnih posljedica poplava na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost.

Zakon o vodama propisuje da su Hrvatske vode dužne izraditi karte opasnosti i karte rizika od poplava za vodno područje. Sadržaj navedenih karata i scenariji za koje se one izrađuje propisane su **Planom upravljanja vodnim područjima (PUVP)**, odnosno **Planom upravljanja rizicima od poplava (PURP)**. Treba napomenuti da je u trenutku izrade ovog dokumenta na snazi Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblje 2016.-2021., a da je novi Plan za razdoblje 2022.-2027. izrađen do razine Nacrta te da je isti trenutno na javnoj raspravi.

Direktiva o poplavama pruža detaljnije informacije o postupku izrade karata opasnosti i karata rizika od poplava. Karte opasnosti od poplava treba izraditi prema sljedećim scenarijima:

- a) poplava male vjerojatnosti ili scenariji ekstremnih događaja,
- b) poplave srednje vjerojatnosti te
- c) poplave velike vjerojatnosti.

Za svaki scenarij, karte opasnosti trebaju prikazati:

- a) opseg poplava,
- b) dubinu vode ili vodostaj,
- c) brzinu toka ili odgovarajući protok vode.

Karte rizika od poplava trebaju prikazati moguće štetne posljedice koje se povezuju sa svakim prethodno navedenim scenarijem, a mogu biti izrađene kao:

- a) okvirni broj potencijalno pogođenih stanovnika,
- b) vrsta gospodarske aktivnosti na potencijalno pogođenom području,

- c) postrojenja koja bi mogla prouzročiti iznenadno onečišćenje u slučaju poplava te potencijalno pogođena zaštićena područja,
- d) ostale informacije koje država članica smatra korisnima te informacije o drugim značajnim izvorima onečišćenja.

2.2 Općenito o poplavama

Pojam poplave definiran je Zakonom o vodama (NN 66/2019).

„**Poplava** je privremena pokrivenost vodom zemljišta, koje obično nije prekriveno vodom, uzrokovana izlivanjem rijeka, bujica, privremenih vodotoka, jezera i nakupljanja leda, kao i morske vode u priobalnim područjima i suvišnim podzemnim vodama; ovaj pojam ne obuhvaća poplave iz sustava javne odvodnje.„

Plan upravljanja rizicima od poplava (Hrvatske vode, 2022) prepoznaje nekoliko osnovnih tipova poplava prema izvorima plavljenja:

- riječne poplave zbog obilnih kiša i/ili naglog topljenja snijega (fluvijalne poplave),
- bujične poplave manjih vodotoka zbog kratkotrajnih kiša visokih intenziteta,
- poplave na krškim poljima zbog obilnih kiša i/ili naglog topljenja snijega, te nedovoljnih propusnih kapaciteta prirodnih ponora,
- poplave unutarnjih voda na ravničarskim površinama,
- ledene poplave,
- poplave uzrokovane visokim razinama mora uslijed olujnih uspora i šćiga,
- umjetne (akcidentne) poplave zbog eventualnih proboja brana i nasipa, aktiviranja klizišta, neprimjerenih gradnji i slično.

U aktualnom planskom ciklusu (2022.-2027.) PURP-om obuhvaćene su:

- riječne (fluvijalne) poplave, uključujući i poplave uzrokovane ledom na velikim rijekama i poplave gubitkom funkcionalnosti sustava za obranu od poplava,
- poplave uzrokovane podzemnim vodama, karakteristične za područje krša,
- plavljenje uslijed visokih razina mora,
- plavljenje uslijed zatajenja vodne infrastrukture - kanala i akumulacija.

Pritom, plavljenje oborinskim vodama (pluvijalne poplave), iako značajan izvor plavljenja u Hrvatskoj, je obuhvaćeno u manjoj mjeri sukladno pravnim i tehničkim okolnostima, dok u ovom planskom ciklusu upravljanja rizicima od poplava, poplave iz kanalizacijskih sustava nisu predmet obrada.

U svrhu procjene rizika od pluvijalnih poplava, bitno je iste definirati i razlikovati od drugih tipova poplava. Pritom, treba napomenuti kako se određeni tipovi poplava često pojavljuju istodobno, najčešće zbog istog uzroka/izvora plavljenja (kao što su obilne oborine), ali su različitog prostornog obuhvata i mehanizma plavljenja. Za početak treba razjasniti po čemu se pluvijalne poplave razlikuju od fluvijalnih poplava te razjasniti međudnose pojmovna kao što su pluvijalne poplave, bujične poplave, urbane poplave te poplave iz kanalizacijskih sustava.

Općenito, **fluvijalne ili riječne poplave** nastaju kada razina vode u rijeci, jezeru ili potoku poraste i prelije se preko nasipa ili ruba obale na okolno zemljište. Porast razine vode u rijeci može biti posljedica prekomjerne kiše ili topljenja snijega u neposrednoj blizini ili daleko od mjesta nastanka poplave (Slika 2.2.1). **Pluvijalne poplave**, s druge strane, nastaju uslijed otjecanja jakih oborina, ali su neovisne o vodnim tijelima (Slika 2.2.2). Često se pod pojmom pluvijalne poplave podrazumijeva dva različita oblika poplava: a) urbane poplave i b) bujične poplave. Pritom, urbane poplave nastaju na urbaniziranim područjima i često su posljedica premašenja kapaciteta sustava za odvodnju oborinskih voda u kombinaciji s visokim stupnjem izgrađenosti zemljišta. Bujične poplave nastaju na brdskim područjima ili strmim terenima, a karakterizira ih nagla pojava i velika brzina vode. U okviru projekta RAINMAN (2020) naglašeno je da osnovni aspekt pluvijalnih poplava u urbanim područjima nije samo nedostatak odgovarajućeg sustava odvodnje, već na njih uvelike utječe nedostatan retencijski i infiltracijski kapacitet zemljišta (što je najčešće posljedica intenzivne urbanizacije). Poplave iz kanalizacijskih sustava su podvrsta urbanih poplava koje su direktno vezana uz podkapacitirani ili neodržavani sustav odvodnje oborinskih voda.

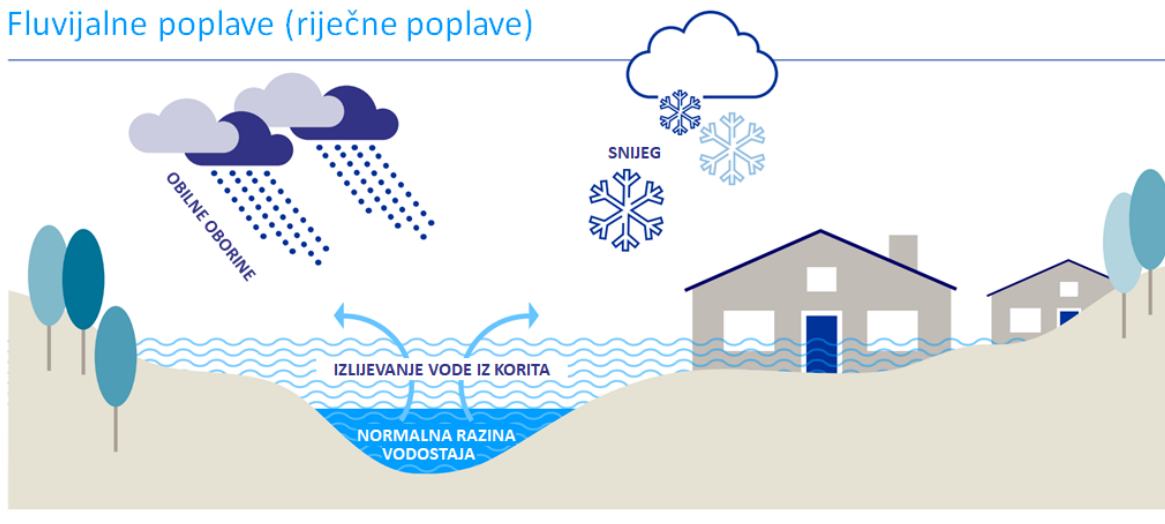
U okviru projekta RAINMAN (2020) postignut je značajan napredak u jasnoći i preciznosti definiranja pluvijalnih poplava. Također je naglašeno da je bitno razlikovati pluvijalne poplave od fluvijalnih, ali i bujičnih poplava. Općenito se može smatrati da (RAINMAN, 2020):

- **Fluvijalne poplave** opisuju površinske vode koje **dolaze iz** vodnih tijela.
- **Pluvijalne poplave** opisuju površinske vode koje **teku prema** vodnim tijelima.

U skladu s navedenim smjernicama, bujične poplave se mogu smatrati integralnim dijelom pluvijalnih poplava jedino ako nastaju na područjima gdje nema jasno definiranih bujičnih korita ili

ako se dominantno plavljenje događa tijekom otjecanja površinskih voda prema vodotocima. U suprotnom, poplave koje nastaju kada se voda izlijeva iz korita bujice po okolnom zemljištu se trebaju promatrati kao zaseban tip poplava - bujične poplave.

Fluvijalne poplave (riječne poplave)



Slika 2.2.1 Shematski prikaz fluvijalne (Riječne) poplave (modificirano prema www.zurich.com)

Pluvijalne poplave (poplave uslijed jakih oborina)



Slika 2.2.2 Shematski prikaz pluvijalne i bujične poplave (modificirano prema www.zurich.com)

2.3 Rizik od poplava – definicije pojmova

Pojam rizika ima više mogućih značenja, a u stručnoj i znanstvenoj zajednici koristi se na različite načine, stoga je neophodno definirati sve indikatore i elemente kojima se procjenjuje rizik od poplava. Zakonom o vodama (NN 66/2019), koji je usklađen s Direktivom o poplavama, daje se definicije rizika od poplava.

„**Rizik od poplava** je kombinacija vjerojatnosti poplavnog događaja i potencijalnih štetnih posljedica poplavnog događaja za život, zdravlje i imovinu ljudi, okoliš, kulturno naslijeđe i gospodarsku aktivnost.“ (NN 66/2019)

Gore navedenu definiciju moguće je matematički izraziti kao:

$$RIZIK = p_h \times C$$

gdje je p_h vjerojatnost poplavnog događaja, a C potencijalno štetna posljedica (EXCIMAP, 2007.).

Rizik od poplava općenito obuhvaća dva indikatora – **opasnost i ranjivost** (Merz i sur., 2007).

Opasnost od poplava (eng. *flood hazard*) se u kontekstu procjene rizika općenito definira kao vjerojatnost premašenja potencijalno štetnog poplavnog događaja na određenom području (Merz i sur., 2007). Pritom, opasnost od poplava ne prenosi informaciju o posljedicama poplava na stanovništvo, građevine ili okoliš. U nastavku se navodi i nešto šira definicija opasnosti prema UN-u (2004).

„**Opasnost** je potencijalno štetni fizički događaj, pojava ili ljudska aktivnost koja može uzrokovati gubitak života ili ozljede, materijalnu štetu, društveni i ekonomski poremećaj ili narušavanje kvalitete okoliša.“ UNISDR (2009).

Opasnost od poplava najčešće se izražava indikatorima **obuhvata poplave** (eng. *flood extent*) i **dubinom vode** (eng. *water depth*) koja ima najizraženiji utjecaj na štetne posljedice poplava. Pored toga, u slučaju bujičnih poplava i poplava u urbanim područjima, često se koristi indikator **brzine vode** (eng. *water velocity*) koja utječe na štete na građevinama i infrastrukturi te **protok vode** (eng. *flow rate*) koji se računa kao umnožak dubine i brzine vode kako bi se odredio utjecaj na stabilnost ljudi, životinja i pokretnih receptora.

U slučaju poplava od izlivanja rijeka ili poplava od mora, još se koriste i indikatori **trajanja poplave** te **brzine plavljenja**, koja se može izraziti kao vrijeme do nailaska poplavnog vala ili brzina izdizanja razine vode, što je bitno za sustave ranog upozoravanja i evakuaciju stanovništva. U pojedinim slučajevima korisno je procijeniti i **koncentraciju** i veličinu različitih tvari koje se pronose poplavom, kao što je sediment ili različite onečišćujuće tvari, što može rezultirati velikim štetama, ne samo po izgrađeni okoliš, već i cjelokupni ekosustav.

Svi prethodno navedeni indikatori su kvantitativni, međutim, ponekad je opasnost od poplava korisnije izraziti kvalitativno, odnosno kao **razinu opasnosti poplave** (eng. *flood severity*) koja odražava kombinaciju različitih indikatora (npr. niska, srednja i visoka opasnost).

Treba napomenuti da se u okviru analize opasnosti od poplava često prikazuje i obuhvat poplave i/ili dubine vode za odabrane povijesne poplave. U tom slučaju ne mora nužno biti definirana vjerojatnost premašenja, ali ovi rezultati se također nazivaju kartama opasnosti od poplava, iako se u angloameričkom govornom području koristi drugačiji pojam (eng. *flood danger*).

Pored opasnosti od poplava, procjena rizika uključuje i identifikaciju elemenata koji su izloženi riziku (eng. *elements at risk*), što uključuje sve subjekte i objekte u izgrađenom i prirodnom okolišu koji potencijalno mogu biti poplavljeni – **receptori rizika**. To su primjerice, stanovništvo, vozila, građevine, infrastruktura, gospodarske aktivnosti, ekosustav i ostalo.

Iz definicije rizika direktno proizlazi da **procjena rizika** od poplava uključuje i analizu **potencijalno štetnih posljedica**, koje ne ovise samo o karakteristikama i vjerojatnostima pojave poplavnog događaja (definirano kroz opasnosti), već i o **ranjivosti receptora** koji su izloženi poplavama. U literaturi postoje različite definicije **ranjivosti** (eng. *vulnerability*). Primjerice, Merz (2007) ranjivost definira kao kombinaciju dva elementa, **izloženosti** (eng. *exposure*) i **podložnosti** (eng. *susceptibility*). Procjena izloženosti odgovara na pitanje „Tko ili što može biti pogođeno poplavom?“, dok procjena podložnosti odgovara na pitanje „Kako i koliko će izloženi receptori biti pogođeni ili oštećeni?“ (Merz, 2007). Stoga se može dati sljedeća sažeta definicija potencijalno štetnih posljedica:

$$C = S \times V \times E$$

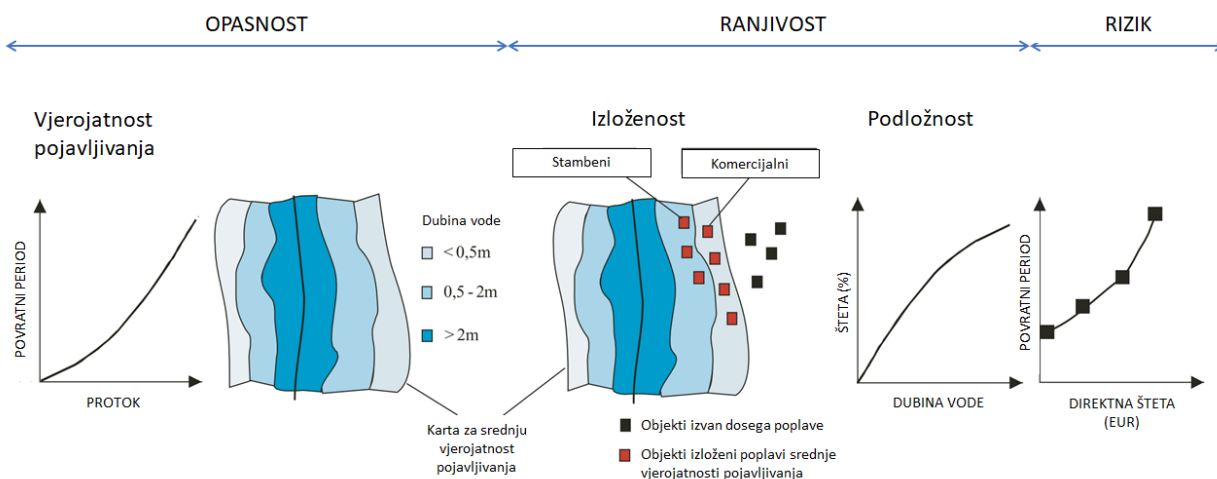
gdje su *C* potencijalno štetne posljedice, *S* je podložnost, *V* je vrijednost receptora, *E* je izloženost receptora (EXCIMAP, 2007.).

Podložnost S opisuje štetni učinak na receptore, najčešće se definira krivuljama dubine-štete (postotak štete u odnosu na dubinu vode) te može poprimiti vrijednost u rasponu od 0 do 1. **Vrijednost elementa** V je pored ekonomske vrijednosti moguće izraziti i kao broj stanovnika ili pojedine grupe stanovništva, ekonomsku aktivnost, duljinu infrastrukture, broj objekata, lokacije objekata koje sadrže onečišćujuće ili opasne tvari i slično. **Izloženost** E je definirana kao vjerojatnost da će receptor biti izložen poplavi (vezano uz opasnost od poplave) te može poprimiti vrijednost u rasponu od 0 do 1. U praksi se izloženost češće izražava direktno kao kombinacija vrijednosti elementa i izloženosti.

Treba napomenuti da je ranjivost složena i dinamička karakteristika receptora koja opisuje njegovu podložnost na negativne posljedice poplava. Pritom, podložnost receptora proizlazi iz vlastitih karakteristika, odnosno skupa sociološko-kulturnih, fizičkih, ekonomskih i okolišnih čimbenika. Visoka ranjivost receptora često je rezultat lošeg upravljanja prostorom kao što su nekontrolirana urbanizacija, neodržavanje infrastrukture i okoliša te popratna degradacija ili gubitak odgovarajuće podrške uzrokovane demografskim promjenama (Cardona i sur., 2012).

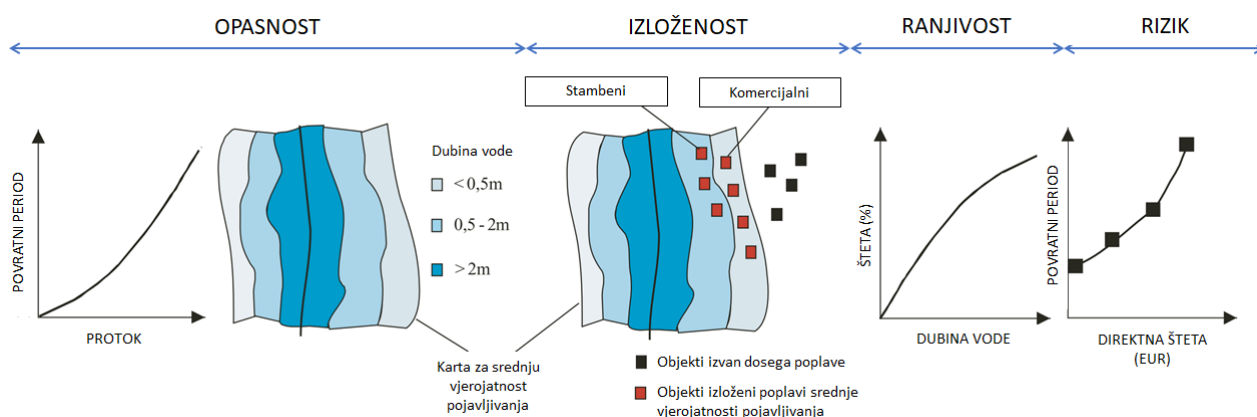
„**Ranjivost** je skup okolnosti određenih fizičkim, društvenim, ekonomskim i okolišnim čimbenicima ili procesima koji povećavaju podložnost pojedinca, zajednice, imovine ili sustava na štetne posljedice opasnosti“ (UNISDR, 2009).

Na Slici 2.3.1. prikazan je koncept definiranja rizika kao kombinacije opasnosti i ranjivosti.

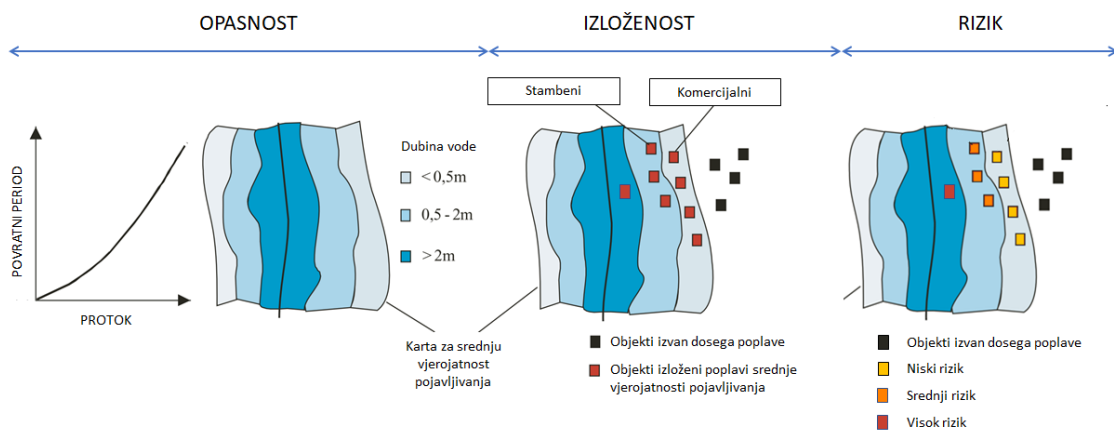


Slika 2.3.1 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti i ranjivosti (izloženost i podložnost), modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.

Treba napomenuti kako se u literaturi često nailazi na pristupe prema kojoj se rizik od poplava alternativno definira kao kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti. U tom se slučaju štetni učinak na receptore (npr. krivulje dubine-štete) naziva ranjivost, no razlika je u suštini semantička, a procjena se provodi na identičan način kao i što je prethodno prikazano i objašnjeno (Slika 2.3.2). Također, u literaturi se može naići i na pojam osjetljivosti koja se koristi kao alternativni naziv za podložnost.

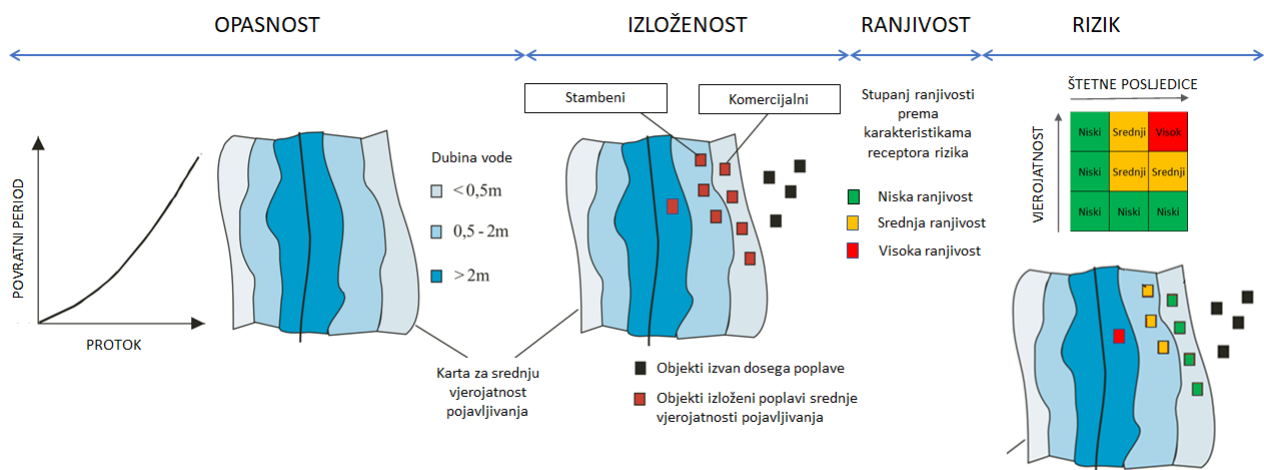


Slika 2.3.2 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti, modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.



Slika 2.3.3 Koncept rizika od poplava kao kombinacije opasnosti i izloženosti. Rizik je izražen kvalitativno kao razina rizika za svaku vjerojatnost pojavljivanja.

Također, treba napomenuti da je prethodno prikazani pristup vezan uz kvantitativnu procjenu rizika od poplava, međutim, rizik se može izraziti i kvalitativno. U pojednostavljenom pristupu se često zanemaruje podložnost te se koristi samo opasnost i izloženost, a rizik se izražava opisnim ili brojčanim razinama (npr. niska, srednja i visoka razina rizika), koje su direktno vezane uz razine opasnosti od poplava za pojedinu vjerojatnost (Slika 2.3.3). Navedeni koncept je ponekad nadograđen na način da se uvede i kvalitativna podložnost definirana prema karakteristikama receptora (npr. niska, srednja i visoka ranjivost) te se pomoću matrice rizika određuje pripadajuća razina rizika (Slika 2.3.4). Međutim, treba naglasiti da matrica rizika češće koristi pri usporedbi različitih vrsta rizika, a rjeđe za ocjenu razine rizika vezano uz jedan uzrok.

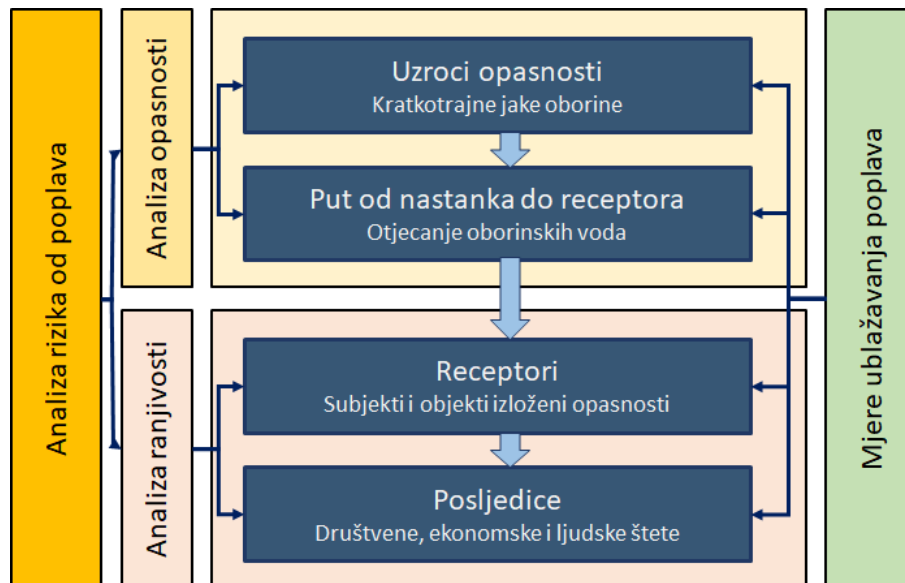


Slika 2.3.4 Koncept rizika od poplava kao kombinacije opasnosti, izloženosti i ranjivosti, uz matricu rizika. Rizik je izražen kvalitativno kao razina rizika.

2.4 Konceptualni model procjene pluvijalnih poplava

Konceptualni model SPRC (eng. *Source-Pathway-Receptor-Consequence*) često se koristi u procesu procjene rizika s ciljem boljeg razumijevanja pojedinačnih elemenata rizika i odnosa između svih relevantnih indikatora (Samuels i Gouldby, 2009). Navedeni koncept definira vezu između opasnosti, ranjivosti i rizika kao linearnu funkciju od uzroka opasnosti, puta između nastanka opasnosti i receptora, karakteristika receptora do štetnih posljedica (Slika 2.4.1). U kontekstu pluvijalnih poplava, glavni uzrok opasnosti su kratkotrajne jake oborine i proces generiranja površinskog otjecanja oborina. Put od uzroka do receptora opisuje površinsko otjecanje oborinske vode. Receptori su subjekti i objekti izloženi opasnosti od poplava i potencijalno podložni štetnim

posljedicama, dok se pojam štetne posljedice odnosi na sve negativne i neželjene procese kao što su štete na objektima (ekonomske posljedice), ozljede stanovništva i traume (socijalne posljedice) te onečišćenje vodnih resursa ili tla (okolišne posljedice).



Slika 2.4.1 Konceptualni model rizika SPRC (modificirano prema Sauer i sur., 2018)

Mjere ublažavanja rizika mogu utjecati na svaki element SPRC koncepta. Primjerice izgradnjom retencijskih bazena može se pozitivno utjecati na otjecanje oborinskih voda, dok se održivim pristupom prostornog upravljanja može ublažiti uzrok opasnosti – količina generiranog otjecanja oborina. Pritom, pri analizi rizika potrebno je cjelokupni sustav razmatrati integralno te pažljivo procijeniti utjecaj raspoloživih mjera na svaki element sustava.

2.5 Razine složenosti procjene pluvijalnih poplava

Razina složenosti uvjetuje odabir metodološkog pristupa, potrebne podatke i podloge, kao i stručne, financijske i druge resurse potrebne za procjenu rizika od pluvijalnih poplava. U okviru EU projekta RAINMAN (Sauer i sur., 2018) opisane su tri razine složenosti s prijedlogom odgovarajućih metoda za analizu opasnosti i ranjivosti te prikladnim razinama za analizu rizika i generiranje karata (Tablica 2.5.1).

Tablica 2.5.1 Razine složenosti procjene pluvijalnih poplava u odnosu na ciljeve, mjerilo, raspoloživost podataka i razinu stručnosti stručnjaka (modificirano prema Sauer i sur., 2018).

Razina složenosti	Objašnjenje	Primjer procjene rizika
Razina 1	<p>Osnovna razina analize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indikativne informacije o poplavama • Niska razina angažmana i stručnosti • Primjereno u kontekstu vrlo ograničene raspoloživosti podataka i niskih financijskih resursa <p>Kriteriji:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opasnosti: iskustvo i opažanja • Ranjivosti: iskustvo i opažanja 	<p>Identifikacija prioritetnih područja za upravljanje poplavnim rizicima na temelju iskustvenog znanja o poplavnim događajima i štetnim posljedicama. Bez informacija o stvarnom riziku zbog nedostatka podataka o vjerojatnostima pojave i očekivanim štetama.</p>
Razina 2	<p>Srednja razina analize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detaljnije od osnovne analize, ali i dalje samo opće informacije i pojednostavljeni pristupi • Srednja razina angažmana • Primjereno u kontekstu bolje raspoloživosti podataka te više razine stručnog iskustva i dostupnih financijskih resursa <p>Kriteriji:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opasnosti: GIS analize (stacionarno modeliranje) • Ranjivosti: Procjena štetnih posljedica bez podataka o dubini i brzini vode 	<p>Procjena rizika primjenom prostornih analiza o smjerovima toka i zadržavanju oborinske vode te procjena šteta na temelju grube procjene po jedinici površine.</p>
Razina 3	<p>Visoka razina analize:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detaljni rezultati • Korištenje modernih i naprednih metodoloških pristupa • Primjereno u kontekstu dobre raspoloživosti podataka, visoke razine stručnog iskustva i visokih financijskih resursa <p>Kriteriji:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opasnosti: Nestacionarni modeli i simulacije • Ranjivost: Procjene šteta na temelju dubina i brzina vode 	<p>Modeliranje rizika primjenom hidrološko-hidrauličkih modela te kvantitativna analiza šteta na temelju karakteristika receptora i funkcija dubine-štete, što omogućuje detaljnije planiranje i prijedloge za prioritizaciju mjera.</p>

U nastavku se daju detaljniji primjeri analiza za svaku od navedenih razina složenosti u okviru koncepta modeliranje rizika prema SPRC pristupu (Sauer i sur., 2018). Pritom, treba napomenuti da se prilikom procjene rizika mogu kombinirati različite razine složenosti, ovisno o dostupnim podacima, raspoloživim resursima i karakteristikama područja.

1. Analiza opasnosti (izvor i put):

- Razina 1: Pregled i dokumentiranje povijesnih događaja na terenu (tragovi poplava, nanos sedimenta, erozija, oštećenja).
- Razina 2: Topografska analiza smjera tečenja i analiza prirodnih depresija (visine terena, nagibi terena, oblici reljefa koji su relevantni za otjecanje i poplave).
- Razina 3: Hidrološko-hidrauličko modeliranje (uključujući analizu jakih oborina kao primarni uzrok pluvijalnih poplava).

2. Analiza ranjivosti (receptor i posljedica):

- Razina 1: Pregled i dokumentiranje oštećenja, intervencije vatrogasaca i civilne zaštite.
- Razina 2: Procjena ranjivosti pomoću GIS prostornih analiza uz identificiranje broja izloženih receptora (npr. ljudi, zgrade, duljina cesta, ...) ili površine područja (npr. izgrađena, komercijalna, poljoprivredna...).
- Razina 3: Kvantitativna analiza ranjivosti temeljena na monetarnim indikatorima maksimalnih šteta (npr. primjena funkcija dubine-štete specifičnih za receptor).

3. Analiza rizika (kombinacija opasnosti i ranjivosti putem izloženosti).

4. Kartiranje opasnosti i rizika (transformacija rezultata analize rizika u statički prikaz ili dinamički geografski informacijski sustav).

2.6 Kartiranje poplava - razine, korisnici i sadržaj

U skladu s predstavljenim metodološkim okvirom, Merz i sur. (2007) predlažu da se prilikom procjene rizika od poplava izrade sljedeće karte:

- **Karta opasnosti od poplava** koja za različite vjerojatnosti prikazuje obuhvat poplave, prostornu raspodjelu dubine vode, brzina vode, protoka vode i ostale relevantne indikatore.

- **Karta ranjivosti na poplave** koja za različite vjerojatnosti prikazuje izloženost stanovništva te izgrađenog i prirodnog okoliša i ostalih relevantnih elemenata.
- **Kartu rizika od poplava** koja za različite vjerojatnosti prikazuje prostornu raspodjelu očekivanih šteta ili za pojedine elemente ili po jedinici površine.

Za početak treba napomenuti da karte poplava predstavljaju temelj za izradu plana upravljanja poplavnim rizicima. Pritom, preduvjet za izradu kvalitetnog plana upravljanja poplavnim rizicima je poznavanje prostorne raspodjele te razine opasnosti i rizika od poplava na cjelokupnom promatranom području. Također, kartama poplava će se koristiti različiti dionici, pored spomenutog upravljanja poplavnim rizicima, za planiranje korištenja zemljišta, upravljanje prostorom, planiranje reakcija na prirodne nepogode, podizanje razine svijesti te i u privatnom sektoru, primjerice u sektoru osiguranja.

S obzirom na namjenu, svaki potencijalni korisnik ima specifične zahtjeve u pogledu sadržaja i mjerila karata poplava. U Tablicama 2.6.1. – 2.6.4. dani su prikazi razina, mjerila, korisnika i sadržaja s gledišta različite namjene korištenja karata poplava, prema Priručniku o kartiranju poplava (EXCIMAP, 2007) i Izvješću o pripremi karata (Vincze i sur., 2014).

Tablica 2.6.1 Razine, mjerila, namjene, korisnici i pripadajući sadržaji karata poplava s gledišta upravljanja poplavnim rizicima.

Razina / mjerilo	Namjena	Korisnici / složenost	Sadržaj karata poplava	
			Nužni elementi	Poželjni elementi
Nacionalna / 1:100.000 – 1:1.000.000	Planiranje i prioritizacija mjera upravljanja poplavnim rizicima Nacionalne strategije	Donosioci odluka / lako razumljive i pojednostavljene karte	Obuhvat Rizici Ranjiv okoliš Onečišćenja Imovina	Okvirna ranjivost
Regionalna / 1:25.000 – 1:100.000	Planiranje i prioritizacija mjera upravljanja poplavnim rizicima Regionalne strategije Plan upravljanja poplavnim rizicima na razini slivova Sudjelovanje javnosti	Donosioci odluka Tehničke službe Opća javnost / lako razumljive i pojednostavljene karte	Obuhvat Rizici Ranjiv okoliš Onečišćenja Imovina	Okvirna ranjivost
Lokalna / 1:2.000 – 1:25.000	Planiranje i procjena lokalnih i specifičnih mjera upravljanja poplavnim rizicima Sudjelovanje javnosti	Donosioci odluka Tehničke službe Opća javnost Stručnjaci /	Obuhvat Dubina Brzina	Ranjivost Štete Utjecaj na okoliš

		Složenije karte	
--	--	-----------------	--

Tablica 2.6.2 Razine, mjerila, namjene, korisnici i pripadajući sadržaji karata poplava s gledišta prostornog planiranja.

Razina / mjerilo	Namjena	Korisnici / složenost	Sadržaj karata poplava	
			Nužni elementi	Poželjni elementi
Nacionalna i regionalna / 1:100.000 – 1:500.000	Prostorno planiranje (nacionalni i županijski planovi) Namjeni zemljišta za razvoj Planiranje koridora za infrastrukturu	Donosioci odluka Prostorni planeri / Pojednostavljene karte	Obuhvat Rizici Ranjiv okoliš Onečišćenja Imovina	Dodatni indikatori relevantni za procjenu opasnosti
Lokalna / 1:5.000 – 1:25.000 (razina katastra)	Prostorno planiranje (planovi gradova i općina, urbanistički planovi uređenja, detaljni planovi) Upravljanje slivnim područjima Podrška odlučivanju u upravljanju područjem.	Jedinice lokalne samouprave (JLS) Prostorni planeri / Pojednostavljene karte	Obuhvat	Dodatni parametri opasnosti (dubina, brzina, trajanje, stupanj)

Tablica 2.6.3 Razine, mjerila, namjene, korisnici i pripadajući sadržaji karata poplava s gledišta postupanja u slučaju opasnosti, nesreća i katastrofa.

Razina / mjerilo	Namjena	Korisnici / složenost	Sadržaj karata poplava	
			Nužni elementi	Poželjni elementi
Nacionalna i regionalna / 1:100.000 – 1:500.000	Planiranje za velike nesreće i katastrofe koje mogu zahtijevati nacionalnu ili regionalnu intervenciju	Prostorni planeri Civilna zaštita Političari i donosioci odluka	Obuhvat Rizici Pogođeno stanovništvo Pogođena infrastruktura	Dodatni indikatori relevantni za procjenu opasnosti, ranjivosti i rizika
Lokalna / 1:5.000 – 1:25.000	Planiranje postupanja u slučaju lokalnih opasnosti	Civilna zaštita Političari i donosioci odluka Hitne službe	Obuhvat Dubina Ranjivost stanovništva Rizici (infrastruktura, onečišćenja, kulturna baština, itd.)	Povratne informacije u realnom vremenu, gdje i kada je to moguće

Tablica 2.6.4 Razine, mjerila, namjene, korisnici i pripadajući sadržaji karata poplava s gledišta javnosti.

Razina / mjerilo	Namjena	Korisnici / složenost	Sadržaj karata poplava	
			Nužni elementi	Poželjni elementi
Lokalna / 1:5.000 – 1:25.000	Javne informacije o poplavama	Opća javnost Stručna javnost / Lako razumljive karte	Obuhvat Dubina	Povijesne poplave Brzina, protok, erozija, debitni tokovi, i ostalo relevantno za pojedino područje.

3 Metodologija procjene rizika od poplava

3.1 Metodološki okvir procjene rizika od pluvijalnih poplava

Procjena rizika od poplava uslijed jakih oborina – pluvijalnih poplava – u predmetnoj studiji provedena je na šest pilot područja u skladu sa Zakonom o vodama (NN 66/2019), Direktivom o poplavama (EC 2007/60/EZ) te Priručnikom o kartiranju poplava (EXCIMAP, 2007). Analiza rizika od poplava stoga uključuje analize opasnosti od poplava i analize ranjivosti na poplave. Koncept i elementi procjene rizika od poplava prikazani su na Slici 3.1.1.

U nastavku se daje sažeti opis odabrane metodologije za procjenu rizika od pluvijalnih poplava. Opasnosti od poplava procijenjeni su putem hidrološko-hidrauličkih simulacija površinskog otjecanja oborinskih voda. Osnovna podloga za navedene simulacije su oborine definirane projektnim pljuskom za različite vjerojatnosti. Rezultat analiza opasnosti od poplava su karte dubina i brzina vode te razine opasnosti za svaku promatranu vjerojatnost.

Ranjivost je analizirana procjenom izloženosti i podložnosti receptora poplava. Pritom je izloženost analizirana za korištenje zemljišta, javne usluge, izvore onečišćenja, kulturu baštinu, zaštićena područja, građevine, prometnu infrastrukturu i stanovništvo. Izloženost prikazuje identificirane receptore koje se nalaze unutar obuhvata poplave za svaku promatranu vjerojatnost. Podložnost je procijenjena s obzirom na krivulje dubine-štete, koje definiraju postotak štete s obzirom na dubinu vode te namjenu korištenja zemljišta, također za svaku promatranu vjerojatnost.

Kvalitativni rizik je procijenjen na osnovu kombinacije razine opasnosti i izloženosti te prikazuje razinu rizika (razine R0 – R4) svake izložene građevine, prometnice i stanovništva za svaku promatranu vjerojatnosti. Rizik je također analiziran kvantitativno procjenom očekivanih direktnih šteta, na osnovu opasnosti i ranjivosti. Pritom su korištene karte dubina vode, karte izloženosti zemljišta, krivulje dubine-štete te prosječne vrijednosti receptora kako bi se izradila karta direktnih šteta izražena u postocima i EUR/m². Konačan rezultat je krivulja šteta za različite vjerojatnosti.

U odnosu na razine složenosti procjene rizika predstavljene u poglavlju 2.5, predmetna analiza se provodi na visokoj razini složenosti, sa sljedećim pojedinačnim karakteristikama (Tablica 3.1.1).

1. Analiza opasnosti (izvor i put):

- **Razina 3:** Hidrološko-hidrauličko modeliranje (uključujući analizu jakih oborina kao primarni uzrok pluvijalnih poplava).

2. Analiza ranjivosti (receptor i posljedica):

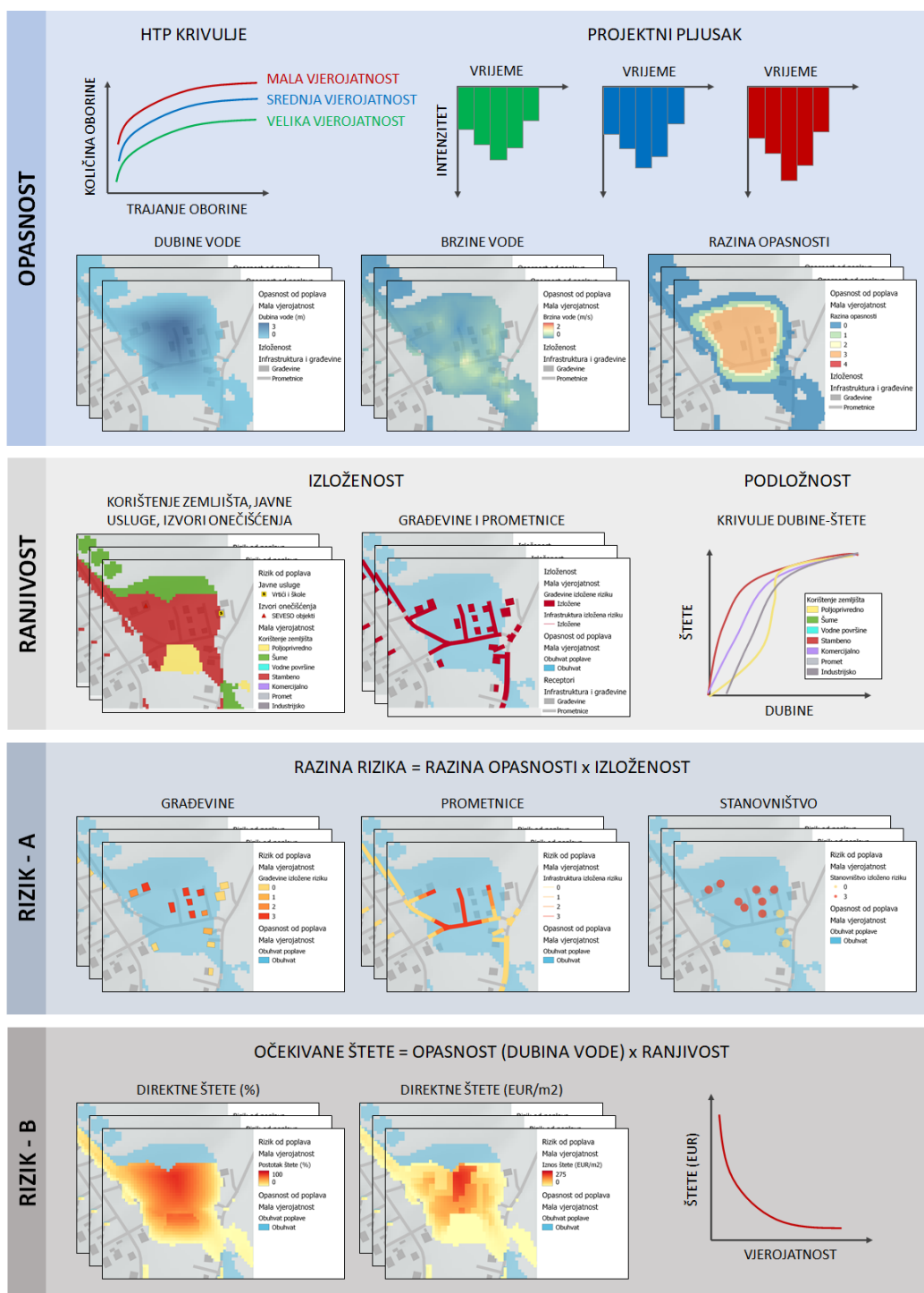
- **Razina 2:** Procjena ranjivosti pomoću GIS prostornih analiza uz identificiranje broja izloženih receptora (stanovništvo, građevine, duljina prometnica) i površine područja (namjena korištenja zemljišta).
- **Razina 3:** Kvantitativna analiza ranjivosti temeljena na monetarnim indikatorima maksimalnih šteta (primjena funkcija dubine-štete specifičnih za klasu korištenja zemljišta).

3. Analiza rizika (kombinacija opasnosti i ranjivosti putem izloženosti).

4. Kartiranje opasnosti i rizika (transformacija rezultata analize rizika u statički prikaz – PDF karte - i dinamički geografski informacijski sustav – GIS datoteke).

Tablica 3.1.1 Razina složenosti procjene rizika u predmetnoj studiji

Element SPRC	Metoda	Razina složenosti		
		Razina 1	Razina 2	Razina 3
Uzrok	Povijesne poplave vremenske rezolucije 5 min. Projektni pljusak trajanja 1, 3, 6, 12, i 24 h za scenarije velike, srednje i male vjerojatnosti (VGP 20, 4, i 1 %). Infiltracija opisana SCS metodom i prostorno promjenjivim CN brojevima krivulje.			×
Put	Hidrološko-hidrauličke nestacionarne simulacije površinskog otjecanja oborinskih voda. 2D numerički model (HEC-RAS 6.0) Indikatori: Dubina, brzina, protok.			×
Receptor	GIS analiza: Broj građevina, broj stanovnika, duljina prometnice i željeznica, namjena korištenja zemljišta, kulturna baština, zaštićena područja, javne usluge i lokacije objekata koje mogu prouzročiti onečišćenje.		×	
Posljedica	Podložnost štetnim posljedicama putem funkcija dubine-štete. Procjene direktnih šteta na razini piksela s obzirom na dubinu vode, funkcije dubine-štete, tablične vrijednosti maksimalnih šteta i kartu namjene korištenja zemljišta.			×



Slika 3.1.1 Elementi i indikatori procjene opasnosti, ranjivosti i rizika od pluvijalnih poplava

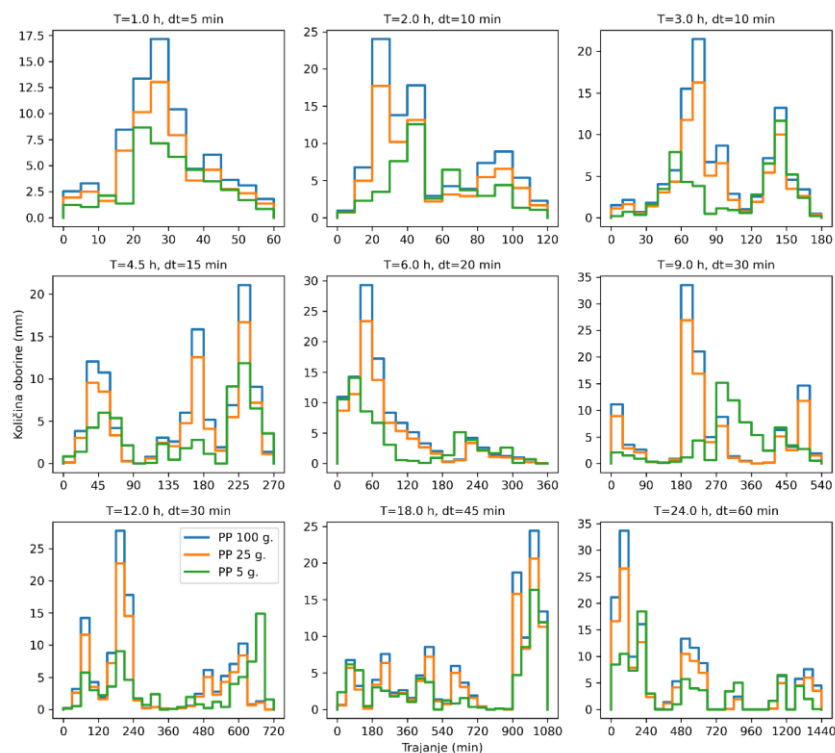
3.2 Analiza opasnosti od pluvijalnih poplava

3.2.1 Priprema podloga za procjenu opasnosti od poplava

Za potrebe procjene opasnosti od poplava pripremljene su meteorološke i prostorne podloge koje se detaljnije opisuju u nastavku.

3.2.1.1 Meteorološke podloge za procjenu opasnosti od poplava

Analiza oborina provedena je u „Studiji analize oborina na pilot područjima“ (Knjiga 1 ovog projekta) u kojoj su definirane HTP krivulje (količina – trajanje – vjerojatnost oborine) za pet ombrografskih postaja vezanih uz odabrana pilot područja. U Tablici 3.2.1 dan je popis pilot područja te pripadajućih postaja s razdobljem dostupnih ombrografskih podataka. Konačan rezultat analize oborina su pluviogrami projektnog pljuska kojima su definirane sintetičke oborine različitog trajanja za tri vjerojatnosti (povratni period 5, 25 i 100 godina) i za svako pilot područje. Primjer dobivenih rezultata oblika projektnog pljuska (pluviogrami) za postaju Poreč prikazan je na Slici 3.2.1



Slika 3.2.1 Primjer sintetičke oborine – pluviogram projektnog pljuska – za pilot područje Poreč.

Tablica 3.2.1 Popis ombrografskih postaja analiziranih u ovoj studiji za pojedina pilot područja s pripadnim raspoloživim dugogodišnjim razdobljem mjerenja

Pilot područje	Postaja	Razdoblje (ombrograf)
Poreč	Poreč	1984.-2020.
Gospić	Gospić	1961.-2020.
Zadar	Zadar	1961.-2020.
Biograd na Moru	Zadar	1961.-2020.
Split	Split - Marjan	1961.-2020.
Metković	Ploče	1968.-2020.

3.2.1.2 Prostorne podloge za procjenu opasnosti od poplava

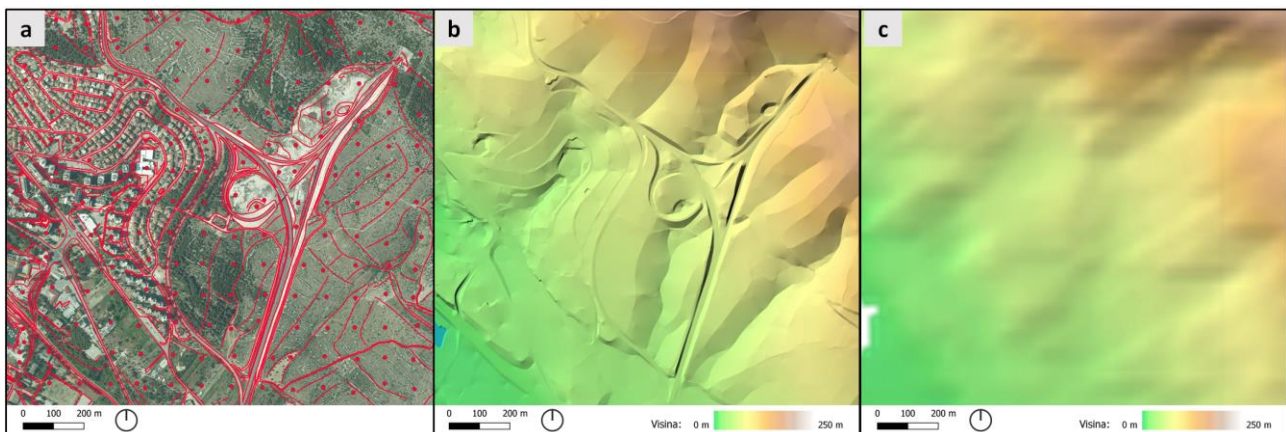
U svrhu provedbe hidrološko-hidrauličke analize otjecanja oborinskih voda, odnosno procjene opasnosti od poplava, Naručitelj je prikupio i pripremio osnovne prostorne podloge. Uz navedeno, prikupljene su i dodatne prostorne podloge te generirane sekundarne podloge. U Tablici 3.2.2. dan je pregled svih prikupljenih i generiranih prostornih podloga s opisom i izvorom.

Tablica 3.2.2 Pregled prikupljenih i generiranih prostornih podloga za potrebe procjene opasnosti od pluvijalnih poplava

Podloga	Tip podatka	Izvor
Katastar poplava	Vektorski (poligoni i točke)	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru)
Digitalni model terena (DMT)	Rasterski, rezolucija 5 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru) na temelju digitalnog modela reljefa (DMR) nabavljenog od Državne geodetske uprave (DGU).
Karta zemljišnog pokrova	Rasterski, rezolucija 5 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru).
Karte nepropusnosti podloge (Imperviousness Density)	Rasterski, rezolucija 10m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: Copernicus Land Monitoring Service.
Građevine	Vektorski (poligoni), rasterizirano na rezoluciju 5 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.

Prometna infrastruktura	Vektorski (linije), rasterizirano na rezoluciju 5 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.
Karta hrapavosti podloge	Rasterski, rezolucija 5 m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova i rasteriziranog sloja prometnica, prema tabličnim vrijednostima iz literature.
Karta infiltracije (CN brojevi krivulje)	Rasterski, rezolucija 5m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova, rasteriziranog sloja prometnica i karte hidrološke grupe tla prema tabličnim vrijednostima iz literature.

Digitalni model terena (Slika 3.2.2), karta zemljišnog pokrova i karta nepropusnosti podloge su dobivene ili preuzete u konačnom obliku, stoga se u nastavku daje pregled i opis metodologije generiranja karata hrapavosti podloge i karte infiltracije. Kartom zemljišnog pokrova koja je izrađena u svrhu provedbe ovog projekta identificirana je i kartirana 21 klasa. Naknadno su urbana područja klasificirana u tri podklase, što ukupno čini 23 klase zemljišnog pokrova.



Slika 3.2.2 Usporedba digitalnog modela terena 5-m rezolucije (b) dobivenog interpolacijom digitalnog modela reljefa (a) i javno dostupnog modela terena 25-m rezolucije (EU DEM) (c).

S obzirom da ne postoje unificirane i opće prihvaćene vrijednosti hrapavosti podloge s obzirom na klase zemljišnog pokrova, provedena je analiza koeficijenta hrapavosti iz različitih izvora (Burek i sur., 2014; USACE, 2021; NRCS, 2016; Babister i Barton, 2012). Konačna vrijednost dobivena je usrednjavanjem svih vrijednosti za pojedinačnu klasu pokrova zemljišta. Pritom, korišten je, najšire rasprostranjeni, Manningov koeficijent hrapavosti (Chow, 2010). U Tablici 3.2.3 dan je prikaz različitih vrijednosti ovog koeficijenta hrapavosti iz literature koje su potom uprosječene i usvojene

kao mjerodavne za hidrauličke analize. Za proračun prosječnih vrijednosti korištena je harmonijska sredina.

Infiltracijski kapacitet podloge opisan je CN brojem krivulje prema NRCS metodologiji (USDA, 2017) te su svakoj klasi pokrova zemljišta pridodane odgovarajuće vrijednosti. U Tablici 3.2.4 prikazane su odabrane vrijednosti CN broja krivulje za sve 23 klase pokrova zemljišta i četiri hidrološke grupe tla. Sve vrijednosti CN brojeva preuzeti su iz relevantne literature (USDA, 2017; Hong i Adler, 2008).

Tablica 3.2.3 Procjena Manningovog koeficijenta hrapavosti za klase pokrova zemljišta (modificirano prema Burek i sur., 2014; USACE, 2021; NRCS, 2016; Babister i Barton, 2012).

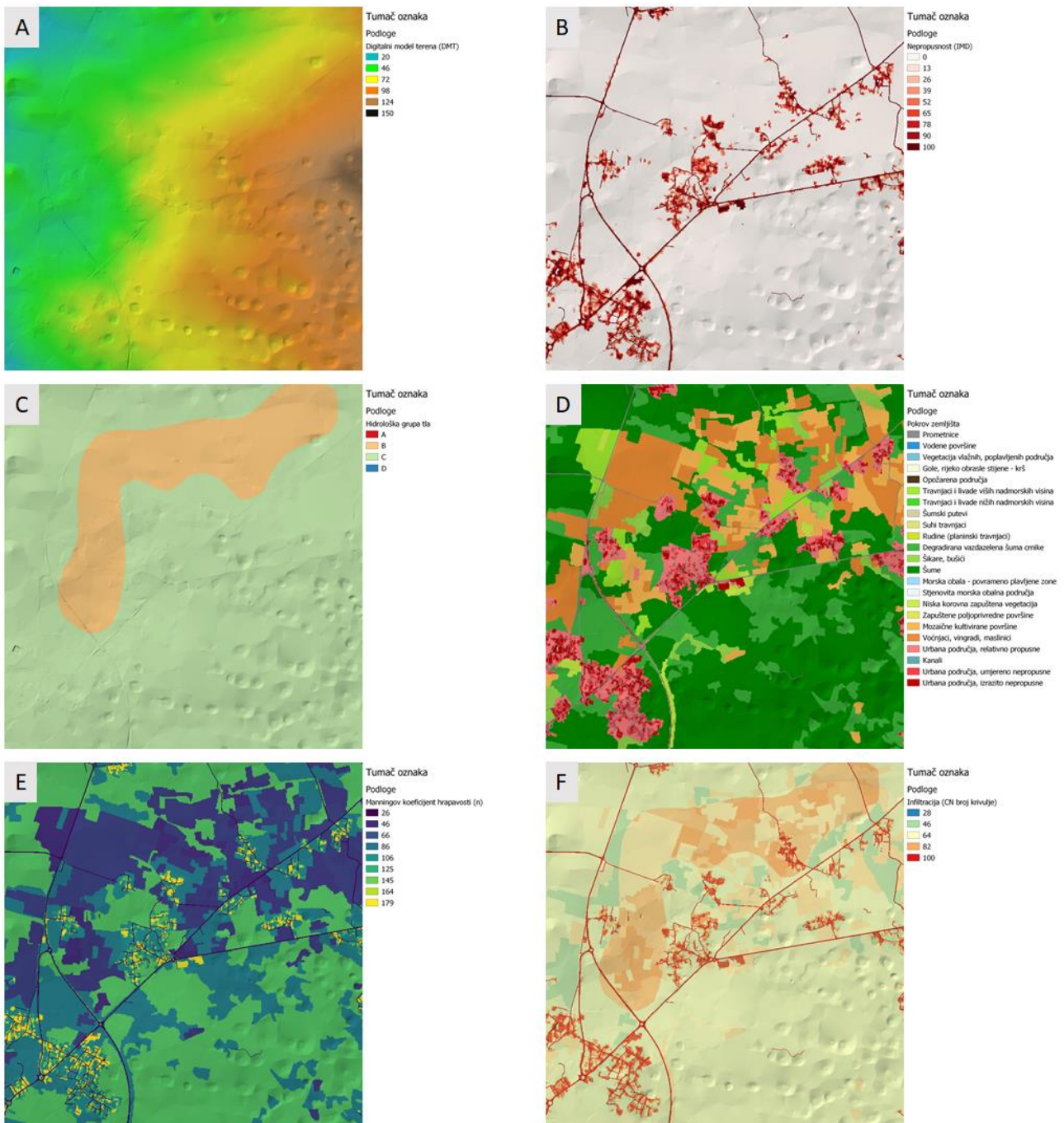
	Burek i sur. (2014)	USACE (2021)	NRCS, (2016)	Babister i Barton (2012)	Usvojeno
Klase pokrova zemljišta	n	n	n	n	n
URBANA PODRUCJA relativno propusne		0.08	0.1	0.13	0.099
URBANA PODRUCJA umjereno nepropusne		0.12	0.12	0.18	0.135
URBANA PODRUCJA izrazito nepropusne		0.15	0.15	0.29	0.179
PROMETNICE	0.02	0.035	0.04	0.02	0.026
SUMSKI PUTOVI	0.05	0.03	0.025	0.03	0.032
NISKA KOROVNA ZAPUSTENA (RUDERALNA) VEGETACIJA	0.25	0.08	0.1	0.06	0.093
ZAPUSTENE POLJOPRIVREDNE POVRŠINE	0.08	0.05	0.035		0.049
MOZAIČNE KULTIVIRANE POVRŠINE	0.15	0.05	0.035		0.054
VOCNJACI, VINOGRADI MASLINICI	0.25	0.05	0.035		0.057
SUME	0.3	0.12	0.16	0.09	0.138
TRAVNJACI I LIVADE VISIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUCJA	0.2	0.045	0.03	0.04	0.047
TRAVNJACI I LIVADE NIZIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUCJA	0.2	0.045	0.03	0.04	0.047
SUHI TRAVNJACI	0.25	0.04	0.035	0.04	0.048
RUDINE (PLANINSKI TRAVNJACI)	0.25	0.04	0.035	0.04	0.048
DEGRADIRANA VAZDAZELENA SUMA CRNIKE - KAMENJARSKI PASNJAK	0.25	0.08	0.1	0.06	0.093
SIKARE, BUSICI	0.2	0.08	0.1	0.06	0.091
GOLE, RIJETKO OBRASLE STIJENE - KRS	0.08	0.03	0.025		0.035
OPOZARENA PODRUCJA	0.05	0.03	0.025		0.032
STJENOVITA MORSKA OBALNA PODRUCJA	0.1	0.03	0.025	0.03	0.034
MORSKA OBALA - POVREMENO PLAVLJENE ZONE	0.05	0.03	0.025	0.03	0.032

VEGETACIJA VLAŽNIH, POPLAVLJENIH PODRUCJA	0.2	0.08	0.12	0.06	0.094
VODENE POVRSINE	0.015	0.035	0.04	0.03	0.026
KANALI	0.015	0.06	0.07	0.06	0.035

Na Slici 3.2.3 dan je primjer svih korištenih prostornih podloga – prikupljene podloge digitalnog modela terena, karte nepropusnosti podloge, karte hidrološke grupe tla, karte pokrova zemljišta te generirane podloge karte Mannigovog koeficijenta hrapavosti i karte infiltracije opisane CN brojem krivulje.

Tablica 3.2.4 Procjena CN broja krivulje prema NRCS metodologiji za klase pokrova zemljišta (modificirano prema USDA, 2017; Hong i Adler, 2008)

Klasa pokrova zemljišta	CN broj krivulje za različite hidrološke grupe tla			
	A	B	C	D
URBANA PODRUCJA relativno propusne	39	59	72	80
URBANA PODRUCJA umjereno nepropusne	68	80	87	90
URBANA PODRUCJA izrazito nepropusne	85	90	93	94
PROMETNICE	98	98	98	98
SUMSKI PUTOVI	69	80	85	88
NISKA KOROVNA ZAPUSTENA (RUDERALNA) VEGETACIJA	49	69	79	84
ZAPUSTENE POLJOPRIVREDNE POVRSINE	67	80	87	91
MOZAICNE KULTIVIRANE POVRSINE	52	69	79	84
VOCNJACI, VINOGRADI MASLINICI	28	52	67	75
SUME	38	62	75	81
TRAVNJACI I LIVADE VISIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUCJA	44	63	75	85
TRAVNJACI I LIVADE NIZIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUCJA	44	63	75	85
SUHI TRAVNJACI	49	69	79	84
RUDINE (PLANINSKI TRAVNJACI)	23	49	63	71
DEGRADIRANA VAZDAZELENA SUMA CRNIKE - KAMENJARSKI PASNJAK	40	61	73	79
SIKARE, BUSICI	45	65	75	80
GOLE, RIJETKO OBRASLE STIJENE - KRS	70	81	88	92
OPOZARENA PODRUCJA	70	81	88	92
STJENOVITA MORSKA OBALNA PODRUCJA	70	81	88	92
MORSKA OBALA - POVREMENO PLAVLJENE ZONE	80	80	80	80
VEGETACIJA VLAŽNIH, POPLAVLJENIH PODRUCJA	86	86	86	86
VODENE POVRSINE	100	100	100	100
KANALI	77	85	90	91



Slika 3.2.3 Primjer prikupljenih i generiranih prostornih podloga za procjenu opasnosti od poplava: a) digitalni model terena (m n. m.), b) nepropusnost podloge (%), c) hidrološke grupe tla, d) pokrov zemljišta, e) Manningov koeficijent hrapavosti ($10^{-3} \text{ m}^{-1/3}\text{s}$) i f) CN broj krivulje

3.2.2 Definiranje scenarija za procjenu opasnosti od poplava

Analiza opasnosti od poplava je provedena za poplave male, srednje i velike vjerojatnosti, pri čemu su navedene vjerojatnosti vezane uz povratni period odnosno vjerojatnost godišnjeg premašenja, kako je to prikazano u Tablici 3.2.5. Poplava velike vjerojatnosti odgovara vjerojatnosti godišnjeg premašenja (VGP) od 20%, poplava srednje vjerojatnosti odgovara VGP od 4%, dok poplava male vjerojatnosti odgovara VGP od 1%. Analiza opasnosti provedena je uz pretpostavku izjednačenosti vjerojatnosti pojave jakih oborina i pluvijalnih poplava (primjerice oborina koja ima vjerojatnost godišnjeg premašenja 4% rezultira poplavom koja ima vjerojatnost godišnjeg premašenja 4%).

Tablica 3.2.5 Odabrani scenariji za analizu opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava

Scenarij	Povratni period (PP)	Vjerojatnost godišnjeg premašenja (VGP)
Poplava velike vjerojatnosti	5	20%
Poplava srednje vjerojatnosti	25	4%
Poplava male vjerojatnosti	100	1%

3.2.3 Uspostava matematičkog modela površinskog otjecanja jakih oborina

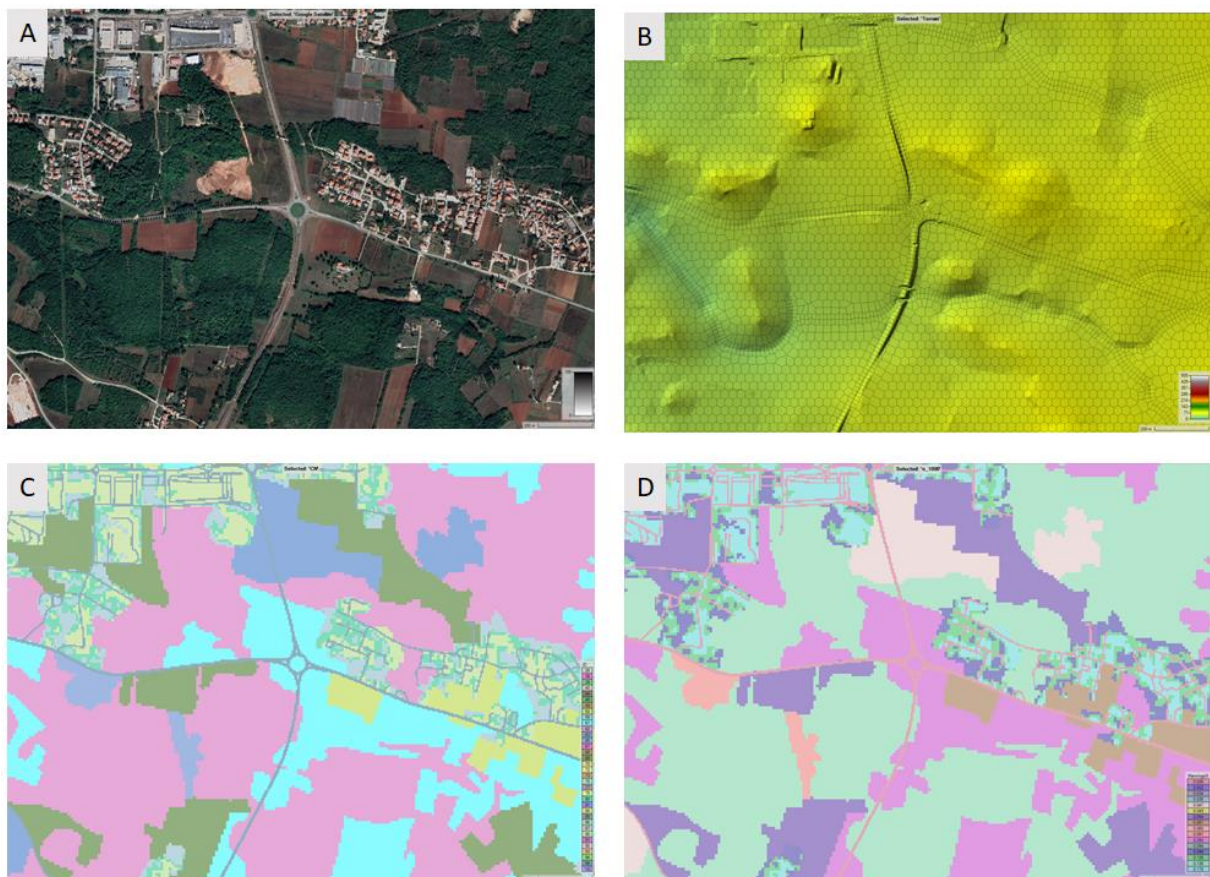
Analiza opasnosti od poplava zasniva se na hidrološko-hidrauličkim simulacijama površinskog otjecanja jakih oborina. U tu svrhu korišten je matematički model HEC-RAS 6.0 (Brunner, 2021), računalni program za hidrauličke proračune koji omogućava proračun jednodimenzijskog (1D) i dvodimenzijskog (2D) stacionarnog i nestacionarnog toka površinskih voda. Bitno je spomenuti da navedeni model dopušta definiranje vremenske raspodjele oborina po cijeloj površini 2D domene (tzv. *rain-on-grid*) te dodatne hidrološke elemente proračuna, prvenstveno infiltracije vode u podlogu, koja se može definirati konstantnim koeficijentima, empirijskom SCS metodom ili fizikalnom Green-Ampt jednadžbom.

Uspostava matematičkog modela površinskog otjecanja jakih oborina sastoji se od sljedećih koraka:

- a) Definiranje digitalnog modela terena
- b) Definiranje prostornih parametara procesa infiltracije
- c) Definiranje prostorne gustoće izgrađenosti (nepropusnosti)
- d) Definiranje prostorne raspodjele hrapavosti

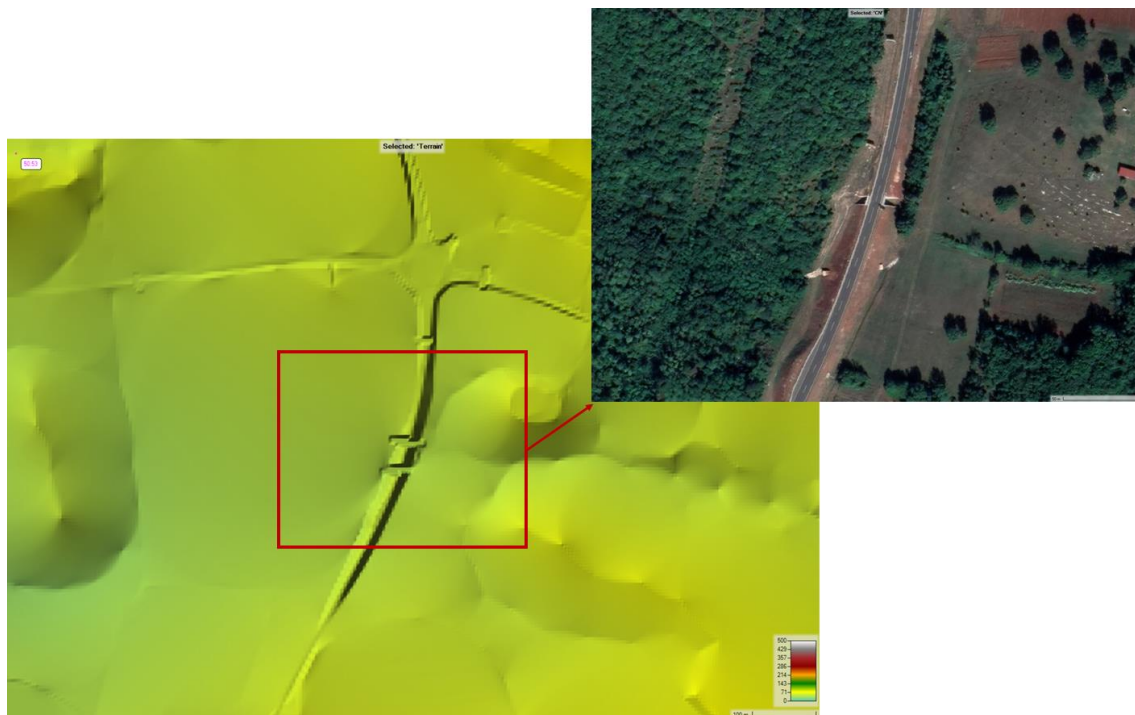
- e) Definiranje prostorne domene modela i generiranje proračunske mreže
- f) Definiranje rubnih uvjeta
- g) Definiranje parametara numeričkog proračuna
- h) Definiranje scenarija

Na Slici 3.2.4 prikazan je primjer definiranog digitalnog modela terena, proračunske mreže, prostorne raspodjele CN brojeva kojima je zadan proces infiltracije oborine u podlogu te prostorna raspodjela Manningovog koeficijenta hrapavosti. Pritom, digitalni model terena, karta CN brojeva, karta nepropusnosti podloge i karta hrapavosti direktno su implementirani u matematički model na temelju prostornih podloga prikazanih u poglavlju 3.2.1.



Slika 3.2.4 Primjer definiranih prostornih podloga u HEC-RAS modelu: a) satelitska snimka dijela sliva, b) digitalni model terena s proračunskom mrežom, c) prostorna raspodjela CN brojeva kojima se definira proces infiltracije oborine u podlogu, d) prostorna raspodjela Manningovog koeficijenta hrapavosti.

Treba napomenuti da je digitalni model terena korigiran na lokacijama gdje su pregledom terena i prometne infrastrukture identificirani propusti ili drugi objekti koju mogu utjecati na površinski tok vode. Korekcija DMT-a provedena je na način da su lokalno modificirane visine terena kako bi odgovarale kotama nivelete propusta ili drugih infrastrukturnih elemenata (Slika 3.2.5). Također treba napomenuti da je na ovoj razini analize (za cjelokupni sliv) zanemaren povoljan utjecaj sustava za odvodnju oborinskih voda, prema preporukama prethodnih istraživanja (RAINMAN, 2020).



Slika 3.2.5 Primjer lokalne korekcije DMT-a zbog identificiranih propusta

Prostorna domena modela odgovara površini sliva, međutim granica domene je proširena za 500 m i modificirana (ublažena) na mjestima naglih promjena rubnih linija. Na ovaj način obuhvaćeni su i procesi na rubovima sliva te je osigurana stabilnost proračuna. Proračunska mreža definirana je unutar domene modela, korištena je strukturirana heksagonalna mreža širine 25-30 m, koja je progušćena na 15-20 m uzduž svih prometnica i drenažne mreže. Konačan oblik mreže je stoga nestrukturiran s ćelijama promjenjivog oblika i širine od 15 do 30 m (Slika 3.2.4b). Heksagonalna mreža korištena je zbog karakteristika promatranih procesa – površinskog širenja pluvijalnih poplava – koje se mogu širiti u svim smjerovima. U tim slučajevima heksagonalna mreža daje preciznije rezultate od kvadratne mreže istih dimenzija, uz neznatno povećanje proračunskih zahtjeva.

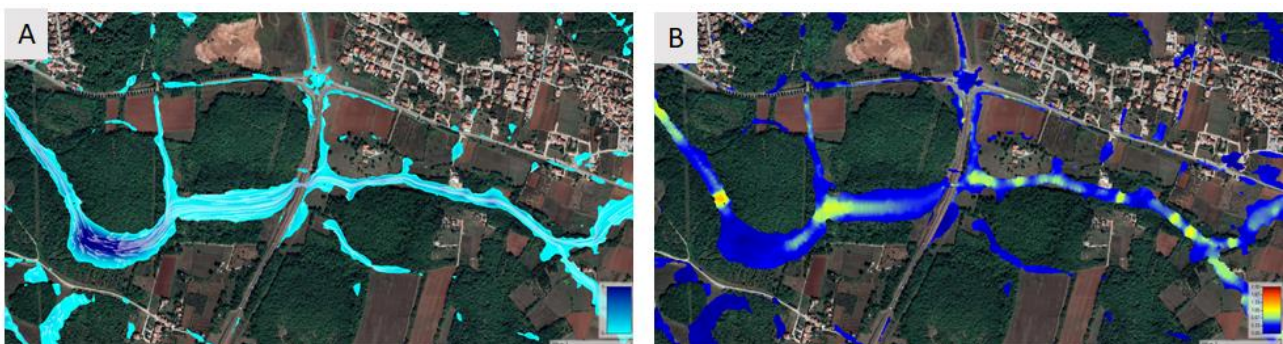
U modelu su definirana tri rubna uvjeta, dva na granicama domene (linijski rubni uvjeti) i jedan po cjelokupnoj površini domene (površinskih rubni uvjet):

- Na kopnenoj granici domene zadan je uvjet normalnog toka uz prosječni nagib terena.
- Na morskoj granici domene zadana je srednja razina mora, odnosno na granici rijeke (Gospić i Metković) zadan je vodostaj.
- Po površini domene definirana je prostorno homogena, ali vremenski varijabilna oborina u obliku pluviograma (projektni pljusak, poglavlje 3.2.1).

U svrhu numeričke analize toka vode korišten je nestacionarni 2D proračun te sustav jednadžbi opisan metodom difuznog vala (eng. *Diffusion Wave*) uz vremenski promjenjiv vremenski korak. Za implicitni proračun korišten je parametar $\theta = 1,0$, a za rješavanje matrica korišten je PARDISO algoritam (Brunner, 2021). Vremenski korak dinamički se računa s obzirom na CFL broj u rasponu od 0,8 do 4,0.

Za svako pilot područje provedena je analiza tri scenarija (Tablica 3.2.5), a za svaki scenarij provedeno je pet proračuna za trajanja oborine od 1, 3, 6, 12, 24 sata. Dodatno je provedena i reanaliza tri povijesna poplavna događaja. Stoga je ukupno provedeno po 18 računskih simulacija po svakom pilot području.

Rezultat simulacije je vremenski zapis dinamike površinskog otjecanja, a rezultati se daju u obliku maksimalnih zabilježenih dubina i brzina vode (Slika 3.2.6). Pored dubine (h) i brzine (v) vode još su određeni u sekundarni parametri različitih kombinacija dubine i brzine vode (hv i h^2v). Konačan rezultat je dan u obliku anvelope maksimalnih vrijednosti svih navedenih parametara za svaki pojedini scenarij (tri rezultata za svako pilot područje).



Slika 3.2.6 Primjer rezultat HEC-RAS proračuna u obliku: a) prostorne raspodjele dubina vode i b) prostorne raspodjele brzine vode.

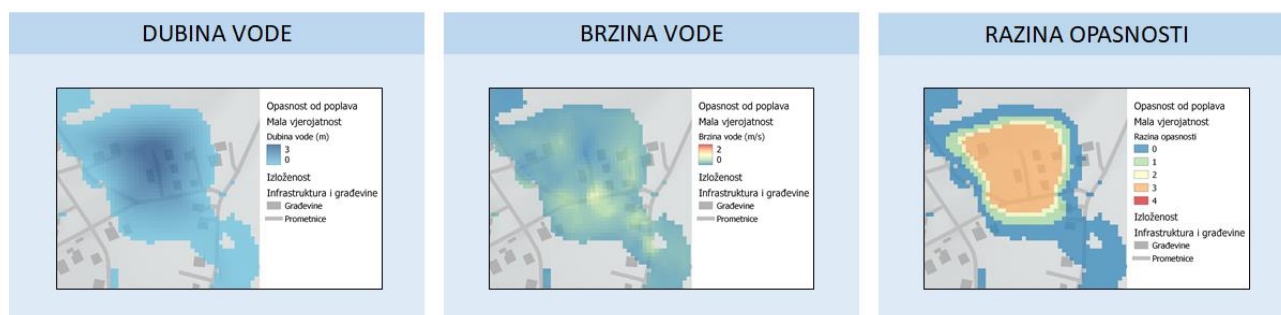
3.2.4 Indikatori opasnosti od poplava

Opasnost od pluvijalnih poplava izražena je prema tri indikatora za tri scenarija (vjerojatnosti):

- **Dubina vode.**
- **Brzina vode.**
- **Razina opasnosti.**

Slika 3.2.7 prikazuje primjer sva tri navedena indikatora za jedan scenarij. Dubina vode u poplavljenom području ima najznačajniji utjecaj na štete od poplava i smatra se osnovnim indikatorom opasnosti od poplava. Brzina vode također utječe na razinu štete na objektima, međutim ovaj indikator je bitan faktor i za procjenu opasnosti za stanovništvo, odnosno stabilnost ljudi i stabilnost vozila. Za procjenu (ne)stabilnosti ljudi dodatan indikator je i specifični protok vode (umnožak dubine i brzine vode), koji se u predmetnoj studiji računa, ali ne prikazuje u obliku zasebne karte. U svrhu jasnije ocjene opasnosti za stanovništvo, vozila i građevine provodi se i procjena razine opasnosti.

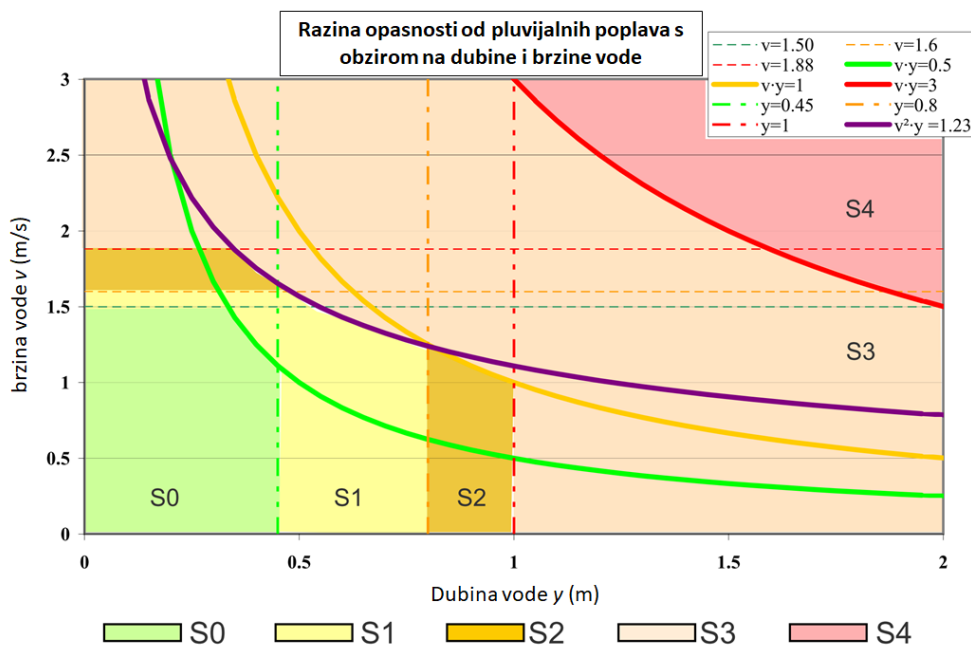
Procjena razine opasnosti u predmetnoj studiji provodi se prema SUFRI metodologiji, koja je proizašla kao rezultat europskog projekta *Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management* (Escuder-Bueno i sur., 2011). U okviru ovog projekta definirane su održive strategije upravljanju poplavnim rizicima, koje uključuju analizu ranjivosti, napredni sustav ranog upozoravanja na poplave te komunikaciju s ciljem optimizacije upravljanja rizicima. Posebna pozornost u okviru SUFRI projekta posvećena je analizi ranjivosti i rizika od poplava za stanovništvo te je predložena metodologija procjene razine opasnosti koja uključuje indikatore dubine vode (y), brzine vode (v) te parametre otpora (yv) i parametre klizanja (v^2y). Kriteriji za procjenu razine opasnosti prikazani su u Tablici 3.2.6 te na Slici 3.2.8.



Slika 3.2.7 Primjer odabranih indikatora opasnosti od pluvijalnih poplava: dubina vode, brzina vode i razina opasnosti.

Tablica 3.2.6 Tablični prikaz uvjeta za proračun razine opasnosti (modificirano prema SUFRI, 2011)

Razina opasnosti		Dubina y (m)	Brzina v (m/s)	Parametar otpora vy (m ² /s)	Parametar klizanja v^2y (m ³ /s ²)
S0	Neznatna opasnost. Ne očekuju se ozljede ljudi.	< 0,45	< 1,50	< 0,50	< 1,23
S1	Niska opasnost. Moguće narušavanje stabilnosti, stanovništvo u opasnosti.	< 0,80	< 1,60	< 1,00	< 1,23
S2	Umjerena opasnost. Značajno narušavanja stabilnosti. Automobili mogu izgubiti kontakt s podlogom. Voda može odnijeti manje objekte.	< 1,00	< 1,88	< 1,00	< 1,23
S3	Visoka opasnost. Velika opasnost za stanovništvo. Niska opasnost za građevine.	$\geq 1,00$	$\geq 1,88$	$\geq 1,00$	$\geq 1,23$
S4	Vrlo visoka opasnost. Mogu se očekivati strukturalna oštećenja građevina.	$\geq 1,00$	$\geq 1,88$	$\geq 3,00$	$\geq 1,23$



Slika 3.2.8 Grafički prikaz uvjeta za proračun razine opasnosti (modificirano prema SUFRI, 2011)

3.3 Analiza rizika od pluvijalnih poplava

3.3.1 Priprema podloga za procjenu rizika od poplava

U svrhu procjene ranjivosti i rizika od poplava prikupljene su i generirane tablične podloge vezane uz maksimalne štete te funkcije koje definiraju odnos dubine vode i očekivane štete, kao i različite prostorne podloge koje se detaljnije prikazuju i opisuju u nastavku.

3.3.1.1 Prostorne podloge za procjenu ranjivosti i rizika

U svrhu provedbe analize rizika od poplava, Naručitelj je prikupio i pripremio osnovne prostorne podloge. Uz to, prikupljene su i dodatne prostorne podloge. U Tablici 3.3.1. dan je pregled svih prikupljenih prostornih podloga s opisom i izvorom, a na Slici 3.3.1 primjer navedenih podloga na dijelu pilot područja Poreč.

Tablica 3.3.1 Pregled prikupljenih i generiranih prostornih podloga za potrebe procjene ranjivosti i rizika od poplava

Podloga	Tip podatka	Izvor
Namjena korištenja zemljišta	Rasterski, rezolucija 5 m	Generirano objedinjavanjem različitih razina karata namjene korištenja zemljišta dobivenih od Naručitelja (izvor: Copernicus Land Monitoring Service) i namjene korištenja zemljišta iz OpenStreetMap baze podataka.
Stanovništvo	Vektorski (točke)	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Prostorna analiza javno dostupnih podataka o gustoći stanovništva (WorldPop), statističkih podataka o ukupnom broju stanovnika po naseljima u RH (DZS) te vektorskih podataka o građevinama (OpenStreetMap).
Građevine	Vektorski (poligoni)	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.
Prometna infrastruktura	Vektorski (linije)	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.

Javne usluge	Vektorski (točke)	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Lokacije javnog prijevoza, vrtića, škola, zdravstvenih ustanova, groblja.
Lokacije objekata koje mogu prouzročiti iznenadno onečišćenje	Vektorski (točke)	Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Registar onečišćivača, postrojenja u kojima su prisutne opasne tvari (SEVESO), odlagališta otpada, lokacije odbačenog otpada, benzinske postaje i skladišta.
Kulturna baština	Vektorski (poligoni)	Ministarstvo kulture. Kulturna dobra RH.
Zaštićena područja	Vektorski (poligoni)	Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Zaštićena područja RH.

Korištenje i namjena površina

Metodološki pristup definiranju postojećih klasa korištenja i namjene površina temelji se na prostornim podacima iz postojećih baza Copernicus programa, ovisno o razini njihove prostorne i tematske detaljnosti te raspoloživosti za analizirana pilot područja, kao i podataka preuzetih iz OpenStreetMap (OSM) baze podataka. Na pilot području Poreča dodatno su korišteni i prostorni podaci o pokrovu koje je pripremio Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru.

Metodološki pristup pripremi podataka (Slika 3.3.2) izrađen je u okviru predmetne studije, odnosno ciljano u svrhu procjene rizika od poplava, a sastoji se od sljedećih koraka:

1. Analiza raspoloživosti podataka o korištenju i namjeni površina na pilot područjima:
 - 1.1. Preuzimanje podataka iz baza Copernicus programa (Urbani atlas, Priobalne zone, Natura 2000, CORINE pokrov i korištenje zemljišta),
 - 1.2. Preklapanje s granicama pilot područja;
2. Odabir odgovarajućih podloga na pilot područjima:
 - 2.1. Analiza i usporedba prostorne detaljnosti (minimalna jedinica kartiranja) raspoloživih podataka,
 - 2.2. Analiza i usporedba tematske detaljnosti (analiza nomenklature) raspoloživih podataka;
3. Usklađivanje nomenklature raspoloživih podataka na svim pilot područjima:
 - 3.1. Izrada nove nomenklature prilagođene zahtjevima procjene rizika od poplava,

- 3.2. Prilagodba postojećih nomenklatura raspoloživih podataka na pilot područjima novoj nomenklaturi,
- 3.3. Reklasifikacija podataka o korištenju i namjeni zemljišta u skladu s novom nomenklaturom;
4. Reklasifikacija izgrađenih područja:
 - 4.1. Preuzimanje podataka o gustoći nepropusnih površina (IMD baza Copernicus programa),
 - 4.2. Analiza i klasifikacija gustoće nepropusnih površina,
 - 4.3. Preuzimanje podataka o urbanim zelenim sportskim i rekreacijskim površinama iz OSM baze,
 - 4.4. Reklasifikacija izgrađenih područja na temelju klasa gustoće nepropusnih površina i OSM podataka;
5. Izrada konačne podloge korištenja i namjene površina.

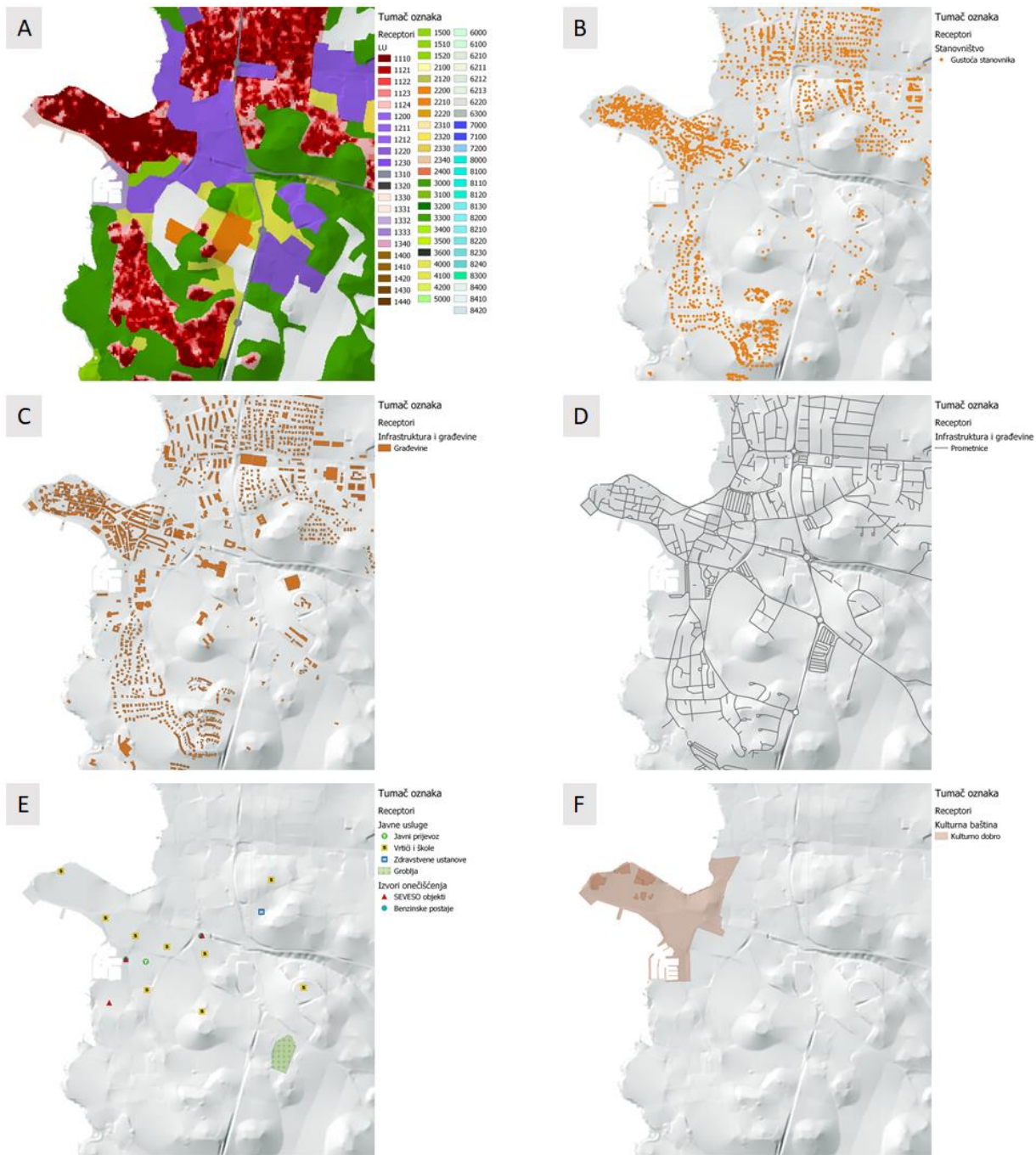
Prostorni podaci o korištenju i namjeni površina preuzeti su iz postojećih podataka dostupnih u okviru Copernicus programa:

- Urbani atlas (UA, eng. Urban Atlas),
- Priobalne zone (CZ, eng. Coastal Areas),
- CORINE pokrov i namjena zemljišta (CLC, eng. CORINE Land Cover),
- Natura 2000 (N2K).

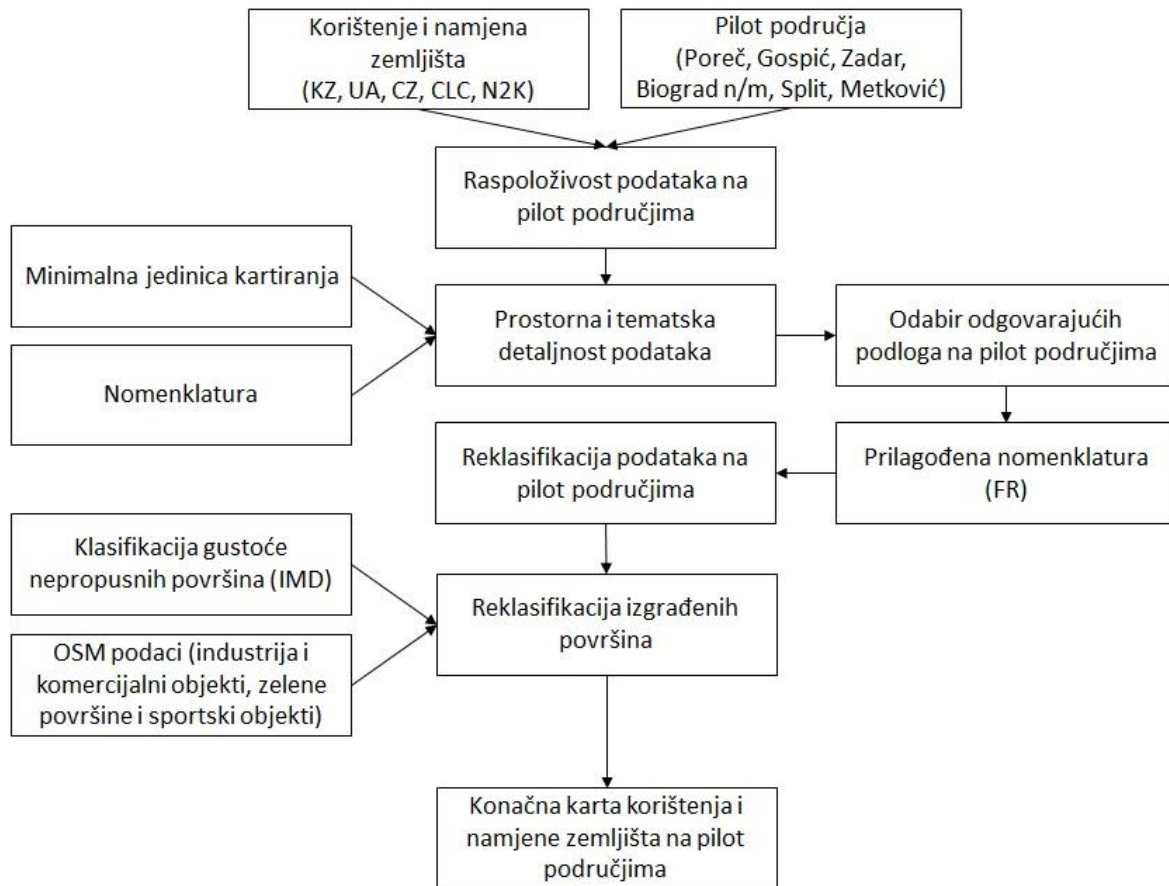
Kao što je ranije napomenuto, osim navedenih baza, analizirani su i korišteni i prostorni podaci o pokrovu i namjeni zemljišta (KZ) pripremljenim na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru. Preklapanjem preuzetih podloga s granicama pilot područja za svako je analizirano područje određen raspoloživi set podataka (Slika 3.3.3, Tablica 3.3.2).

Tablica 3.3.2 Raspoloživost podloga na pilot područjima

Pilot područje	Raspoložive podloge
Poreč	KZ, CZ (dio), CLC
Gospić	N2K, CLC
Zadar	UA, CZ, CLC
Biograd na moru	CZ, CLC
Split	UA, CZ, CLC
Metković	N2K, CLC



Slika 3.3.1 Primjer prikupljenih i generiranih prostornih podloga za procjenu ranjivosti i rizika od poplava: a) namjena korištenja zemljišta, b) gustoća i rasprostranjenost stanovništva, c) građevine, d) prometna infrastruktura, e) javne usluge i lokacije potencijalnih onečišćenja, f) kulturna dobra.

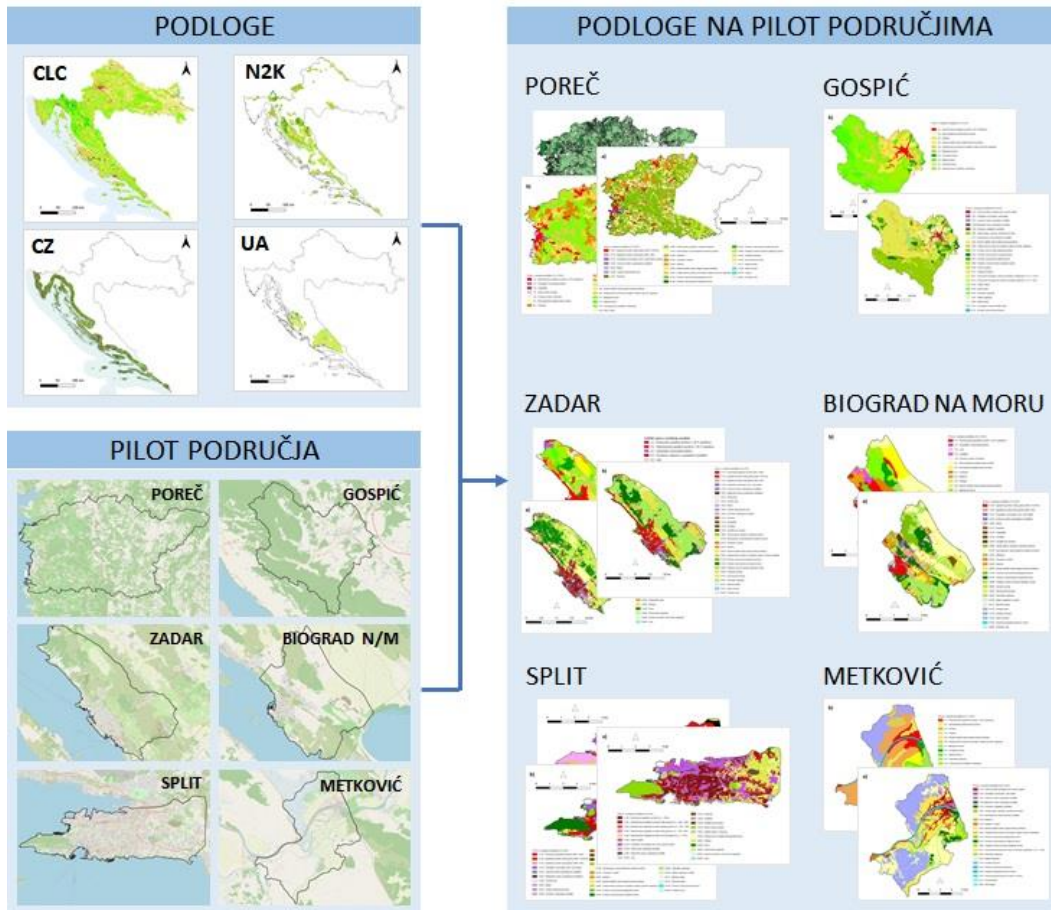


Slika 3.3.2 Metodološki koraci pripreme podataka o korištenju namjeni površina

Odabir odgovarajućih podloga o korištenju i namjeni površina koji su dostupnih za odabrana pilot područja u prvom redu ovisi o njihovoj prostornoj i tematskoj detaljnosti. Prostorna detaljnost raspoloživih podataka definirana je minimalnim jedinicama kartiranja raspoloživih baza dok se tematska detaljnost ogleda u detaljnosti raščlambe pojedinih klasa tj. detaljnosti njihovih nomenklatura.

Minimalna jedinica kartiranja (MMU, eng. *Minimum Mapping Unit*) definira minimalne dimenzije elemenata (površina za poligone i duljina za linijske elemente) koji će za odabrano mjerilo biti kartirani (Tablica 3.3.3). Cilj analize MMU preuzetih podloge je ocijeniti njihovu primjerenost za

izradu konačne karte korištenja i namjene zemljišta na odabranim pilot područjima imajući u vidu specifičnosti procjene poplavnih rizika u kontekstu zahtijevane prostorne preciznosti.



Slika 3.3.3 Raspoloživost podloga

Tablica 3.3.3 Minimalne jedinica kartiranja razmatranih podloga

Baza	Minimalna jedinica kartiranja		Mjerilo
	Površina (ha)	Duljina (m)	
UA	0,25 (urbano) 1 (ostalo)	10	1:5000
CZ	0,5	10	1:5000 – 1:10.000
N2K	0,5	10	1:5000 – 1:10.000
CLC	25	100	1:100.000

UA se odlikuje najkvalitetnijom prostornom informacijom, ali samo za izgrađene površine i dostupan je samo za dva pilot područja (Zadar i Split). CZ u prostornom smislu daju zadovoljavajuću informaciju, no obuhvatno su također su ograničeni samo na pojedina pilot područja (Poreč-dio, Biograd na Moru, Zadar, Split). Na pilot područjima koja nisu obuhvaćena UA i CZ, a s obzirom na prostornu preciznost, primjereno je korištenje podloge N2K. CLC je u pogledu prostorne detaljnosti najslabiji u usporedbi s prethodno spomenutim bazama.

Tematska detaljnost podloga definirana je njihovim nomenklaturama odnosno razinama detaljnosti klasa korištenja i namjene površina kao i detaljnost samih klasa na svim razinama. U procjeni rizika od poplava, pažnja je usmjerena na izgrađene i poljoprivredne površine te je primjerenost dostupnih podloga u kontekstu specifičnosti poplavnih rizika razmatrana na temelju detaljnosti nomenklatura za te dvije osnovne klase.

Tematska detaljnost izgrađenih površina (stambene, industrijske i komercijalne površine, transportna infrastruktura te zelene i sportske površine unutar naselja) najpreciznija je kod podataka preuzetih iz Urbanog atlasa. Osim što su klase tih površina raščlanjene do 4. razine, broj klasa posljednje, najdetaljnije razine najprimjerenija je za potrebe procjene rizika od poplava. Poplave zone također definiraju klase izgrađenih površina do razine 4, no broj klasa posljednje razine manji je u usporedbi s prethodnom bazom. Klasifikacija izgrađenih površina u bazama Nature 2000 i CORINE seže tek do razine 3. Budući da je Natura 2000 fokusirana na prirodna staništa, raščlanjenost izgrađenih i poljoprivrednih površina (broj klasa posljednje razine) najmanja je od svih analiziranih baza pa je, sa stajališta tematske preciznosti. Uzevši u obzir tematsku detaljnost kao i prostornu preciznost raspoloživih podloga, za svako je pilot područje odabrana odgovarajuća podloga (Tablica 3.3.4). Budući da je na području Poreča podacima CZ 2018 obuhvaćen samo dio sliva, na preostalom dijelu sliva su usvojeni podaci o korištenju zemljišta (KZ) izrađeni od strane Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru.

Tablica 3.3.4 Odabrane podloge

Pilot područje	Relevantni podaci
Poreč	KZ, CZ
Gospić	N2K
Zadar	UA
Biograd na Moru	CZ
Split	UA
Metković	N2K

Na temelju podataka o korištenju i namjeni zemljišta preuzetih iz raspoloživih baza te imajući u vidu zahtjeve i specifičnosti procjene poplavnih rizika, izrađena je prilagođena nomenklatura korištenja i namjene zemljišta (DODATAK 1). Naglasak je prvenstveno na tematskoj detaljnosti izgrađenih i poljoprivrednih površina te su one raščlanjene do 3. i 4. razine detaljnosti (Tablica 3.3.5), ovisno o zahtjevima procjene rizika od poplava.

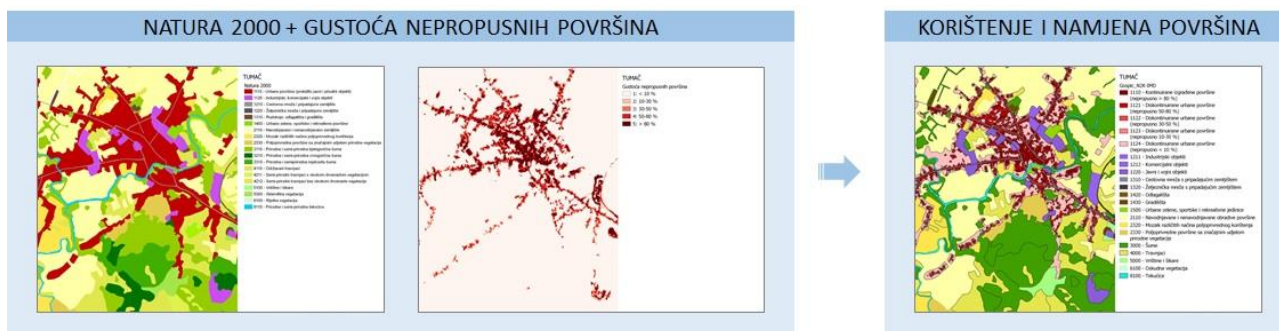
Detaljnost klasifikacije izgrađenih površina se razlikuje u korištenim podacima, bilo da je riječ o stambenim površinama, industrijskim ili komercijalnim objektima te gradskom zelenilu i sportskim objektima. Izuzev podataka preuzetih iz Urbanog atlasa (Split i Zadar), sve je korištene podloge nužno tematski raščlaniti kako bi se postigla detaljnost UA podataka. U tu su svrhu korišteni dodatni podaci: prostorna raspodjela gustoće nepropusnih površina (IMD) Copernicus programa te podaci preuzeti iz OSM baze.

Tablica 3.3.5 Razine detaljnosti prilagođene nomenklature

Razina 1		Broj razina klasifikacije
1	Izgrađene površine	4
2	Poljoprivredne površine	3
3	Šume i visoka drvenasta vegetacija	2
4	Travnjaci	2
5	Vrištine i šikare	1
6	Kopnena gola ili oskudno obrasla područja	4
7	Vlažna staništa	2
8	Vodene površine	3

Gustoća nepropusnih površina je na pilot područjima klasificirana na pet klasa i tako dobivene klase su preklapljene s urbanim površinama postojećih podataka o korištenju i namjeni površina (Slika 3.3.4). Rezultat je detaljno raščlanjenje urbanih površina usklađeno s urbanim atlasom.

Budući da je su u svim raspoloživim podlogama industrijske, komercijalne, javne i vojne površine svrstane u istu klasu, provedena je i njihova reklasifikacija na tri detaljnije klase korištenjem OSM podataka. Isti je postupak primijenjen na urbane zelene, sportske i rekreativne površine kako bi se odijelile otvorene urbane zelene, sportske i rekreativne površine te sportski objekti. Opisanim reklasifikacijama dobivene su konačne karte korištenja i namjene površina na odabranim pilot područjima.



Slika 3.3.4 Reklasifikacija urbanih površina na primjeru Gospića

3.3.1.2 Tablične podloge za procjenu ranjivosti i rizika

Tablične podloge prikupljene su i sistematizirane u svrhu procjene ranjivosti, odnosno direktnih šteta od poplava, a sastoje se od dvije grupe podataka:

- **Maksimalne štete** za različite namjene korištenja zemljišta.
- **Funkcije dubine-štete** za različite namjene korištenja zemljišta.

Obje grupe podataka, kao i metodologija za procjenu šteta, preuzeta je iz vodiča *Global flood depth-damage functions* (Huizinga i sur., 2017). U navedenom priručniku provedena je sveobuhvatna analiza vrijednosti, šteta i funkcija dubine-štete koje se koriste u različitim državama te su dane preporuke na globalnoj razini te po kontinentima i državama. Sve štete i funkcije vezane su uz šest klasa namjene korištenja zemljišta:

- Stambena namjena (RES)
- Komercijalna namjena (COM)
- Industrijska namjena (IND)
- Prijevoz i promet (TRA)
- Prometna infrastruktura (INF)
- Poljoprivredna namjena (AGR)

Za svaku kategoriju u Vodiču dane su vrijednosti izgradnje (eng. *construction cost*) iz 2010. godine. Za neke kategorije (RES, COM, IND i AGR) dostupne su vrijednosti za Hrvatsku, dok su za preostale dvije kategorije (TRA, INF) dostupne samo vrijednosti na razini EU. U slučaju kada nisu dostupni podaci za Hrvatsku, isti su ekstrapolirani iz vrijednosti za EU s obzirom na omjer bruto domaćeg proizvoda (BDP) po stanovniku između EU i Hrvatske za 2010. godinu. Svi podaci su potom ekstrapolirani na razinu 2020. godine s obzirom na indeks potrošačkih cijena (CPI). Oba ekonomska

pokazatelja (BDP i CPI) su preuzeta iz službene baze podataka Svjetske banke za odgovarajuću godinu. U Tablici 3.3.6 dan je prikaz BDP-a za EU i Hrvatsku za 2010 godinu, potom CPI-a za Hrvatsku za 2010. i 2020. godinu te na kraju vrijednosti troška izgradnje za svih šest kategorija za Hrvatsku u 2020. godini.

Nakon što su određeni i sistematizirani podaci o troškovima izgradnje za razlite kategorije namjene korištenja zemljišta, provedena je procjena maksimalnih šteta prema metodologiji iz Vodiča (Huizinga i sur., 2017). Pritom je u obzir uzeto nekoliko faktora korekcije, kao što su omjer između troška izgradnje i amortizacije, maksimalne vrijednosti inventara i sadržaja objekata, gustoća izgrađenosti, odnosno omjer između tlocrtne površine svih objekata i građevina u pojedinom poligonu namjene korištenja zemljišta, postotak neoštećenog dijela te faktor korekcije vezan uz materijal koji je korišten za izgradnju objekata. Pritom, kategorija stambene namjene dodatno je podijeljena na više kategorija s obzirom na gustoću izgrađenosti, odnosno nepropusnost podloge (IMD).

Tablica 3.3.6 Osnovni podaci o trošku izgradnje svih kategorija namjene korištenja zemljišta za Hrvatsku u 2020. godini (sivom bojom su označene preuzete vrijednosti, a bijelo izračunate).

	Europa	Hrvatska	
	2010	2010	2020
BDP / st. (USD)	43.097	13.501	
CPI		100	109,986

Kategorija	(EUR/m ²)	(EUR/m ²)	(EUR/m ²)
RES		1.027	1.129,6
COM		1.041	1.145
IND		639	702,8
TRA	751	235,3	258,8
INF	24	7,5	8,2
AGR		0,15	0,16

U nastavku se daju faktori korekcije za procjenu maksimalnih šteta, koji su djelomično preuzeti iz Vodiča (Huizinga i sur., 2017), a djelomično nadopunjeni iskustvenim procjenama za predmetna pilot područja.

1. Trošak izgradnje vs. Amortizacija

Faktor korekcije (množi trošak izgradnje)

RES	0.6	(default = 0.6)
COM	0.6	(default = 0.6)
IND	0.6	(default = 0.6)

2. Maksimalna vrijednost inventara/sadržaja

Faktor korekcije (množi maksimalnu vrijednost objekta)

RES	0.5	(default = 0.5)
COM	1	(default = 1.0)
IND	1.5	(default = 1.5)

3. Građevina/objekt vs Poligon namjene korištenja zemljišta

Postotak površine poligona koju zauzimaju građevine/objekti

RES	0.2	(Flanders, Koks et al., 2014)
RES IMD=>80%	0.45	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
RES IMD<80%	0.2	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
RES 50%<=IMD<80%	0.325	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
RES 30%<=IMD<50%	0.2	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
RES 10%<=IMD<30%	0.1	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
RES IMD<10%	0.025	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja
COM	0.3	(Flanders, Koks et al., 2014)
IND	0.3	(Flanders, Koks et al., 2014)
INF	0.9	procijenjeno na osnovu karakteristika pilot područja

4. Neoštećeni dio

Postotak objekta koji se smatra da neće biti oštećen poplavom

RES	0.4	(u slučaju otpornih građevnih materijala)
COM	0.4	(u slučaju otpornih građevnih materijala)
IND	0.4	(u slučaju otpornih građevnih materijala)

5. Korišteni materijali

Faktor korekcije u slučaju jeftinijih i/ili manje otpornih materijala (drvo, blato, itd.)

RES	1	klasična gradnja (beton, cigle, kamen)
COM	1	klasična gradnja (beton, cigle, kamen)
IND	1	klasična gradnja (beton, cigle, kamen)

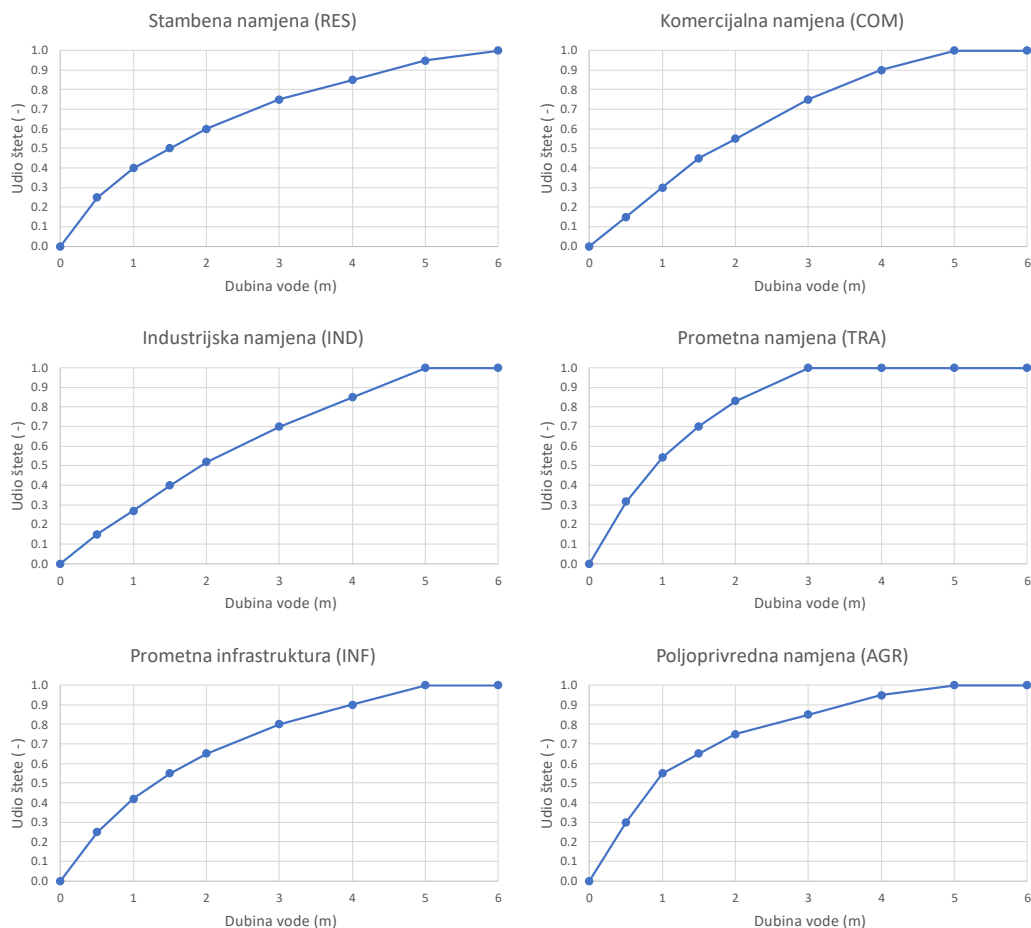
U Tablici 3.3.7 prikazane su maksimalne štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta s obzirom na jedinicu kartiranja. Naime, maksimalne štete se razlikuju ako se procjena šteta radi na razini izgrađenih objekata ili jedinice namjena korištenja zemljišta. U slučaju maksimalnih šteta za izgrađene objekte dana je zasebno vrijednost štete koja se odnosi na konstrukciju objekta, a zasebno za sadržaj ili inventar objekta. Sve vrijednosti su prikazane u valuti Euro i izraženo po jedini površine.

Tablica 3.3.7 Maksimalne štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta.

Jedinica kartiranja	Izgrađeni objekti			Namjena korištenja zemljišta
	Maks. štete konstrukcije (EUR/m ²)	Maks. štete sadržaja (EUR/m ²)	Ukupna maks. šteta (EUR/m ²)	Maks. šteta (EUR/m ²)
RES IMD=>80%	407	203.5	610.5	275
RES IMD < 80%	407	203.5	610.5	122
RES 50%<=IMD<80%	407	203.5	610.5	198
RES 30%<=IMD<50%	407	203.5	610.5	122
RES 10%<=IMD<30%	407	203.5	610.5	61
RES IMD<10%	407	203.5	610.5	15
RES	407	203.5	610.5	122
COM	412	412	824	247
IND	253	379.5	632.5	190
TRA	258.8	258.8	517.6	104
INF	8.2	0	8.2	7
AGR	0	0.16	0.16	0.16
RES/COM/IND	357.3	331.7	689	186.3
COM/IND	332.5	395.8	728.3	218.5

Pored tabličnih vrijednosti maksimalnih šteta, prikupljene su i tablične vrijednosti vezane uz funkcije dubine-štete, koje opisuju podložnost, odnosno očekivanu štetu izraženu kao postotak maksimalne vrijednosti u odnosu na dubinu vode poplavljenog područja. Ove funkcije su također preuzete iz Vodiča (Huizinga i sur., 2017) te su dane za prethodno prikazanih šest kategorije namjene korištenje zemljišta. Tablica 3.3.8 prikazuje numeričke vrijednosti funkcija dubine-štete, dok Slika 3.3.5 daje grafički prikaz tih funkcija.

U Tablici 3.3.9 prikazan je konačan rezultat provedene sistematizacije podataka za štete, gdje je za svaku jedinicu karte namjene korištenja zemljišta pridružena vrijednost maksimalnih šteta i odgovarajući tip krivulje.



Slika 3.3.5 Grafički prikaz funkcija dubine-štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta (modificirano prema Huizinga i sur., 2017).

Tablica 3.3.8 Tablica funkcija dubine-štete za različite namjene korištenja zemljišta (Huizinga i sur., 2017).

Dubina (m)	RES	COM	IND	TRA	INF	AGR
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.25	0.15	0.15	0.32	0.25	0.30
1	0.40	0.30	0.27	0.54	0.42	0.55
1.5	0.50	0.45	0.40	0.70	0.55	0.65
2	0.60	0.55	0.52	0.83	0.65	0.75
3	0.75	0.75	0.70	1.00	0.80	0.85
4	0.85	0.90	0.85	1.00	0.90	0.95
5	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tablica 3.3.9 Namjene korištenja zemljišta s pripadajućim tipom funkcije dubine-štete (Func), šifrom karte namjene korištenja zemljišta (FR kod), vrijednosti maksimalnih šteta konstrukcije u EUR/m² (VALstr), vrijednosti maksimalnih šteta sadržaja u EUR/m² (VALcon), oboje za razinu objekata te vrijednosti maksimalnih šteta u EUR/m² (VALLU) za razinu namjene korištenja zemljišta.

OPIS	Func	FR kod	VALstr	VALcon	VALLU
Izgrađene površine	RES	1000	357.3	331.7	186.3
Stambene površine	RES	1100	407	203.5	122
Kontinuirane stambene površine (nepropusno > 80 %)	RES	1110	407	203.5	275
Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 0-80 %)	RES	1120	407	203.5	122
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 50-80 %)</i>	RES	1121	407	203.5	198
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 30-50 %)</i>	RES	1122	407	203.5	122
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 10-30 %)</i>	RES	1123	407	203.5	61
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno < 10 %)</i>	RES	1124	407	203.5	15
Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine	COM	1200	332.5	395.8	218.5
Industrijske i komercijalne površine	COM	1210	332.5	395.8	218.5
<i>Industrijske površine</i>	IND	1211	253	379.5	190
<i>Komercijalne površine</i>	COM	1212	412	412	247
Javni i vojni objekti	COM	1220	412	412	247
Nuklearne elektrane i pripadajuće zemljište	IND	1230	253	379.5	190
Transportna infrastruktura	INF	1300	11.2	0	10
Cestovna infrastruktura i pripadajuće zemljište	INF	1310	11.2	0	10
Željeznička infrastruktura i pripadajuće zemljište	INF	1320	11.2	0	10
Luke, marine i pripadajuće zemljište	TRA	1330	352.7	352.7	141
<i>Teretne i putničke luke</i>	TRA	1331	352.7	352.7	141
<i>Marine</i>	TRA	1332	352.7	352.7	141
<i>Brodogradilišta</i>	TRA	1333	352.7	352.7	141

Aerodromi i pripadajuće zemljište	TRA	1340	352.7	352.7	141
Rudokopi, odlagališta i gradilišta, zemljište trenutno bez namjene	RES	1400	407	203.5	15
Rudokopi	RES	1410	407	203.5	15
Odlagališta	RES	1420	407	203.5	15
Gradilišta	RES	1430	407	203.5	15
Zemljište trenutno bez namjene	RES	1440	407	203.5	15
Urbane zelene, sportske i rekreativne površine	RES	1500	407	203.5	15
Zelene urbane površine	RES	1510	407	203.5	0.16
Sportski objekti	RES	1520	407	203.5	122
Poljoprivredne površine	AGR	2000	0	0.16	0.16
Obradive površine	AGR	2100	0	0.16	0.16
Navodnjavano i nenavodnjavano zemljište	AGR	2110	0	0.16	0.16
Staklenici i plastenici	AGR	1210	60	0.16	0.16
Stalni nasadi	AGR	2200	0	0.16	0.16
Vinogradi, voćnjaci, plantaže bobičastog voća	AGR	2210	0	0.16	0.16
Maslinici	AGR	2220	0	0.16	0.16
Raznolike poljoprivredne površine	AGR	2300	0	0.16	0.16
Jednogodišnji i višegodišnji usjevi	AGR	2310	0	0.16	0.16
Mozaik različitih načina poljoprivrednog korištenja	AGR	2320	0	0.16	0.16
Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije	AGR	2330	0	0.16	0.16
Poljo-šumska područja	AGR	2340	0	0	0
Pašnjaci	AGR	2400	0	0	0

3.3.2 Analiza ranjivosti – izloženost receptora poplavama

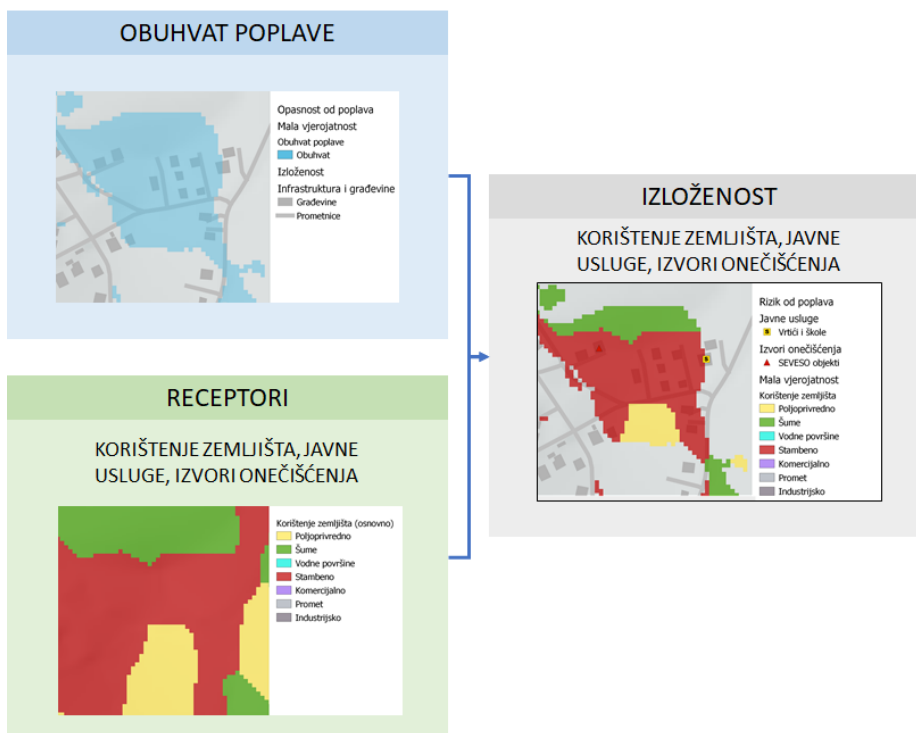
Analiza ranjivosti provedena je prvenstveno u svrhu procjene rizika, što će se detaljnije obrazložiti u sljedeća dva poglavlja. Međutim, u okviru analize ranjivosti provedena je i zasebna analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom je izloženost određena na osnovu prostorne raspodjele receptora i obuhvata poplave. Stoga se izloženost određuje za svaku vjerojatnost, odnosno za tri odabrana scenarija.

U analizu izloženosti uključeni su sljedeći receptori:

- Pojednostavljena namjena korištenja zemljišta (sve kategorije prikazane u tablici 3.3.9 objedinjene su u sedam osnovnih klasa: poljoprivredno zemljište, šume, vodne površine, stambeno zemljište, komercijalno zemljište, promet i industrijsko zemljište)

- Javne usluge (zdravstvene ustanove, vrtići i škole, javni prijevoz, groblja)
- Objekti koji mogu prouzročiti onečišćenje (SEVESO objekti, industrijska postrojenja, odlagališta otpada, divlji deponiji, benzinske postaje)
- Zaštićena područja
- Kulturno dobro

Shema metodologije i primjer karata izloženosti prikazan je na Slici 3.3.6 za pojednostavljenu namjenu zemljišta. Treba napomenuti da je izloženost namjene korištenja zemljišta određena preklapanjem s obuhvatom poplava kako je to prikazano na Slici 3.3.6, dok su receptori koji su prikazani točkastim elementima i manjim poligonima (javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturno dobro) prikazani neovisno o obuhvatu poplave kako bi se zadržala informacija i o svim receptorima koji se nužno ne nalaze unutar obuhvata, ali su vrlo blizu istome. S jedne strane ovakav pristup je odabran zbog razine istraživanja čiji cilj zbog preciznosti podloge nije identifikacija individualnih objekata izloženih poplavama, već poplavljenih zona i glavnih smjerova toka vode. S druge strane, na ovaj se način omogućava svim korisnicima da pregledom dinamičkih karata utvrde i ocjene blizinu receptora potencijalno poplavljenim područjima.



Slika 3.3.6 Shematski prikaz koncepta analize ranjivosti – izloženosti receptora poplavama.

3.3.3 Kvalitativna analiza rizika – procjena razine rizika

Kvalitativna analiza rizika od poplava provedena je sa ciljem procjene razine rizika, koja se definira kao kombinacija razine opasnosti od poplava te izloženosti receptora riziku za određenu vjerojatnost.

$$\text{RAZINA RIZIKA} = \text{RAZINA OPASNOSTI} \times \text{IZLOŽENOST RECEPTORA}$$

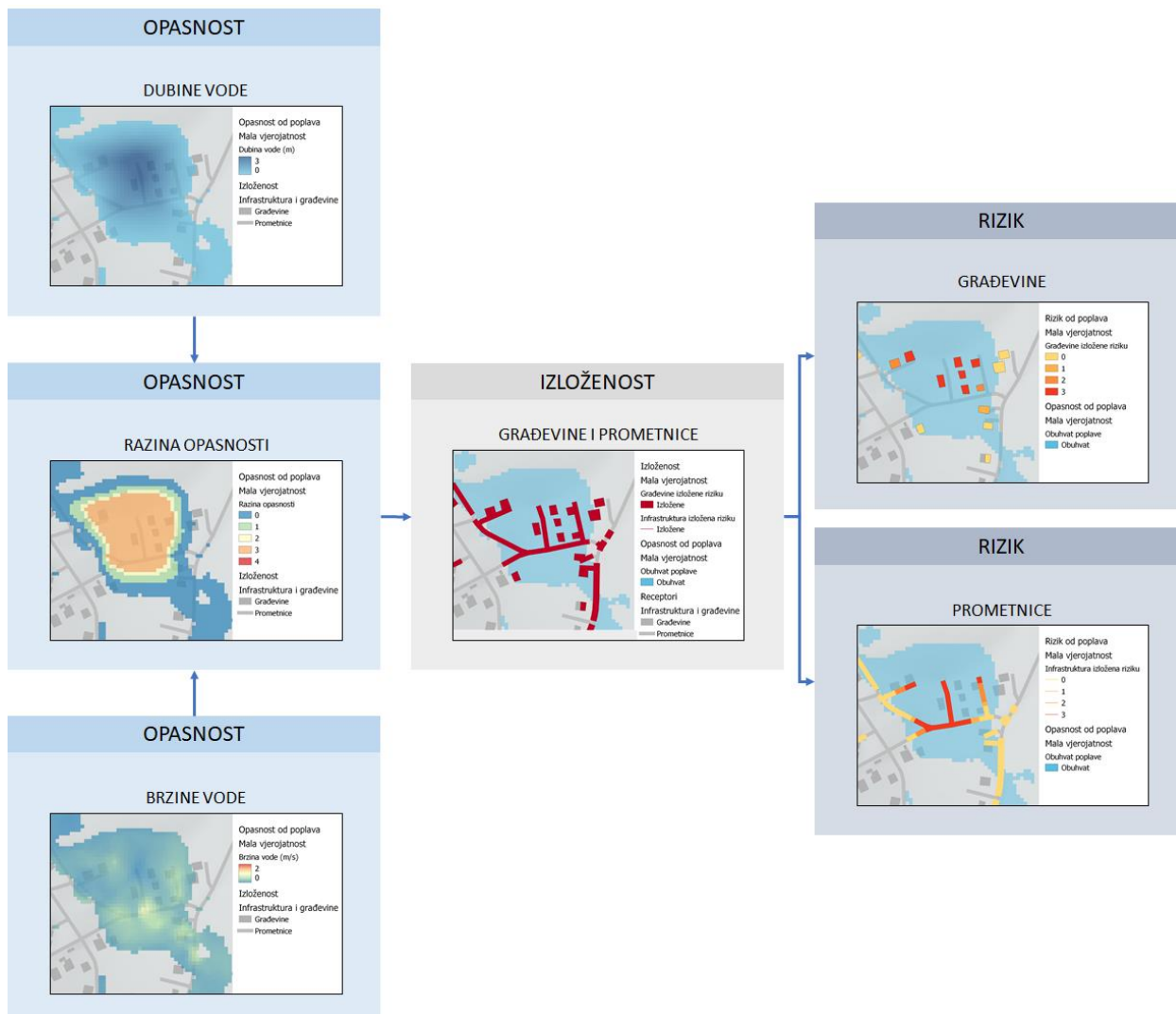
Razina rizika procijenjena je za sljedeće receptore:

- Građevine
- Prometnu infrastrukturu
- Stanovništvo

Razina rizika proizlazi direktno iz razine opasnosti od poplava za receptore koji su izloženi poplavi. Primjerice receptor koji je izložen umjerenj opasnosti (S2) ima ujedno i umjereni rizik od poplava (R2). Stoga, sukladno SUFRI metodologiji moguće je dodijeliti razine rizika od R0 do R4 za svaki promatrani scenarij, odnosno malu, srednju i veliku vjerojatnost (vidi tablicu 3.3.10). Shema metodologije i primjer karata procjene razine rizika prikazana je na Slici 3.3.7 za građevine i prometnice. Slično prikazanome, određuje se i razina rizika za stanovništvo.

Tablica 3.3.10 Razine rizika definirane kao kombinacija izloženosti i razine opasnosti.

Razina opasnost	Razina rizika	
S0	R0	Neznatan rizik
S1	R1	Niski rizik
S2	R2	Umjereni rizik
S3	R3	Visoki rizik
S4	R4	Vrlo visoki rizik



Slika 3.3.7 Shematski prikaz koncepta kvalitativne analize rizika – procjena razine rizika za građevine i prometnu infrastrukturu.

3.3.4 Kvantitativna analiza rizika – procjena direktne štete

Kvantitativna analiza rizika od poplava provedena je s ciljem procjene direktnih šteta, koje se definirano kao kombinacija opasnosti od poplava i ranjivosti na poplave, pri čemu se koriste indikatori dubine vode (opasnost), namjene korištenja zemljišta (izloženost), krivulja dubine-štete (podloženost) i vrijednosti maksimalnih šteta.

$$RIZIK = OPASNOST \times IZLOŽENOST \times PODLOŽNOST$$

Pri čemu:

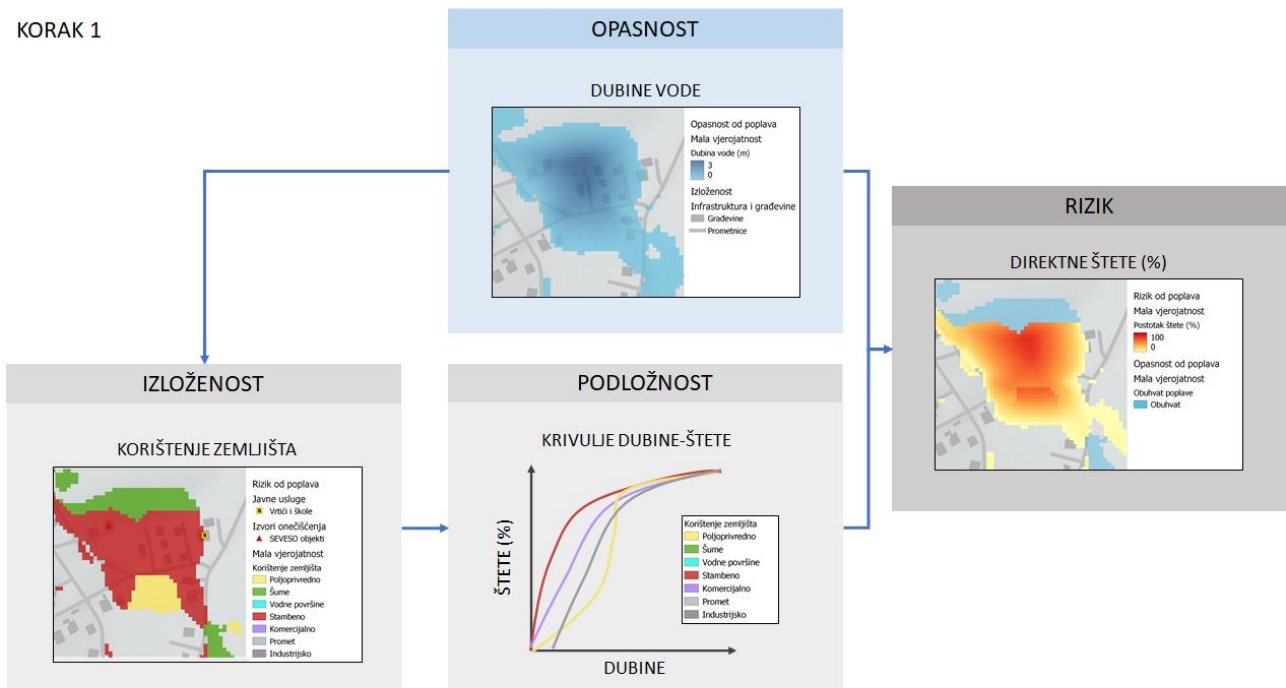
- Indikator rizika je očekivana direktna šteta za pojedini scenarij (vjerojatnost),
- indikator opasnosti je dubina vode za pojedini scenarij (vjerojatnost),
- indikator izloženosti je namjena korištenja zemljišta unutar obuhvata poplave za pojedini scenarij (vjerojatnost),
- indikator podloženosti je krivulja dubine-štete za svaku kategoriju korištenja zemljišta.

Analiza rizika se provodi na razini piksela (eng. *pixel-based analysis*) u dva koraka (Slika 3.3.8):

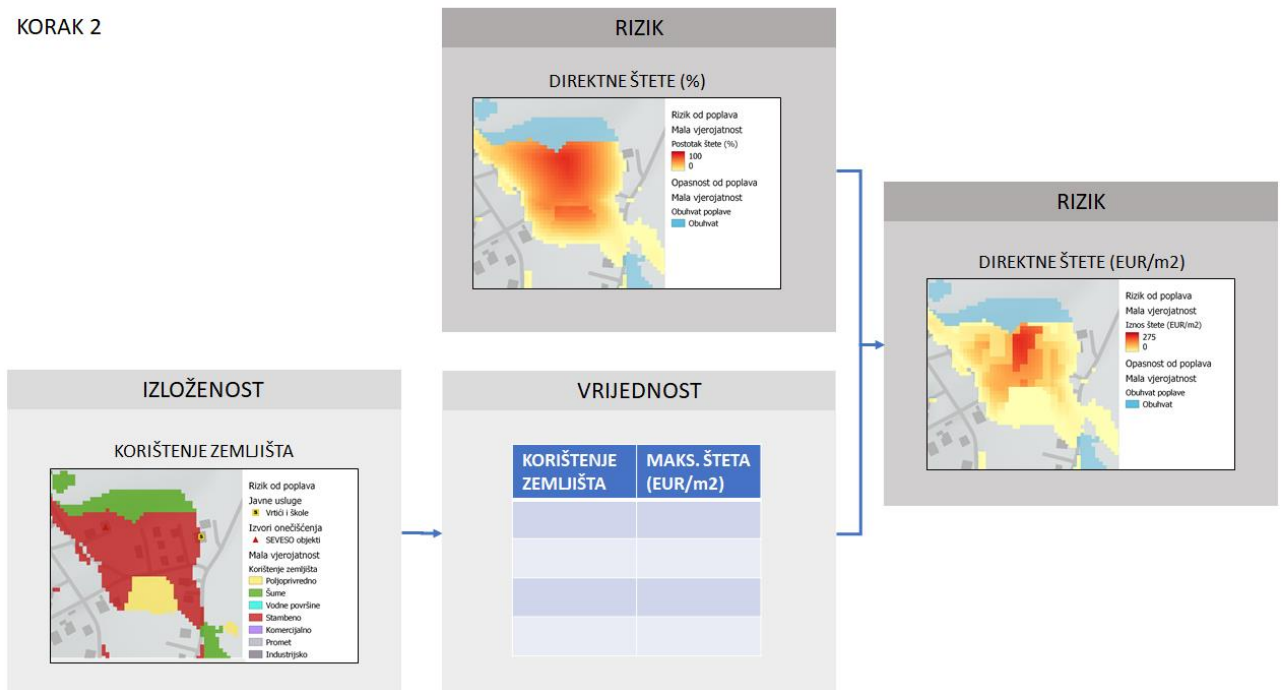
1. U prvom koraku se za svaki piksel (5x5 m) koje se nalazi unutar obuhvata poplava očitava dubina vode iz karte opasnosti i klasa namjene korištenja zemljišta iz karte izloženosti. Potom se iz funkcije dubine-štete za identificiranu klasu korištenja zemljišta očitava postotak štete za dubinu vode. Rezultat ove faze je karta direktne štete koja je izraženo kao postotak maksimalne štete za cjelokupni obuhvat poplave te za svaki scenarij (malu, srednju veliku vjerojatnost). Svakom pikselu je tada dodijeljena vrijednost između 0 i 1 (postotak štete).
2. U drugom koraku se svakom pikselu dodjeljuje vrijednost maksimalne štete s obzirom na klasu namjene korištenja zemljišta iz tablice 3.3.9 te se ta vrijednost množi s postotkom štete. Konačan rezultat je karta očekivane direktne štete za svaki scenarij.

Svaka karta direktne štete se integrira po površini (unutar obuhvata poplave) kako bi se dobila ukupna šteta (izražena u EUR) za svaki scenarij te se generiraju krivulje koje prikazuju ukupne direktne štete za različite vjerojatnosti.

KORAK 1



KORAK 2



Slika 3.3.8 Shematski prikaz koncepta kvantitativne analize rizika – procjena direktnih šteta.

3.4 Analiza mogućnosti i prioriteta implementacije zelene infrastrukture

Metodologija za analizu mogućnosti i prioriteta implementacije zelene infrastrukture (ZI) na pilot područjima ima uporište u nekoliko recentnih znanstvenih radova u okviru kojih su predstavljeni različiti pristupi ovoj problematici (prvenstveno rad Marin-Mikele i sur., 2015.).

Analiza mogućnosti (pogodnosti) implementacije zelene infrastrukture provodi se prema načelu potreba i prilika (Kuller i sur., 2019.). Pritom su potrebe definirane poplavljenim područjima, odnosno kartom obuhvata poplava za malu vjerojatnost pojavljivanja, dok su prilike definirane raspoloživim površinama na kojima je moguće izgraditi zelenu infrastrukturu. Na makro razini, raspoložive površine definiraju su na temelju karte korištenja zemljišta te nekoliko osnovnih uvjeta vezanih uz prostorna ograničenja za implementaciju zelene infrastrukture:

- ZI se ne planira graditi na površinama sljedeće namjene: rudokopi, odlagališta, gradilišta, poljoprivredne površine, šume i vlažna staništa,
- ZI se ne planira graditi u obalnom pojasu ispod kote +5,0 m n.m. (zbog vrlo slabe efikasnosti tijekom visokih razina mora),
- ZI se ne planira graditi na krovovima postojećih građevina,
- ZI se ne planira graditi direktno na prometnicama i željeznicama,
- ZI se ne planira graditi unutar pojasa širine 30 m od postojećih vodotoka.

Karte potreba i prilika se preklapaju kako bi se dobila konačna karta pogodnosti. Pritom, treba napomenuti kako karta pogodnosti prikazuje područja na kojima postoji potreba za izgradnjom ZI i postoji prostor na kojem je nema velikih fizičkih prepreka za izgradnju ZI. Međutim, to ne znači da na svim tim površinama i treba graditi ZI (to će biti definirano kroz procjenu prioriteta), niti da je to pravno provedivo (s obzirom na vlasništvo tih površina). **Karta pogodnosti dakle prikazuje samo okvirne zone, a detaljniju razradu prostorne raspodjele zelene infrastrukture treba provesti u okviru idejnih (konceptijskih/varijantnih) rješenja oborinske odvodnje na razini cjelokupnog sliva.** Na Slici 3.4.1 dan je primjer detalja karte potreba (obuhvat poplave za malu vjerojatnost pojavljivanja) i karte pogodnosti na pilot području grada Zadra.

Analiza prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture izražena je indeksom prioriteta I_p () prema sljedeća tri kriterija:

- Kriterij pogodnosti koji je izražen putem indeksa pogodnosti I_{SU} koji se računa kao normirani omjer površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture i ukupne površine podsliva.
- Kriterij izgrađenosti (gustoće nepropusnosti) koji je izražen putem indeksa izgrađenosti I_{IMD} koji se računa kao prosječna gustoća nepropusnost unutar podsliva.
- Kriterij šteta koji je izražen putem indeksa šteta I_{DMG} koji se računa kao ukupna šteta po jedinici površine podijeljena s površinom sliva.

Sva tri indeks su normirana kako bi poprimila vrijednosti od 0 do 1. Potom je izračunat i indeks prioriteta prema sljedećem izrazu:

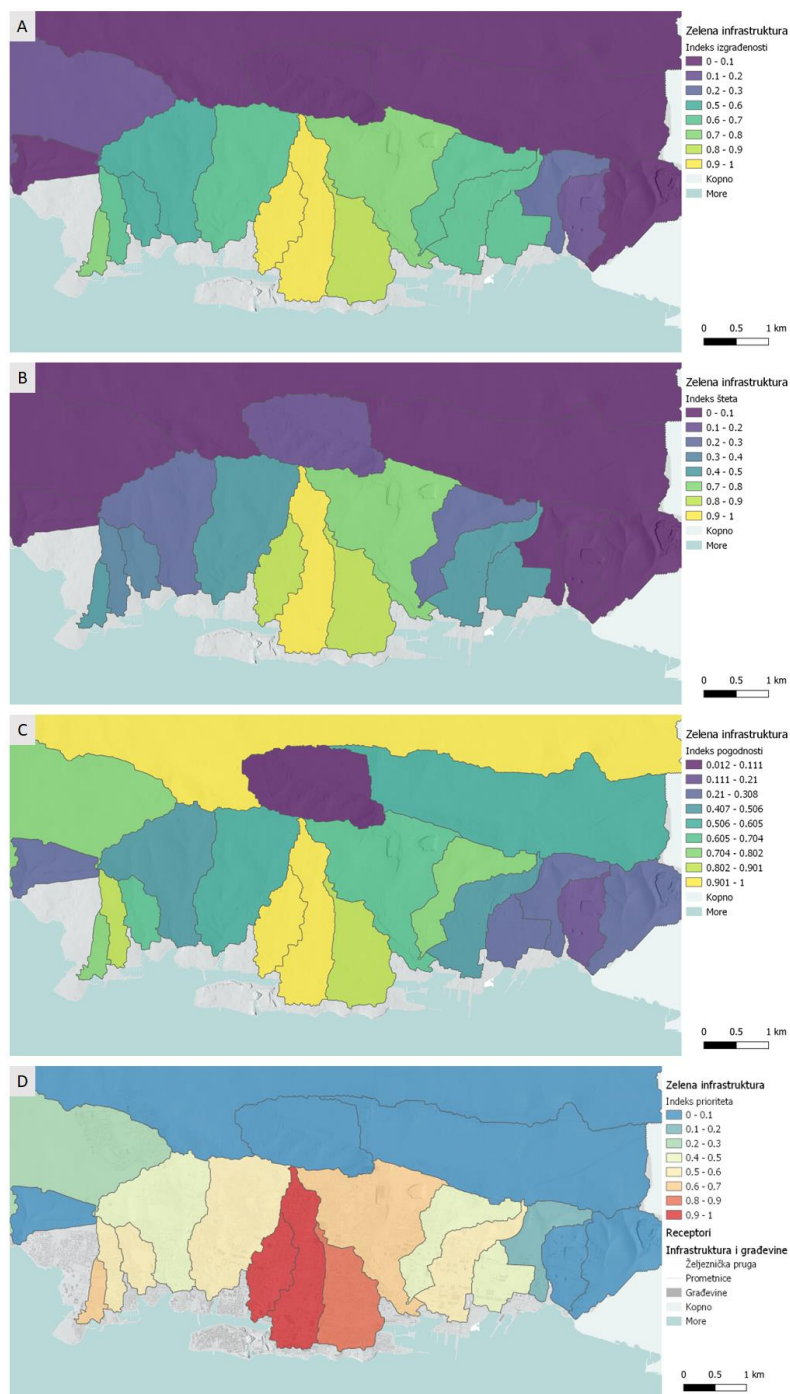
$$I_p = (I_{su}I_{IMD}I_{DMG})^{1/3} \quad (3.4.1)$$

Indeks prioriteta također poprima vrijednosti između 0 i 1, gdje niske vrijednosti označavaju vrlo niski prioritet, dok visoke vrijednosti označavaju vrlo visoki prioritet.



Slika 3.4.1. Detalj karte potreba za zelenom infrastrukturom (obuhvat poplave za malu vjerojatnost) i karte pogodnosti na pilot području grada Zadra.

Na Slici 3.4.2 prikazan je primjer dodijeljenih indeksa izgrađenosti, šteta i pogodnosti te konačan indeks prioriteta na primjeru pilot područja grada Zadra. Rezultati za preostala pilot područja prikazani su u nastavku u pripadajućim poglavljima. U predmetnoj analizi korišteni su samo osnovni (hidrotehnički) indikatori za implementaciju zelene infrastrukture, međutim, treba naglasiti da izgradnja zelene infrastrukture ima višestruke dobrobiti te da pri planiranju iste treba voditi računa i o drugim elementima i utjecajima, kao što su sociološki, ekonomski, biofizički i ostalo.



Slika 3.4.2. Primjer određivanja indeksa: (A) izgrađenosti I_{IMD} , (B) šteta I_{DMG} , (C) pogodnosti I_{SU} te rezultirajućeg (D) indeksa prioriteta I_P za podslivove na pilot području grada Zadra.

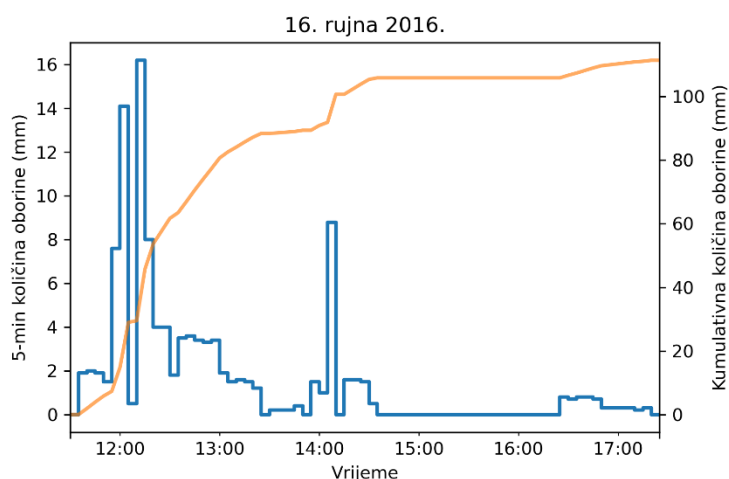
4 Rezultati procjene opasnosti i rizika od poplava na pilot područjima

4.1 Pilot područje Poreč

4.1.1 Povijesne poplave na pilot području Poreč

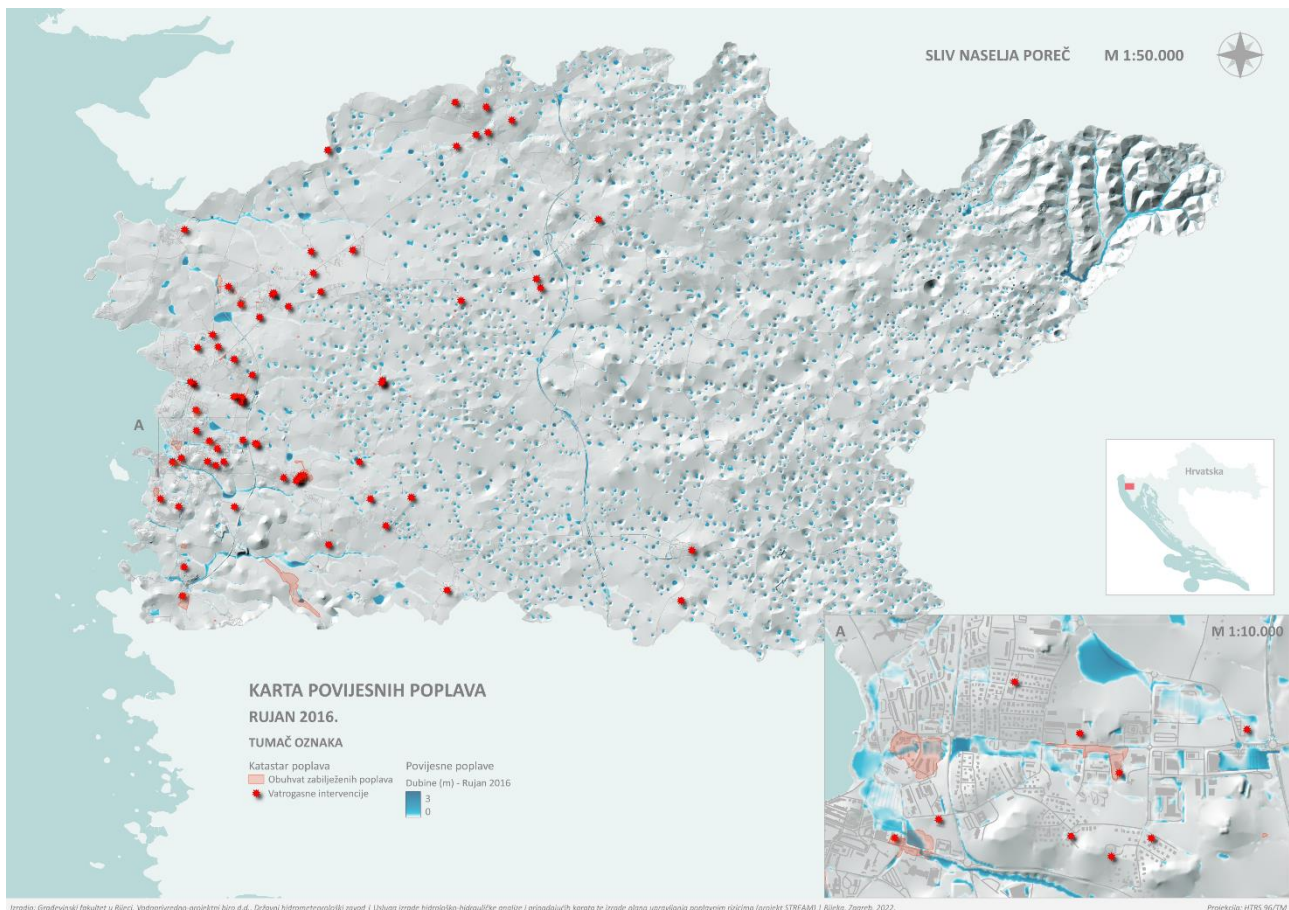
Analiza povijesnih poplava na pilot području Poreč provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnija događaja u razdoblju 1984.-2020., to su kronološkim redom 18. – 19. rujna 2010., 20. srpnja 2011. i 16. rujna 2016. Jaka oborina iz rujna 2016. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri identificirane oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju.

Dana **16. rujna 2016. godine** u razdoblju od 11:00 – 18:00 zabilježeno je 111 mm oborine na ombrografskoj postaji Poreč, dok je samo tijekom jednog sata palo 70 mm oborine, a unutar tri sata 106 mm oborine (Slika 4.1.1). Navedeni intenziteti oborine imaju vjerojatnost pojave manju od 1%.



Slika 4.1.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene 16. rujna 2016. godine na ombrografskoj postaji Poreč.

Karta dubina vode za oborinu iz rujna 2016. godine zajedno s lokacijama vatrogasnih intervencija i poligonima zabilježenih poplavljenih površina prikazana je na Slici 4.1.2. Najveći broj poplavljenih površina i vatrogasnih intervencija zabilježeni su nizvodno od autoceste A9 („Istarski ipsilon“) i koncentrirani su unutar naselja Poreč.

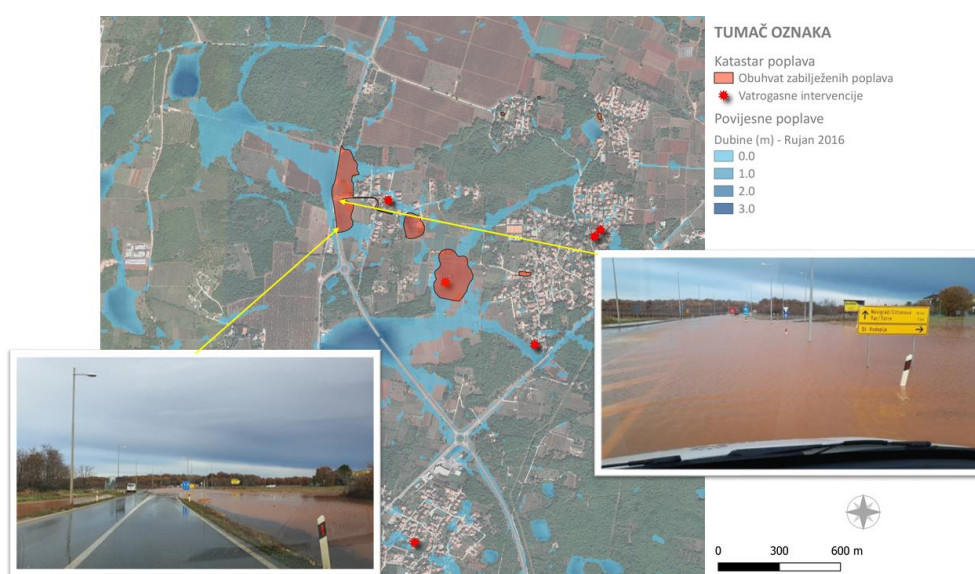


Slika 4.1.2 Karta zabilježenih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz rujna 2016. godine - na pilot području Poreč.

Opis poplave iz rujna 2016. godine preuzet je iz Meteorološkog i hidrološkog biltena DHMZ-a (2022): „Novinski izvještaji prenose da automobili nisu mogli prolaziti, a puno se prostora našlo pod vodom, koja je bila do gležnja. Na mjestima su se stvorile bujice. Bilo je zarobljenih vozača u automobilima, voda je prodrla u podruma, prizemlja i dvorišta. Morali su intervenirati vatrogasci na ispumpavanju.

Jedno je drvo palo na automobil. Voda je izbijala iz šahtova. Građani su ovu kišu nazvali «vodena bomba». Poplavljeni su bili i neki poslovni prostori i hoteli.,, (DHMZ, 2022)

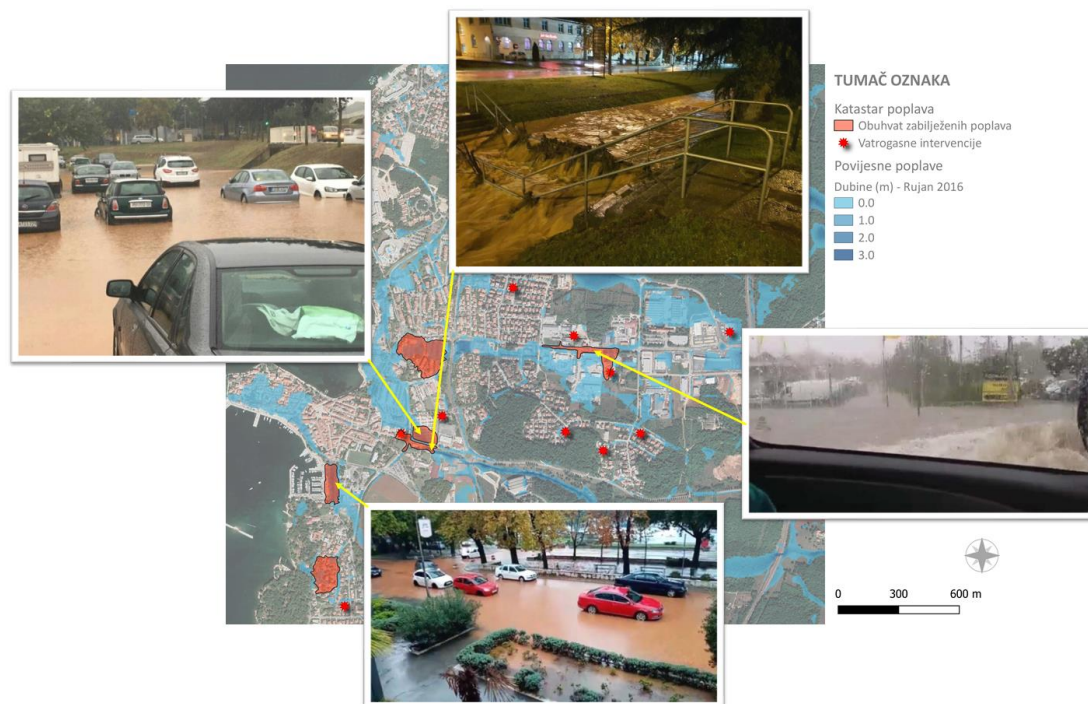
Na Slikama 4.1.3 i 4.1.4 izdvojeni su detalji katastra poplava i rezultata modelske reanalize poplave iz rujna 2016. godine (dubine vode). Slika 4.1.3 prikazuje poplavljeno područje u stanciji Vodopija i dijela Porečke obilaznice (D75), koja je nastala kao rezultat povećane izgradnje posljednjih nekoliko godina (kombinacije neadekvatne oborinske odvodnje i intenzivne urbanizacije) te neodgovarajuće komunalne infrastrukture (dimenzije propusta ispod prometnice D75).



Slika 4.1.3 Zabilježene i modelirane poplave u naselju Stancija Vodopija (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

Slika 4.1.4 prikazuje poplavljeno područje centralnog dijela naselja Poreč, gdje se može izdvojiti trgovačka zona istočno od centra, u kojoj je uzrok poplave visoki stupanj izgrađenih površina te neodgovarajući sustav odvodnje oborinskih voda. Druga kritična zona je sezonsko parkiralište u Vukovarskoj ulici (lokalnog naziva „vrtovi“), koja i služi kao prirodna retencija bujice koja uzvodno prolazi uz dvoranu Žatika, potom paralelno uz Vukovarsku ulicu te završava zatvorenim kanalom iz kojeg se oborinske vode ulijevaju u more. Pored toga, kritična zona je i ulica Rade Končara uz marinu Poreč, gdje je najvjerojatnije problem niska visinska kota i otežano otjecanje oborinskih voda uslijed visokih razina mora.

Općenito se može zaključiti da su rezultati modelske reanalize u suglasju sa zabilježenim poplavnim površinama i lokacijama intervencija te da se izrađeni matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na pilot području Poreč.



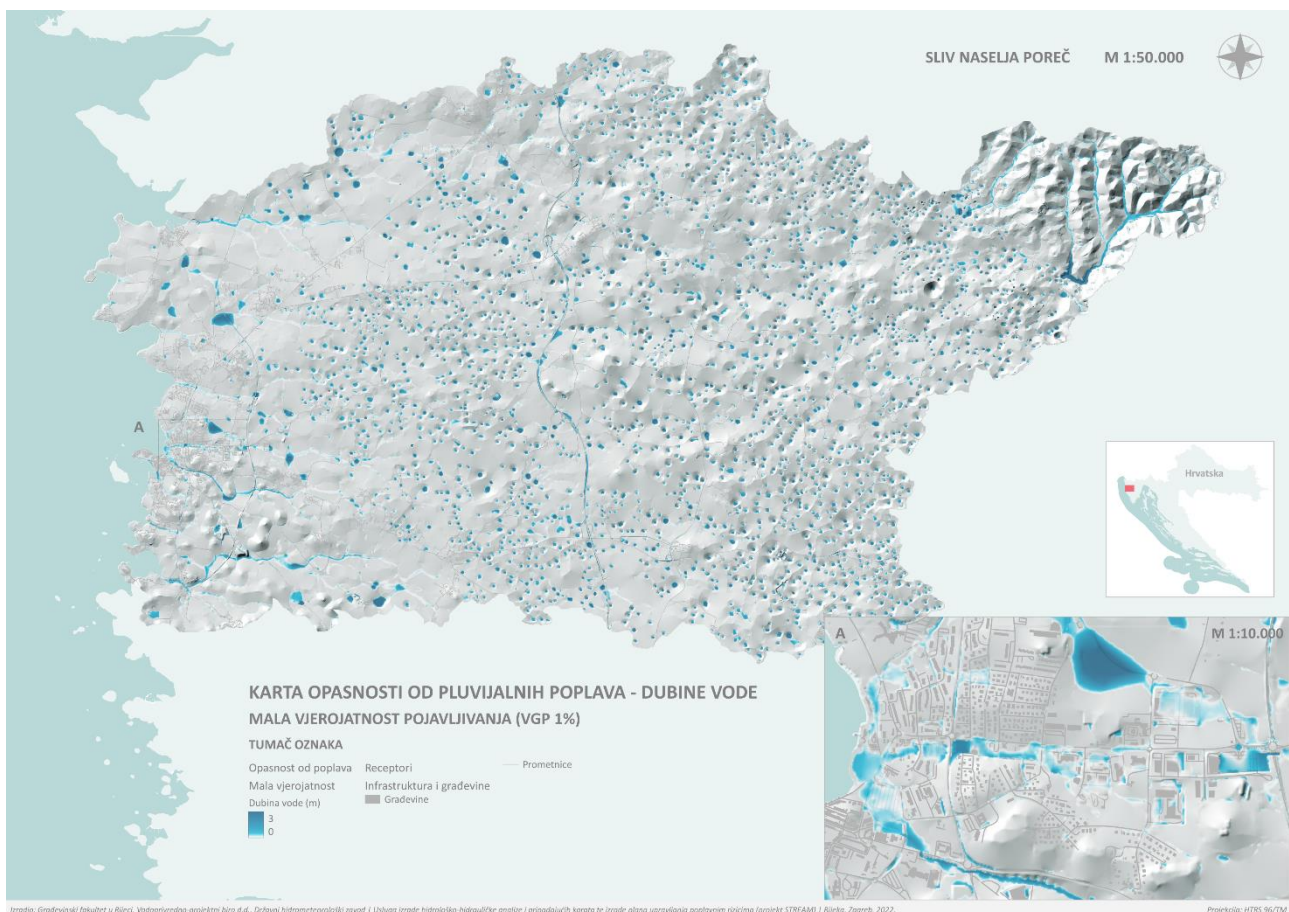
Slika 4.1.4 Zabilježene i modelirane poplave u centru naselja Poreč i komercijalnoj zoni (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

4.1.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč

Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slikama 4.1.5-4.1.7 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja na pilot području Poreč.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Poreča te izdvojiti problematične lokacije. Bitno je za primijetiti da u predmetnom slivu nema izraženih vodotoka niti dominantnih koncentriranih tokova, već je površinsko otjecanje oborinskih voda lokalizirano u manje i kraće tokove. U slivu je također prisutan veći broj depresija,

najčešće se radi o vrtačama ili ponikvama. Kraći tokovi površinskog otjecanja često završavaju u vrtačama kroz koje se voda postepeno (ponekad i vrlo sporo) infiltrira u podzemlje. Ovakva se zemljišta najčešće koriste u poljoprivredne svrhe. Nažalost u novije vrijeme u nekim prirodnim depresijama izgrađene su kuće za turističku namjenu (npr. Stancija Vergotini), pa posljedično vlasnici imaju problema s poplavlivanjem podruma ili prizemnih dijelova objekata, što je evidentirano u katastru poplava. Navedena naselja uz to nemaju riješen sustav odvodnje oborinskih voda, a cestovni propusti nizvodno od naselja često su podkapacitirani za količinu površinskog otjecanja koja se povećala nakon intenzivnije urbanizacije naselja (trend sve manjih površina s prirodnom infiltracijom oborinske vode u tlo).

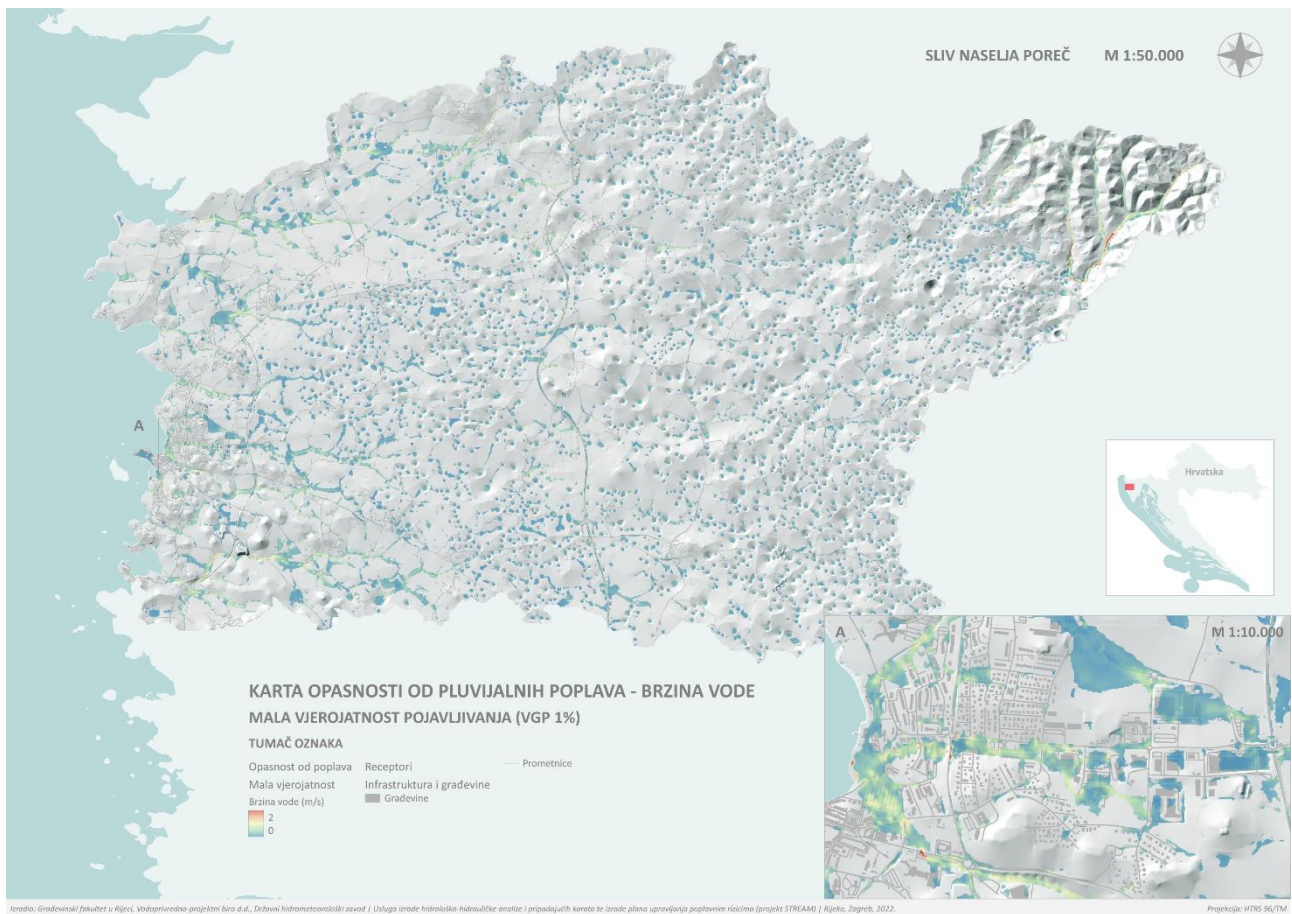


Slika 4.1.5 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

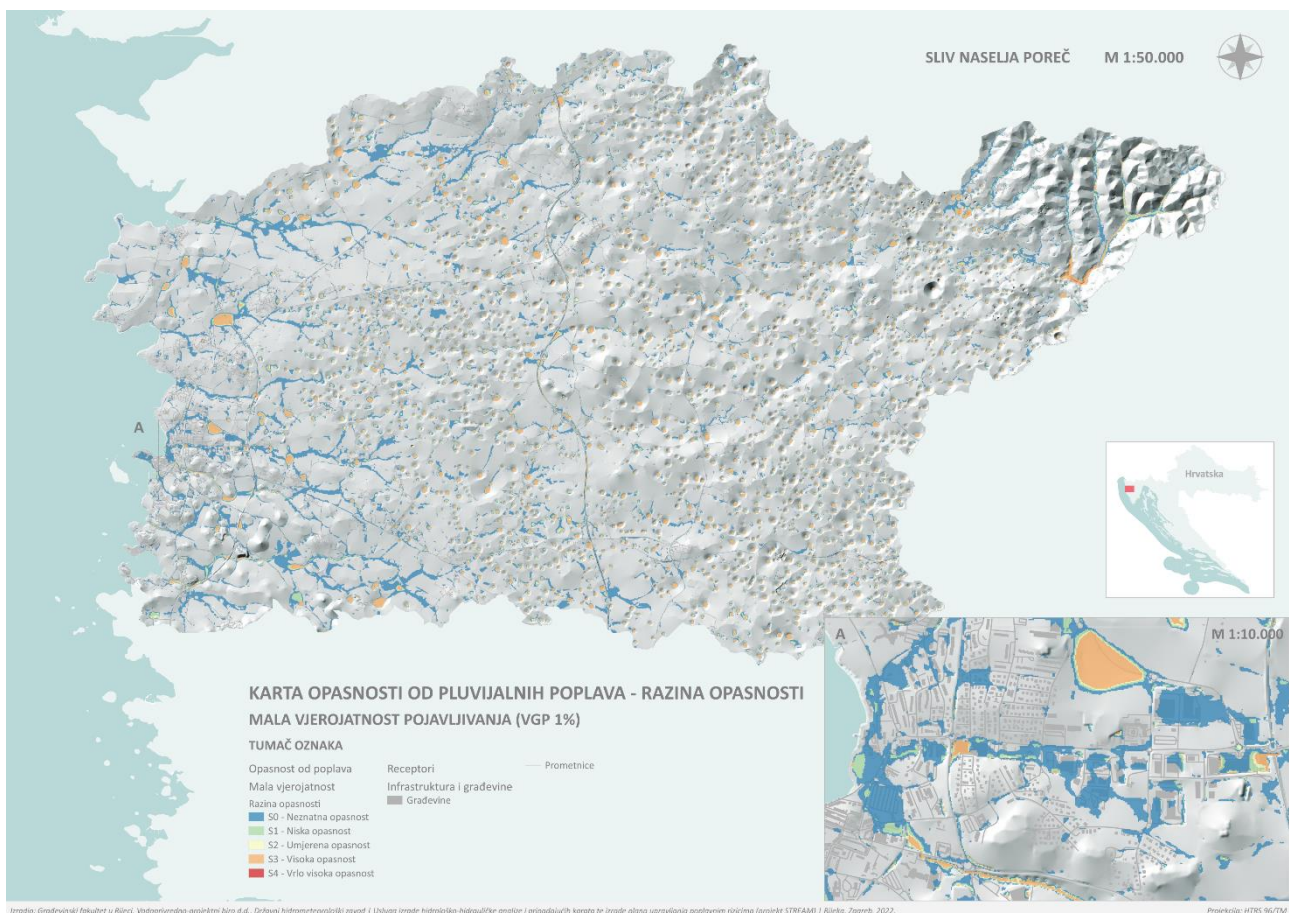
Uzvodno (istočno) od autoceste A9 nema izraženijih pojava plavljenja niti zabilježenih intervencija. Jedina iznimka je brdski predio u krajnjem istočnom rubu sliva, gdje su prisutni bujični tokovi.

Nizvodno (zapadno) od autoceste A9 jasnije su prisutni koncentrirani tokovi površinskih voda, a najveći broj zabilježenih intervencija i poplavljenih područja prisutno je unutar naselja Poreč. Pojedinačni objekti koji imaju zabilježenih problema s poplavljanjem podruma često su izgrađeni na nepovoljnim konfiguracijama terena zbog čega dolaze u kontakt s površinskim tokom oborinskih voda. Kao značajnije lokacije s gledišta opasnosti od poplava mogu se izdvojiti:

- Dionica autoceste A9 kod odmorišta Bačva (kraća dionica u usjeku, gdje pri pojavi jakih oborina dolazi do erozije tla i zapunjavanja objekata za odvodnju oborinskih voda)
- Naselje Vrvari, Stancija Vergotin i Vodopija (neriješen sustav odvodnje oborinskih voda te izgradnja objekata u prirodnim depresijama)
- Ulica Mate Vlašića (komercijalna zona s vrlo visokim postotkom nepropusnih urbaniziranih površine te neadekvatno riješenom odvodnjom oborinskih voda)
- Vukovarska ulica i parkiralište (prirodna retencija, poddimenzioniran sustav odvodnje, potencijalno i utjecaj uspora mora)
- Ulica Rade Končara uz Marinu Poreč (visoke razine mora otežavaju otjecanje)
- Poljoprivredne površine i staklenici zapadno od naselja Kufci/Kukci



Slika 4.1.6 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

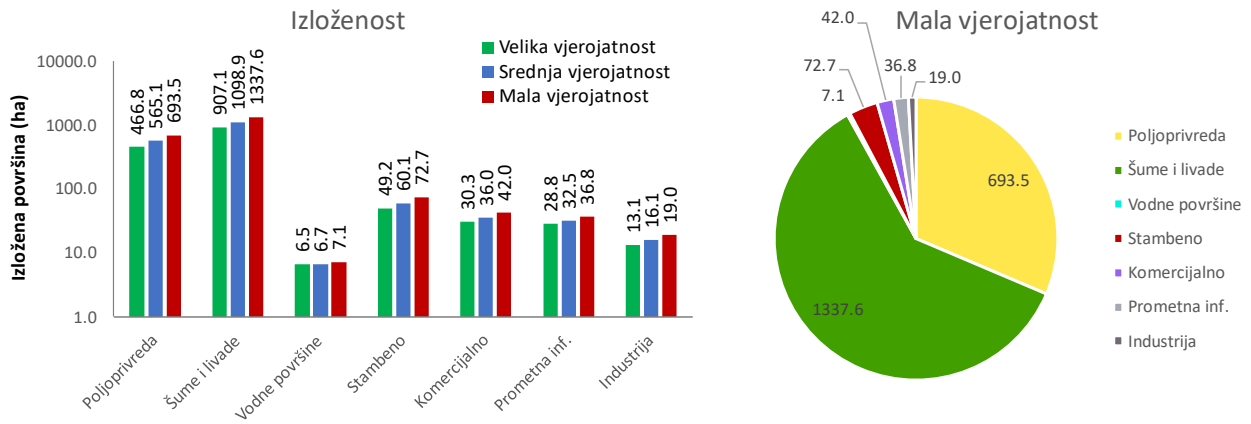


Slika 4.1.7 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

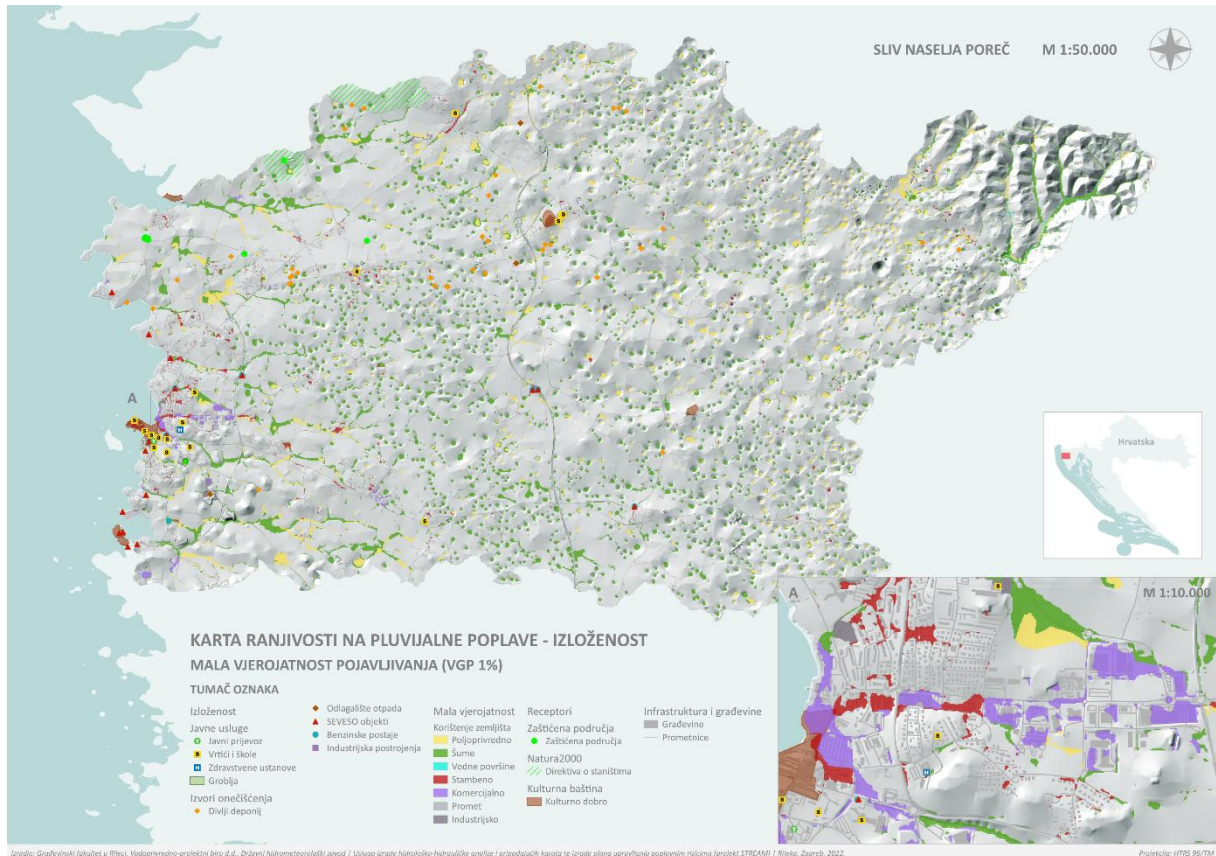
4.1.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Poreč

Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština.

Na Slici 4.1.8 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene izložene površine poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.1.9 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženost za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.



Slika 4.1.8 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Poreč



Slika 4.1.9 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Poreč iznosi 237 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 15 km² (6,3 %) za veliku vjerojatnost, 18,2 km² (7,7 %) za srednju vjerojatnost i 22,1 km² (9,3 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina ~60 % pod šumama i livadama, 30% poplavljenog područja poljoprivredne je namjene, dok je stambenih, komercijalnih, prometnih i industrijskih površina zajedno ispod 10 %. Međutim, čak i za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje 49 ha stambene namjene, 30 ha komercijalne namjene te 13 ha industrijske namjene.

Sve lokacije javnih usluga (zdravstvene ustanove, vrtići, škole, javni prijevoz, groblja) su u izvan opasnosti od poplava.

Lokacije divljih deponija su također većinom izvan opasnosti od poplava s iznimkom dvije lokacije u Višnjaju koje su izložene umjerenoj do visokoj razini opasnosti od poplava. Odlagališta otpada su izvan opasnosti od poplava. Većina SEVESO objekata je izvan opasnosti, s iznimkom nekoliko lokacija koje su izložene niskoj ili umjerenoj opasnosti (benzinske postaje Poreč obala, Bačva sjever, Bačva jug). Velikih industrijskih postrojenja nema na ovom pilot području.

Zaštićena područja su izvan opasnosti.

Kulturna dobra su uglavnom izvan opasnosti, osim urbane cjeline Poreč koja je djelomično izložena niskoj razini opasnosti od poplava, jednako kao i kompleks Eufrazijeve bazilike.

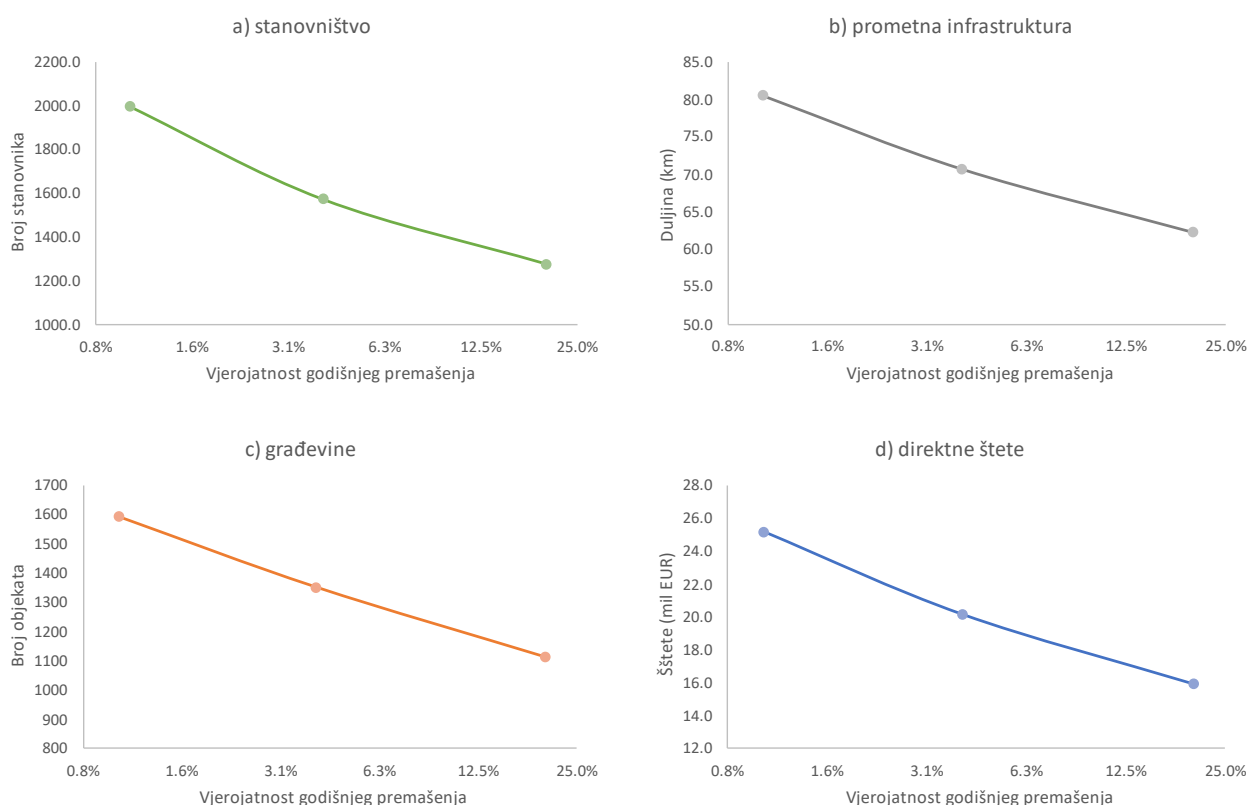
4.1.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Poreč. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.1.10 s procijenjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljene duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava.

Broj stanovnika pogođenih poplava je u rasponu od 1.200 stanovnika (VGP=20%) do 2.000 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 60 km (VGP=20%) do 80 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 1.100 (VGP=20%) do 1.600 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 16 milijuna EUR (VGP=20%) do 25 milijuna eura (VGP=1%).

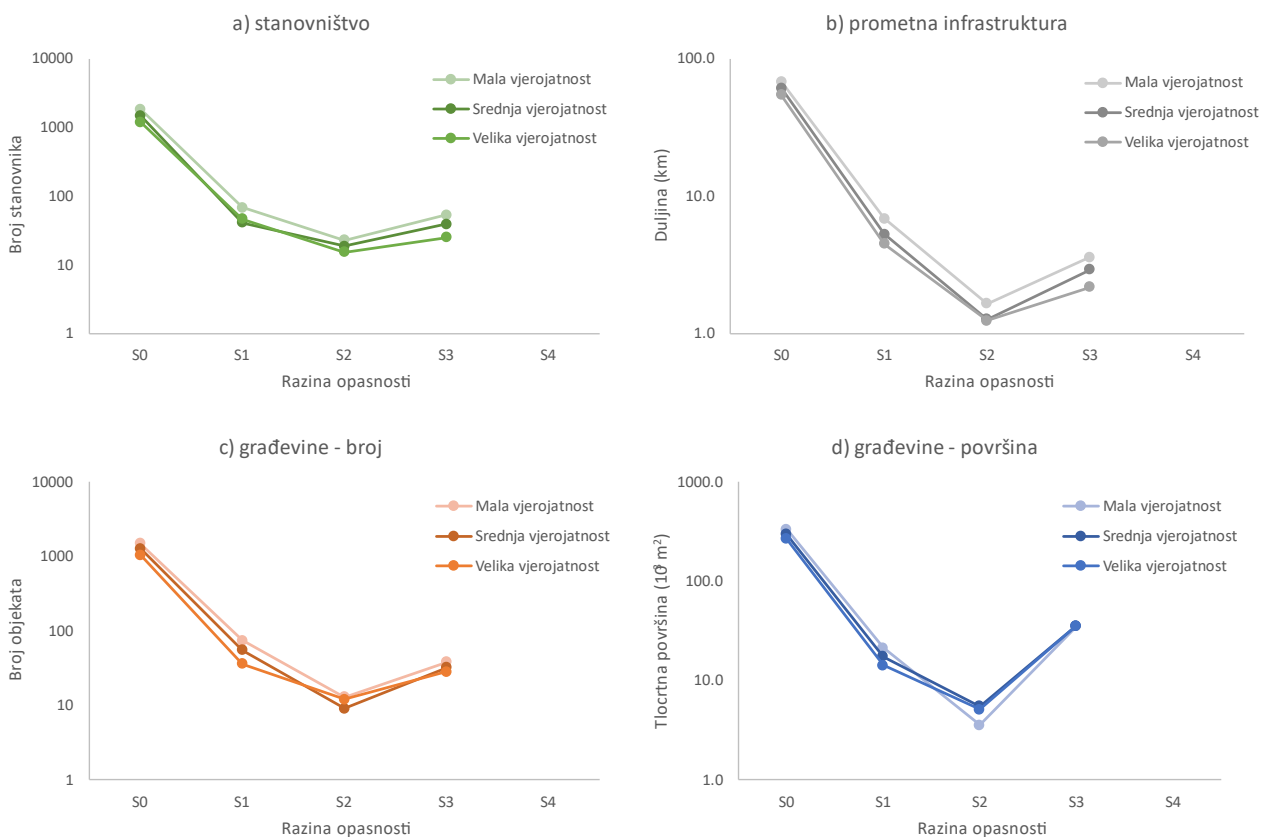
Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za

različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.1.11.



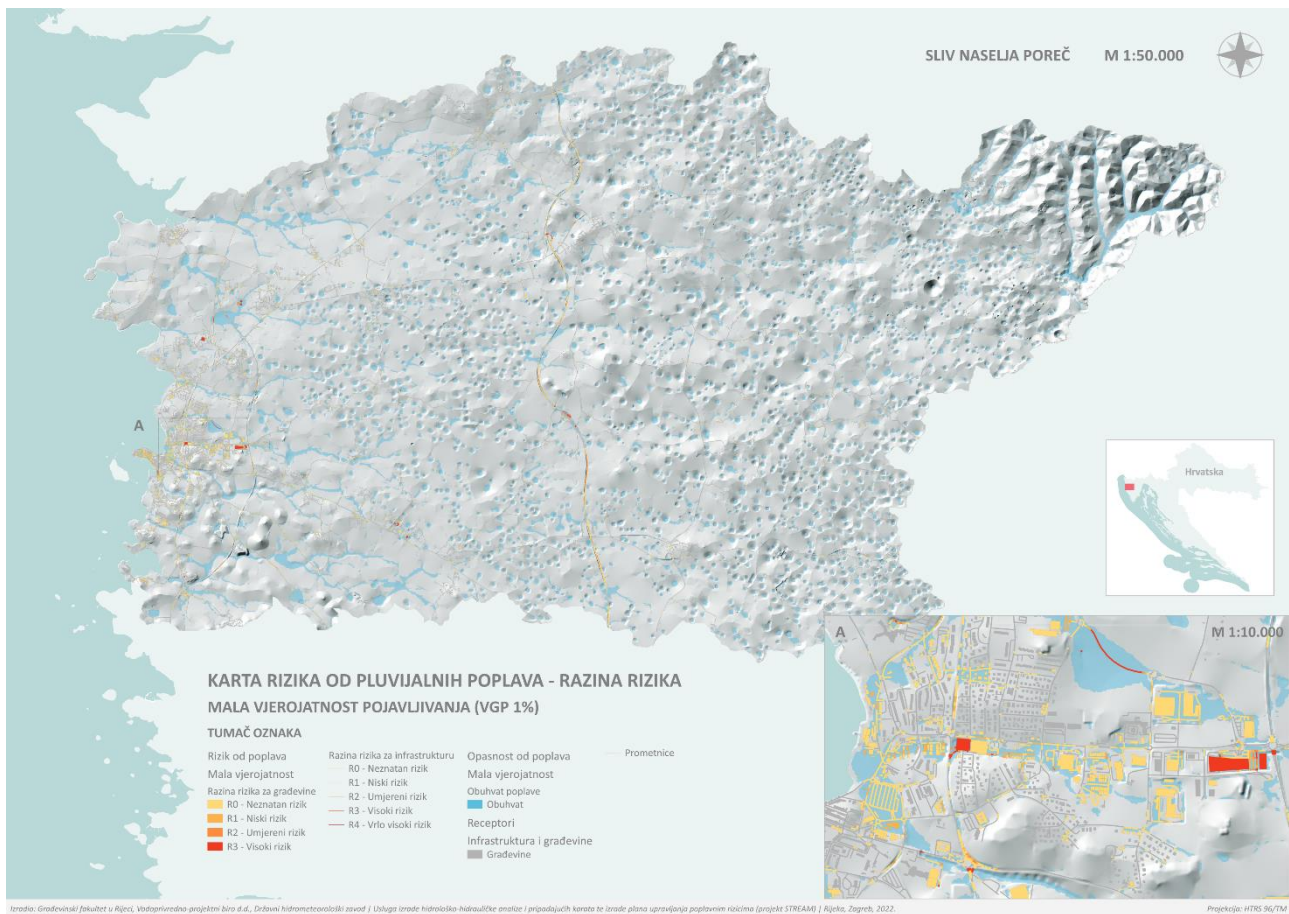
Slika 4.1.10 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljenе duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Poreč.

S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („neznatni rizik“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenom ili visokom razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji. Radi se otprilike o 75 stanovnika, 5,3 km prometnica i 50 objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%). Vrlo visoke razine rizika od pluvijalnih poplava (R4) nema na ovom području.

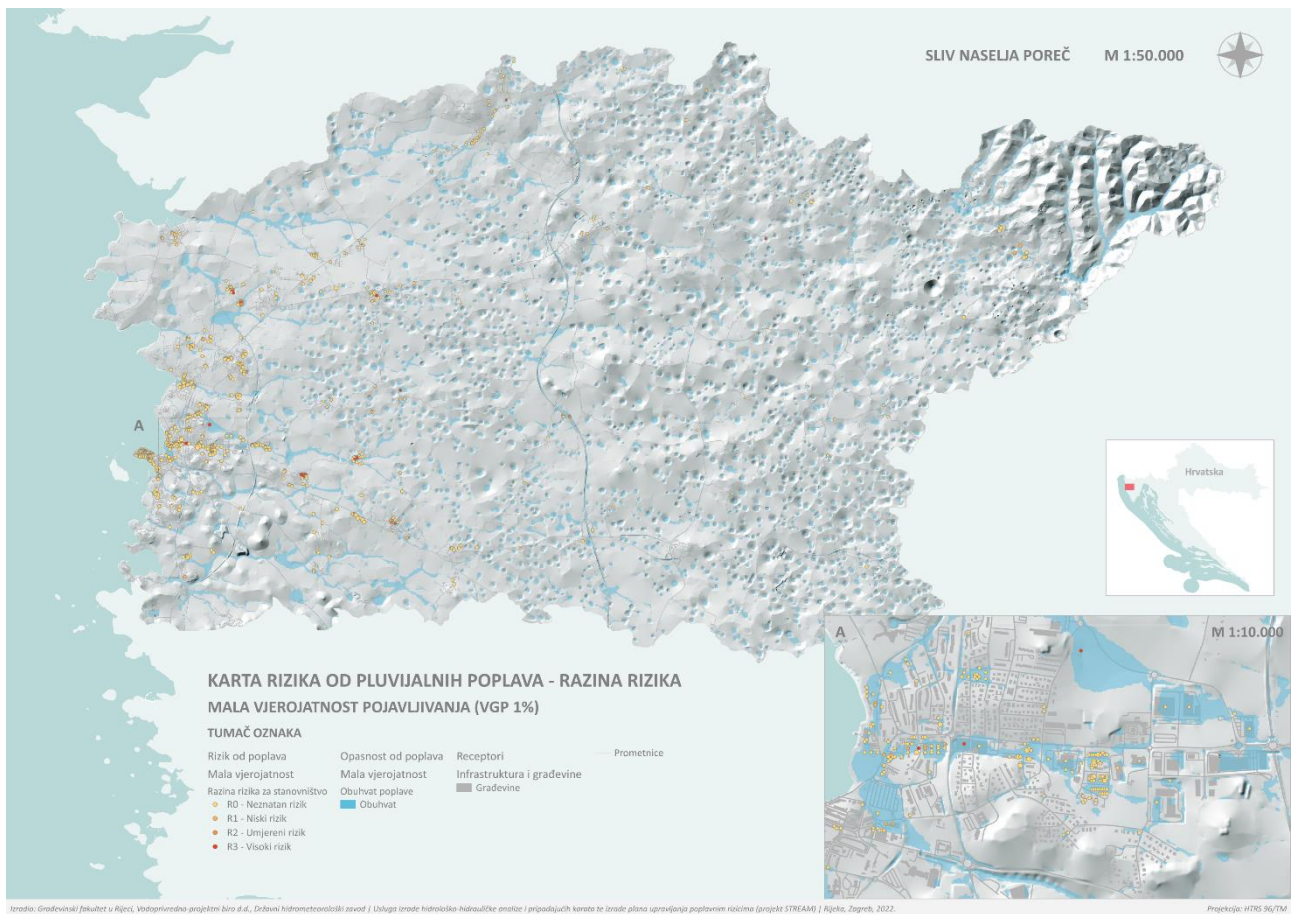


Slika 4.1.11 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Poreč.

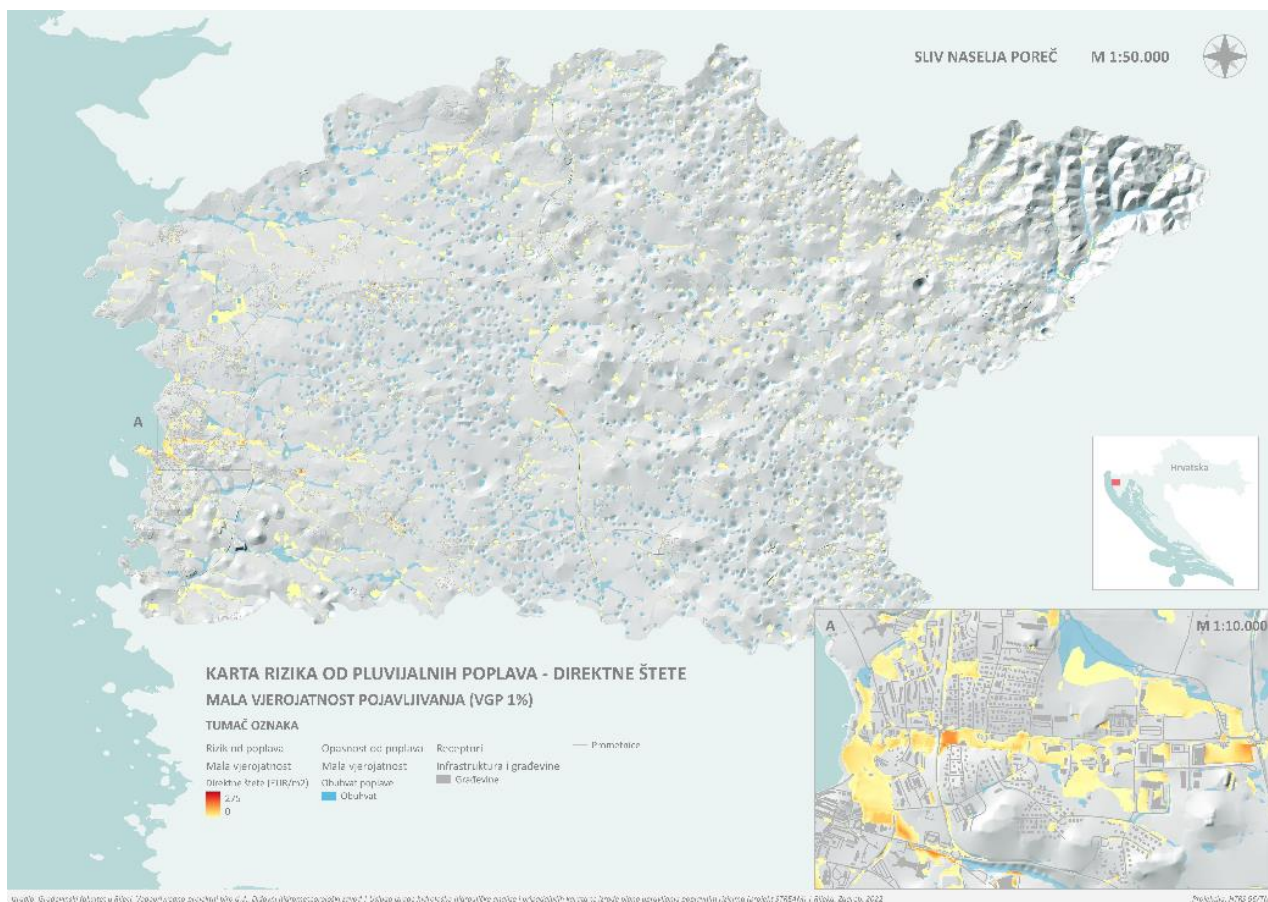
Na Slikama 4.1.12 i 4.1.13 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.1.14 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, infrastrukture i stanovništva umjerene ili visoke razine rizika koncentriran je unutar naselja Poreč.



Slika 4.1.12 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.



Slika 4.1.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

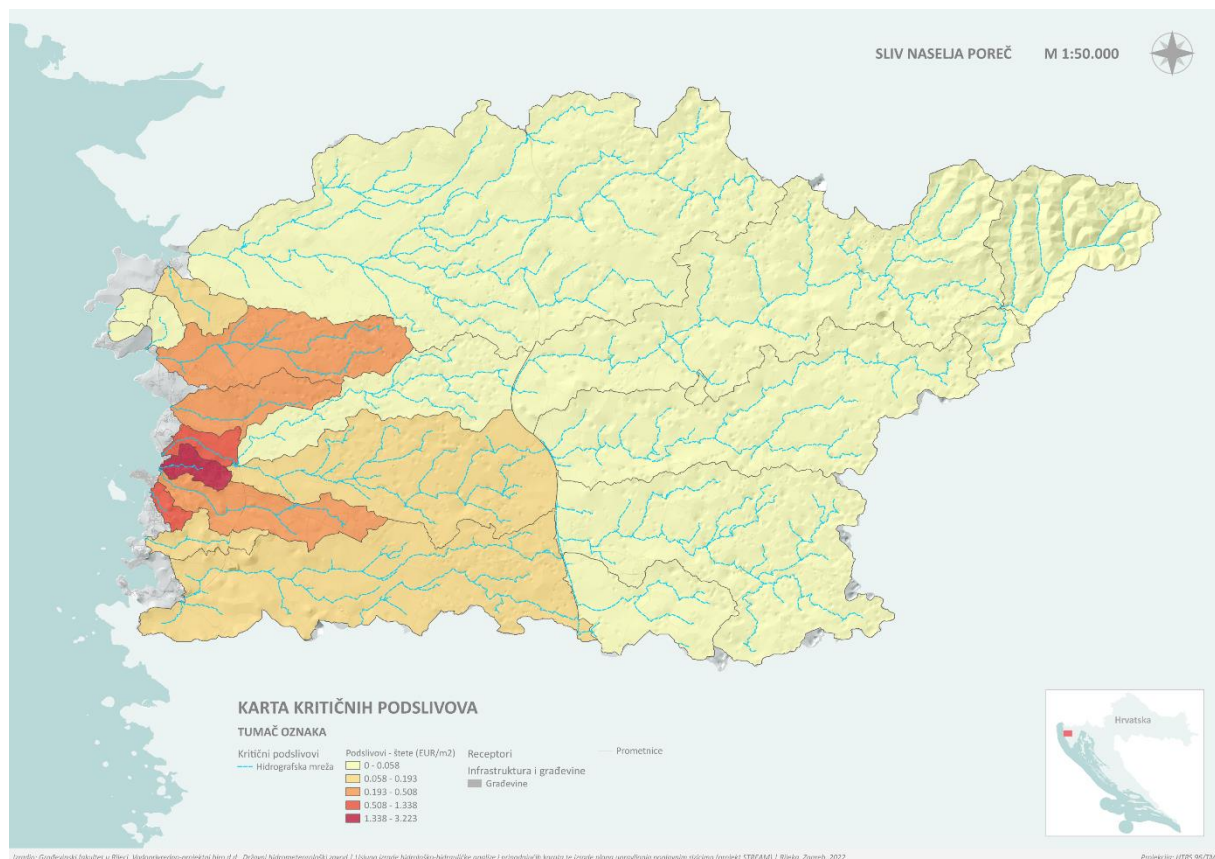


Slika 4.1.14 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

4.1.5 Kritični podslivovi na pilot području Poreč

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. “hotspots”) koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

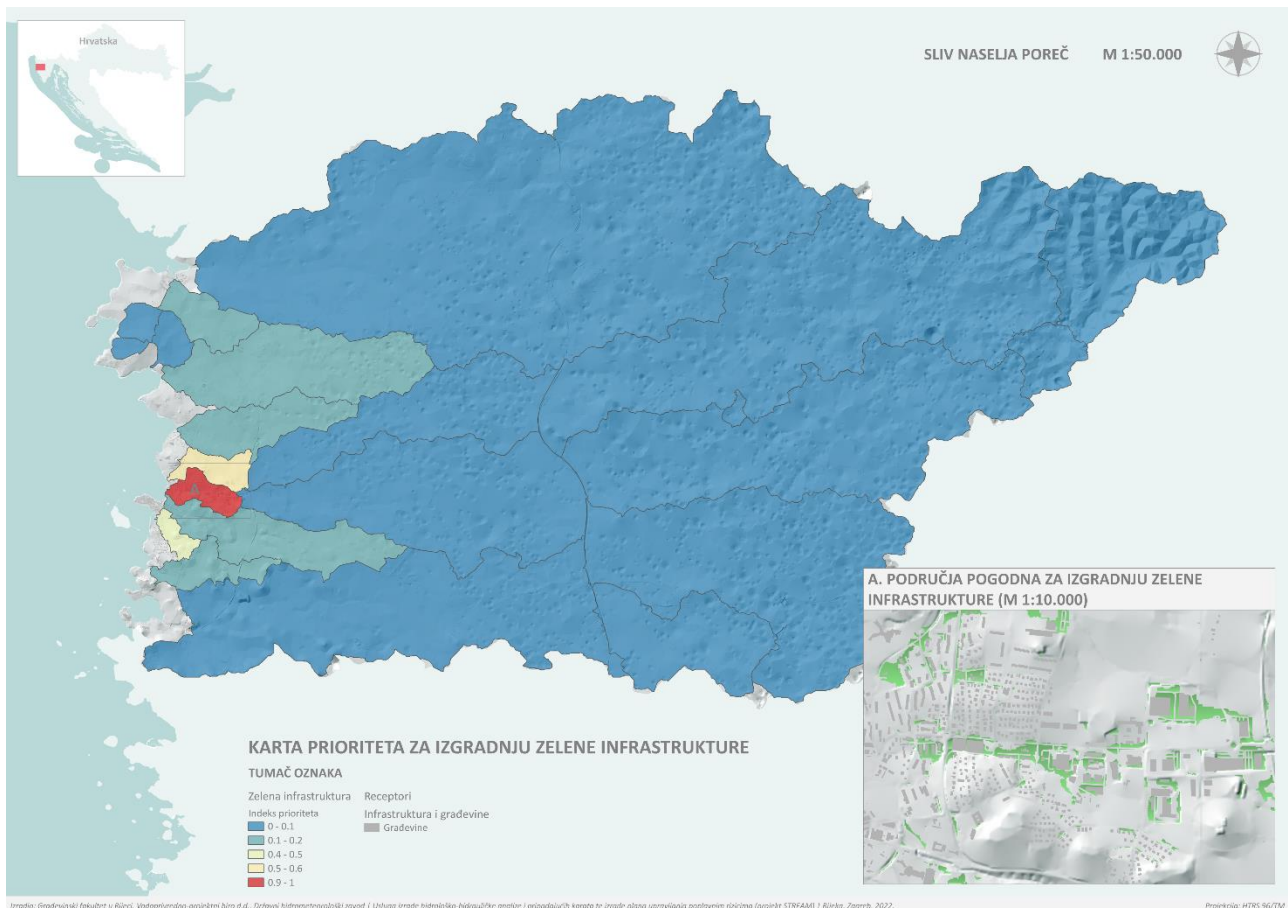
Na pilot području Poreč, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju podslivovi koji gravitiraju naselju Poreč, odnosno podslivovi koji se nalaze zapadno od autoceste A9 (Slika 4.1.15). Najkritičniji podsliv obuhvaća trgovačku zonu uz ulicu Mate Vlašića. Međutim i susjedna dva sliva (sjeverno i južno od te zone) se mogu ocijeniti kao kritični.



Slika 4.1.15 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Poreč.

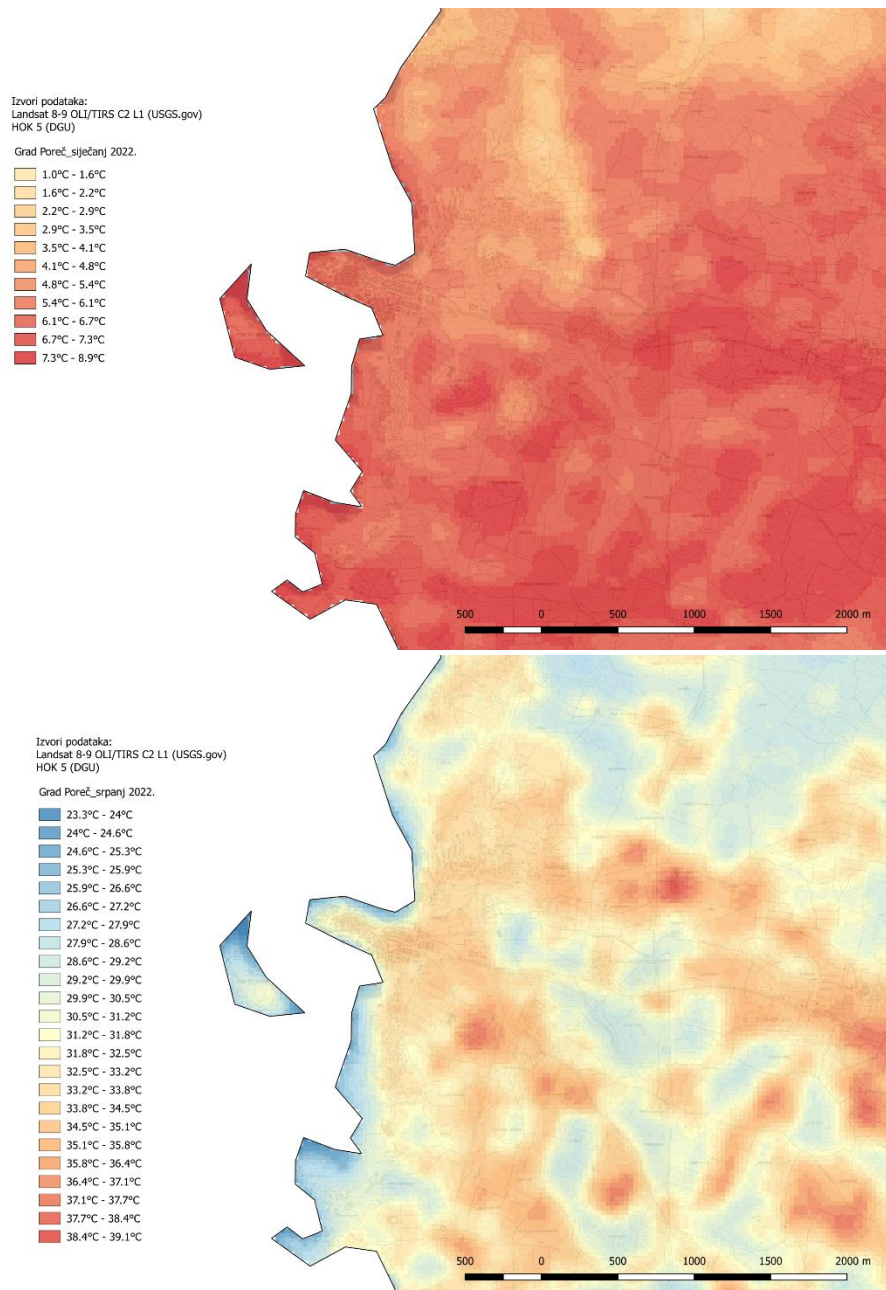
4.1.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Poreč

Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava koje se mogu umanjiti izgradnjom zelene infrastrukture. Na Slici 4.1.16 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima podsliv trgovačke zone uz ulicu Mate Vlašića. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi konceptijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Poreč koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



Slika 4.1.16 Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Poreč.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklimе i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.1.17 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



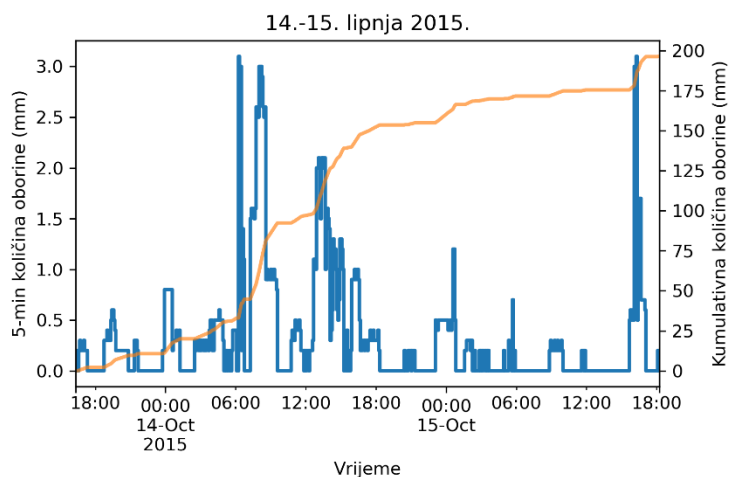
Slika 4.1.17. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Poreča.

4.2 Pilot područje Gospić

4.2.1 Povijesne poplave na pilot području Gospić

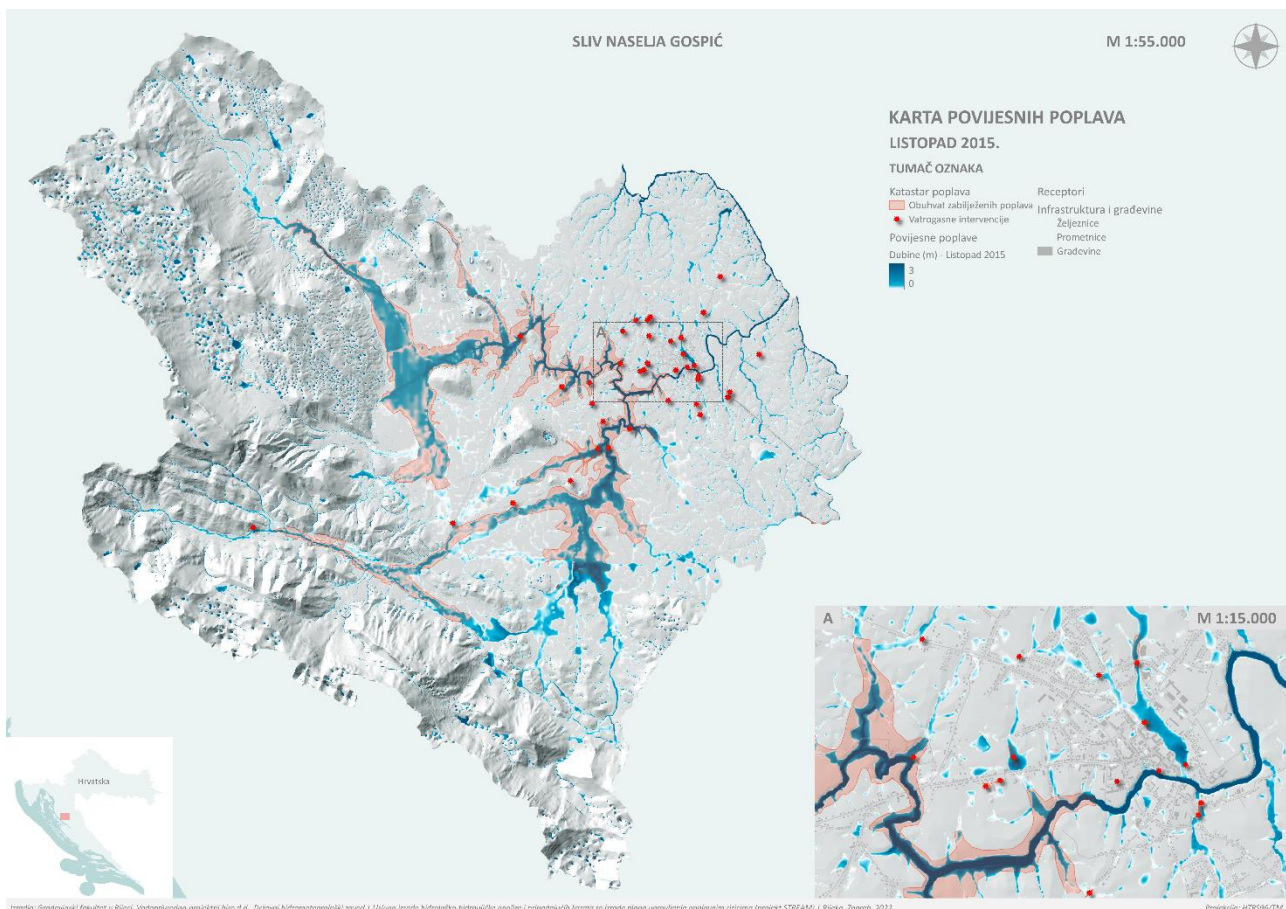
Analiza povijesnih poplava na pilot području Gospić provedena je na osnovu katastra poplava te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Treba napomenuti da su zabilježene poplavne površine na ovom području dostupne iz Registra poplavnih događaja za riječne poplave te prikupljenih podataka o poplavljenim površinama i lokacije vatrogasnih intervencija tijekom pluvijalnih poplava. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnije kišne epizode zabilježene na postaji Gospić u razdoblju 1961.-2020., to su kronološkim redom 23. kolovoza 1969., 22. rujna 2002. godine te 14.-15. listopada 2015. godine. Ekstremna oborina iz listopada 2015. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri izdvojene oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju.

U razdoblju od 13.-15. listopada 2015. godine, tijekom 48 sati, zabilježeno je 196 mm oborine na ombrografskoj postaji Gospić, maksimalna 24-satna oborina iznosila je 151 mm, 12-satna 120 mm, dok su oborine kraćeg trajanja bile nešto umjerenije, 69 mm u 3 sata te 30 mm u jedan sat (Slika 4.2.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave između 2 – 4%.



Slika 4.2.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene u 48-satnom razdoblju od 13. - 15. listopada 2015. godine na ombrografskoj postaji Gospić.

Karta modelirane dubine vode za oborinu iz listopada 2015. godine zajedno s lokacijama vatrogasnih intervencija i poligonima zabilježenih poplavljenih površina (prikupljene informacije s terena i podaci iz registra poplava) prikazana je na Slici 4.2.2. Poplavljeno područje iz registra poplava vezano je uz izlivanje vode iz korita rijeka Novčice i Bogdanice, dok se najveći broj vatrogasnih intervencija nalazi unutar urbaniziranog dijela naselja Gospić.



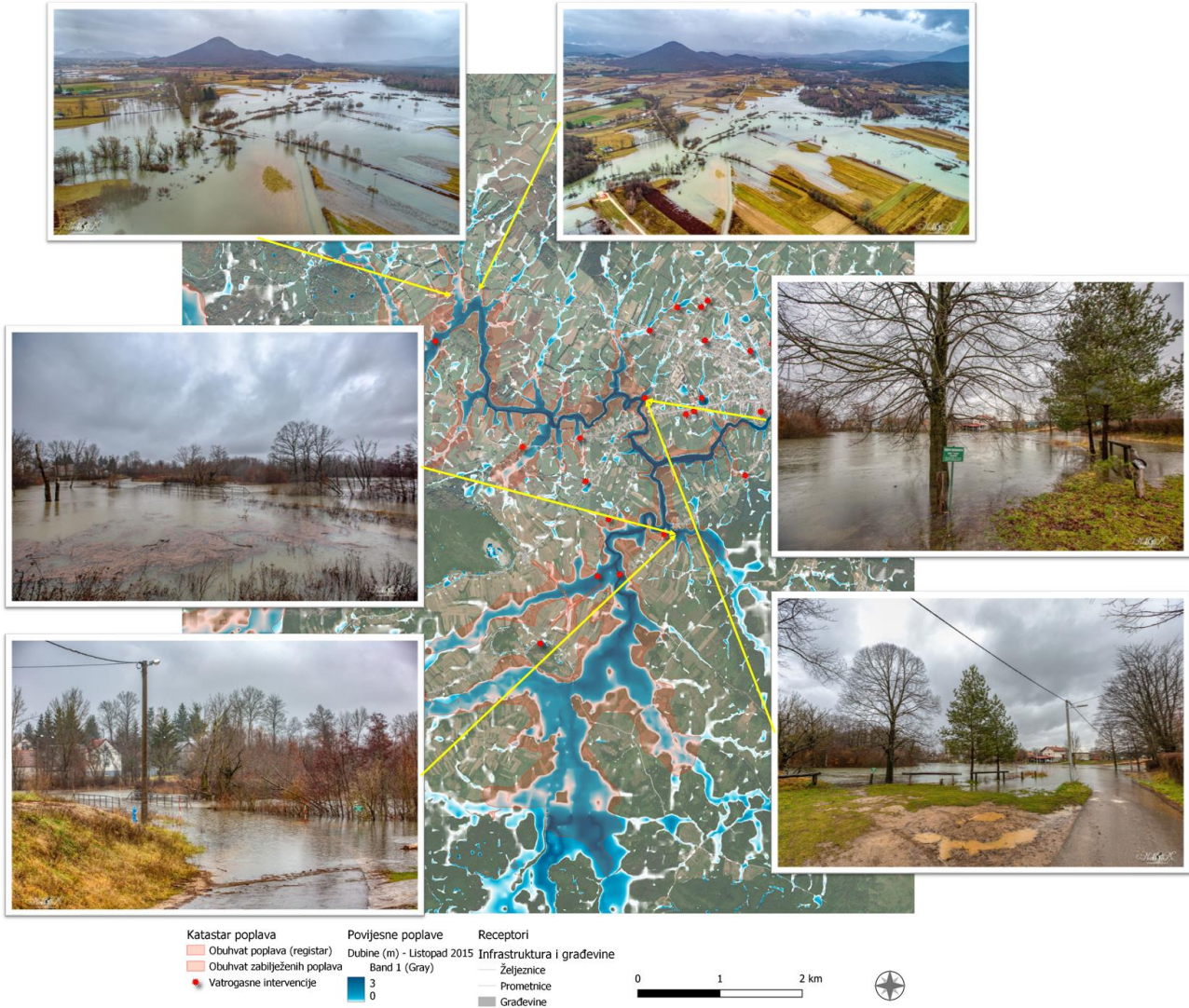
Slika 4.2.2 Karta povijesnih poplava – modelska reanaliza pluvijalne poplave iz listopada 2015. godine te obuhvat zabilježene poplave– na pilot području Gospić.

S obzirom da poplava iz 2015. godine nije zabilježena u Meteorološkom i hidrološkom biltenu DHMZ-a (2022), u nastavku se prenose informacije iz novinskih članka recentne poplave iz prosinca 2021. godine na širem području Gospića koja je bila sličnog karaktera kao i onda iz 2015. godine.

Na širem području grada Gospića u prosincu 2021. godine zbog obilnih oborina došlo je do izlivanja iz korita rijeka Novčice, Bogdanice i bujice Tisovac, a Hrvatske vode uspostavile su izvanredne mjere obrane od poplava. Najteže je bilo na području Ličkog Novog gdje je poplavljeno pet stambenih i nekolicina gospodarskih objekata i stanovništvu je bila otežana prometna komunikacija zbog zatvorene dionice Lički Novi-Žabica (Gospić). Ograničen je bio cestovni promet na dionicama cesta: Mala Plana - Velika Plana, Podastrana - Donje Pazarište, Lički Novi – Žabica, Smiljan – Trnovačko Novoselo, Smiljan – Rastoka, Lički Novi – Podoštra i Žabica - Gospić. Došlo je do povišenja mutnoće i voda nije bila za piće u naseljima Velika i Mala Plana, Podastrana, Donje Pazarište, Kalinovača, Popovača Pazariška, Aleksinica, Vaganac, Vranovina, Oteš, Klanac, Veliki Žitnik, Trnovac i Bužim. Potok Tisovac u Donjim Pazarištima sasvim se izlio na ceste kod lokaliteta Velika Plana i Podastrana. Rijeka Novčica je mjestimično poplavila u naseljima Kaniža i Žabica kod Gospića gdje se pod vodom našlo nekoliko osobnih vozila i jedan traktor. Na cestu se kod naselja Kolakovica izlila rijeka Bogdanice koja je prekinula promet na lokalnoj cesti za Smiljan. (Jutarnji list, 2021.)

Na Slikama 4.2.3 i 4.2.4 izdvojeni su detalji katastra poplava i rezultata modelske reanalize poplave iz listopada 2015. godine (dubine vode). Slika 4.2.3 prikazuje poplavljeno područje uz rijeke Bogdanicu i Novčicu do Gospića. Fotografije prikazuju prvenstveno posljedice riječne poplave iz 2021. godine, koja je nastala uslijed izlivanja vode iz korita rijeke Bogdanice kod Kolakovice i Kaniže te rijeke Novčice kod Žabice, a bila je sličnog karaktera kao i poplava iz 2015. godine. Slika 4.2.4 prikazuje isto područje, međutim fotografije detaljnije prikazuju rezultate kombinirane riječne i pluvijalne poplave iz 2021. godine, odnosno dionice poplavljenih prometnica i stambenih objekata bliže samom gradu Gospiću, a koje su nastale uslijed kombiniranog utjecaja visokih vodostaja rijeke Novčice, visoke razine podzemnih voda te površinskog otjecanja jakih oborina.

Općenito se može zaključiti da su rezultati modelske reanalize u suglasju sa zabilježenim poplavnim površinama i lokacijama intervencija te da se izrađeni matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na pilot području Gospić.



Slika 4.2.3 Zabilježena i modelirana poplava u Gospiću, listopad 2015. Slike prikazuju poplavljena područja uz korita rijeke Bogdanice i Novčice iz prosinca 2021. godine (gspress.net).



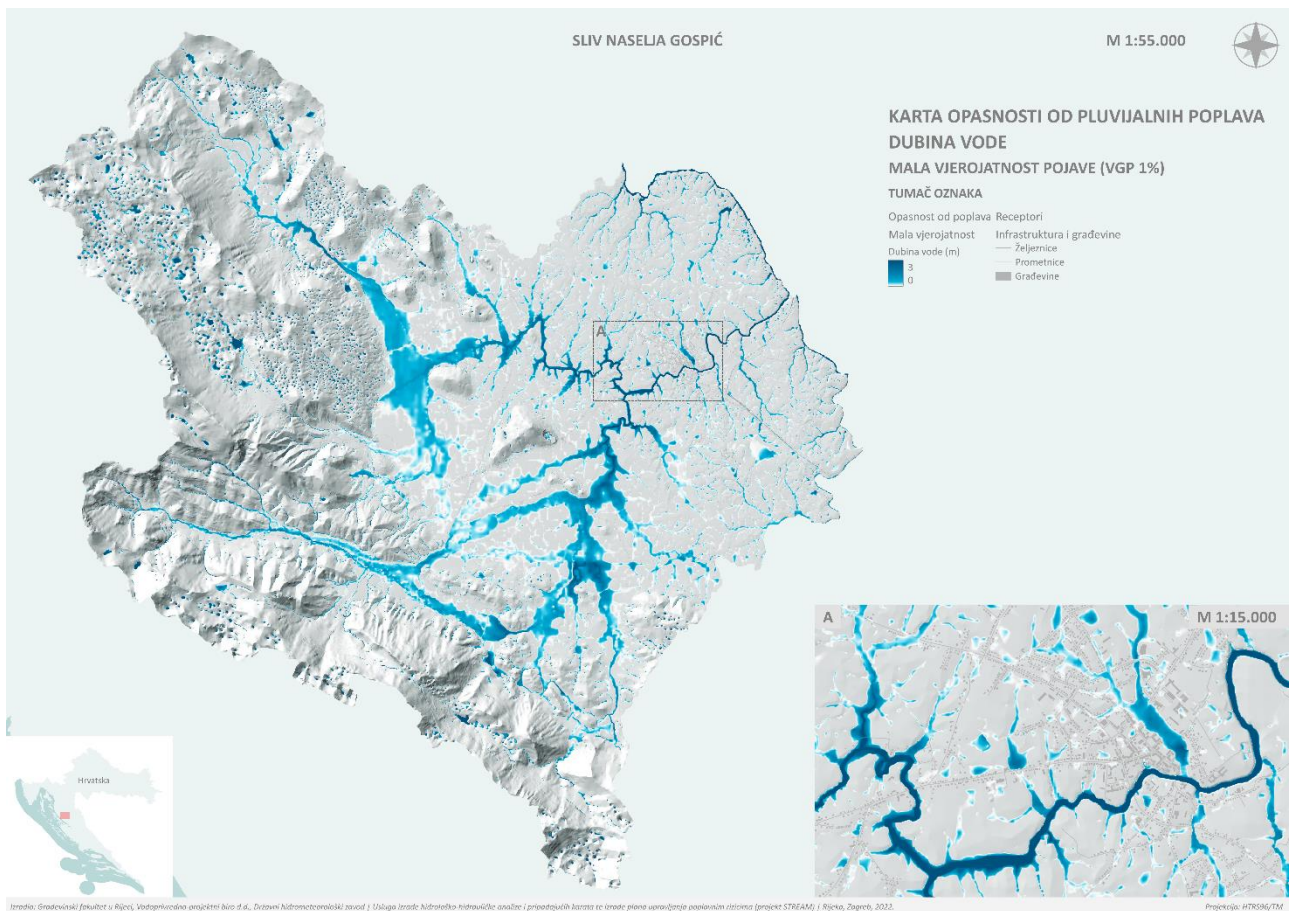
Slika 4.2.4 Zabilježena i modelirana poplava u Gospiću, listopad 2015. Slike prikazuju poplavljena područja uz prometnice i stambene objekte iz prosinca 2021. godine (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora).

4.2.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić

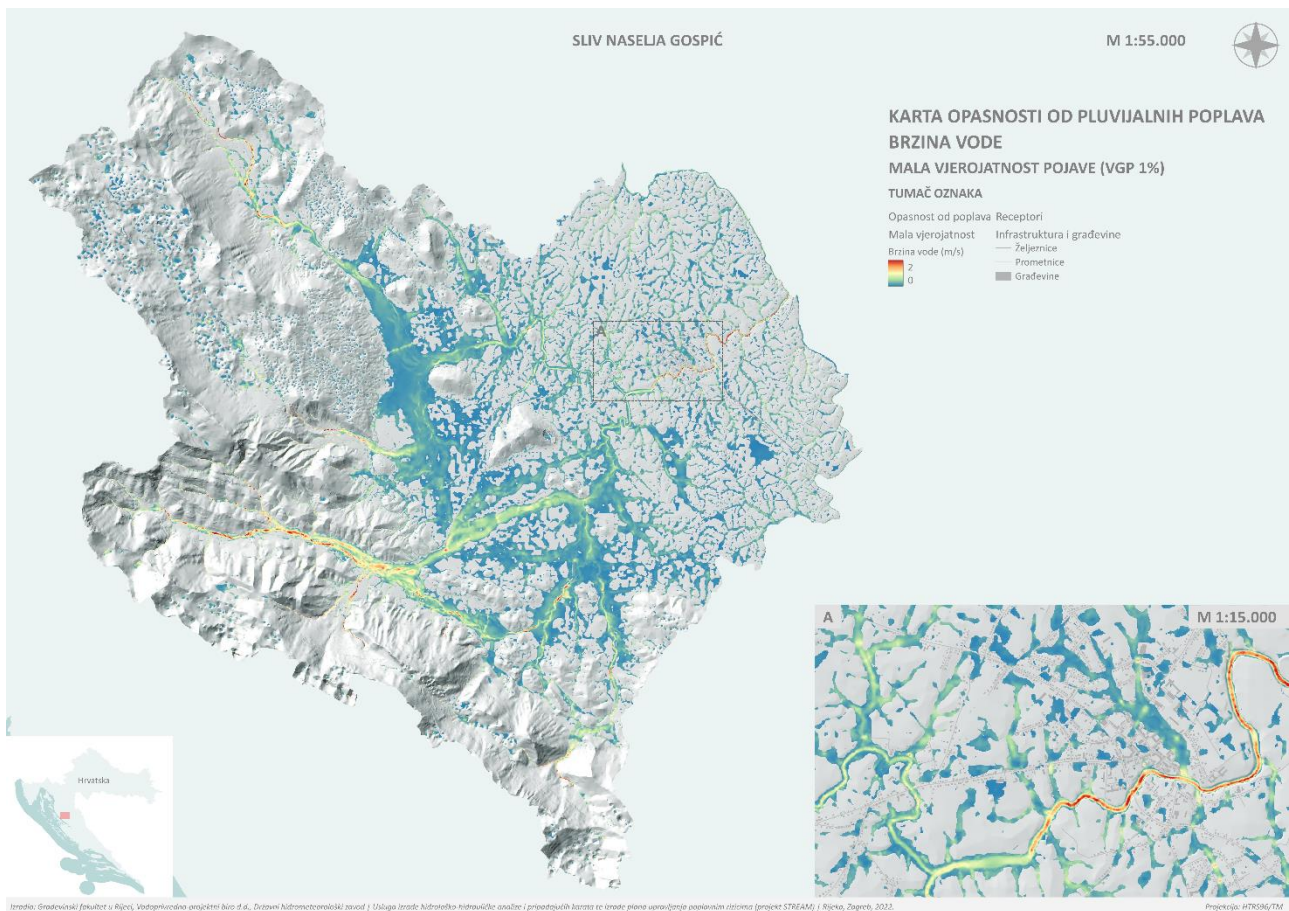
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slikama 4.2.5 – 4.2.7 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Gospić te izdvojiti problematične lokacije. Poplave u slivu naselja Gospić primarno su riječnog (fluvijalnog) karaktera a uvjetovane su hidrološkim procesima rijeke Like, Novčice i Bogdanice. Naime, nakon izgradnje brane Sklope i formiranja akumulacije Kruščica poremećen je prirodni tok rijeke Like, što ima nepovoljan utjecaj na uzvodni vodni režim. Uspor uslijed visokog vodostaja u akumulaciji doseže i nekoliko desetak kilometar uzvodno. Visoki vodostaj rijeke Like negativno se odražava na vodostaj rijeke Novčice (koja utječe u Liku nizvodno od Gospića) te preko Novčice na vodostaj rijeke Bogdanice (koja utječe u Novčicu neposredno uzvodno od Gospića u Kaniži Gospićkoj). Dodatno, visoki vodostaj rijeke Novčice negativno se odražava i na vodni režim rijeke Suvaje i Brušance, čiji slivovi obuhvaćaju područje Velebita i mnogobrojnih izvora. Problematika ovog područja poznata je u okviru Provedbenog plana obrana od poplava za područja malog sliva Lika (HV, 2014.), međutim u njemu se navodi da je zbog visokih vodostaja u akumulaciji Sklope nemoguće izbjeći povremeno plavljenje uzvodnog područja oko grada Gospića.

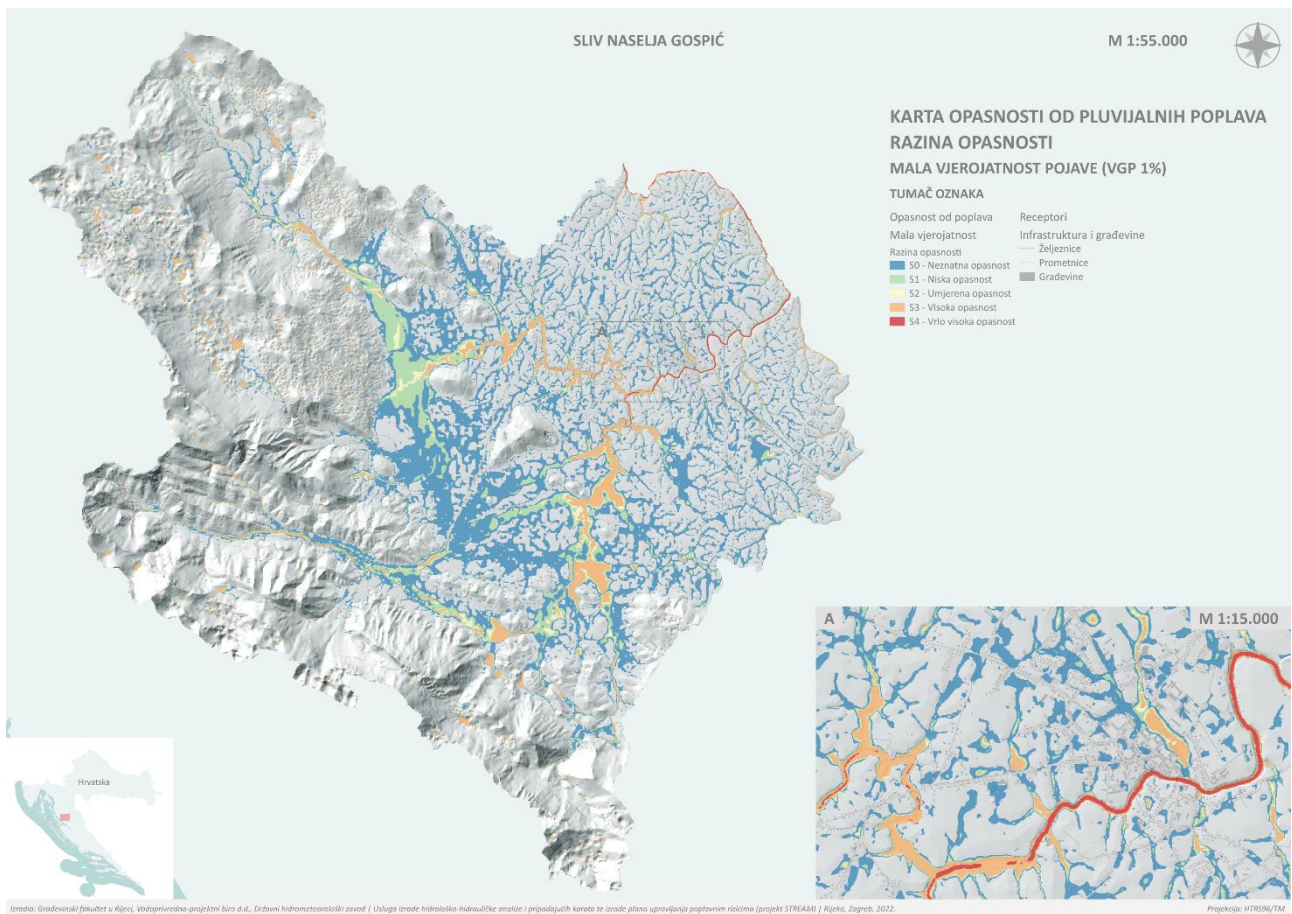
Pluvijalne poplave su sekundarnog karaktera na predmetnom području i ne moguće ih je razdijeliti od riječnih poplava. Karakterizira ih prvenstveno niz manjih bujičnih slivova te otežano otjecanje površinskih voda prema evakuacijskim kanalima i vodotocima zbog njihovog visokog vodostaja. Opasnost od pluvijalnih poplava prvenstveno se održavaju na kraće bujične tokove i zadržavanje vode u prirodnim depresijama, najčešće poljoprivrednim površinama koje nemaju dobro riješen sustav odvodnje ili livadama. U urbaniziranom dijelu naselja Gospić odvodni kanali su dodatno opterećeni zbog visoke nepropusnosti podloge okolnog područja (odnosno izgrađenosti koja sprječava prirodnu infiltraciju vode u tlo). Najveće brzine i razine opasnosti vezane su uz vodotoke Novčice i Bogdanice te uzvodnih bujice i manje pritoke.



Slika 4.2.5 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.



Slika 4.2.6 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.



Slika 4.2.7 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

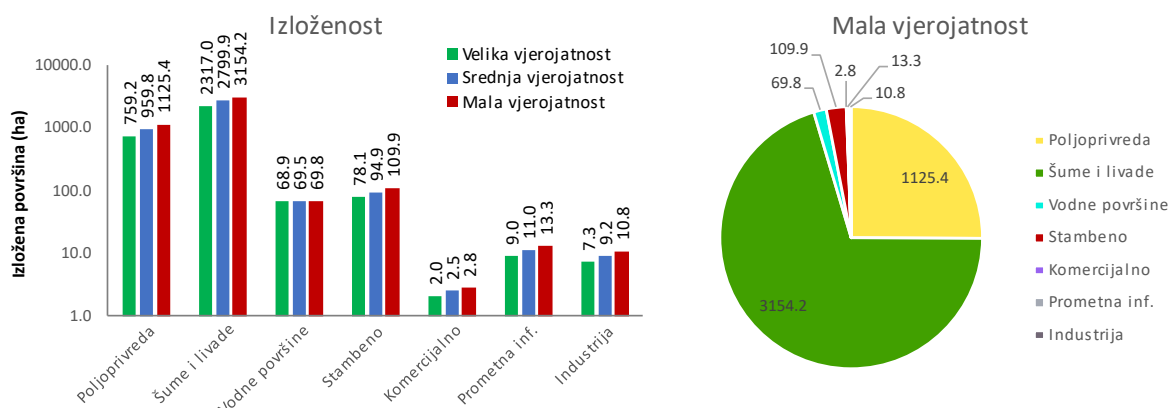
4.2.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Gospić

Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština. Na Slici 4.2.8 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene površine izložene poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.2.9 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženosti za malu vjerojatnost na pilot području Gospić. Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Gospić iznosi 238,5 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 32,4 km² (14 %) za veliku vjerojatnost, 39,5 km² (17 %) za srednju vjerojatnost i 44,9 km² (19 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina čine šume i livade. Znatian udio poplavljenih površina je poljoprivredne namjene (približno 24 %), dok je stambenih, komercijalnih, prometnih i industrijskih površina zajedno ispod 5 %. Za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje 759 ha poljoprivredne namjene, 78 ha stambene namjene te 7,3 ha industrijske namjene.

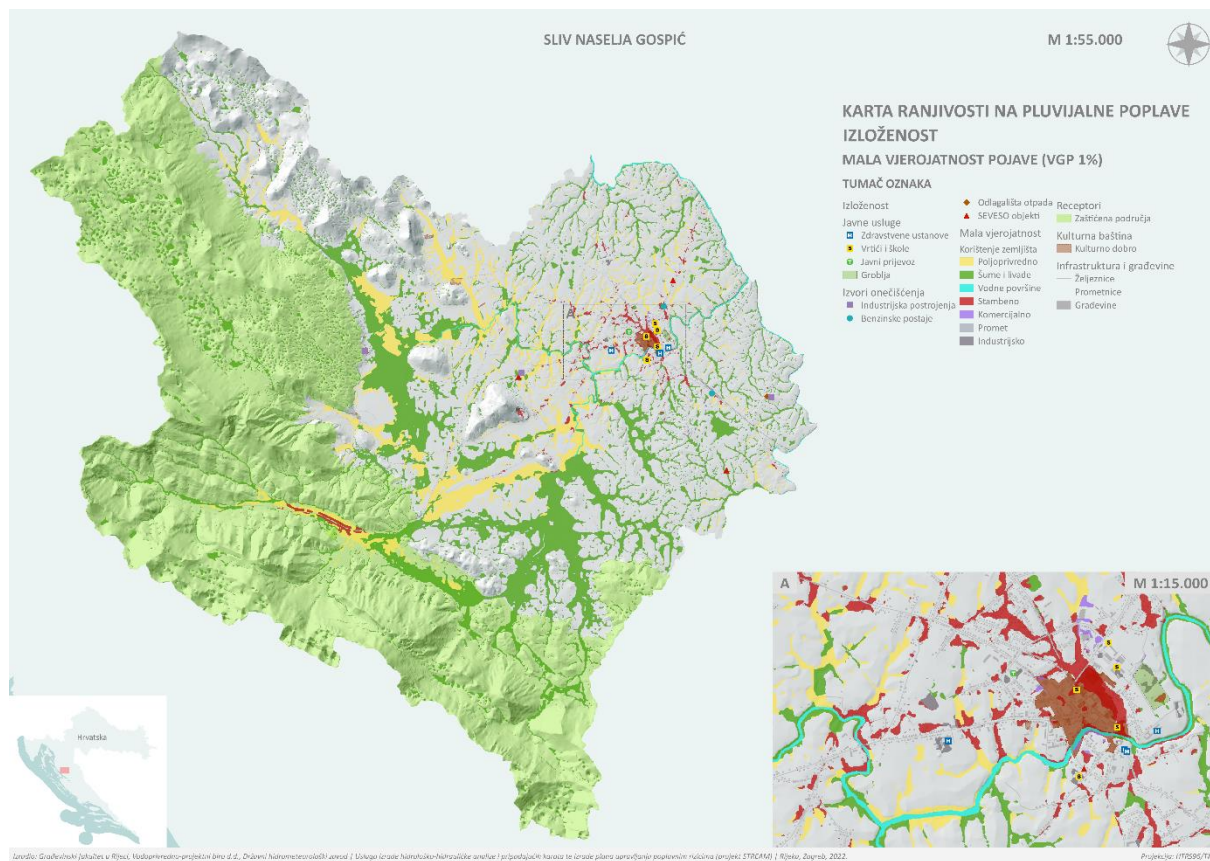
Vezano uz izloženost kritičnih elemenata iz skupine javnih usluga i objekata koji mogu prouzročiti onečišćenje, gotovo svi su izvan dosega poplava ili se nalaze na lokaciji gdje je opasnost od poplava neznatna. Zdravstvene ustanove su izvan dosega poplava, osim opće bolnice koja može biti izložena poplavama, ali uz neznatnu opasnost. Vrtići i škole su također izvan dosega poplava, kao i autobusni kolodvor.

Industrijska postrojenja su izvan dosega poplava, benzinske postaje su ili izvan dosega od poplava ili je opasnost od poplava neznatna, jednako kao i Seveso objekti koji su svi izvan dosega poplava. Odlagalište otpada Rakitovac je izvan dosega poplava, a prijavljenih divljih odlagališta nema na ovom području.

Na predmetnom području nalazi se dio parka prirode Velebit, međutim zaštićeno područje je u planinskom predjelu gdje nema izraženijih poplava, osim u Brušanima kuda prolazi vodotok Suvaja, gdje je moguća pojava kombinacije riječnih, bujičnih i pluvijalnih poplava. Skoro cjelokupni sliv naselja Gospić je dio mreže Natura 2000 (osim urbaniziranog područja naselja Gospić). Pluvijalnim poplavama je djelomično izložen i dio kulturno-povijesne cjeline grada Gospića.



Slika 4.2.8 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Gospić.

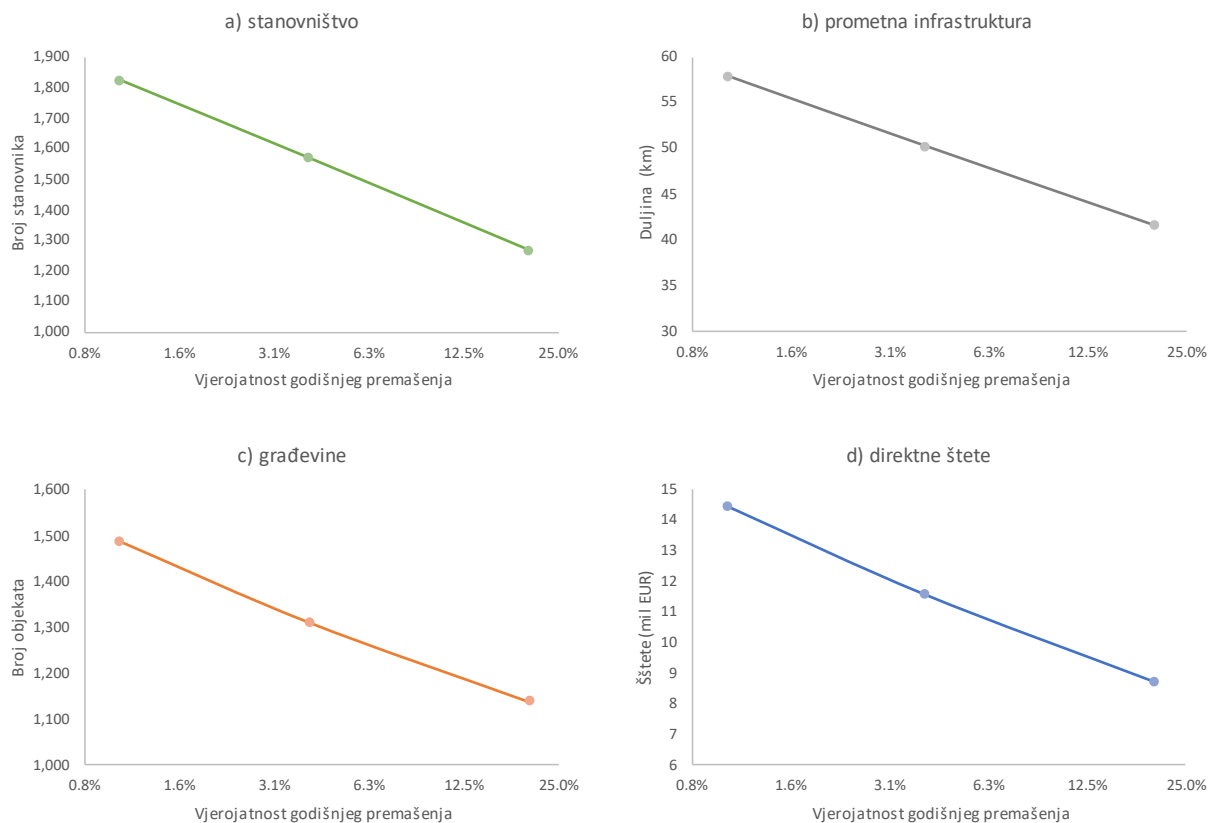


Slika 4.2.9 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

4.2.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Gospić. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.2.10 s procjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljene duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava.

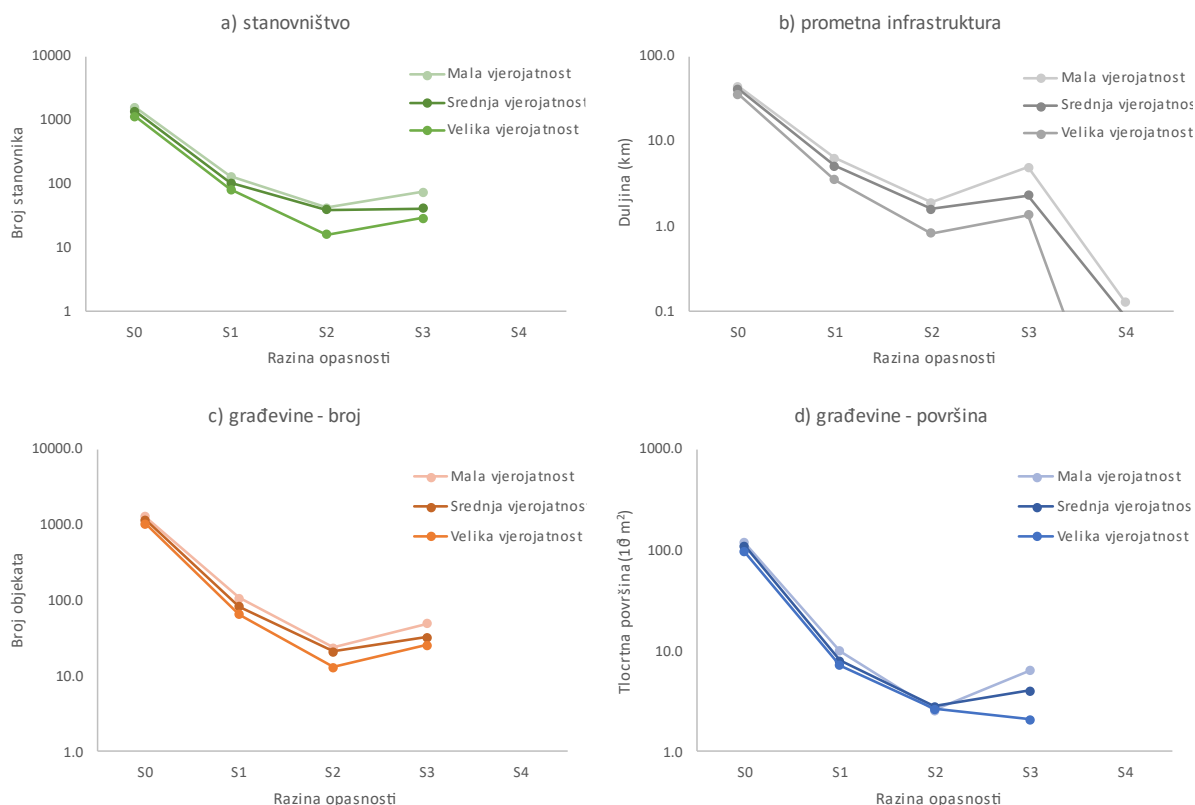
Potencijalni broj stanovnika pogođenih pluvijalnim poplavama procijenjen je u rasponu od 1.269 stanovnika (VGP=20%) do 1.825 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 41 km (VGP=20%) do 58 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 1.138 (VGP=20%) do 1.486 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 8,7 milijuna EUR (VGP=20%) do 14,5 milijuna eura (VGP=1%).



Slika 4.2.10 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Gospić.

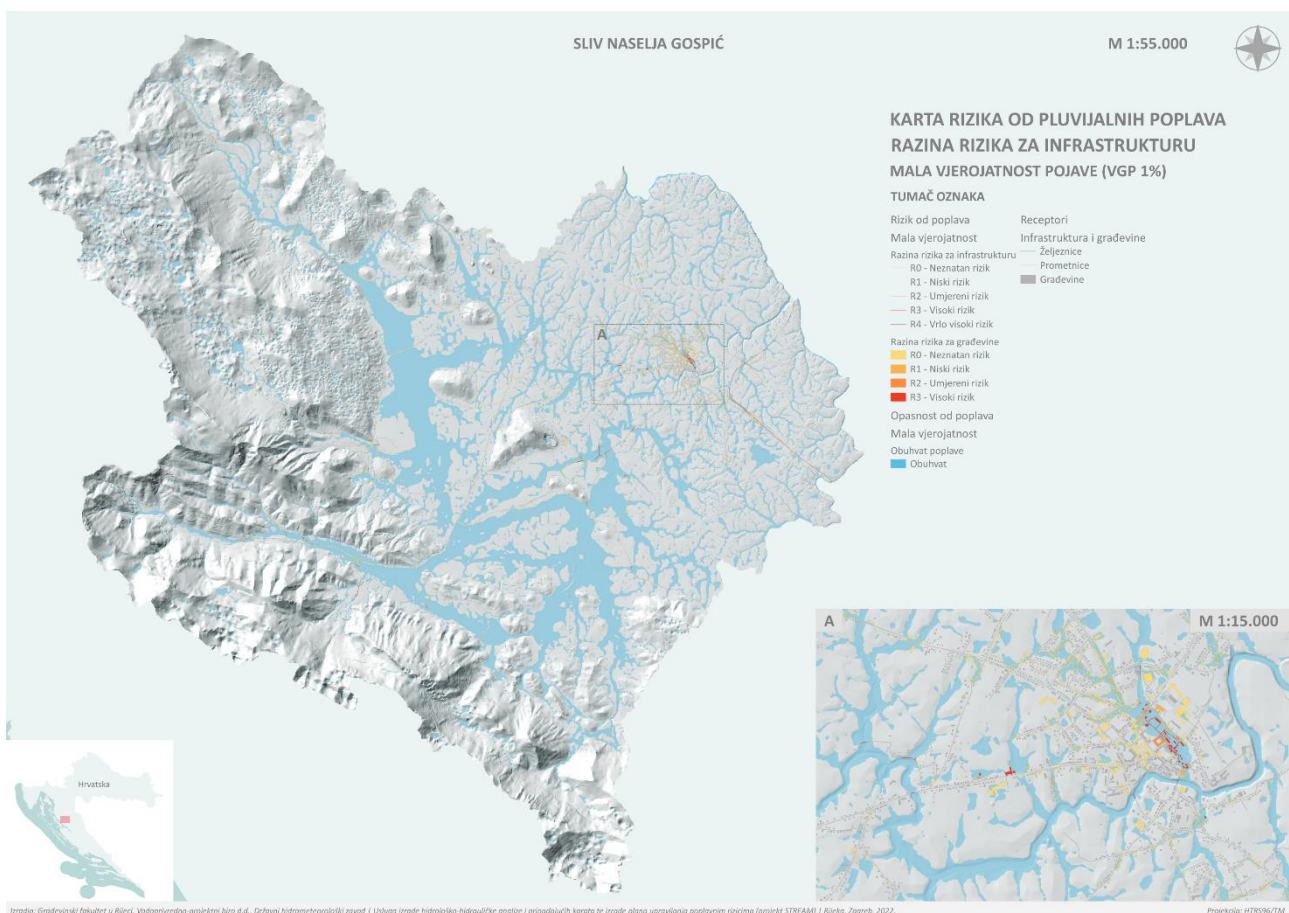
Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.2.11.

S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („neznan rizik“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenom ili visokom razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji. Radi se otprilike o 115 stanovnika, 7,0 km prometnica i 70ak objekata za malu vjerojatnost pojave (VGP=1%). Vrlo visoke razine rizika od pluvijalnih poplava (R4) nema na predmetnom području, osim za kraće dionice prometnica u duljini od oko 100ak metara za malu vjerojatnost pojave.

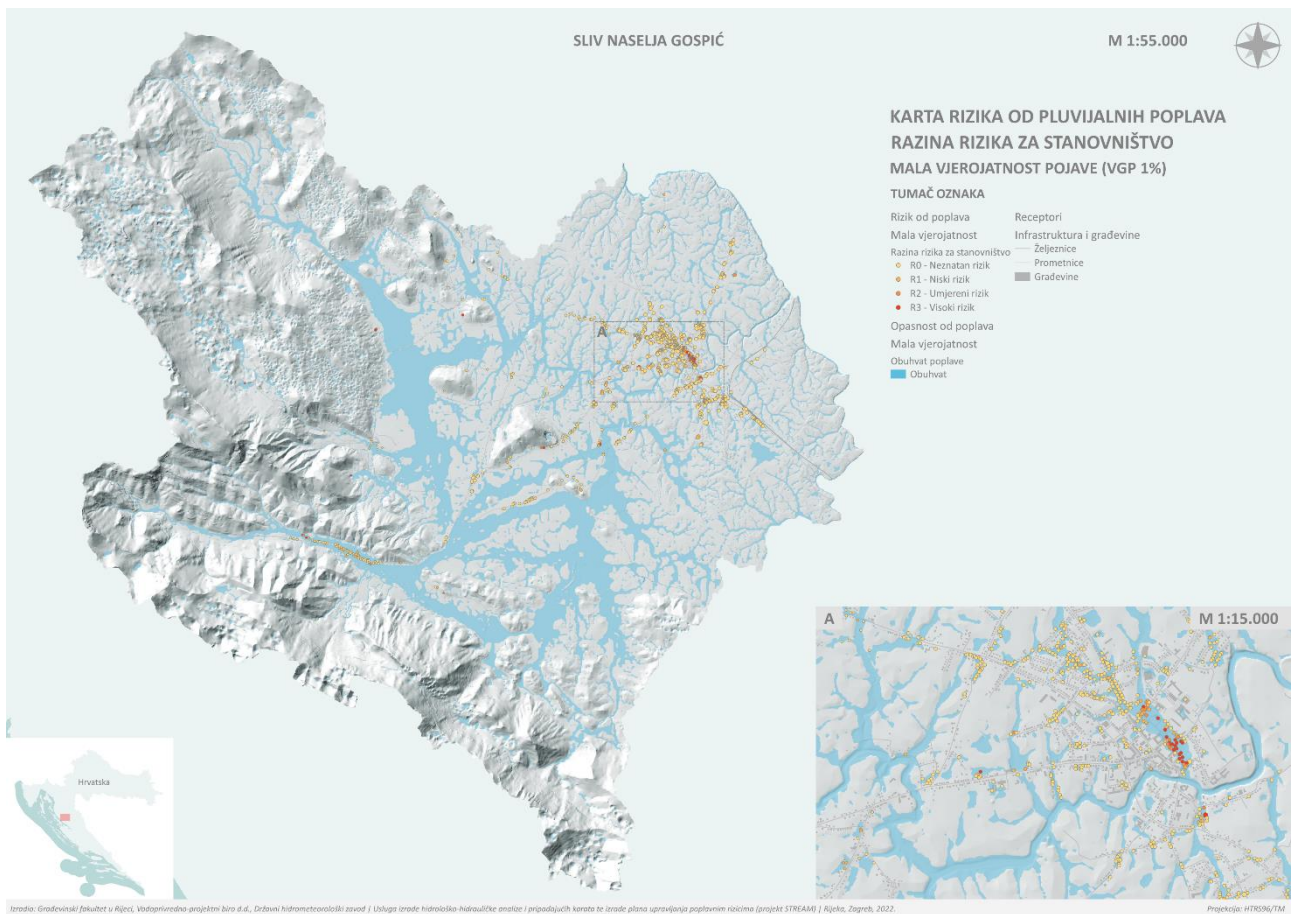


Slika 4.2.11 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Gospić.

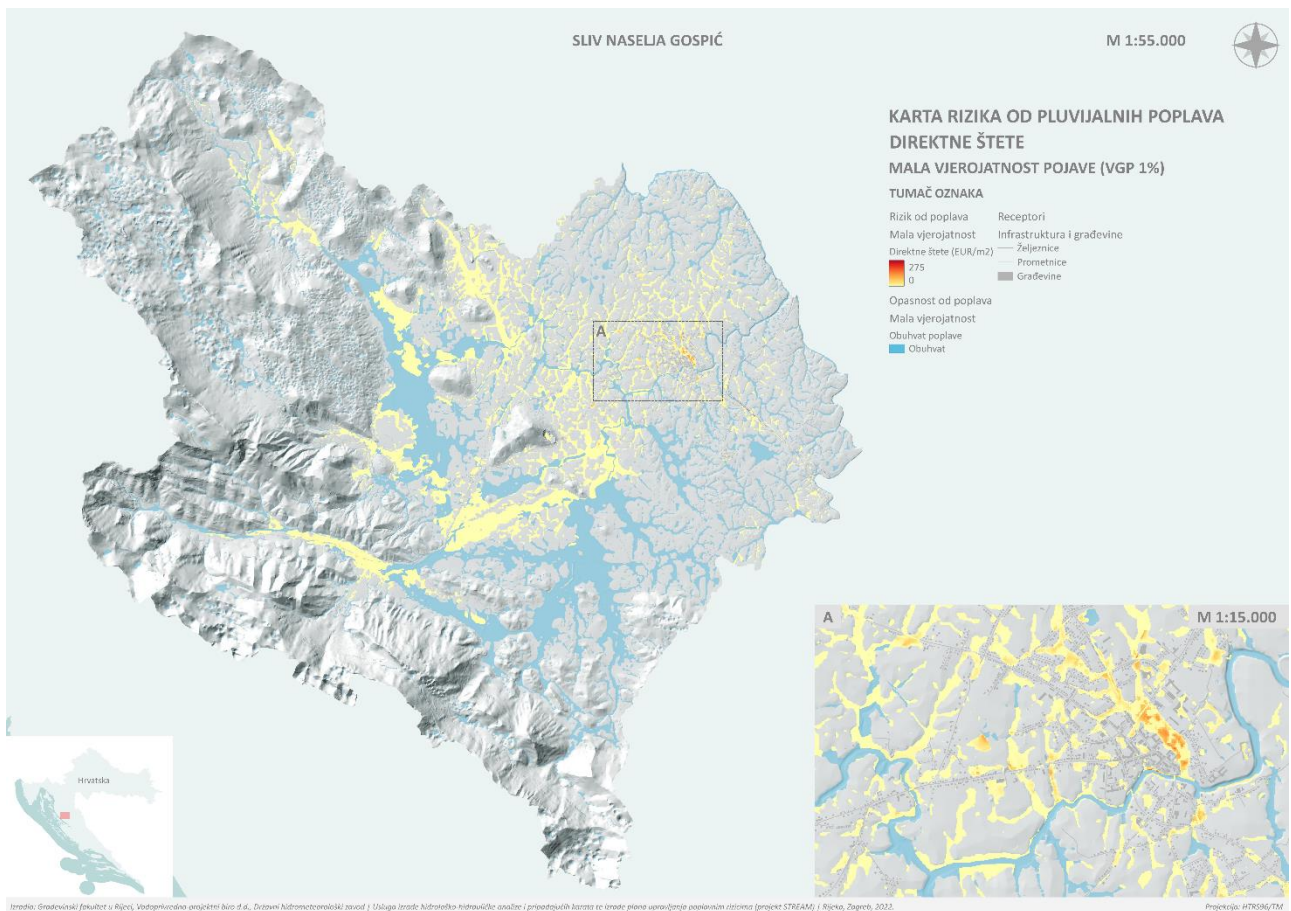
Na Slikama 4.2.12 i 4.2.13 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.2.14 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u urbanom dijelu naselja Gospić. Međutim, znata je i udio poplavljenih poljoprivrednih površina i pripadajućih objekata uzvodno od Gospića u slivovima Novčice i Bogdanice.



Slika 4.2.12 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.



Slika 4.2.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

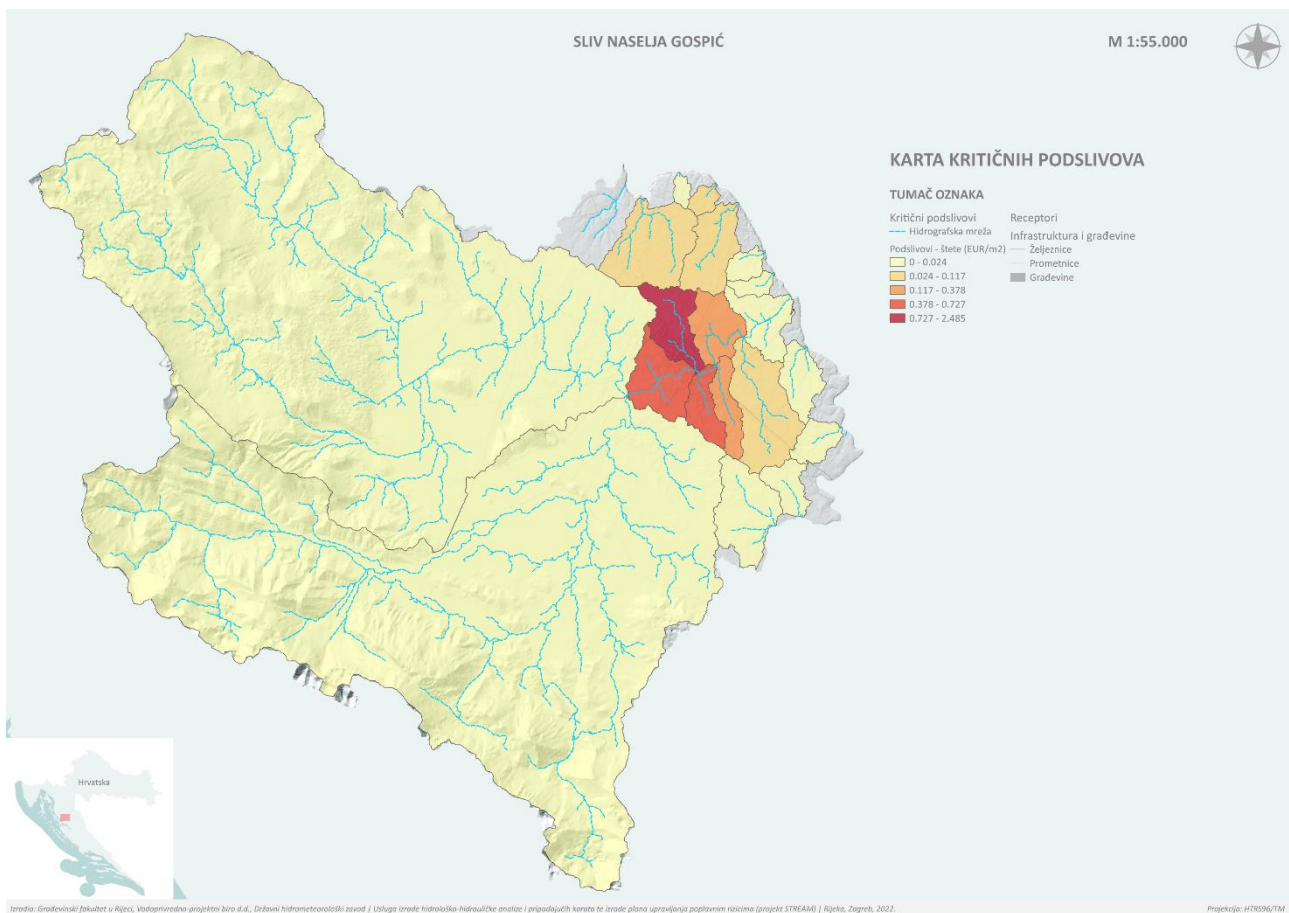


Slika 4.2.14 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

4.2.5 Kritični podslivovi na pilot području Gospić

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. “hotspots”) koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

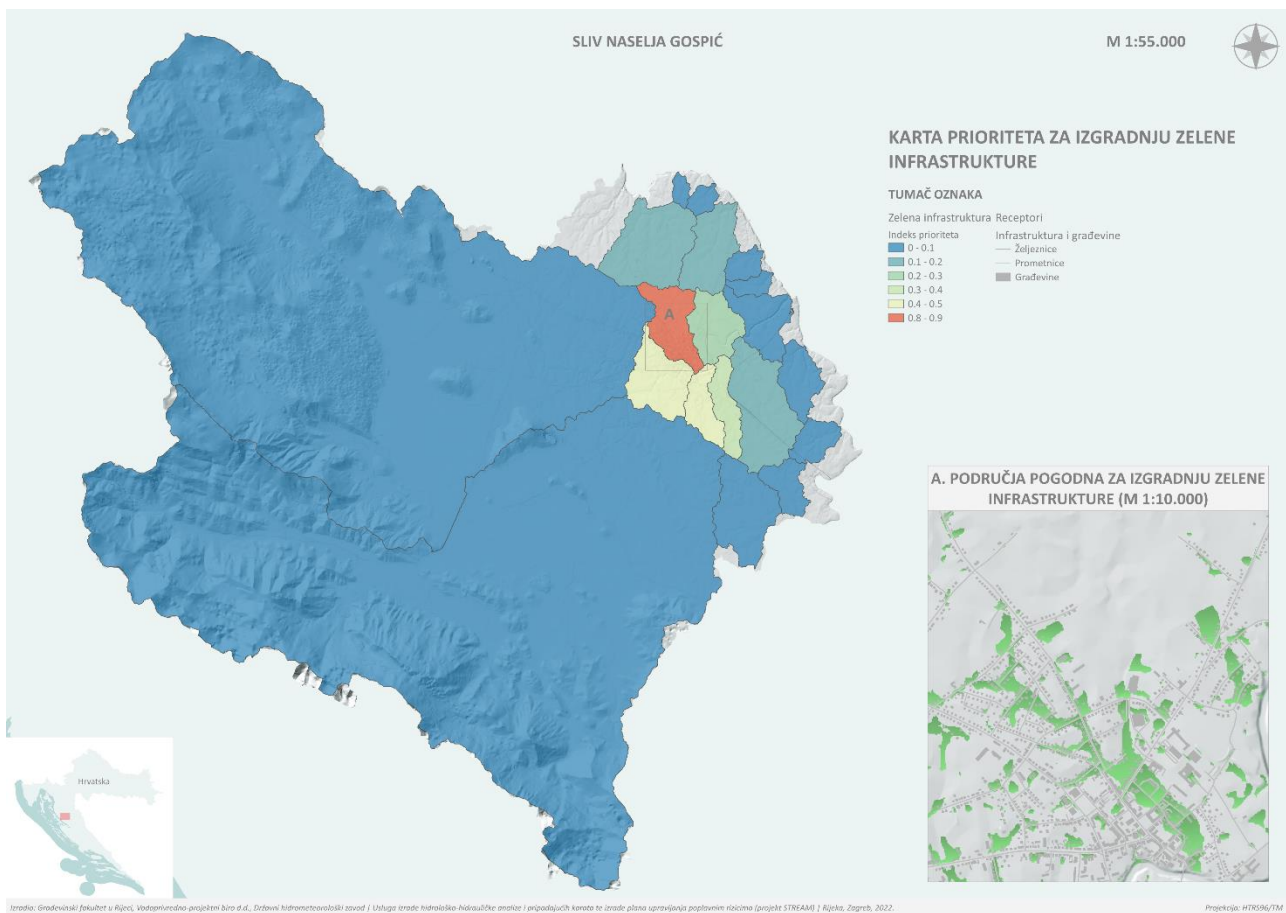
Na pilot području Gospić, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju manji podslivovi koji gravitiraju naselju Gospić (Slika 4.2.15). Najkritičniji je manji podsliv na sjevernoj obali rijeke Novčice koji obuhvaća centar naselja Gospić.



Slika 4.2.15 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Gospić.

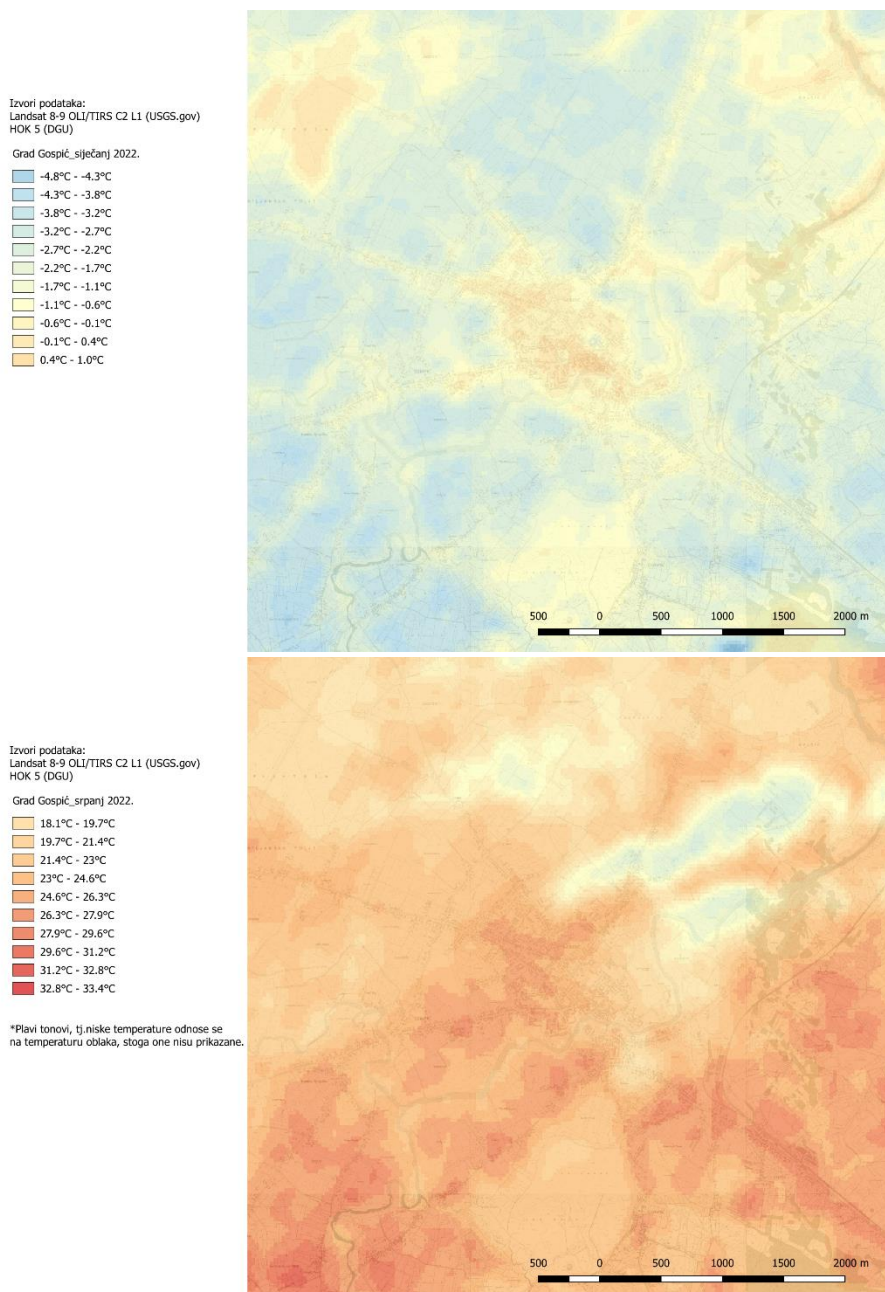
4.2.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Gospić

Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava. Na Slici 4.2.16 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima manji podsliv na sjevernoj obali rijeke Novčice koji obuhvaća centar naselja Gospić. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi koncepcijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Gospić koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



Slika 4.2.16 Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Gospić.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklima i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.2.17 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



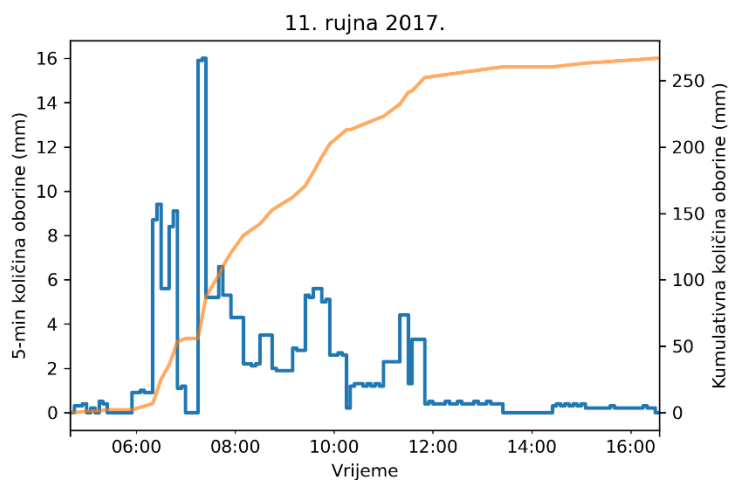
Slika 4.2.17. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Gospića.

4.3 Pilot područje Zadar

4.3.1 Povijesne poplave na pilot području Zadar

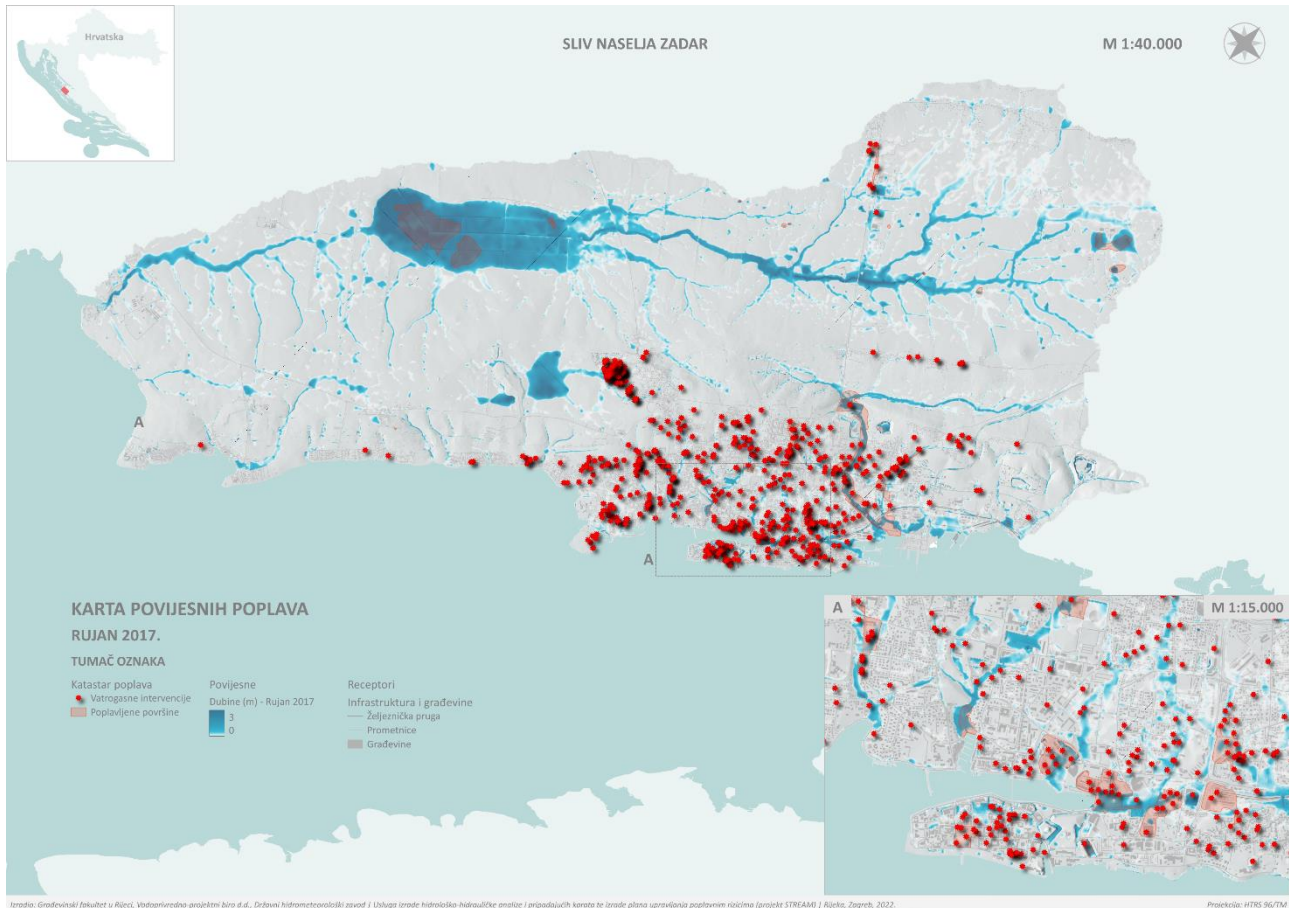
Analiza povijesnih poplava na pilot području Zadar provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnija događaja u razdoblju 1961.-2020., to su kronološkim redom 17. listopada 1966., 11. rujna 1986. i 11. rujna 2017. godine. Ekstremna oborina iz rujna 2017. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri identificirane oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju.

Dana **11. rujna 2017.** godine zabilježeno je 267 mm oborine na ombrografskoj postaji Zadar, dok je u samo jedan sat palo 80 mm oborine, u tri sata 161 mm oborine, a tijekom šest sati 250 mm oborine (Slika 4.3.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave manju od 1%.



Slika 4.3.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene 11. rujna 2017. godine na ombrografskoj postaji Zadar.

Karta dubina vode za oborinu iz rujna 2017. godine zajedno s lokacijama vatrogasnih intervencija i poligonima zabilježenih poplavljenih površina u Zadru prikazana je na Slici 4.3.2. Najveći broj intervencija nalazi se unutar urbaniziranog dijela naselja Zadar.



Slika 4.3.2 Karta zabilježenih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz rujna 2017. godine - na pilot području Zadar.

Opis i posljedice poplava iz rujna 2017. godine preuzeti su iz Meteorološkog i hidrološkog biltena DHMZ-a (2022):

„Prolom oblaka, plavljenja, u Zadru i okolici. Jučerašnje nevirijeme bilo je samo uvod u rijetko viđenu kišu na području Zadra i šire okolice. U gradu je nestalo struje i vode, stvorile su se bujice, koje su teško teško oštetile groblje. Potok Ričina je podivljao, znatno je oštetio cestu prema luci Gaženica. Potop je bio «biblijskih razmjera», u malo više od tri sata palo je oko 250 litara kiše, nekoliko puta više od prosjeka za rujan. Kiša je padala tijekom cijelog dana. Zadarske prometnice su se doslovno pretvorile u rijeke, na Forumu je bilo pola metra vode. Poplava je bila i u bolnici, poplavljene su

operacijske sale, sve aktivnosti u bolnici bile su otkazane. Prokišnjavala je sportska dvorana Krešimir Ćosić. Nastava u školama u gradu je otkazana, vrtići nisu radili. Voda se na izvorištima zamutila, pa je vodu iz vodovoda bilo potrebno prokuhavati. U prekidu je bila telefonija. Pod vodom su se u centru grada našli brojni automobili. Poluotokom se nije moglo niti hodati, voda je bila do koljena. Sav promet je bio u kaosu. Neke je automobile bujica vode nosila, pa su vozači morali biti spašavani, jer su se motori ugasil, a na nekim je mjestima razina vode došla do prozora automobila. Javni promet je stao, nitko nikuda. Voda se iz objekata izbacivala na sve načine, pumpama, metlama, kablovima. Sve je to bilo od male pomoći, jer se vodu nije imalo kuda izbaciti, i ona se ponovo vraćala, Sizifov posao. Prodavači u trgovinama su se popeli na klupe i tako čekali da se voda povuče. Podzemna garaža jednog trgovačkog centra bila je do vrha puna vode, tj. tri metara dubine. Svi su automobili u njoj uništeni. Voda je ušla i u prizemlje centra. Zaposlenici su poslani na prisilni godišnji odmor dok se zgrada ne sanira, s obzirom da su potopljene bile elektroinstalacije.

Zadar su obišli premijer Plenković i nekoliko ministara, te predsjednica Republike Kolinda Grabar Kitarović. Voda na prometnicama bila je dublja od 40 cm. Stanovnici Zadra i okolice nisu mogli iz kuća, čak su i vatrogasci stajali na krovovima kamiona. Taj vodeni pakao trajao je satima. Vatrogasci su primili oko 2000 poziva u pomoć. Stradala je i znanstvena knjižnica sa vrlo vrijednom građom, koja se poslije morala na poseban način sušiti. U dva sata je palo oko 1000 posto više kiše nego što sustav za odvodnju može podnijeti. Sustav je naime kapacitiran za 25 litara kiše na sat, a palo je oko 250 litara. Vjetar je puhao i nosio kišu na sve strane, pa je i vidljivost bila slaba. Uz grmljavinu dojam je bio katastrofičan. Bujica je obustavila rad pročišćivača otpadnih voda. Na cijelom području je proglašeno izvanredno stanje. Pod vodom su bile crkve, arhivi u crkvama i knjižnicama. Zbog ove se kiše znatno podigla razina podzemnih voda, koje su se mjestimice izljevale, plaveći polja i sve u okolici. Nekoliko se građana u ovoj poplavi bavljalo plivajući po cestama i trgovima. Turisti su fotografirali ovo «čudo neviđeno». Voda je prodrila u arheološki muzej. U jednom je vrtiću pod pritiskom vode pukla staklena stijena, voda je ušla u prostor do jednog metra visine, sav je inventar uništen. Za vrijeme nevremena, u dva dana, brojač munja registrirao je 25 000 izbijanja.

Za pogođene dijelove zadarske županije proglašeno je stanje elementarne nepogode. Ukupna šteta u cijeloj županiji se cijeni na oko milijardu kuna. Do početka listopada, ipak, prijavljeno je puno manje, 247 milijuna kuna štete.“

Na Slikama 4.3.3 – 4.3.6 izdvojeni su detalji katastra poplava i rezultata modelske reanalize poplave iz rujna 2017. godine (dubine vode). Slika 4.3.3. prikazuje sliv bujice Ričina gdje su zabilježene najveće štete od poplava; u trgovačkom centru Supernova poplavljene su garaže, parkiralište i

prilazne prometnice, nizvodno od trgovačkog centra poplavljen je centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda čiji rad je morao biti obustavljen. Dalje nizvodno, poplavljeno je i zadarsko groblje koje je smješteno uz korito Ričine. Također, cjelokupno područje blizu ušća je poplavilo, a štete su nastale na komunalnoj i prometnoj infrastrukturi. Naknadne analize (Hidroprojekt-ing, 2018) pokazale su da je korito bilo poddimenzionirano na ovakve rijetke događaje.

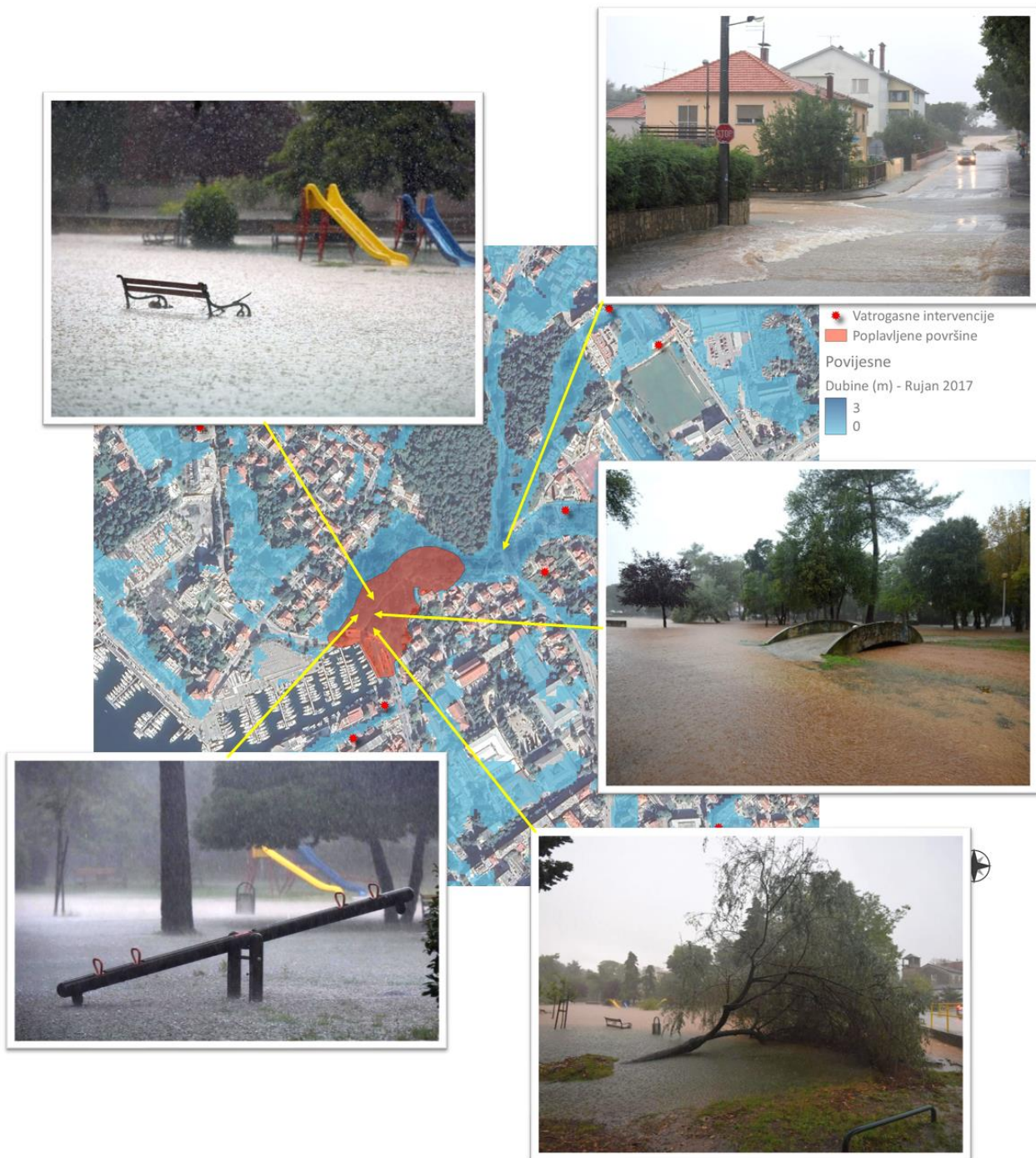


Slika 4.3.3 Zabilježene i modelirane poplave u slivu Ričine u Zadru (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

Na Slici 4.3.4 prikazano je područje poluotoka i centra Zadra, gdje su poplavile brojne lokacije i nastale velike štete na imovini i parkiranim vozilima. Pored Foruma i trga ispred crkve Sv. Donata, poplavljena je i tržnica te parkirališta ispred istočnih zidina. Također, poplavljeno je bilo parkiralište na Trgu kneza Višeslava i okolno područje te u nastavku i područje ispod ulice Franje Tuđmana. Na Slici 4.3.5 prikazan je park Vruljica, koji je u potpunosti poplavljen zbog istodobnog djelovanja dotoka oborinske vode s uzvodnog dijela sliva, lokalnih izvora te uspora mora.



Slika 4.3.4 Zabilježene i modelirane poplave na poluotoku i centru Zadra (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)



Slika 4.3.5 Zabilježene i modelirane poplave u parku Vruljica u Zadru (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

Na Slici 4.3.6 prikazano je naselje Novi Bokanjac koje redovito ima problema sa plavljenjem nakon svake obilnije oborine zbog neadekvatno riješenog sustava odvodnje oborinskih voda.

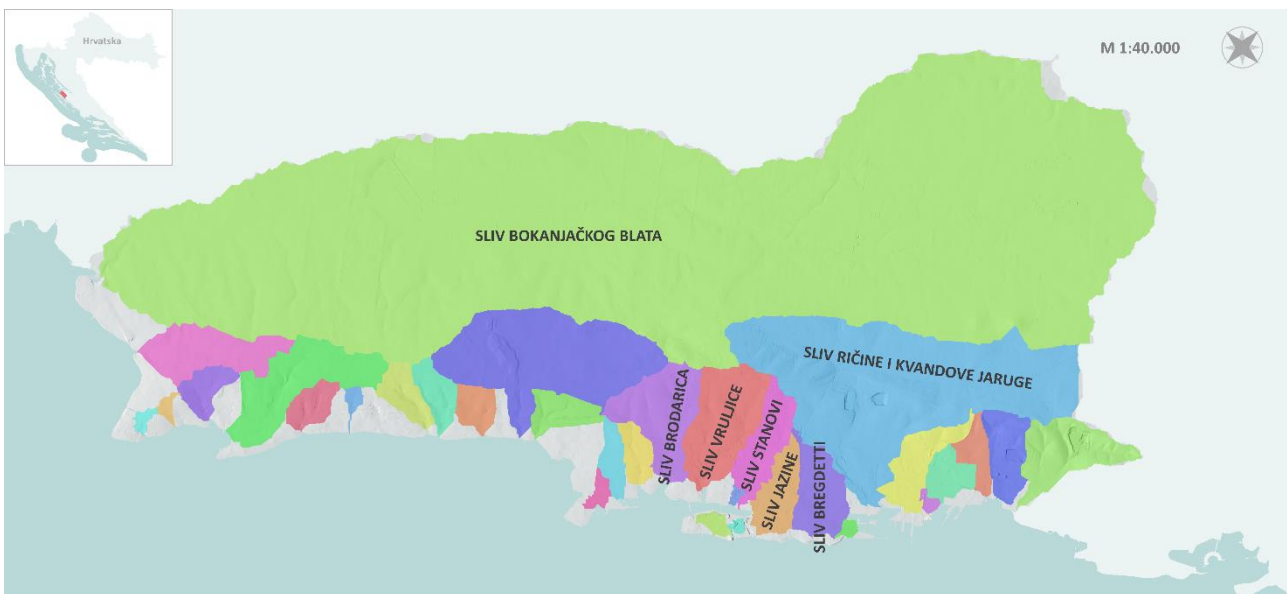


Slika 4.3.6 Zabilježene i modelirane poplave u naselju Novi Bokanjac u Zadru (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

Općenito se može zaključiti da su rezultati modelske reanalize u suglasju sa zabilježenim poplavnim površinama i lokacijama intervencija te da se izrađeni matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na pilot području Zadar.

4.3.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar

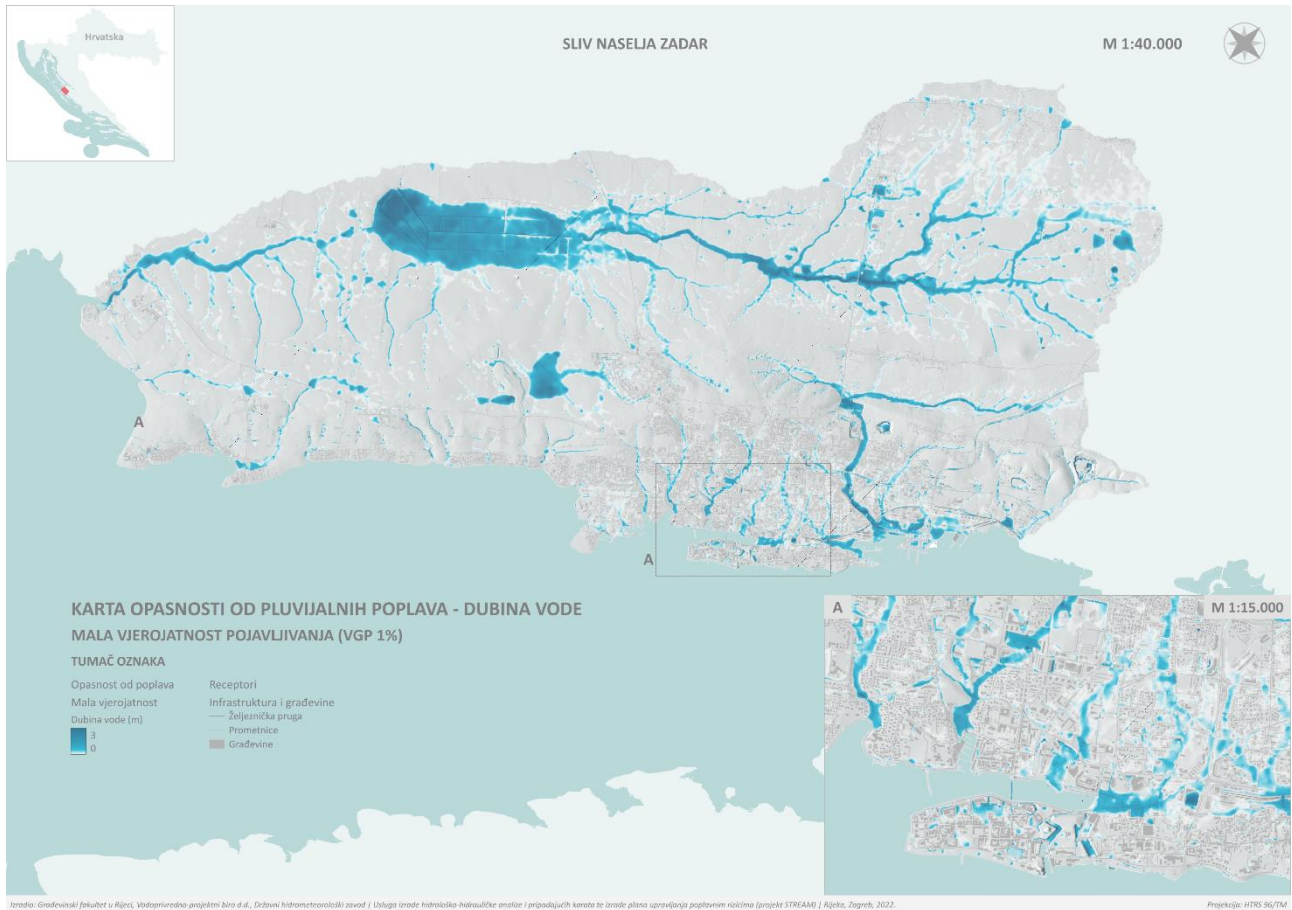
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slici 4.3.7 dan je prikaz glavnih slivova i podslivova na pilot području Zadar, a na Slikama 4.3.7, 4.3.8 i 4.3.9 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja.



Slika 4.3.7 Osnovni slivovi i podslivovi na pilot području Zadar

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Zadar te izdvojiti problematične lokacije. Najveći dio sliva (sjeveroistočni) obuhvaća **sliv Bokanjačkog Blata**, odnosno krško polje površine oko 440 ha (Slika 4.3.7). Odvodnja i evakuacija Bokanjačkog blata riješena je putem Glavnog odvodnog kanala i ustave Bokanjac preko odvodnog tunela Bokanjac u Miljašić Jarugu. U matematičkom modelu je implementiran odvodni kanal i tunel kapaciteta 12 m³/s, ali rezultati ukazuju da je unatoč izgrađenom sustavu moguća visoka razina opasnosti od plavljenja Bokanjačkog Blata (uz vjerojatnost pojave od 1%). S obzirom da se sliv Bokanjačkog Blata nalazi unutar branjenog područja sektora F (južni Jadran, područje malog sliva Zrmanja – Zadarsko primorje) te da se ovaj tip plavljenja smatra bujičnom poplavom, isti je u nadležnosti Hrvatskih voda i rješava se Provedbenim planom obrane od poplava branjenog područja

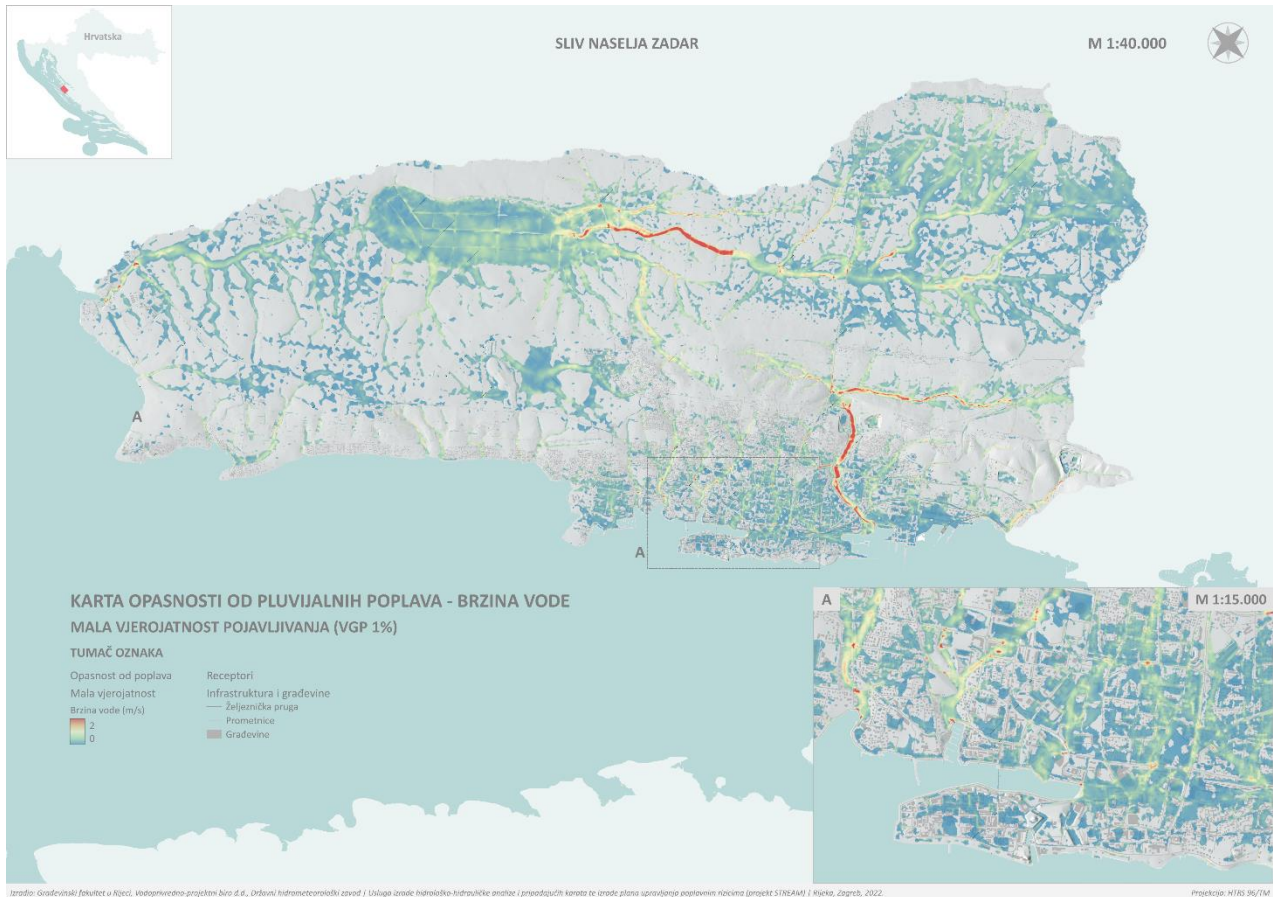
te se neće detaljnije proučavati u okviru ovog projekta, ali se prikazuju rezultati modelskih analiza te procjene opasnosti i rizika od poplava.



Slika 4.3.8 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

U južnoj dijelu pilot područja, po dubina i brzinama vode, ističe se **sliv Ričine i Kvandove jaruge**. Vodotok Ričina svojim većim dijelom protječe kroz urbano područje grada Zadra te djelomično služi kao recipijent oborinske vode iz sustava javne odvodnje. Najveći udio protoka Ričine dolazi sa podsliva Kvandove jaruge koje se u Ričinu spaja uz trgovački centar Supernova. Tijekom izgradnje trgovačkog centra, izvedeno je izmještanje vodotoka te djelomično natkrivanje kanala. Nakon ekstremne poplave iz rujna 2017. godine, provedene su detaljne hidrološke analize (Hidroprojekt-ing, 2018) te četiri faze građevinskih projekata (Institut IGH, 2018) s ciljem rekonstrukcije i regulacije korita Ričine kako bi se povećao njezin kapacitet. S obzirom da je nedavno završena studijsko-projektna faza te da se provodi rekonstrukcija ovog vodotoka i rješavanje problematike bujičnih

poplava, sliv Ričine se neće detaljnije proučavati u okviru ovog projekta, ali se prikazuju rezultati modelskih analiza te procjene opasnosti i rizika od poplava.

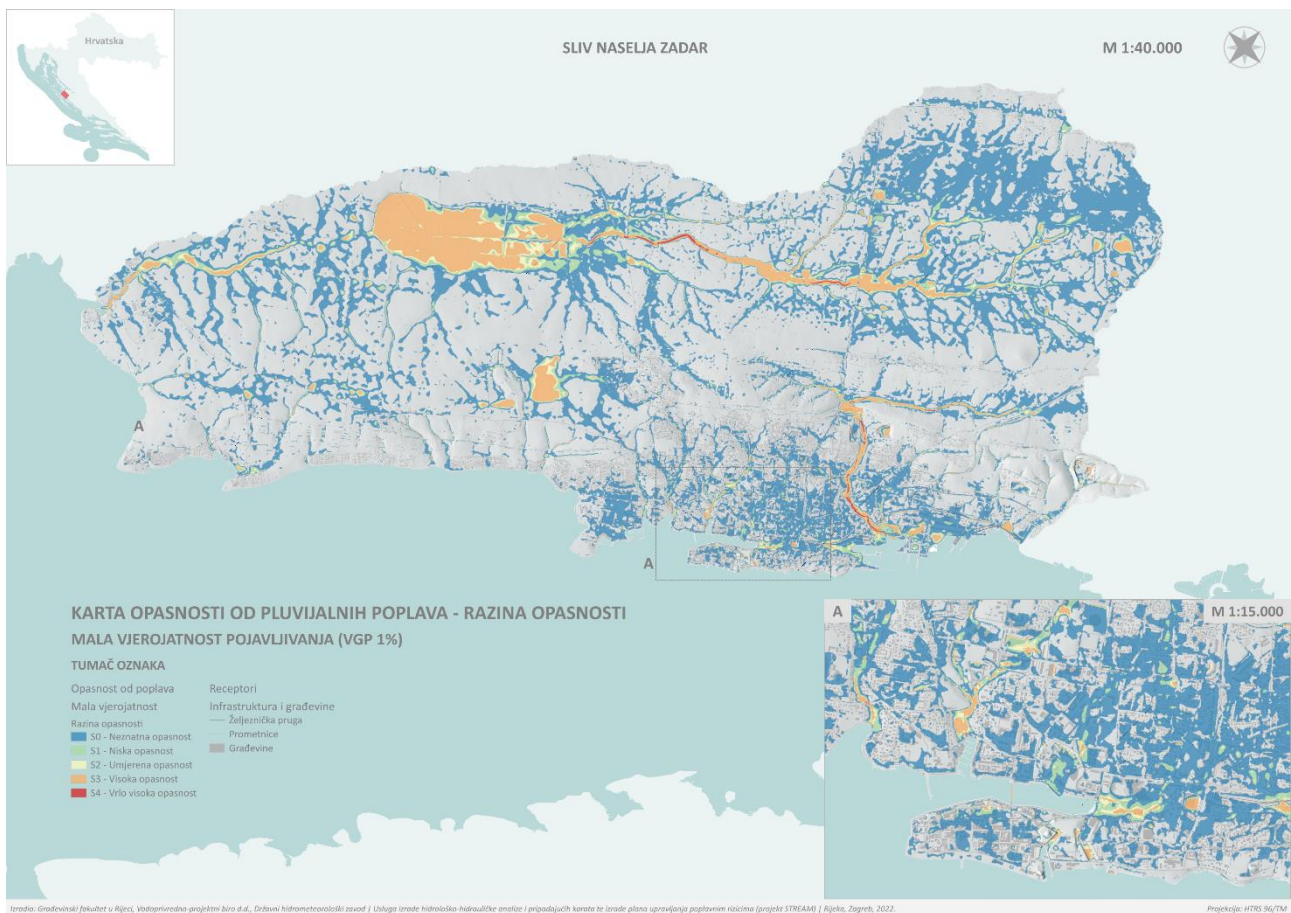


Slika 4.3.9 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

Preostalo područje interesantno s gledišta opasnosti od poplava je **niz manjih podslivova u urbaniziranom priobalnom dijelu grada**, primjer čega su podslivovi Bregdeti, Jazine, Stanovi, Vruljica, Brodarica. Ovdje nema izraženijih vodotoka niti odvodnih kanala (s iznimkom parka Vruljice), a nazivi su proizvoljno pridodani s obzirom na ime uvala u koju su ulijevaju ili iznimno s obzirom na ime naselja otkuda većinski prikupljaju površinske vode. Svi prikazani slivovi su naseljeni uz visoki stupanj urbanizacije, imaju riješen sustav odvodnje oborinskih voda (najčešće mješoviti sustav kanalizacije), bez prisutnih otvorenih elemenata odvodnje (kanali) ili cestovnih propusta. U parku Vruljica je izgrađen otvoreni kanal koji se nakon cestovnog propusta ulijeva u more u uvali Jazine. Unutar ovih slivova tečenje viška oborinskih voda (nakon što se prijeđe kapacitet sustava za

odvodnju oborinskih voda) prati reljef terena, a glavni pravci koncentriranog toka vode određeni su prometnicama. U gornjem dijelu slivova na strmijim terenima moguća je pojava većih brzina vode (uz manju dubinu), dok se u nizvodnom dijelu slivova zbog reljefa terena ponegdje voda zadržava i akumulira te otežano istječe u more, što rezultira većim dubina vode u poplavljenom području i višim razinama opasnosti.

Najveće dubine, brzine i razine vode prisutne su u slivu Bokanjačkog blata te sliva Ričine. Međutim i u manjim priobalnim podslivovima u urbaniziranom dijelu naselja Zadar prisutne se mikrolokacije velikih dubina i brzina vode, odnosno visokih razina opasnosti do poplava, koji su uglavnom vezani uz koncentrirane tokove ili prirodne depresije.



Slika 4.3.10 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

4.3.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Zadar

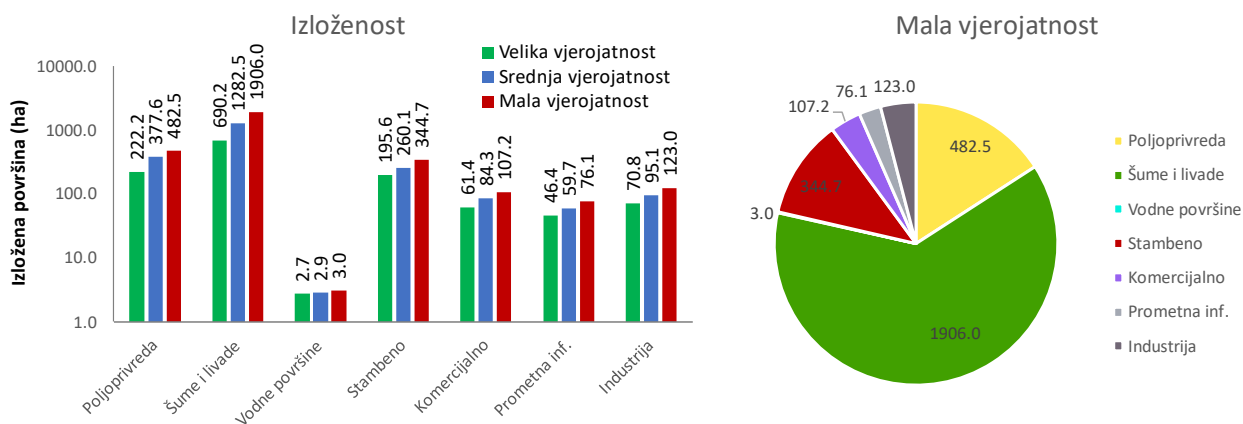
Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština.

Na Slici 4.3.11 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene izložene površine poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.3.12 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženost za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

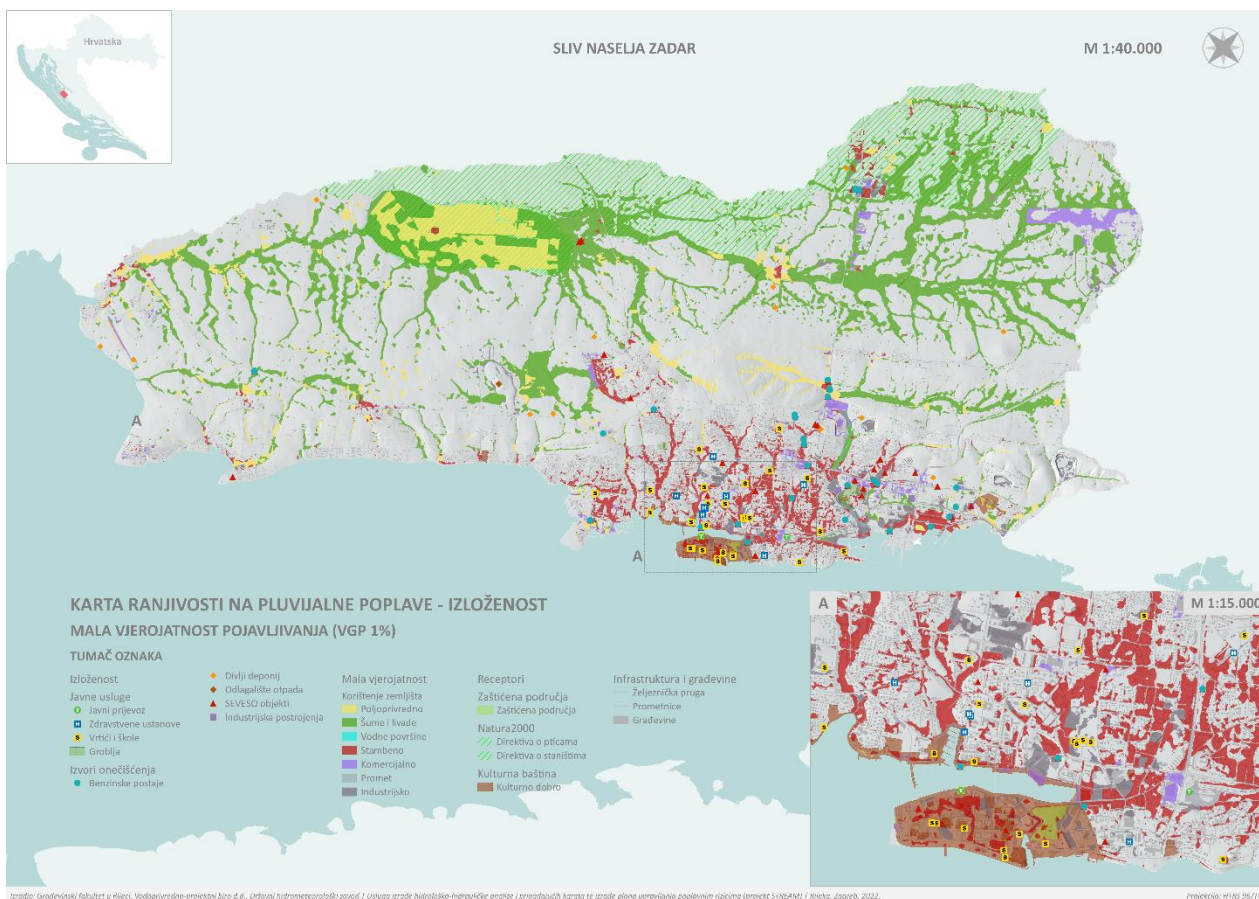
Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Zadar iznosi 118 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 12,9 km² (10,9 %) za veliku vjerojatnost, 21,6 km² (18,3 %) za srednju vjerojatnost i 30,4 km² (25,8 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina ~58 % pod šumama i livadama, oko 17% poplavljenog područja je poljoprivredne namjene, približno 13% je stambene namjene, dok je komercijalnih, prometnih i industrijskih površina zajedno ispod 10 %. Čak i za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje površine od 195 ha stambene namjene, 61 ha komercijalne namjene te 71 ha industrijske namjene. U slivu Bokanjačkog blata najviše je poplavljenih poljoprivrednih i šumskih površina, dok je u urbaniziranom dijelu naselja Zadar najviše površina stambene namjene.

Lokacije javnog prijevoza (autobusni kolodvor i pomorska luka) nalaze se unutar područja gdje je opasnost od poplava neznatna. Zdravstvene ustanove su izvan poplavljenog područja, s iznimkom opće bolnice koje za malu vjerojatnost ima nisku razinu rizika. Određeni broj vrtića (25) može biti izloženo poplavi, ali je opasnost od poplava neznatna, jednako kao i četiri osnovne i šest srednjih škola. Groblje u Zadru je izloženo visokoj razini opasnosti od poplava, što je i evidentirano 2017. godine.

Od ukupno 31 benzinske postaje, njih 15 može biti izloženo poplavi, od toga s malom vjerojatnosti tri postaje mogu biti izložene niskoj opasnosti (BP Zadar Crno, BP Zadar Jadranska i skladište TTTR Gaženica), a dvije postaje umjerenoj opasnosti od poplava (BP Zadar i BP Murvica Istok). Odlagalište otpada i divlji deponiji su izvan opasnosti od poplava.



Slika 4.3.11 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Zadar



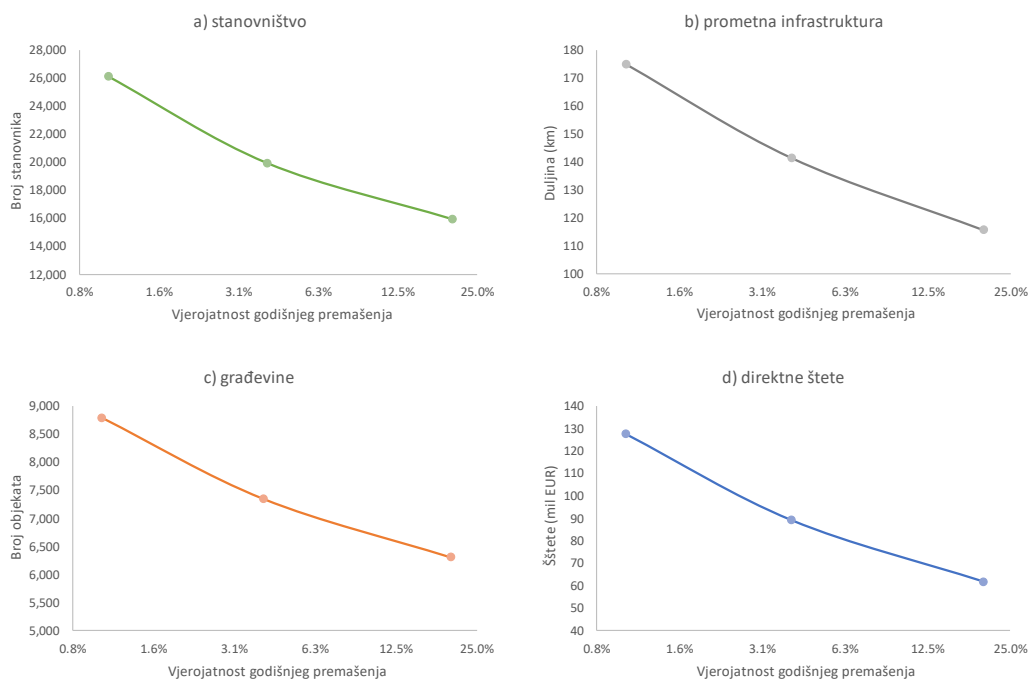
Slika 4.3.12 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

Od ukupno 86 SEVESO objekata, njih 36 je izloženo poplava, a od toga šest lokacija je izloženo niskoj do srednjoj opasnosti od poplava (ovisno o vjerojatnosti pojave poplave), od toga su umjerenoj razini opasnosti izloženi PSC Zadar i Shell Zadar, dok su visokoj razini opasnosti izloženi objekti na izvoru Bokanjac. Umjerenoj razini opasnosti izložen je i uređaj za pročišćavanje otpadnih voda.

Od zaštićenih područja, Bokanjačko blato je dio ekološke mreže Natura2000 i izloženo je niskoj do visokoj razini opasnosti od poplava (ovisno o vjerojatnosti). Poplavama je izložen veći broj pojedinačnih kulturnih dobara, arheoloških kulturnih dobara te kulturno-povijesna cjelina povijesne jezgre Zadra koji su smješteni na poluotoku te memorijalne građevine na groblju Zadar.

4.3.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar

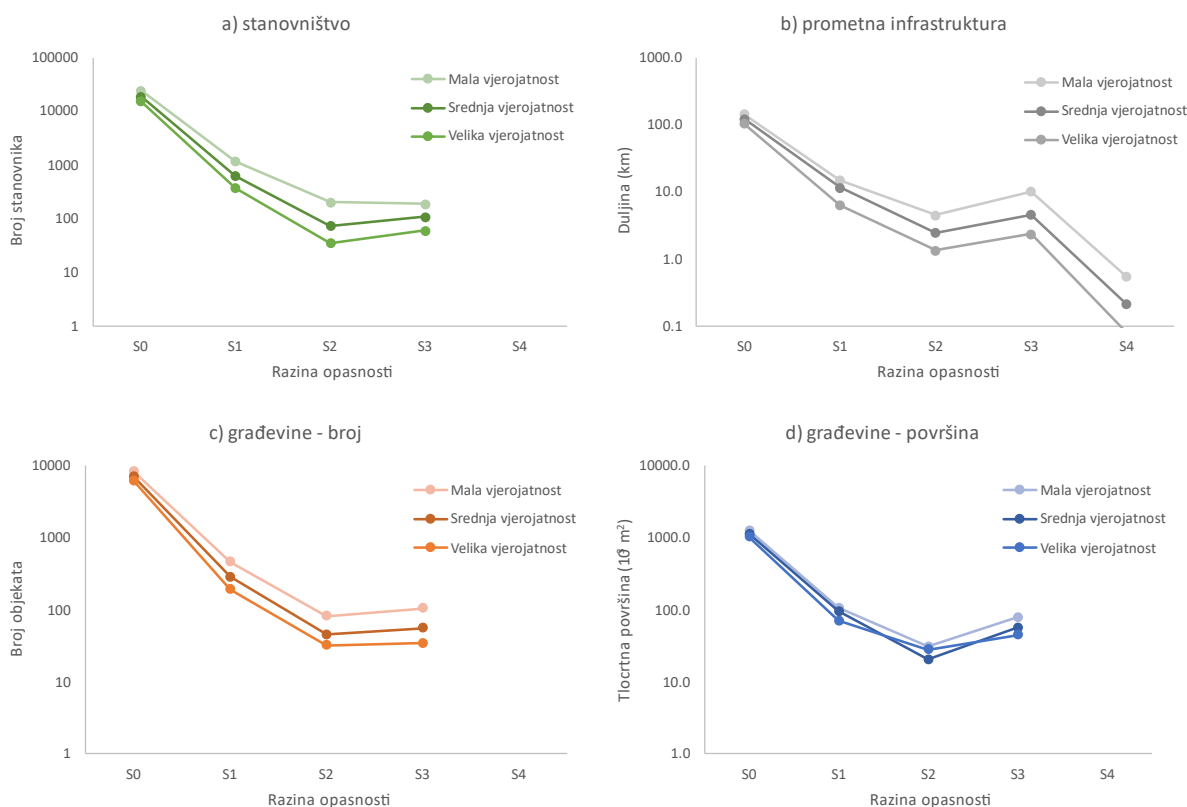
Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Zadar. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.3.13 s procjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljene duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava.



Slika 4.3.13 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Zadar.

Broj stanovnika pogođenih poplava je u rasponu od 15.460 stanovnika (VGP=20%) do 24.550 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 105 km (VGP=20%) do 145 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 6.050 (VGP=20%) do 8.140 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 61 milijuna EUR (VGP=20%) do 127 milijuna eura (VGP=1%).

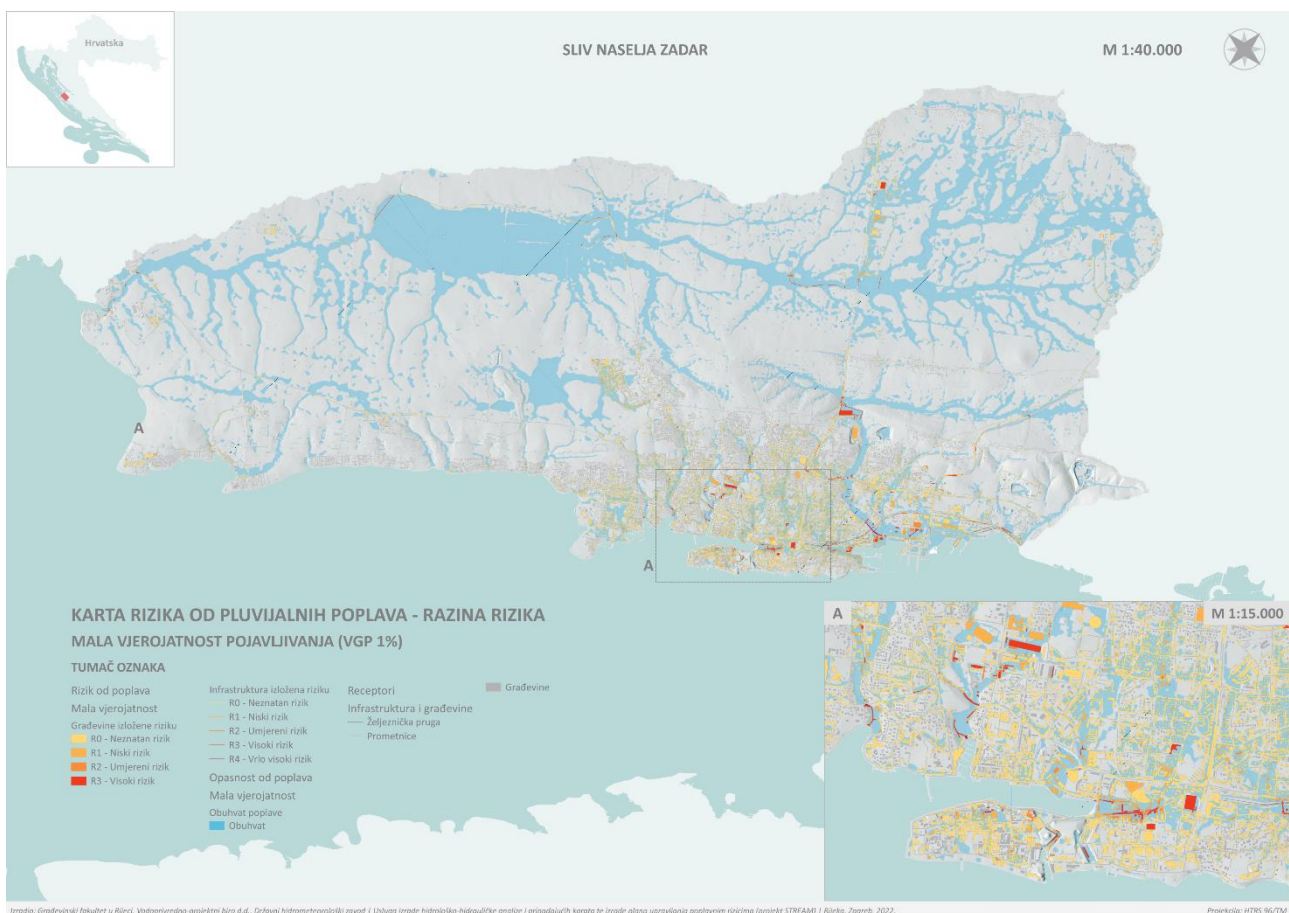
Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.3.14.



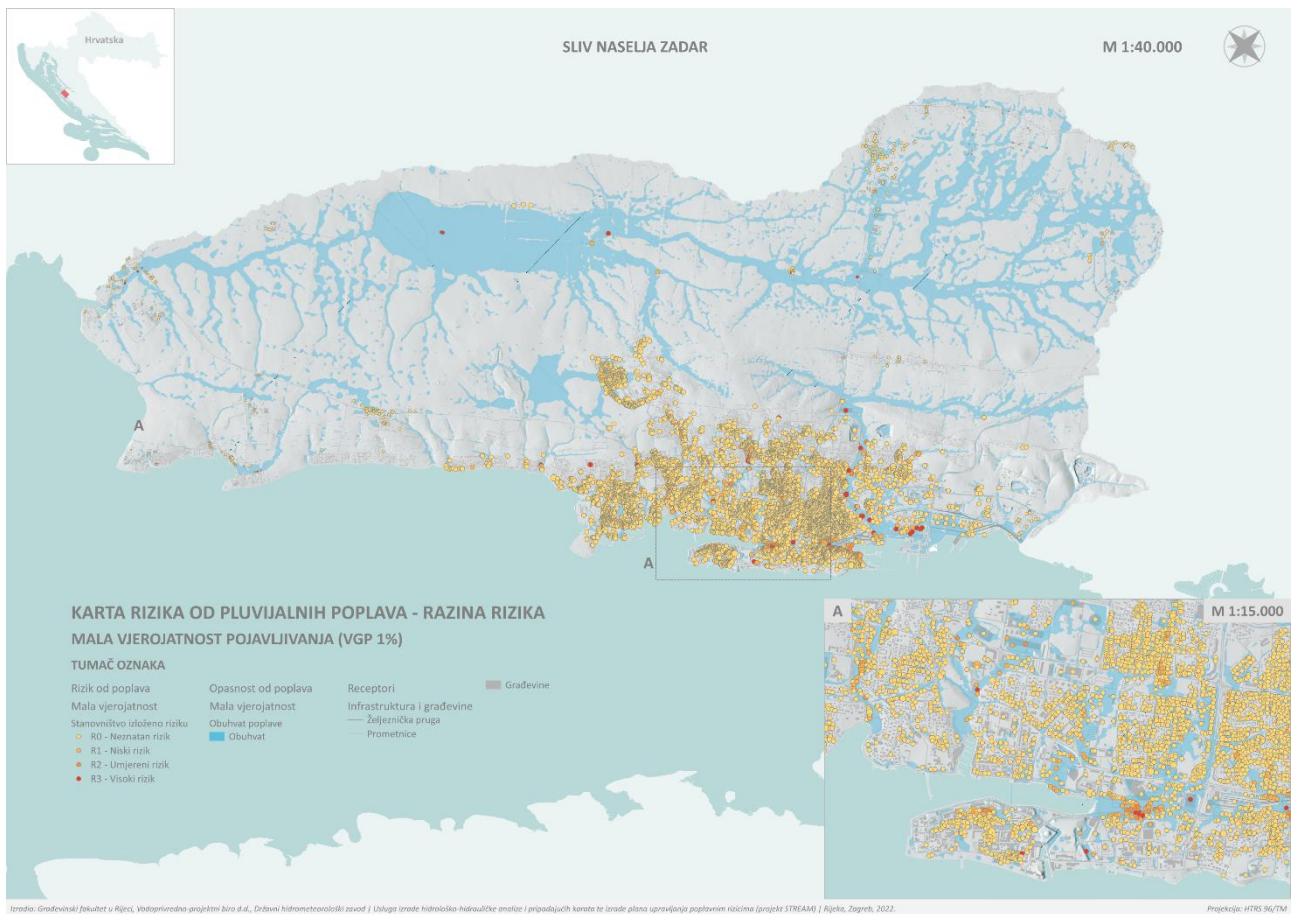
Slika 4.3.14 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Zadar.

S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini opasnosti R0 („neznan rizik“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenom ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji. Radi se otprilike o 390 stanovnika, 15 km prometnica i 185 objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%). Vrlo visokoj razini rizika (R4) izloženo je oko 500 m prometnica.

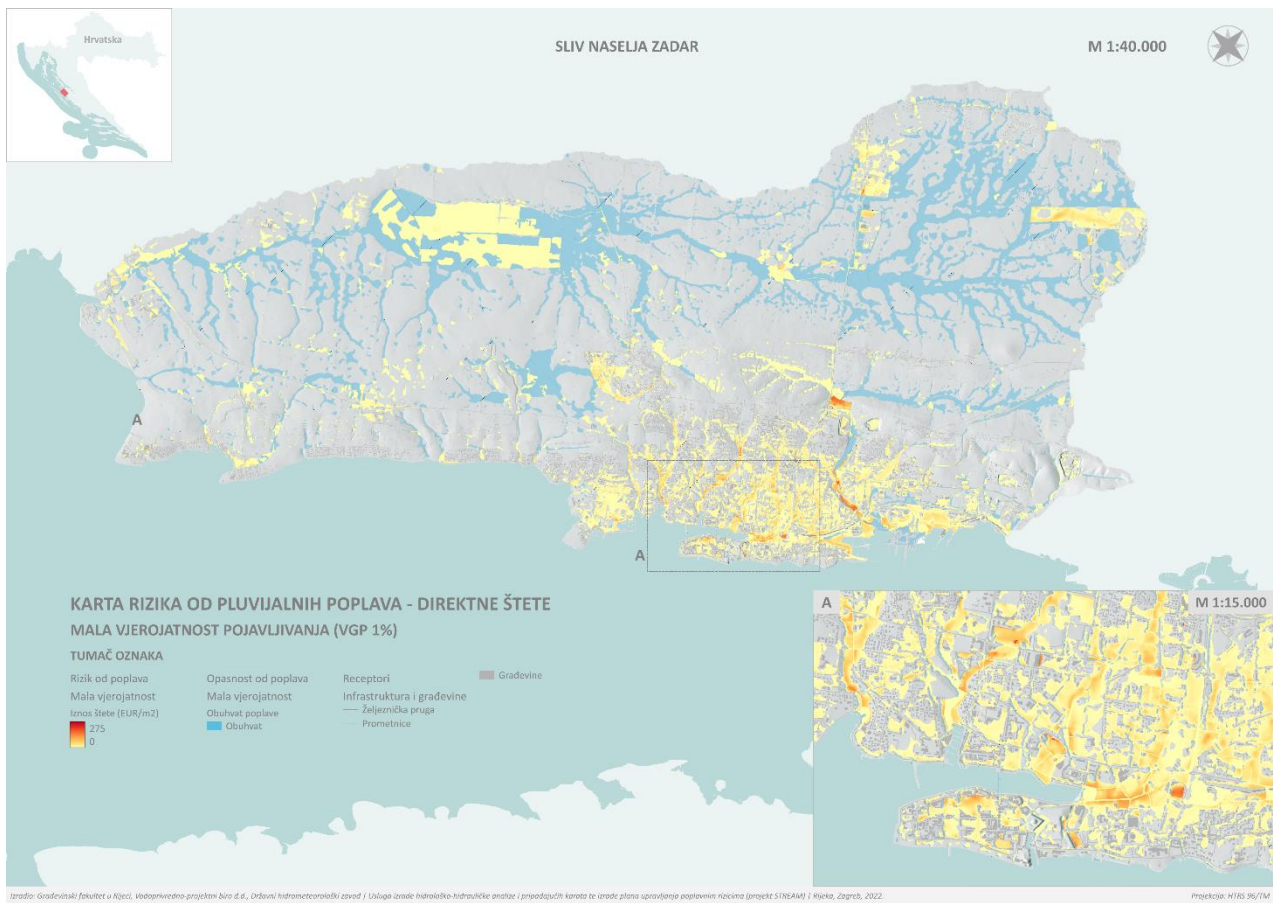
Na Slikama 4.3.15 i 4.3.16 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.3.17. prikazan je primjer karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u urbanom dijelu naselja Zadar.



Slika 4.3.15 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.



Slika 4.3.16 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

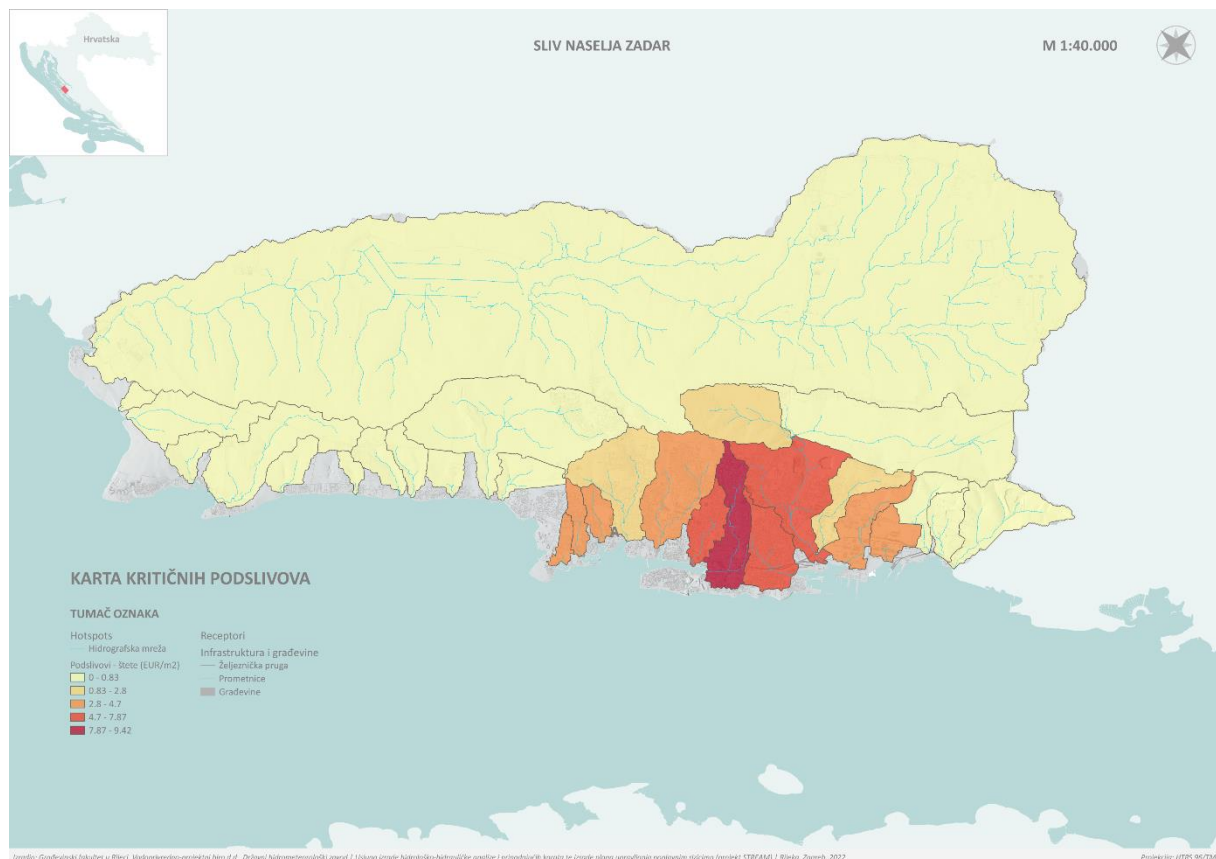


Slika 4.3.17 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

4.3.5 Kritični podslivovi na pilot području Zadar

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. “hotspots”) koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

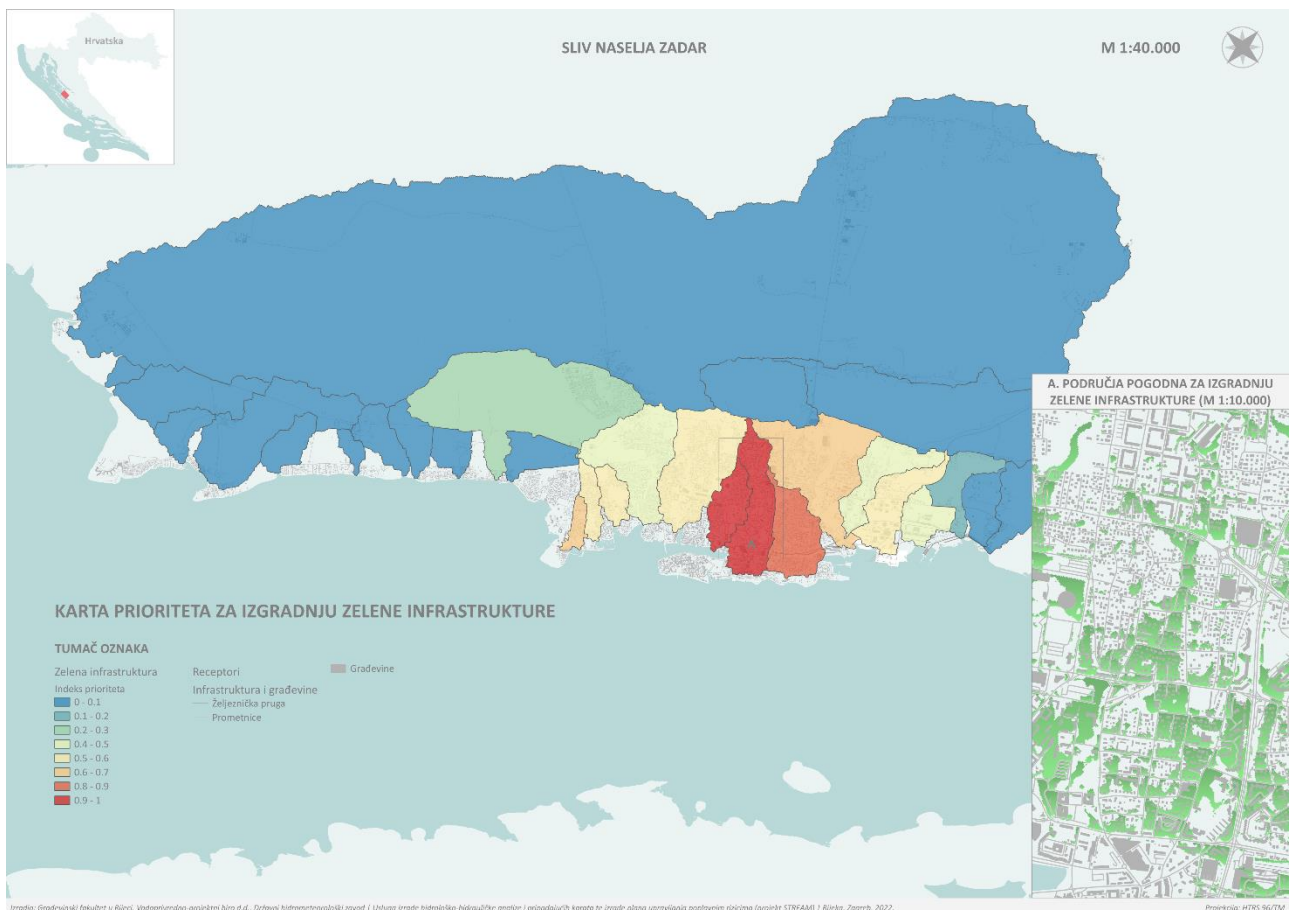
Na pilot području Zadar, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju manji priobalni podslivovi koji gravitiraju naselju Zadar (Slika 4.3.18). Kritični slivovi su stoga slivovi Ričine, Bregdetti, Jazine i Stanovi. Također, kao kritični slivovi se mogu ocijeniti i sliv Vruljice, slivovi koji gravitiraju luci Gaženica te nekoliko manjih slivova u naselju Puntamika.



Slika 4.3.18 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Zadar.

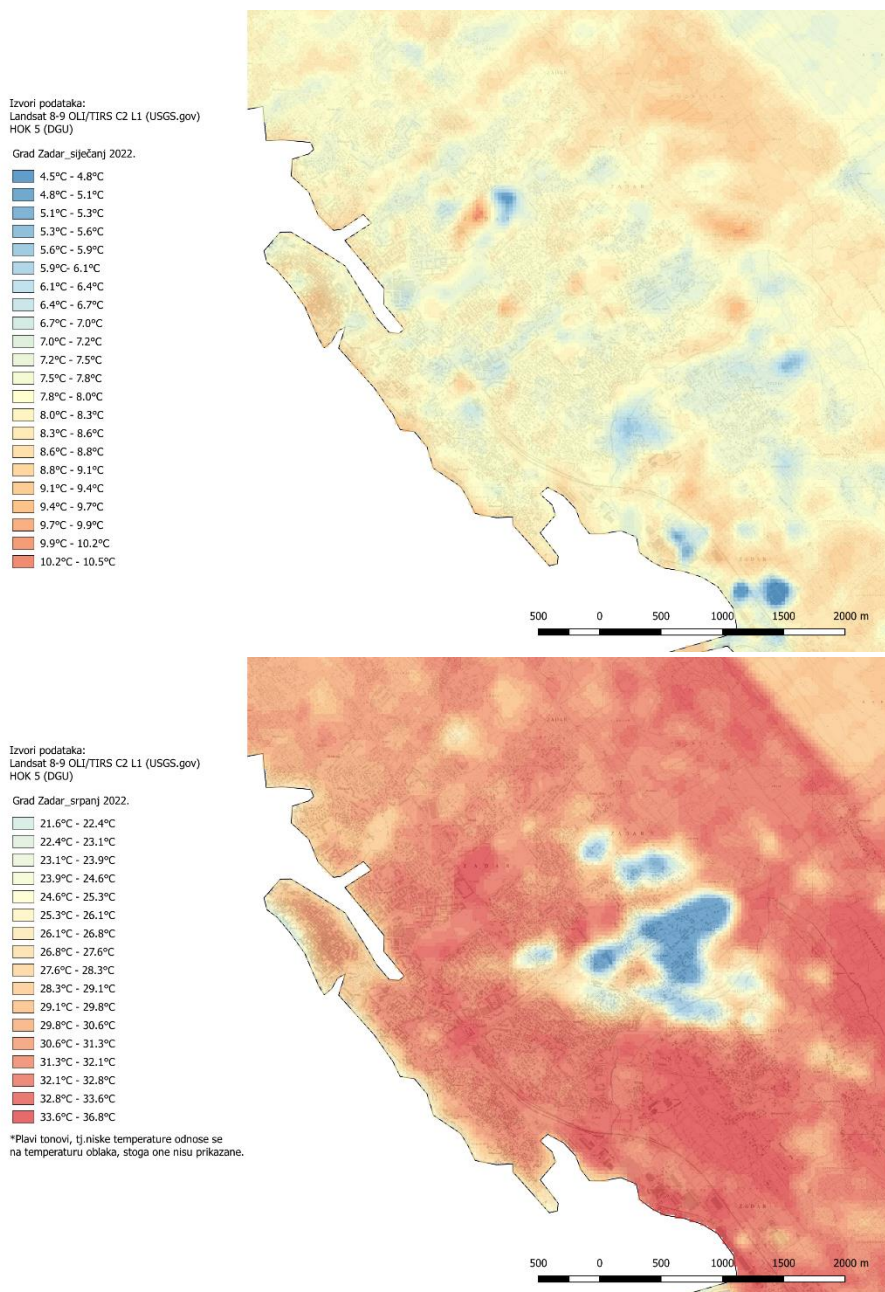
4.3.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Zadar

Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava. Na Slici 4.3.19 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima priobalni podsliv naselja Stanovi i Jazine. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi konceptijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Zadar koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



Slika 4.3.19 Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Zadar.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklima i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.3.20 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



Slika 4.3.20. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Zadra.

4.4 Pilot područje Biograd na Moru

4.4.1 Povijesne poplave na pilot području Biograd na Moru

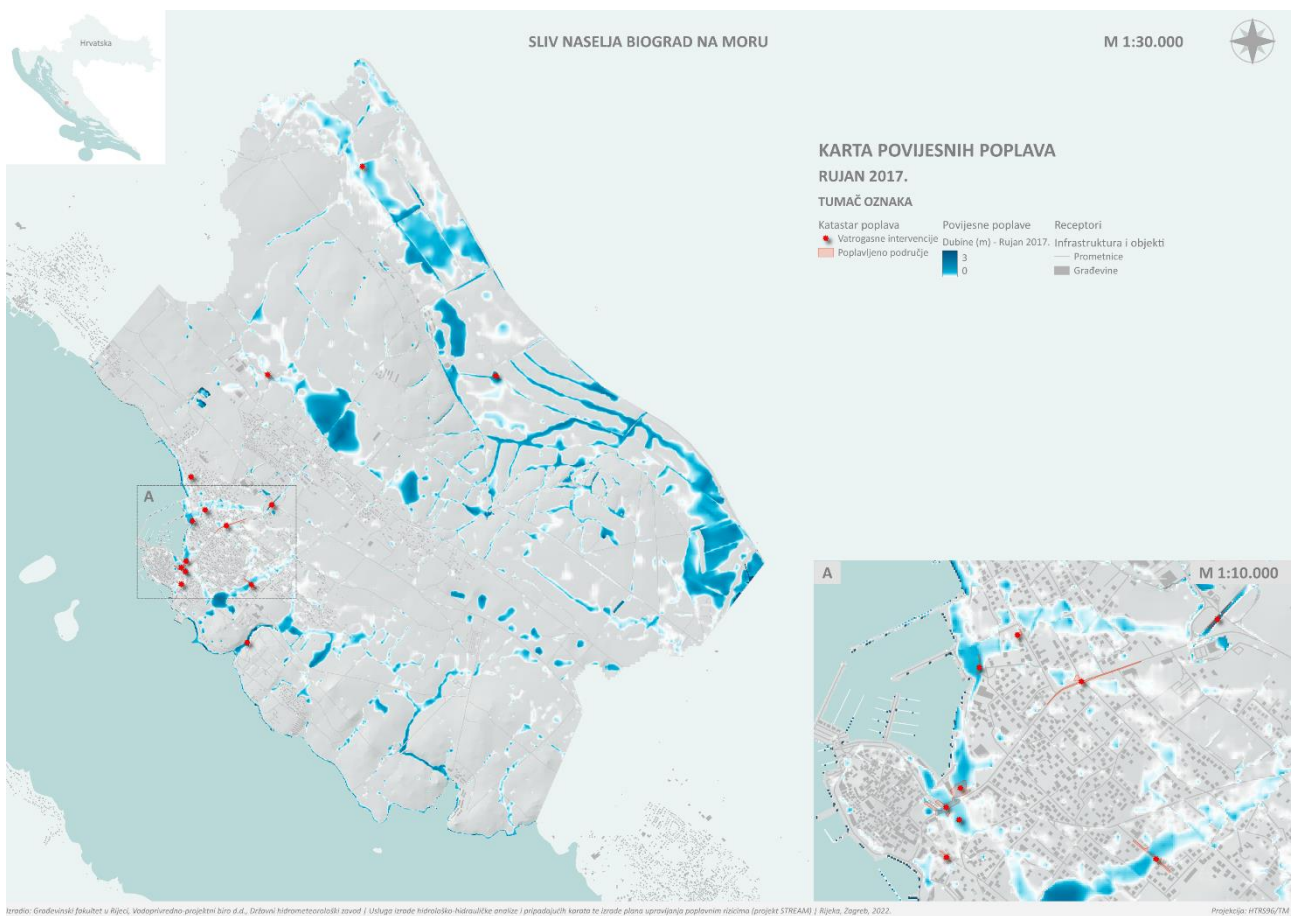
Analiza povijesnih poplava na pilot području Biograd na Moru provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. S obzirom da na području Biograda na Moru ne postoji službeni ombrograf, korišteni su podaci s najbliže ombrografske postaje Zadar. Stoga su jednako kao i za pilot područje Zadra provedene analize za oborine iz 1966., 1986. i 2017. godine. Ekstremna oborina iz rujna 2017. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri identificirane oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju.

Karta dubina vode za oborinu iz rujna 2017. godine zajedno s lokacijama vatrogasnih intervencija i poligonima zabilježenih poplavljenih površina u Biogradu na Moru prikazana je na Slici 4.4.1. Detaljnije analize samog oborinskog događaja te novinski izvještaji zabilježenih posljedice poplave iz 2017. godine, prikazani su u prethodnom poglavlju.

Na Slici 4.4.2 izdvojeni su detalji katastra poplava i rezultata modelske reanalize poplave iz rujna 2017. godine (dubine vode). Slika prikazuje centar priobalnog naselja Biograd na Moru, najveći problemi s poplavama zabilježeni su na križanju Jadranske Magistrale i ulice dr. Franje Tuđmana, odnosno u podvožnjaku gdje se zbog neprimjerenog ili neodržavanog sustava odvodnje oborinskih voda zadržava veća količina vode. Druga kritična lokacija je Trg hrvatskih velikana, odnosno križanje ulice dr. Franje Tuđmana s ulicom Put Solina, gdje se također zadržavaju oborine koje dotječu iz više smjerova u kombinaciji s neodgovarajuće riješenim sustavom odvodnje oborinskih voda. Općenito se mogu očekivati veće količine vode na kolniku duž cijele ulice Franje Tuđmana.

Pored navedenih lokacija, poplave od jakih oborina zabilježene su u ulicama Petra Zoranića i Silvija Strahimira Kranjčevića, na križanju Zadarske ulice i ulice Mihe Pracata, na Šetalištu kneza Branimira (ispod Puta Vruljina), na parkiralištu u uvali Soline te uz Gradsko groblje. Također, problematična se pokazala i dionica državne ceste D503 na izlazi iz Biograda na Moru, u smjeru Benkovca, koja je tijekom 2017. (a i nekoliko puta nakon toga) bila zatvorena zbog većih količina vode na kolniku.

Općenito se može zaključiti da su rezultati modelske reanalize u suglasju sa zabilježenim poplavnim površinama i lokacijama intervencija te da se izrađeni matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na pilot području Biograd na Moru.



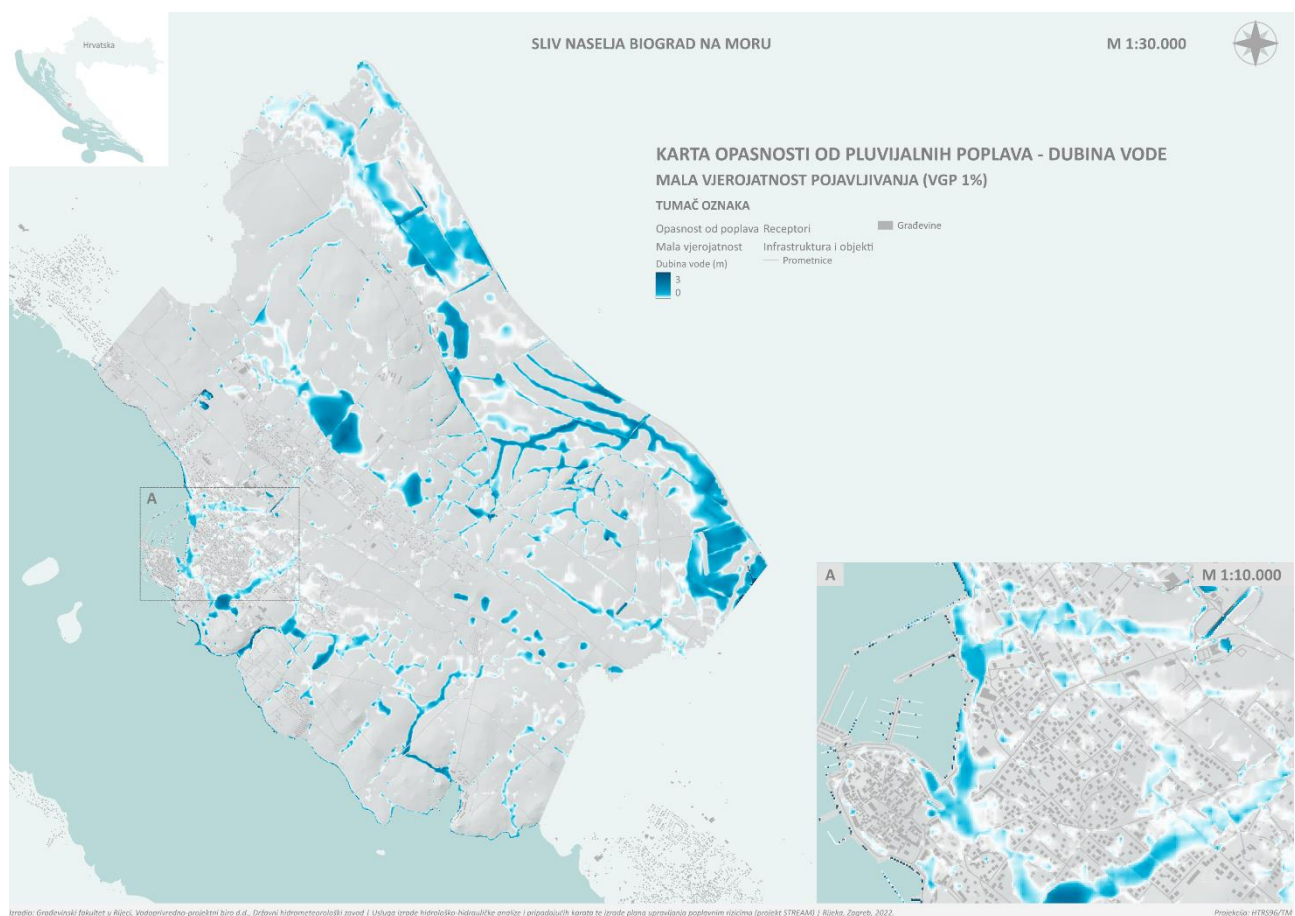
Slika 4.4.1 Karta zabilježenih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz rujna 2017. godine - na pilot području Biograd na Moru.



Slika 4.4.2 Zabilježene i modelirane poplave u centru naselja Biograd na Moru (fotografije su preuzete iz više različitih internet izvora)

4.4.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru

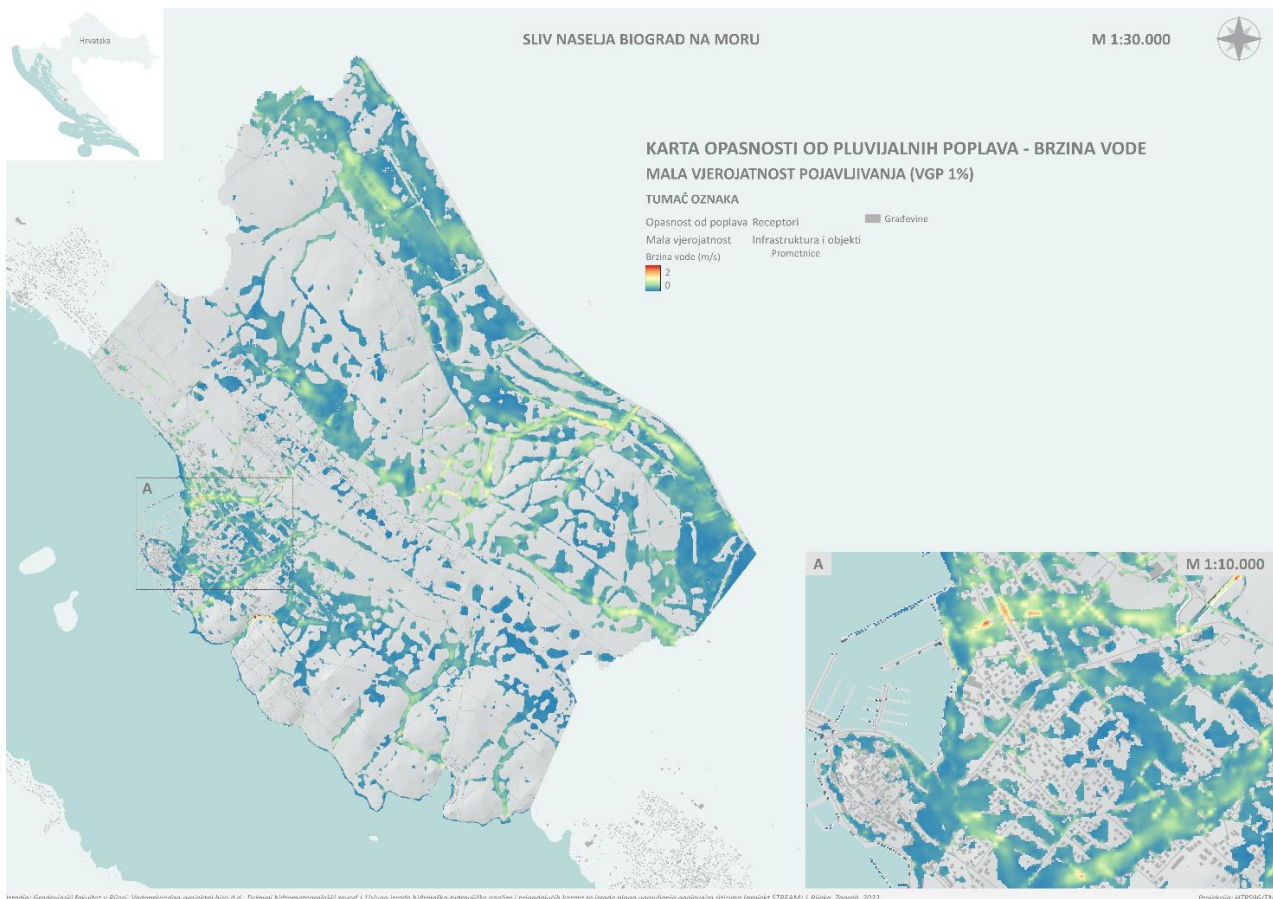
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slikama 4.4.3 – 4.4.5 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja.



Slika 4.4.3 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Biograd na Moru te izdvojiti problematične lokacije. Na predmetnom području mogu se

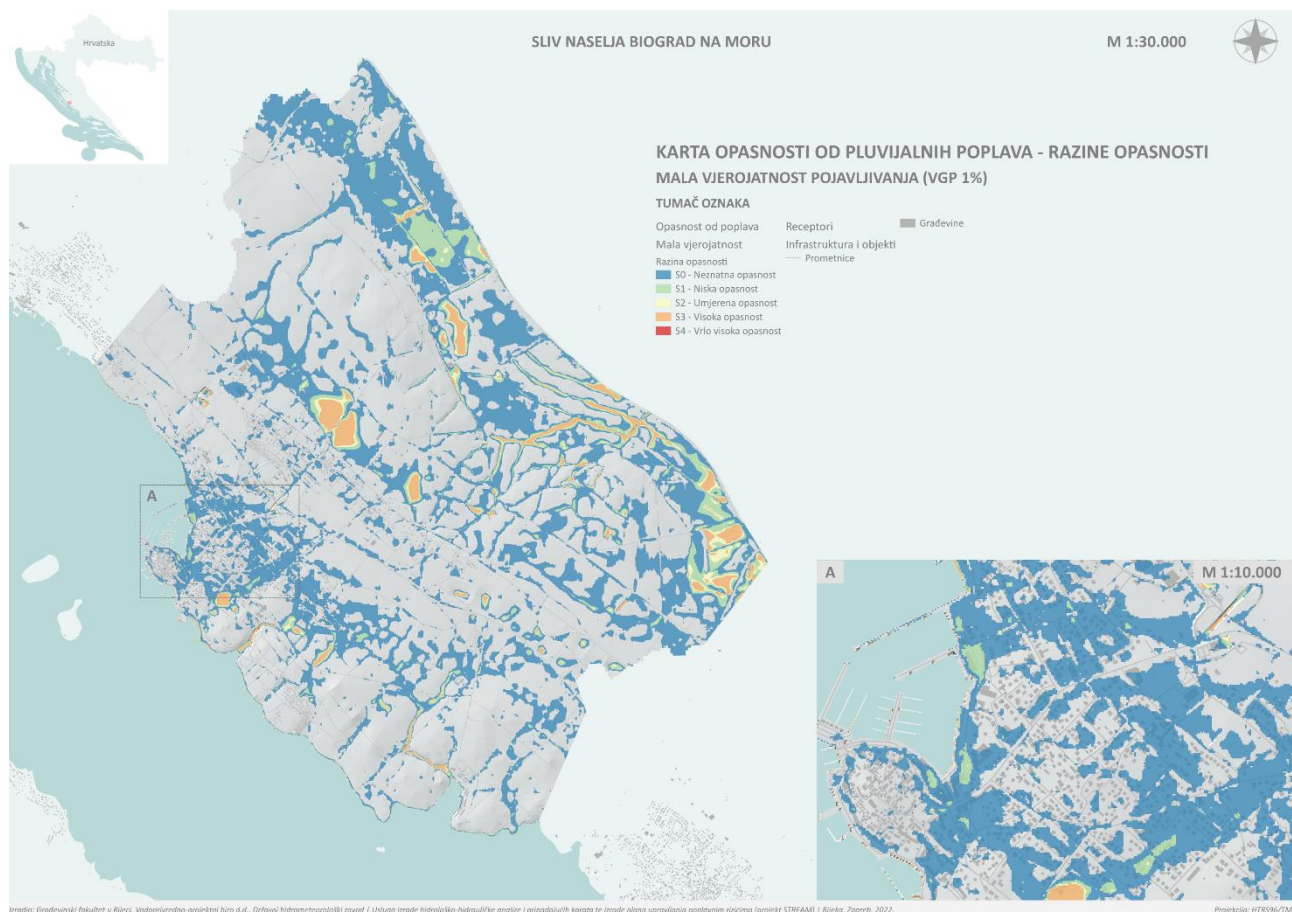
izdvojiti dva podsliva – podsliv Vranskog polja (sjeveroistočno) i priobalni podsliv naselja Biograd na Moru (jugozapadno) – koja približno dijeli Jadranska magistrala.



Slika 4.4.4 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

Podsliv Vranskog polja dio je šireg slivnog područja Vranskog jezera koje obuhvaća prostor u zaleđu Biograda na Moru do Benkovca i Smilčić na sjeveru, Zemunika Donjeg za zapadu i Stankovaca na istoku, te zasebna slivna područja zatvorenih krških polja Benkovca i Stankovca. Vransko jezero kod Biograda na Moru najveće je prirodno jezero u Republici Hrvatskoj. Od mora je odvojeno uskim obalnim pojasom širine od 0,8 do 2,5 km, pritom prosječna širina jezera je oko 2,2 km, a dužina oko 13,6 km. Dno jezera nalazi se ispod razine mora i na najdubljem dijelu je na koti od - 3,90 m n. m. Površina jezera je ovisna o dotoku pritoka i stanju mora, a kreće se u rasponu od 29,8 do 30,1 km²

(Hrvatske vode, 2014). Na krajnjem jugoistočnom rubu jezero je izravno povezano s morem kanalom Prosika, koji je prokopan još u 18. stoljeću za odvodnju velikih voda. Najveći vodotok Vranskog polja i pritok Vranskog jezera je periodični vodotok Kotarka, kao nastavak Raštanske-Lužinske jaruge, koja se spušta s nadmorske visine od 85 m kod Zemunika Donjeg, te teče u smjeru sjeverozapad-jugoistok kroz nekoliko manjih polja i utječe u Vransko jezero. U gornjem toku teče samo povremeno, jer ljeti uglavnom presuši. Od Jezerca do ušća Kotarka je kanalizirana i predstavlja Glavni odvodni kanal Vranskog polja, koji prihvaća vode sa sliva Vranskog polja putem kanala, Lemešac, Borelovica, Vrbica i Jablanski kanal (Hrvatske vode, 2014).



Slika 4.4.5 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

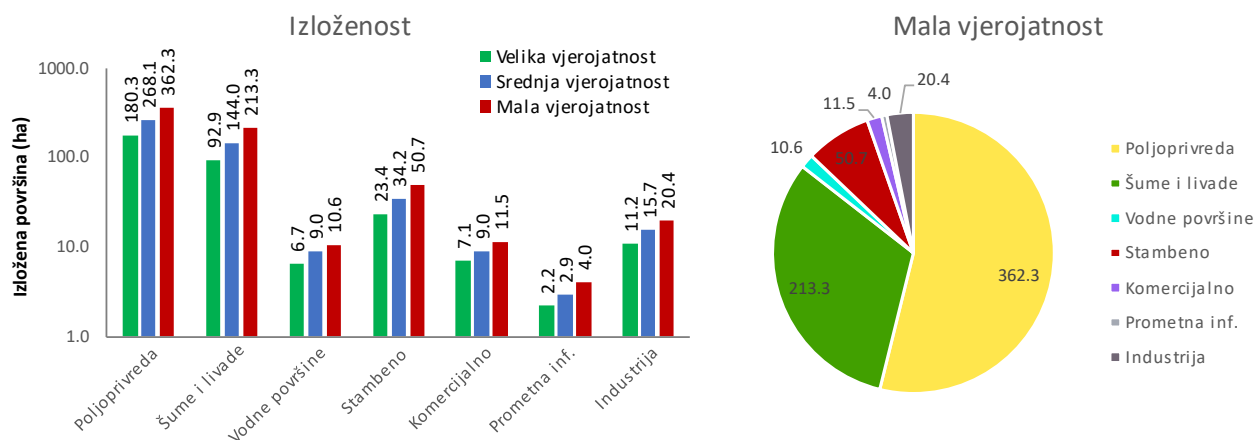
S obzirom da se u okviru ovog projekta proučavaju pluvijalne poplave podsliv Vranskog polja ograničen je glavnim recipijentima površinskog otjecanja oborinskih voda – rijeka Kotarka na sjeveroistočnom rubu te Vransko jezero na istočnom rubu sliva. Također, s obzirom da se podsliv Vranjskog polja nalazi unutar branjenog područja sektora F (južni Jadran, područje malog sliva Zrmanja – Zadarsko primorje) te da je na ovom području dominantnim uzrok poplava riječni ili fluvijalni, isti je u nadležnosti Hrvatskih voda i rješava se Provedbenim planom obrane od poplava branjenog područja te se neće detaljnije proučavati u okviru ovog projekta, ali se prikazuju rezultati modelskih analiza te procjene opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na ovom području. Dominantni uzrok pluvijalnih poplava u podslivu Vranskog polja je nedovoljni protočni kapacitet obodnih kanala (pritoka) i same rijeke Kotarke, zbog čega je moguće usporeno i otežano dreniranje poljoprivrednih površina.

Priobalni podsliv naselja Biograd na Moru sastoji se od niza manjih podslivova koji gravitiraju centru naselja (marini Kornati i marini Šangulin) ili pojedinim uvalama (npr. uvala Soline, uvala Trstike, uvala Studenac, Crvena luka). Unutar ovih slivova otjecanje viška oborinskih voda (nakon što se prijeđe kapacitet sustava za odvodnju oborinskih voda) prati reljef terena, a glavni pravci koncentriranog toka vode određeni su prometnicama. U nizvodnom dijelu slivova zbog reljefa terena ponegdje voda zadržava i akumulira te otežano istječe u more, što rezultira većim dubina vode u poplavljenom području i višim razinama opasnosti. Ponegdje su prisutni izraženiji bujični tokovi definirani reljefom terena s višim razinama opasnosti, kao što podslivovi koji gravitiraju uvali Soline ili Crvenoj luci. U samom naselju Biograd.

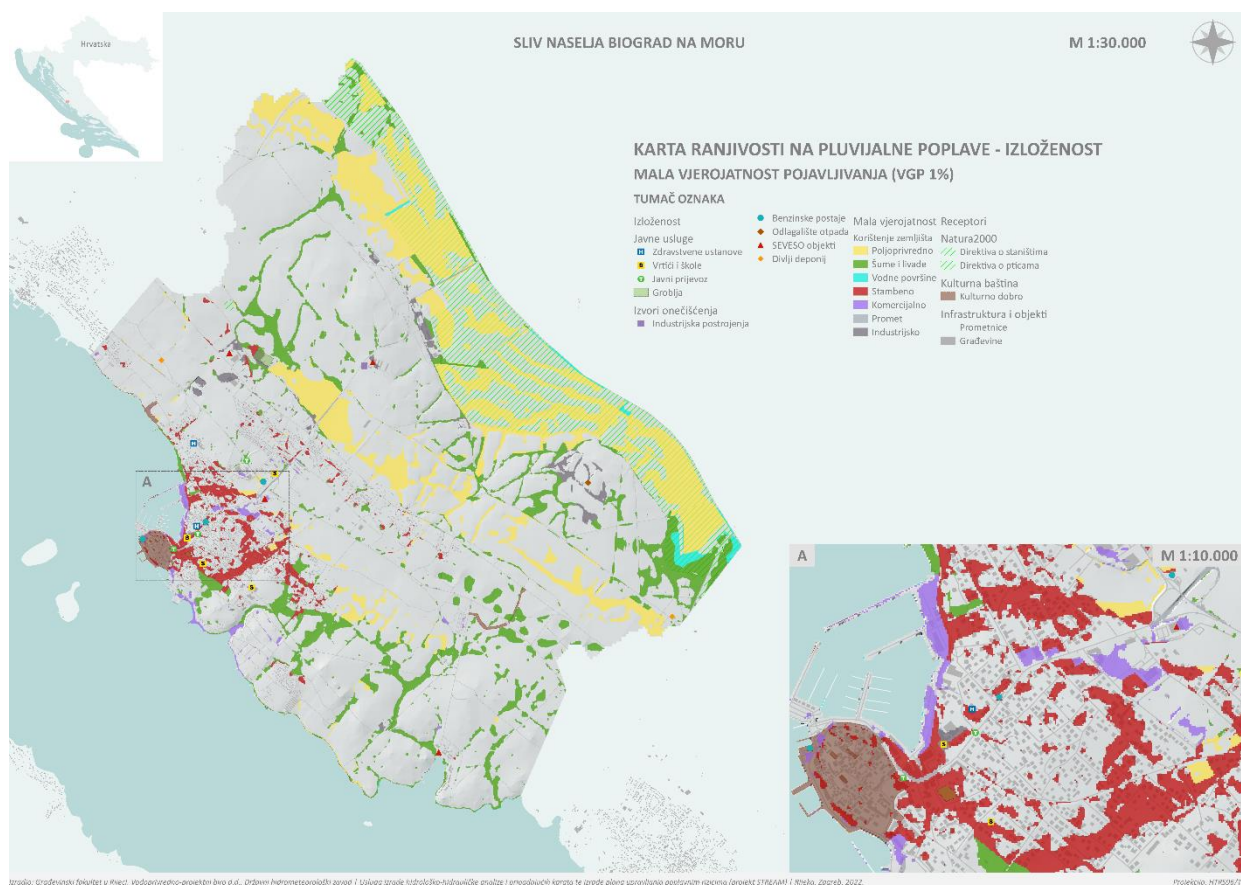
4.4.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Biograd na Moru

Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština.

Na Slici 4.4.6 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene izložene površine poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.4.7 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženost za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.



Slika 4.4.6 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Biograd na Moru.



Slika 4.4.7 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Biograd na Moru iznosi 27,4 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 3,2 km² (12 %) za veliku vjerojatnost, 4,8 km² (18 %) za srednju vjerojatnost i 6,7 km² (25 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina ~55 % poljoprivredne namjene, oko 30% poplavljenog područja je pod šumama i livadama, približno 7% je stambene namjene, dok je komercijalnih, prometnih i industrijskih površina zajedno ispod 10 %. Čak i za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje površine od 23,4 ha stambene namjene, 7,1 ha komercijalne namjene te 11,2 ha industrijske namjene. U podslivu Vranskog polja najviše je poplavljenih površina poljoprivredne namjene, dok je u priobalnom podslivu, urbanom dijelu naselja Biograd na Moru, najviše poplavljenih površina stambene namjene.

Od javnih usluga, autobusni kolodvor izložen je poplavama i vrlo je blizu kritične lokacije na trgu Hrvatskih velikana. Ostale autobusne postaje su izvan opasnosti od poplava. Zdravstvene ustanove izvan su opasnosti od poplava. Osnovna škola Biograd je izložena poplavama ali je opasnost od poplava neznatna, dok su vrtići i srednja škola izvan opasnosti od poplava.

Svi SESEVO objekti i industrijska postrojenja su izvan opasnosti od poplava. Odlagalište otpada i divlji deponiji su također izvan opasnosti od poplava. Benzinske postaje izvan su opasnosti od poplava.

Dio podsliva Vranskog polja (uz Kotarku) zaštićeno je u okviru Natura2000 mreže. Na tom području prisutne su i visoke razine opasnosti od poplava zbog izlivanja obodnih kanala ili neodgovarajuće drenaže poljoprivrednih površina.

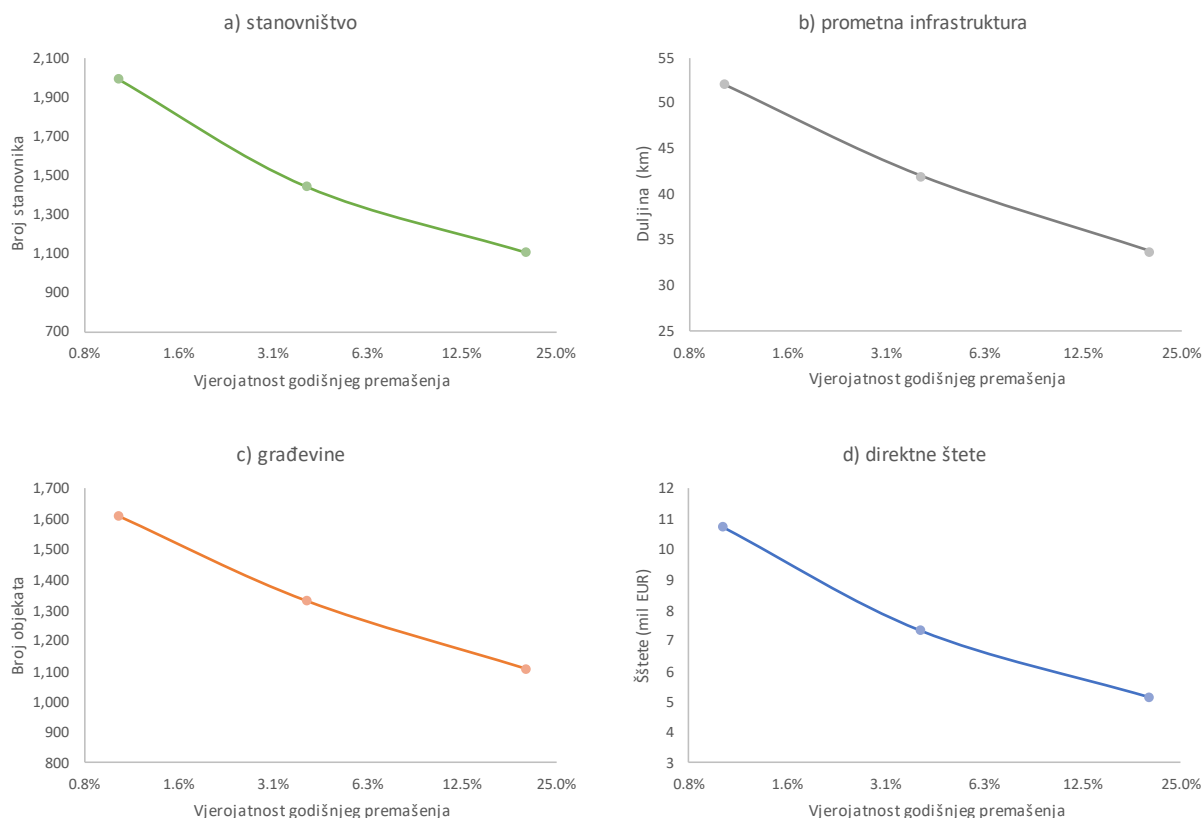
Što se tiče kulturne baštine, poplava djelomično je izložena kulturno-povijesna cjelina grada Biograda na Moru, ali s neznatnom opasnost od poplava.

4.4.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Biograd na Moru. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.4.8 s procjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljene duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava.

Broj stanovnika pogođenih poplava je u rasponu od 1.100 stanovnika (VGP=20%) do 2.000 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 34 km (VGP=20%) do 52 km (VGP=1%). Broj poplavljenih

građevina/objekata je u rasponu od 1.100 (VGP=20%) do 1.600 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 5,1 milijuna EUR (VGP=20%) do 10,7 milijuna eura (VGP=1%).

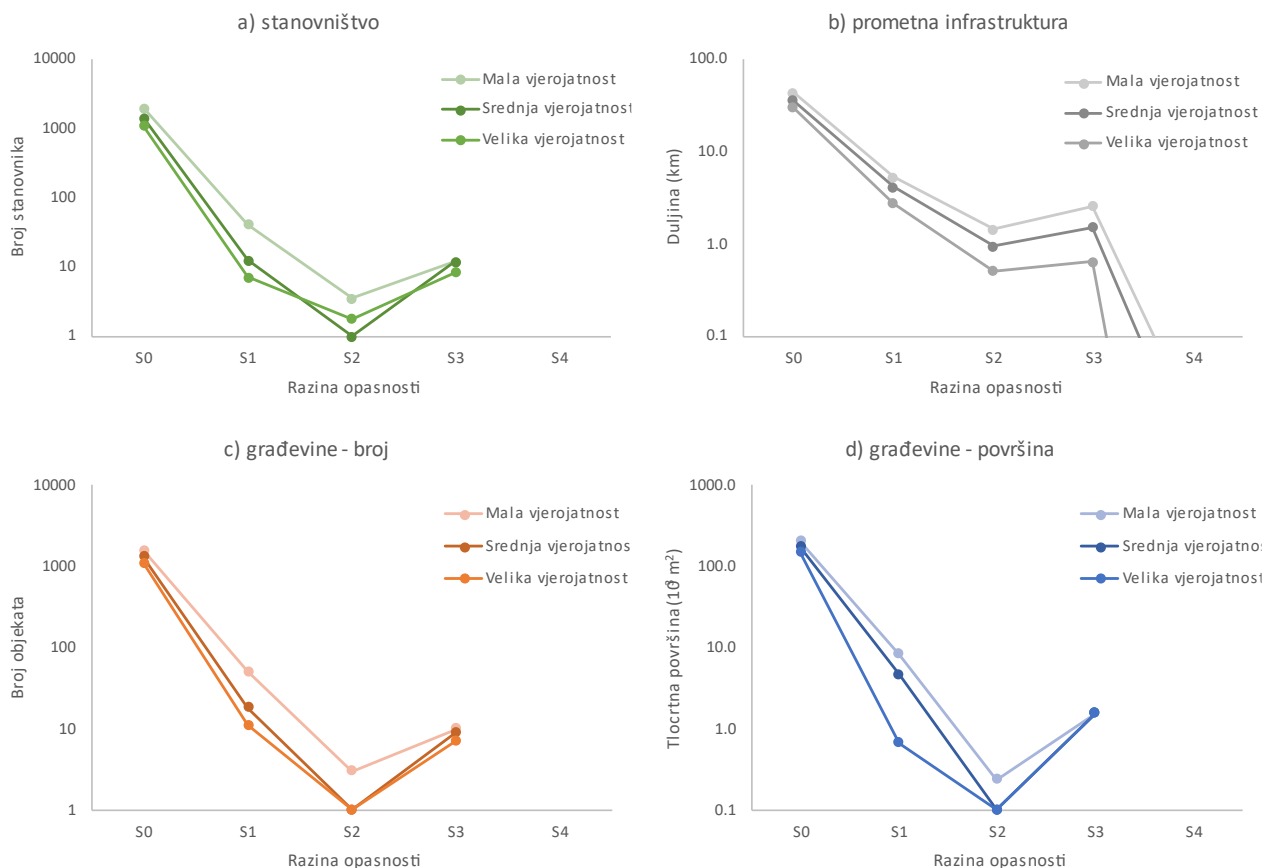


Slika 4.4.8 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Biograd na Moru.

Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.4.9.

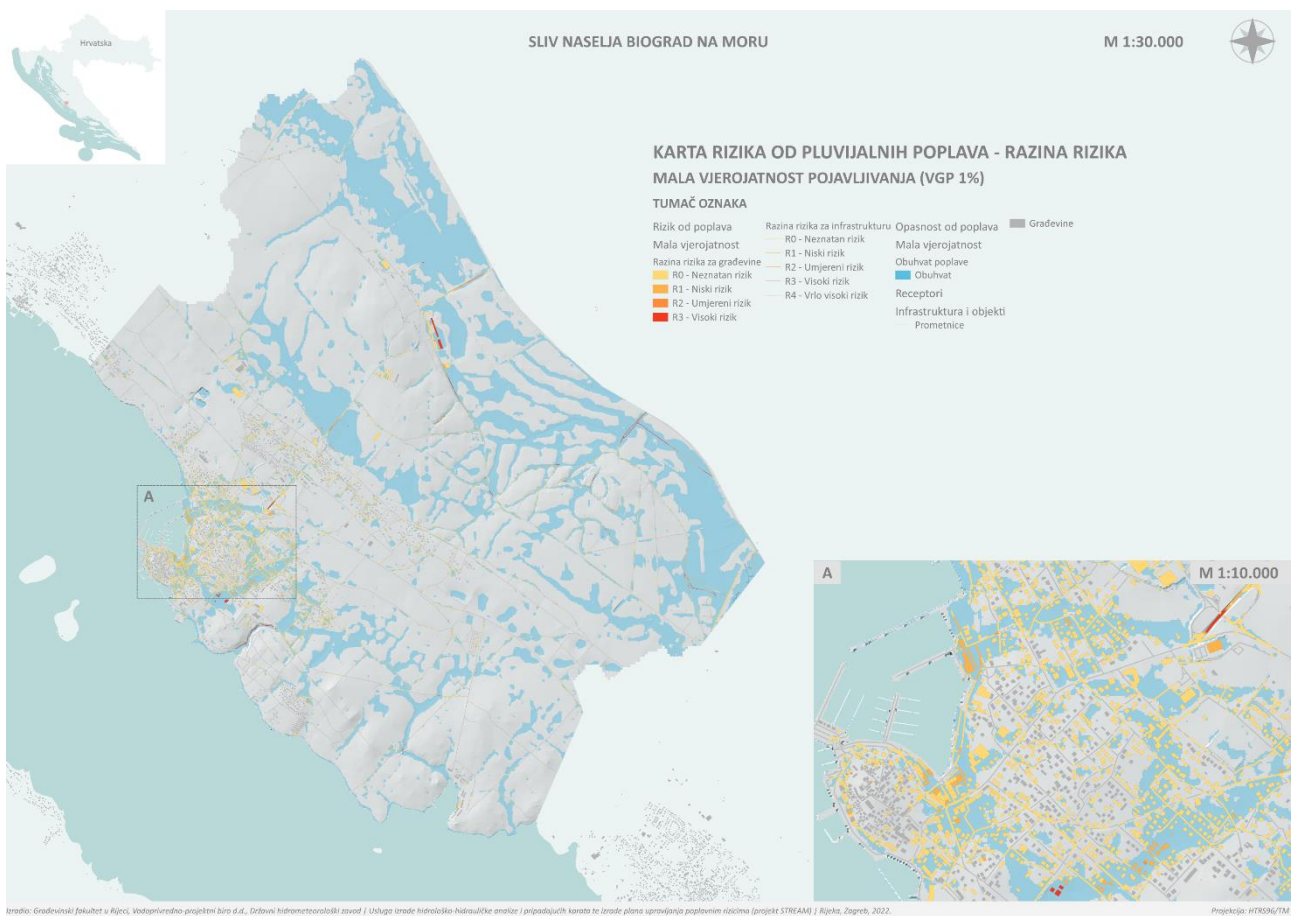
S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („nezatna razina rizika“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenom ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji.

Radi se otprilike o 15ak stanovnika, 4 km prometnica i 15ak objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%). Vrlo visokoj razini rizika (R4) izloženo je manje od 100 m prometnice (podvožnjak u ulici dr. Franje Tuđmana).

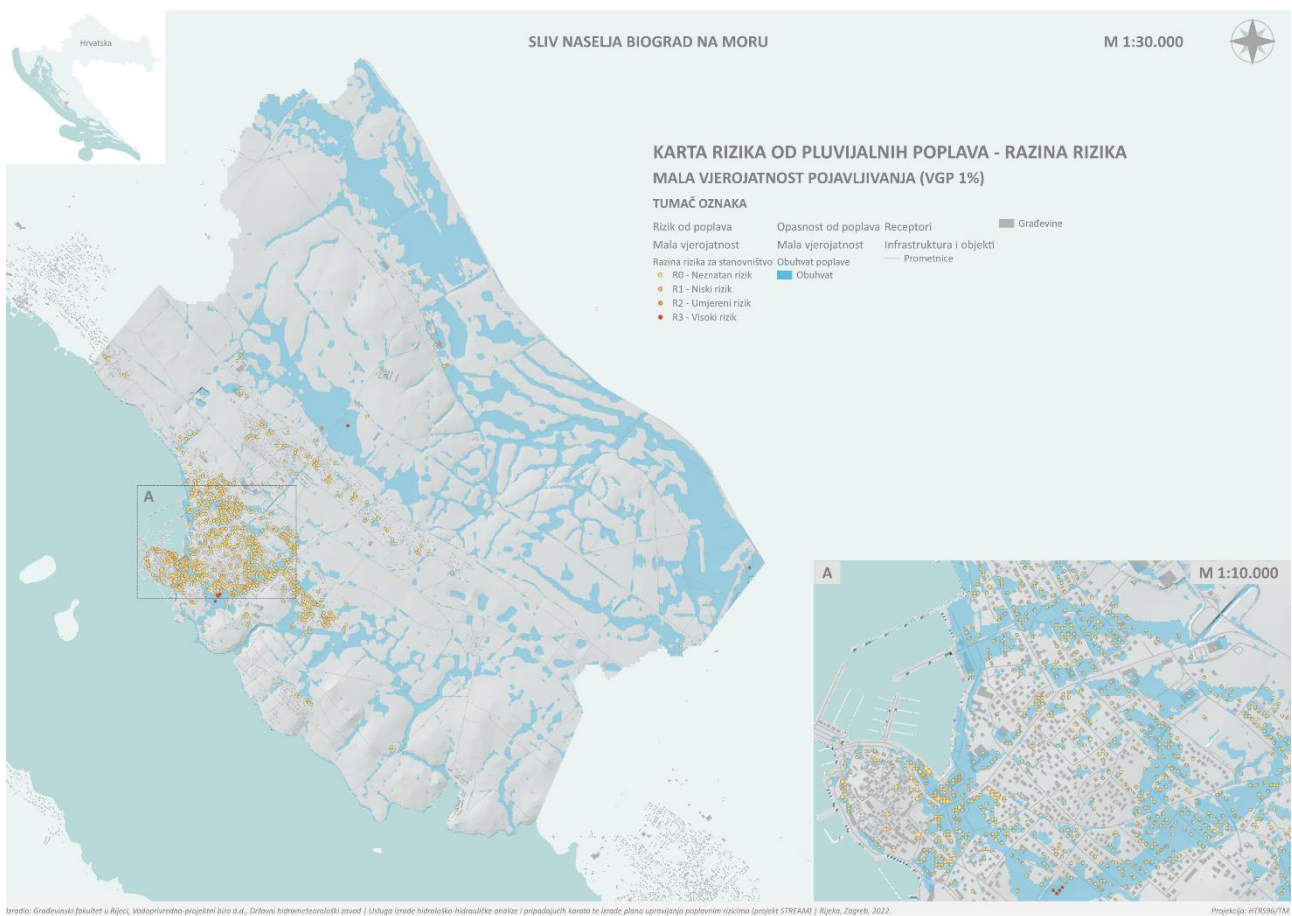


Slika 4.4.9 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Biograd na Moru.

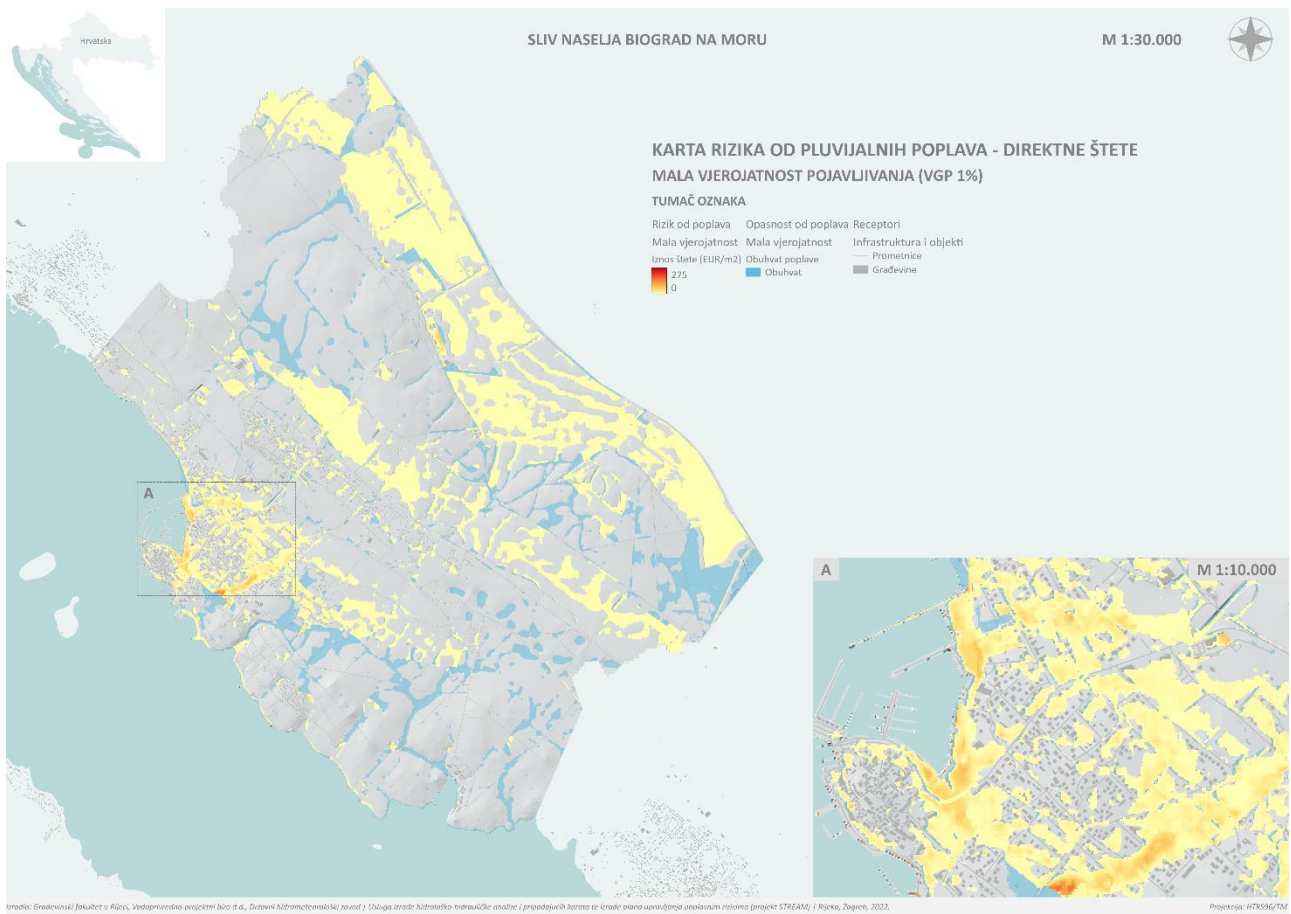
Na Slikama 4.4.10 i 4.4.11 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.4.12 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u urbanom dijelu naselja Biograd na Moru.



Slika 4.4.10 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.



Slika 4.4.11 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

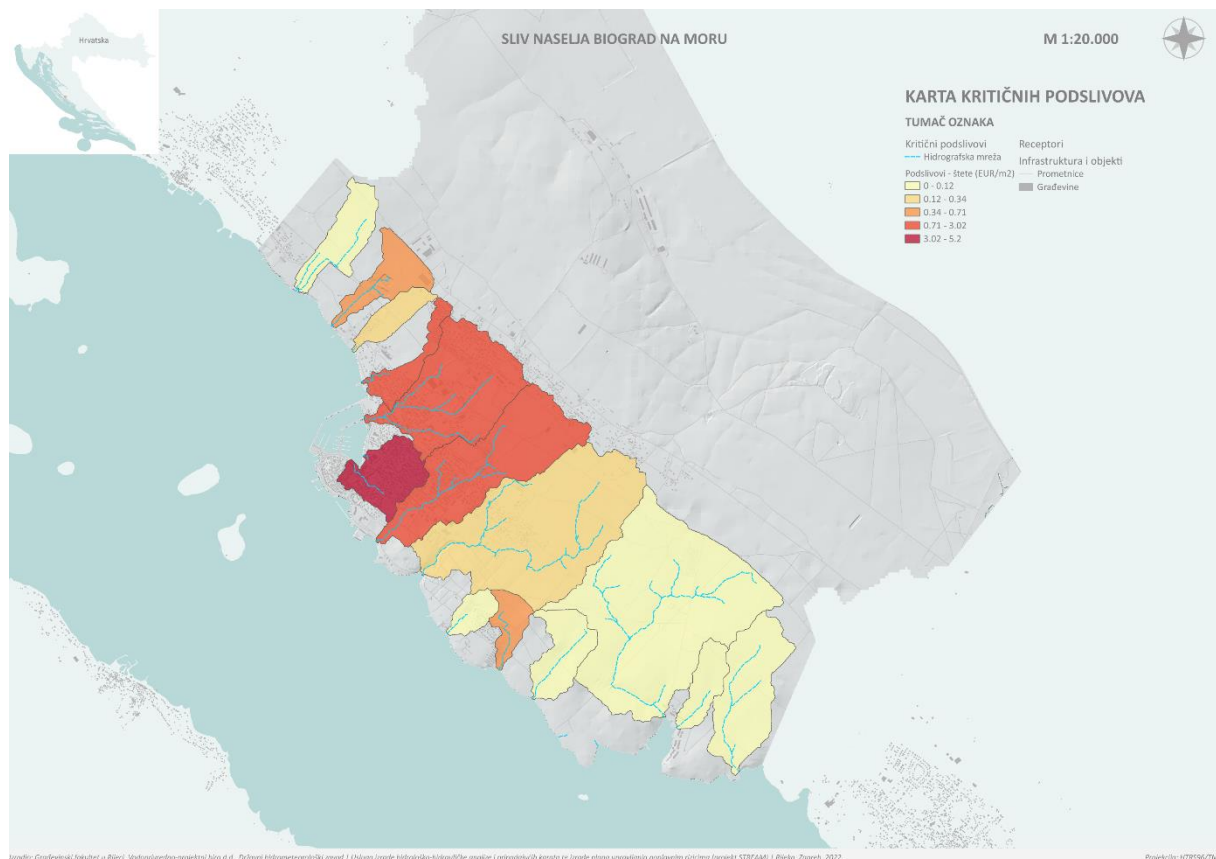


Slika 4.4.12 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

4.4.5 Kritični podslivovi na pilot području Biograd na Moru

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. “hotspots”) koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava. Također, razmatrani su jedino priobalni podslivovi.

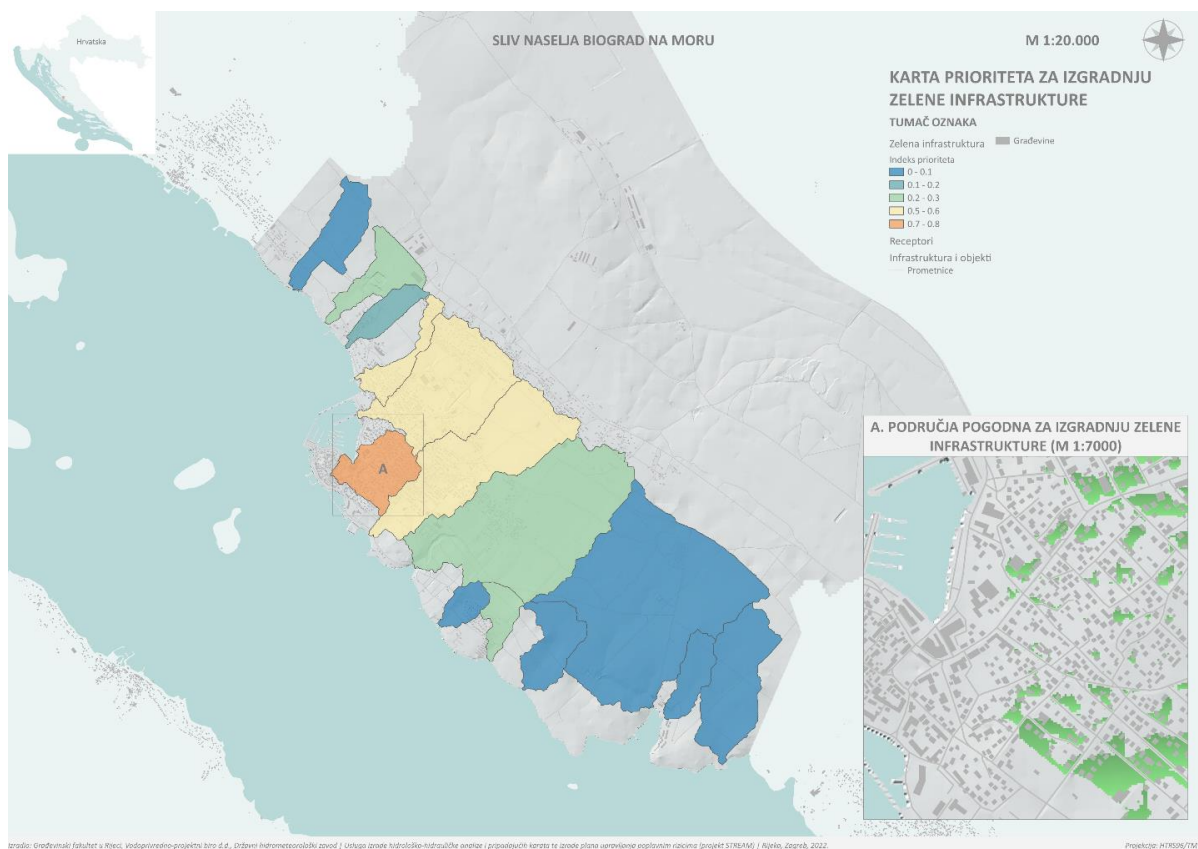
Na pilot području Biograd na Moru, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju podslivovi koji gravitiraju urbaniziranom dijelu naselja Biograd na Moru (Slika 4.4.13). Najkritičniji podsliv obuhvaća Trg hrvatskih velikana, dok su također kritična dva podsliva zapadno i istočno od ulice dr. Franje Tuđmana.



Slika 4.4.13 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Biograd na Moru.

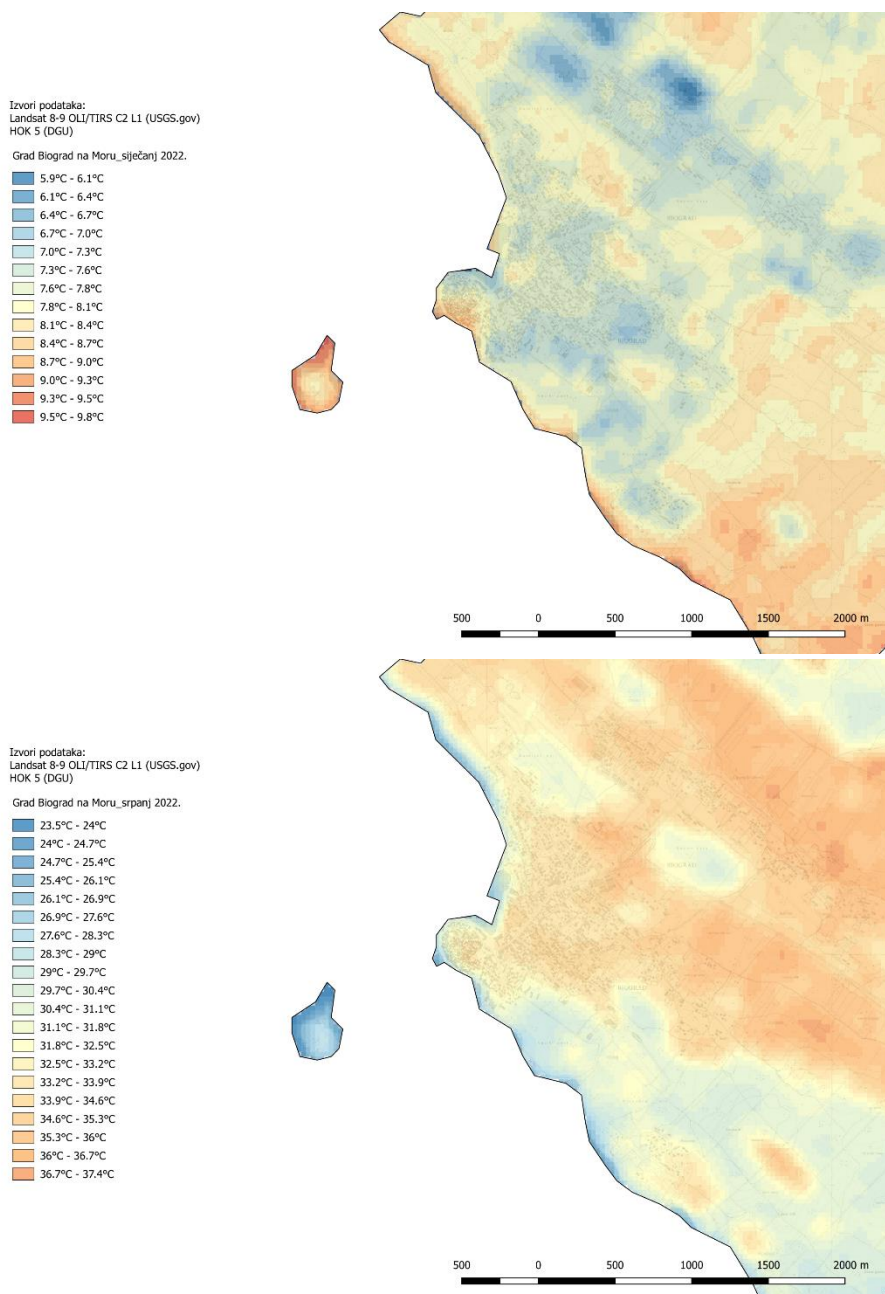
4.4.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Biograd na Moru

Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava. Na Slici 4.4.14 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima centar naselja Biograd na Moru, odnosno podsliv koji gravitira Trgu hrvatskih velikana. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi konceptijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Biograd na Moru koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



Slika 4.4.14 Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Biograd na Moru.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklima i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.4.15 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



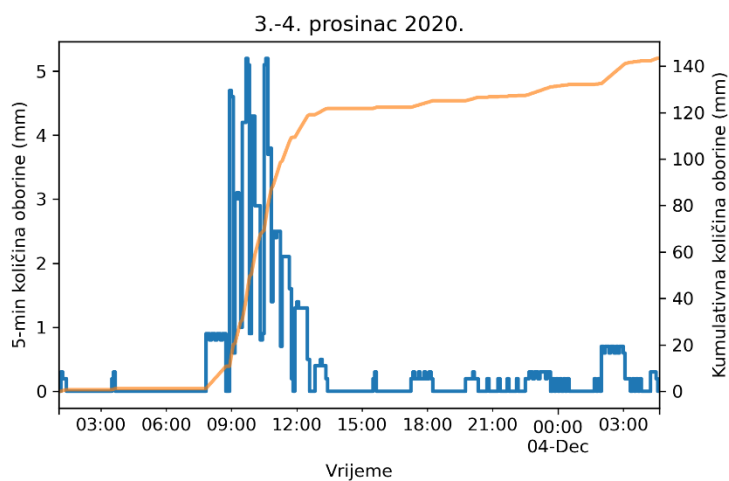
Slika 4.4.15. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Biograda na Moru.

4.5 Pilot područje Split

4.5.1 Povijesne poplave na pilot području Split

Analiza povijesnih poplava na pilot području Split provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnija događaja u razdoblju 1961.-2020., to su kronološkim redom 24. kolovoza 1975, 21. lipnja 1999. i 3. prosinca 2020. Ekstremna oborina iz prosinca 2020. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri identificirane oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju.

U razdoblju od **3. do 4. prosinca 2020. godine** zabilježeno je 143 mm oborine na ombrografskoj postaji Split-Marjan, dok je u samo jedan sat palo 41 mm oborine, u tri sata 99 mm oborine, a tijekom šest sati 121 mm oborine (Slika 4.5.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave manju od 2%.



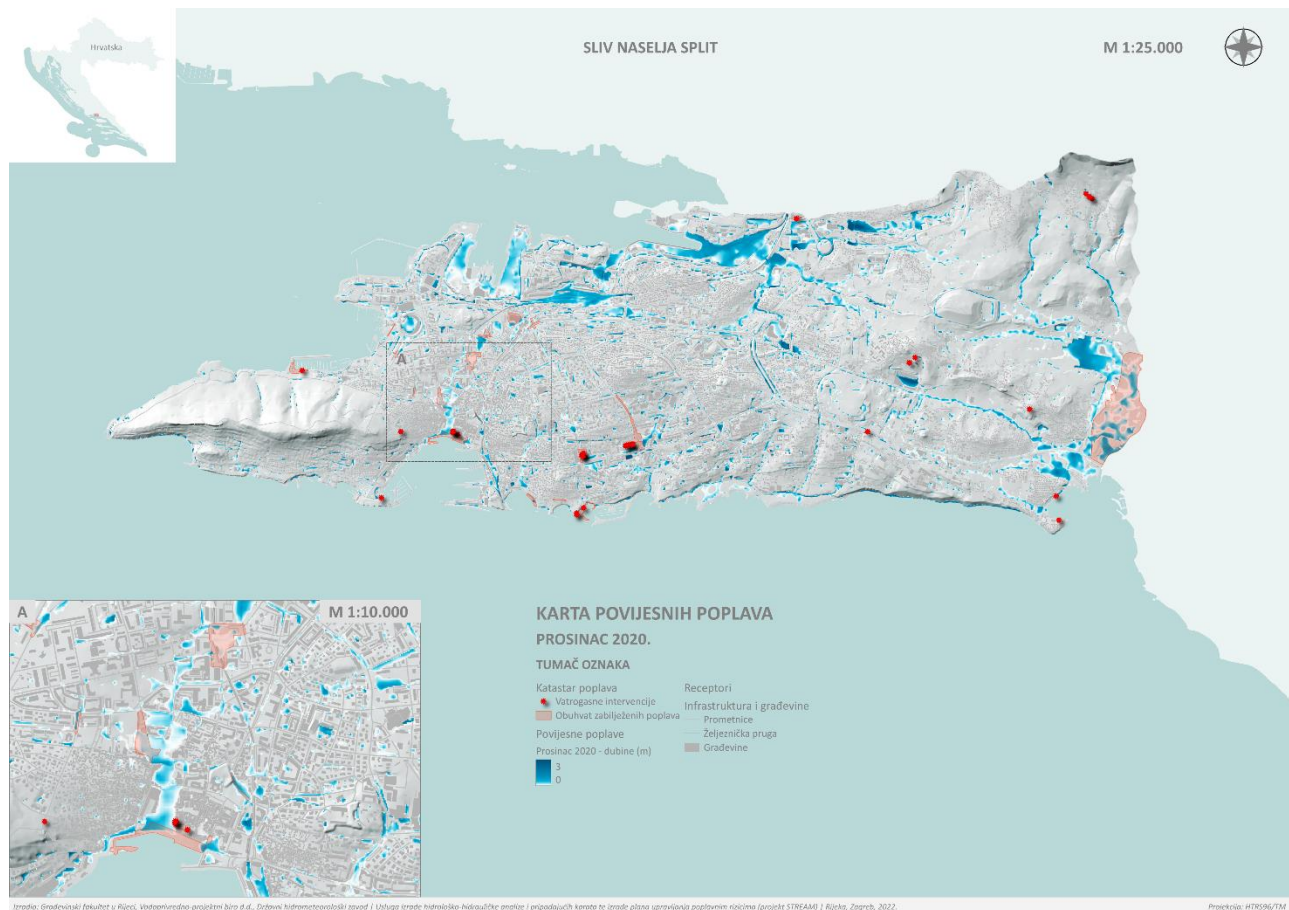
Slika 4.5.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene 3.-4. prosinca 2020. godine na ombrografskoj postaji Split-Marjan.

Karta dubina vode za oborinu iz prosinca 2020. godine zajedno s lokacijama vatrogasnih intervencija i poligonima zabilježenih poplavljenih površina prikazana je na Slici 4.5.2. Najveći broj vatrogasnih

intervencija zabilježeno je u središnjem dijelu grada i na križanjima ulica, posebice ulica Antuna Branka Šimića, Brune Bušića i Poljička. Najveće zabilježene poplavne površine su u dolini rijeke Žrnovnice.

Izveštaj o poplavi u prosincu 2020. godine dan je niz dnevnih glasila, a u *Jutarnjem listu* se navodi:

„*Jak pljusak koji sad već satima pada, pretvorio je splitske prometnice u potoke pa je stanje vrlo kaotično. Pojedinim lokacijama u gradu ne može se ni pristupiti, jer je, javljaju s terena, voda do koljena. Brojni šahtovi začepljeni su i stvaraju poplave poput onih na križanju Bušićeve i Poljičke, u Ulici Hrvatske mornarice, oko Poljuda, na Blatinama gdje je voda prodrla i u haustore, ne radi semafor na križanju Dubrovačke i Vukovarske ulice, Cankareva poljana je posve pod vodom.*“



Slika 4.5.2 Karta zabilježenih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz prosinca 2020. godine - na pilot području Split.

Opis i posljedice poplava iz 2020. godine zabilježeni su i u Meteorološkom i hidrološkom biltenu DHMZ-a (2022):

„Splitske prometnice bile su poplavljene, voda je prodirala u prizemlja objekata. Pljusak je trajao nekoliko sati, bilo je i potopljenih automobila jer je vode na ulicama bilo do koljena. Poplavljene su i podrumi Dioklecijanove palače. Na Marjanu je došlo do odrona ceste, više se stabala izvalilo i palo na prometnice i staze. Palo je oko 150 litara kiše, više od prosjeka za prosinac.“

Na slici 4.5.3 prikazan je izdvojeni dio rezultata modelske reanalize poplave za događaj iz prosinca 2020. (dubine vode). Usporedba rezultata reanalize događaja 2020. i zabilježenih poplava (slike 4.5.2 i 4.5.3) pokazuje relativno dobro poklapanje lokacija poplava iz modela s onima iz zabilježenih poplava i vatrogasnih intervencija.

S obzirom na zabilježe poplave i rezultate reanalize događaja iz 2020. godine, mogu se izdvojiti problematični dijelovi. Na istočnom dijelu grada izdvajaju se desna dolina Žrnovnice, područje kod TTTS-a te niži dijelovi terena u Stobreču s relativno velikim poplavnim područjima i dubinama vode. Poplave u sva tri dijela vezana su uz zadržavanje površinskih oborinskih voda (vlastitih voda ili dotoka s višeg terena) na nižim razinama terena. Zabilježeno je nekoliko ispumpavanja vode na Kamenu (ulica Sv. Mihovila).

Na sjevernim dijelu Splita izdvajaju se zaobalni dijelovi u brodogradilištu Brodosplit i Sjevernoj luci na području Brodomerkura te željeznički ranžirni kolosijeci na Kopilici. Poplave u zaobalju su vezane uz usporavanje površinskog otjecanja prema moru uslijed generalnog izdizanja terena u smjeru mora. Također je evidentirano ispumpavanje vode u Matoševoj ulici u Solinu.

U središnjem dijelu grada izdvajaju se križanje ulice Brune Bušića i Poljičke, garaže u ulici Antuna Branka Šimića, križanje ulice Domovinskog rada i Dubrovačke, Kaštelanska ulica kod Poljuda, garaža Brodarica kod Jokera te Cankareva poljana zajedno s Marmontovom. Učestale poplave garaža u ulici A.B. Šimića vezane su uz slijevanje oborinskih voda s prometnice prema izrazito niskim razinama garaža. Poplave na ostalim križanjima i ulicama dešavaju prilikom zadržavanja površinskih oborinskih voda na nižim dijelovima terena uslijed nedostatnog kapaciteta nizvodnog sustava odvodnje.

Na priobalnom području zabilježeno je nekoliko ispumpavanja vode (Stobreč, šetnica u lučici Zenta, Obala Hrvatskog narodnog preporoda, ACI marina, lučica Spinut) koja su vezana uz složene poplave uslijed kombinacije utjecaja urbanih poplava i visokih razina mora.

Općenito se može zaključiti da su rezultati modelske reanalize u skladu sa zabilježenim poplavnim površinama i lokacijama intervencija te da se izrađeni matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na pilot području Split.



Slika 4.5.3 Zabilježena i modelirana poplava u Splitu iz prosinca 2020. godine (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora).

4.5.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Split

Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Split provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slikama 4.5.4-4.5.6 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja na pilot području Split. Iz danih prikaza mogu se okarakterizirati osnovni procesi generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Split te izdvojiti problematične lokacije.

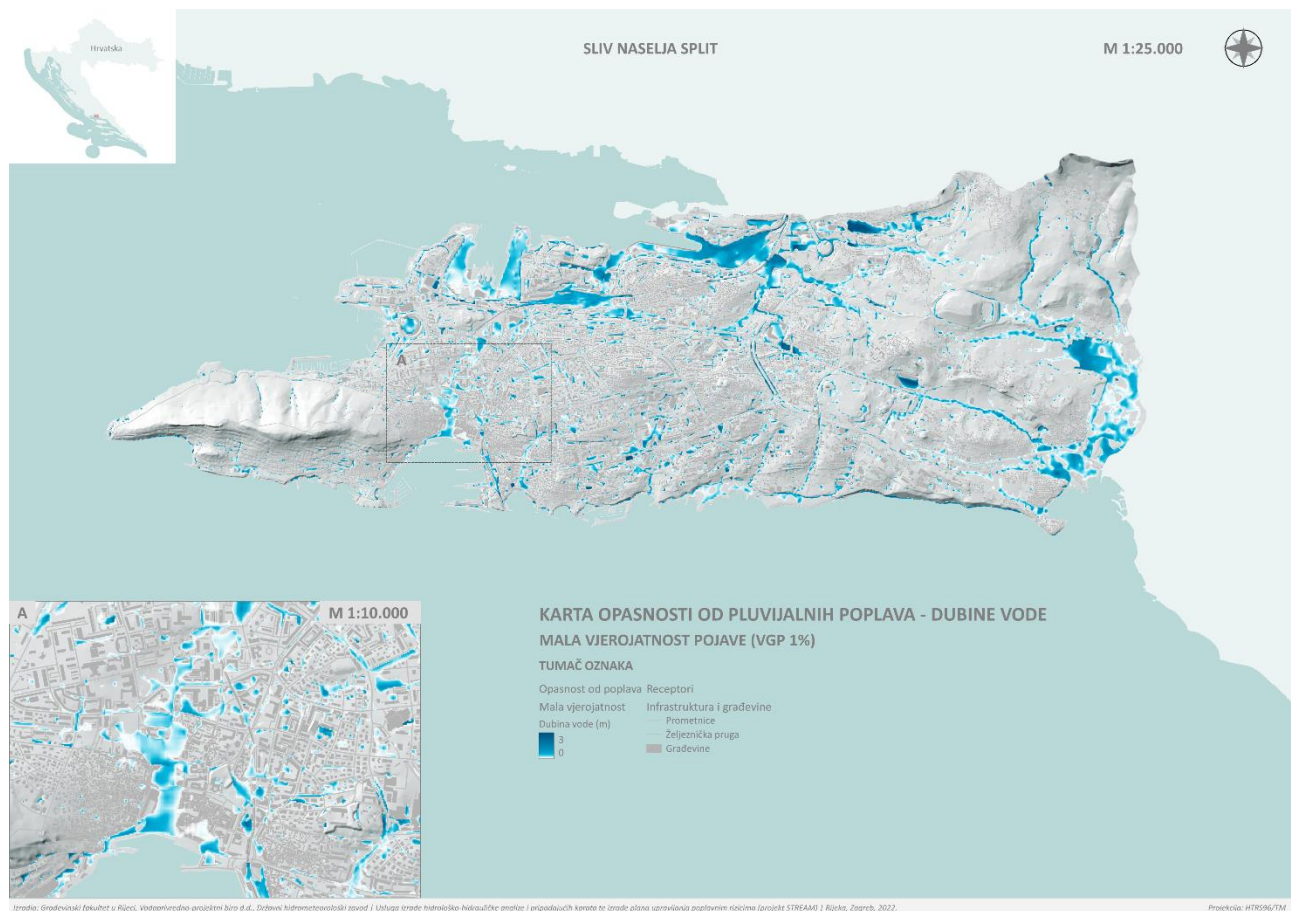
Za razliku od generalno sušne Dalmacije, splitsko područje ima relativno dosta površinskih tokova. Najveći dio splitskog poluotoka, s pojedinim izuzetcima poput vapnenačkog Marjana, izgrađen je od nepropusnog fliša na kojemu se stvaraju površinski vodeni tokovi. U prošlosti u samom gradu nije postojalo puno izvora pitke vode, a i oni koji su korišteni često su bili obogaćeni sumporom. Jedan potok tekao je uz istočni zid Dioklecijanove palače u smjeru zgrade Lučke kapetanije, a drugi današnjom Marmontovom ulicom ulijevajući se u more kod Matejuške, zbog čega se danas i osjete sumporne pare na rivi. Slijedom okolnosti Spliciđani su kopali bunare u potrazi za podzemnom čistom vodom ili izgradnju cisterni u kojima se sakupljala kišnica. Najznačajniji izvor koliko-toliko pitke vode nalazio se u blizini Trga Gaje Bulata ispred zgrade HNK. Taj izvor nazivao se na talijanski Pozzobuon (u prijevodu Dobri bunar) po čemu je cijelo predgrađe dobilo naziv Dobri.

Splitsko područje je nekada bilo premreženo s desecima stalnih i povremenih potoka. Međutim, urbanizacija i industrijalizacija u Splitu 1980-tih godina te širenje grada u nekadašnja polja, presudilo je većini otvorenih tokova a poljoprivredne površine prenamijenjene su u stambenu i gospodarsku namjenu s nizom višekratnica i okolnim nepropusnim površinama (prometnicama, parkiralištima, igralištima).

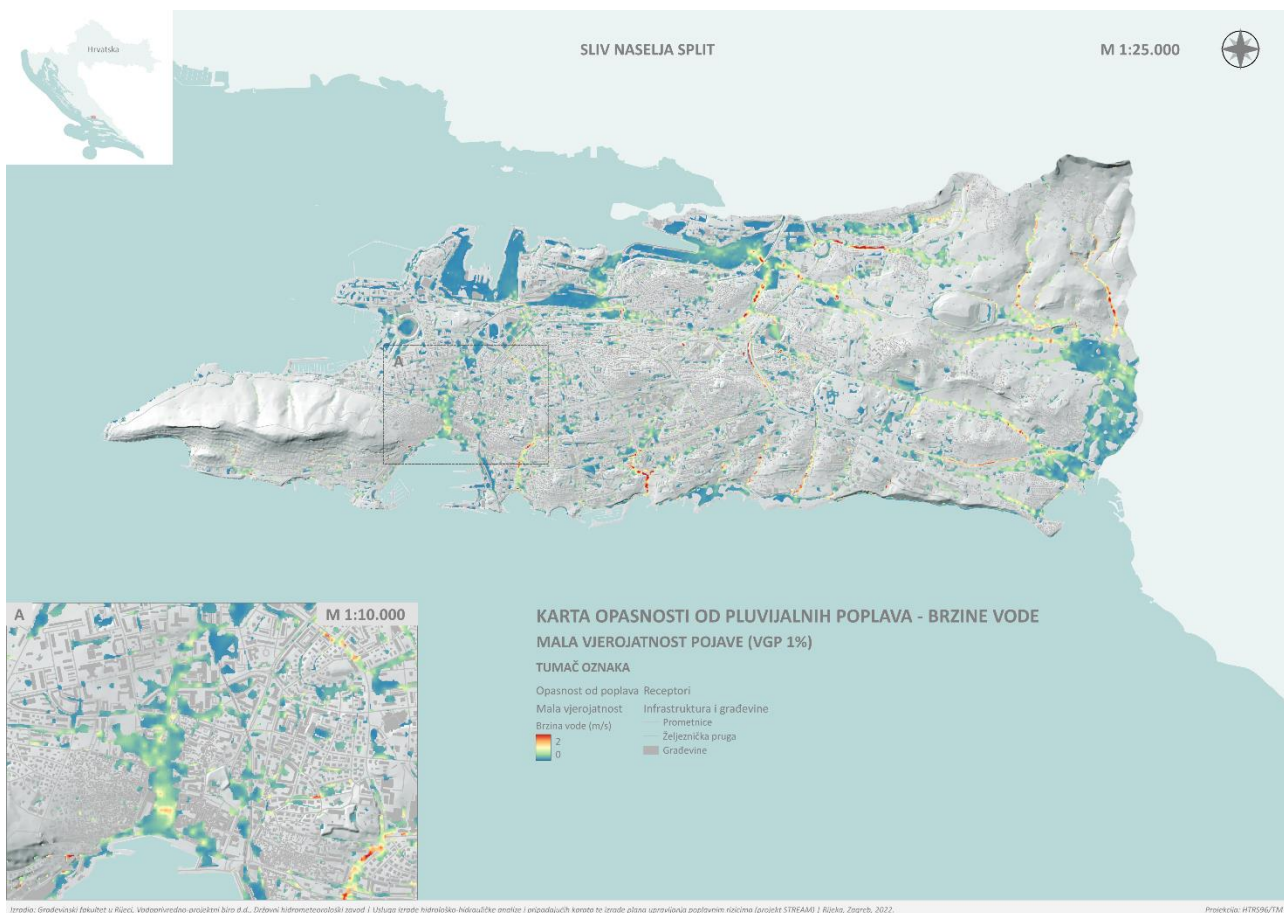
Danas se na istočnom dijelu sliva nalazi rijeka Žrnovnica i potok Kamen, a u središnjem dijelu potoci Trstenik i Radoševac. Potok Trstenik je najzapadniji i podzemno se pruža južno od Blatina te izbija na površinu nedaleko od Medicinskog fakulteta i ulijeva se u more u uvali Trstenik. Otvorena dionica potoka Trstenik na nizvodnom dijelu ima uređeno korito, a zona oko potoka ostala je neurbanizirana pa se tako danas tamo nalazi nekoliko obiteljskih kuća okruženih zaraslim poljoprivrednim površinama s potokom u sredini. Istočnije na Mertojaku nalazi se potok Radoševac, koji je tijekom urbanizacije zadržao otvoreno korito u gornjem dijelu te postao središnje mjesto u novonastalom parku uz zelenilo i rekreacijsku zonu. Malo istočnije od velikog trgovačkog centra (City Center One

Split) teče potok Kamen u smjeru Šina. Potok je zarastao u žbunje a okružen je maslinicima, poljima i pokojom kućom. Protoci u vodotocima su primarno uvjetovani oborinama, a koji se povećavaju za vrijeme jakih kiša.

Smanjenje prirodnih površina urbanizacijom smanjilo je mogućnost infiltracije oborine u tlo. Određena novonastala naselja u središnjem dijelu grada nemaju riješen sustav odvodnje oborinskih voda na ispravan način. Nadalje, pojedini stambeno-poslovni objekti izgrađeni su u novoformiranim „džepovima“ okruženi višim okolnim prometnicama a u kojima je onda onemogućeno prirodno površinsko otjecanje. Sve navedeno utječe na povećanje problema urbanih poplava na splitskom području.



Slika 4.5.4 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

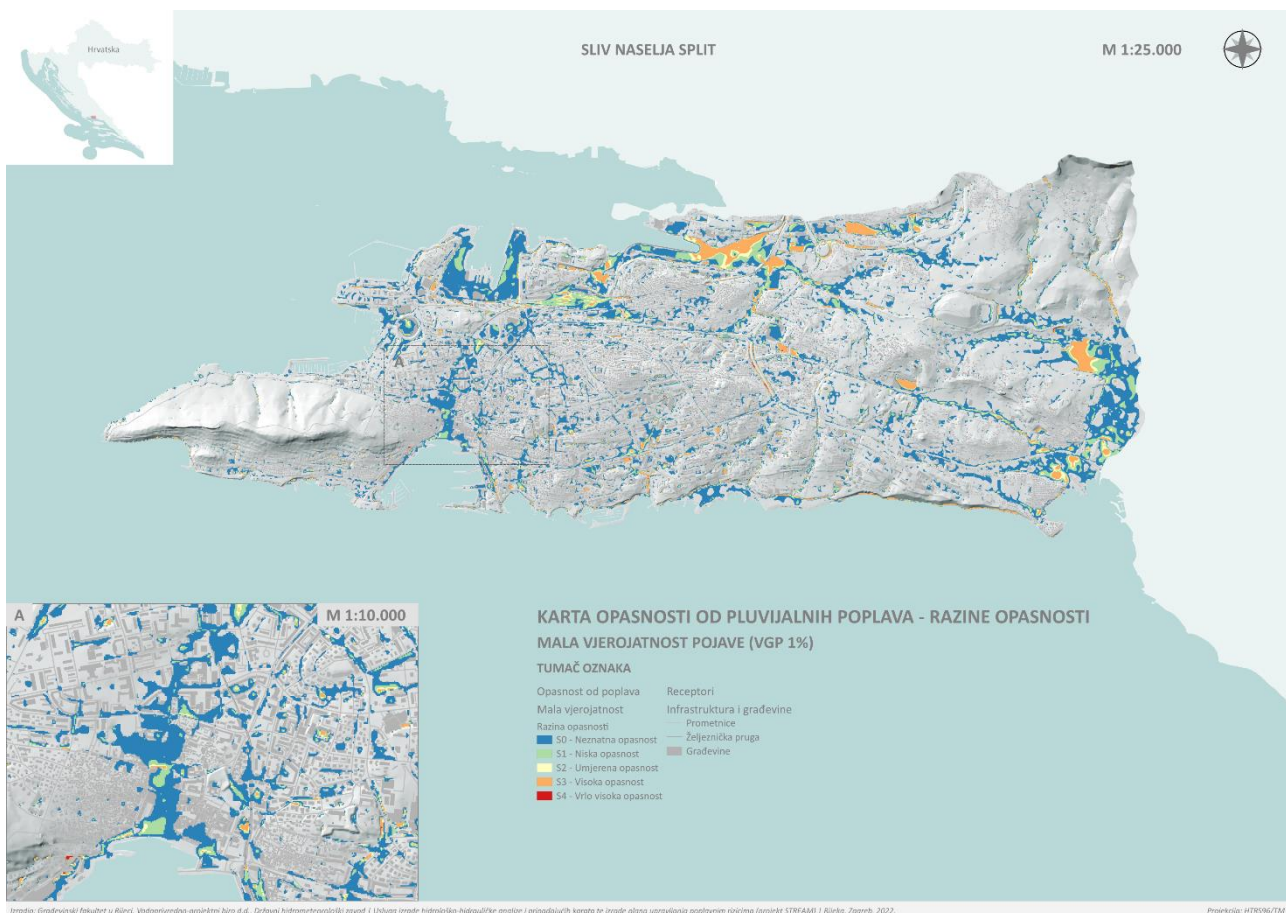


Slika 4.5.5 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

Prema rezultatima modela za malu vjerojatnost pojave (slike 4.5.4) i vatrogasnim intervencijama (Slika 4.5.2) rijetko koji dio Splita nema problema s plavljenjem i da je bez intervencija. S relativno manjim opasnostima od poplava izdvajaju se brdski dijelovi sliva (naselje Mravince) te viši dijelovi splitskog poluotoka (naselja Visoka i Brda).

Od većih površina pod opasnosti od poplava izdvajaju se:

- Na istočnom dijelu: dolina rijeke Žrnovnice, nizvodni dijelovi potoka Kamen kod Šina i Stobreča te niži dijelovi terena kod TTTS-a;
- Na sjevernom dijelu: zaobalje brodogradilišta Brodosplit, zaobalje kod Sjeverne luke, Bilice te ranžirni željeznički kolosijeci na Kopilici
- Na središnjem dijelu: Cankareva poljana i Marmontova ulica



Slika 4.5.6 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

Prometnice i pojedinačni objekti koji imaju zabilježenih problema s poplavljanjem podzemnih prostorija često su izgrađeni na nepovoljnim konfiguracijama terena zbog čega dolazi do zadržavanja površinskih oborinskih voda. Kao značajnije lokacije s gledišta opasnosti od poplava mogu se izdvojiti:

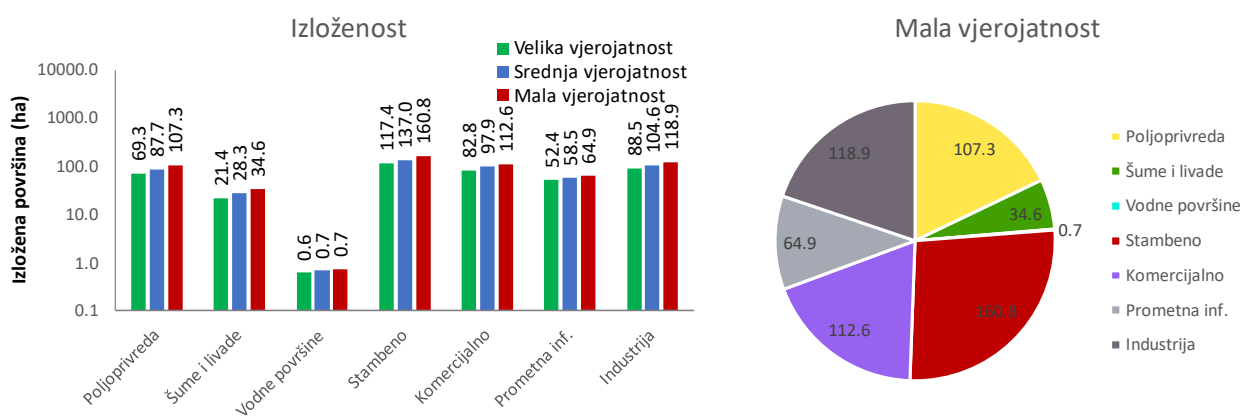
- Ulica Brune Bušića (visoki postotak nepropusnih urbaniziranih površine te neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)
- garaže u ulici Antuna Branka Šimića (učestale poplave vezane su pozicije garaža niže od okolnih cesta i slijevanje oborinskih voda s prometnice)
- Križanje ulice Domovinskog rada i Dubrovačke (prirodna depresija i neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)

- Kaštelanska ulica kod Poljuda (prirodna depresija i neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)
- garaža Brodarica kod Jokera (neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)
- parking ispred Školske poliklinike na Trgu Hrvatske bratske zajednice (neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)
- riva u Stobreču, šetnica u lučici Zenta, Obala Hrvatskog narodnog preporoda, ACI marina, lučica Spinut (visoke razine mora otežavaju otjecanje)

4.5.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Split

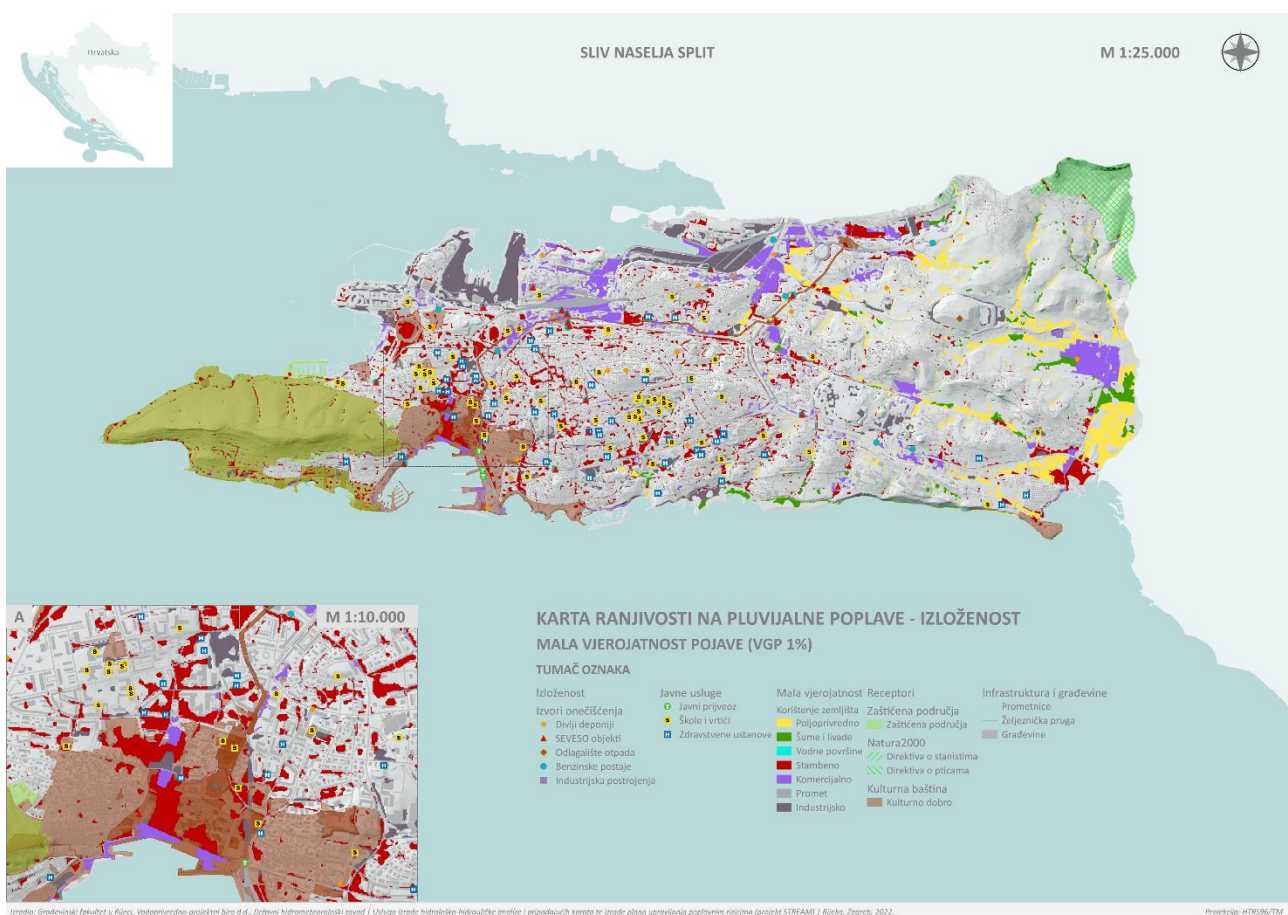
Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština.

Na Slici 4.5.7 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene izložene površine poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.5.8 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženost za malu vjerojatnost na pilot području Split.



Slika 4.5.7 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Split

Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Split iznosi 31,7 km². Poplavljeno područje iznosi 4,3 km² (13,6 %) za veliku vjerojatnost, zatim 5,1 km² (16,2 %) za srednju vjerojatnost te 6,0 km² (18,9 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza pokazuje se da je najveći udio poplavljenih površina ~27% stambenih površina, zatim je oko 20% industrijskih, 19 % komercijalnih te 17% poljoprivrednih površina, približno 11% je prometne infrastrukture, dok je poplavljeno oko 5 % šuma i livada. Čak i za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje površine od 117 ha stambene namjene, 88 ha industrijske, 83 ha komercijalne namjene te 69 ha poljoprivrednih površina.



Slika 4.5.8 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

Čvorište splitskog javnog prijevoza (pomorska luka, autobusni kolodvor) nalazi se u području u kojem je opasnost od poplava neznatna. Željeznički kolodvor može biti izložen pluvijalnim

poplavama ali je opasnost generalno mala. Glavna zdravstvena ustanova županije KBC Split na svoje sve tri lokacije (Firule, Križine, Marmontova) može biti ugrožena poplavama kao i oba doma zdravlja (Dom zdravlja željezničara, Dom zdravlja Split u Kavanjinovoj) te Hitna medicina i još nekoliko zdravstvenih objekata mogu biti izloženi poplavama, ali je svim objektima opasnost neznatna ili niska. Od ukupno 67 objekata obrazovnih ustanova na pilot području 11 ih može biti izloženo poplavama, ali je opasnost od poplava neznatna. Ipak, dvije ustanove (Pomorski fakultet i Osnovna škola Kamen-šine Split) imaju visoku razinu, a tri (Filozofski fakultet, Suvremeno učilište u Splitu, Učenički dom Split) nisku razinu opasnosti.

Od ukupno 18 benzinskih postaja na području, njih 3 može biti izloženo poplavi i od toga je s niskom razinom (BP u ulici Kralja Stjepana Držislava br 5.A u naselju Visoka) te jedna s visokom razinom opasnosti (BP u Hercegovačkoj ulici br 10 na Kopilici). Odlagalište otpada na Karepovcu je izvan opasnosti. Od 17 evidentiranih divljih deponija, dvije deponije kod TTTS-a su s visokom opasnosti od poplava.

Od zaštićenih područja izložena je Park šuma Marjan niskoj do visokoj razini opasnosti od poplava (ovisno o brzini vode). Poplavama je izložen veći broj pojedinačnih kulturnih dobara, arheoloških kulturnih dobara te kulturno-povijesna cjelina povijesne jezgre Split.

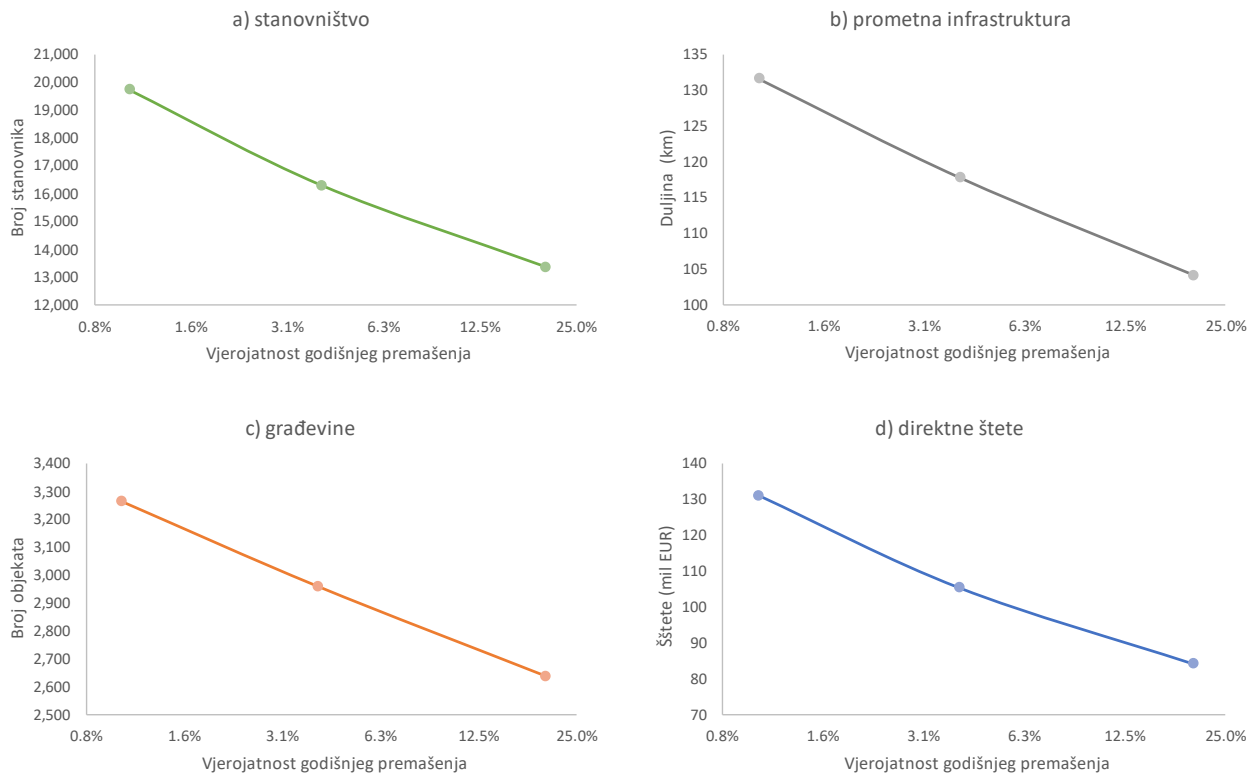
4.5.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Split

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Split. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazuju procjenu broja ugroženog stanovništva, duljine ugrožene prometne infrastrukture, broja ugroženih građevina kao iznos direktnih šteta od poplava (Slika 4.5.9).

Broj ugroženih stanovnika od poplava je u rasponu od 13.359 za VGP=20% do 19.741 za VGP=1%. Duljina ugrožene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 104 km za VGP=20% do 131 km za VGP=1%. Broj ugroženih građevina/objekata je u rasponu od 2.639 za VGP=20% do 3.264 za VGP=1%. Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 84 milijuna EUR (VGP=20%) do 131 milijun eura (VGP=1%).

Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za

različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.5.10.

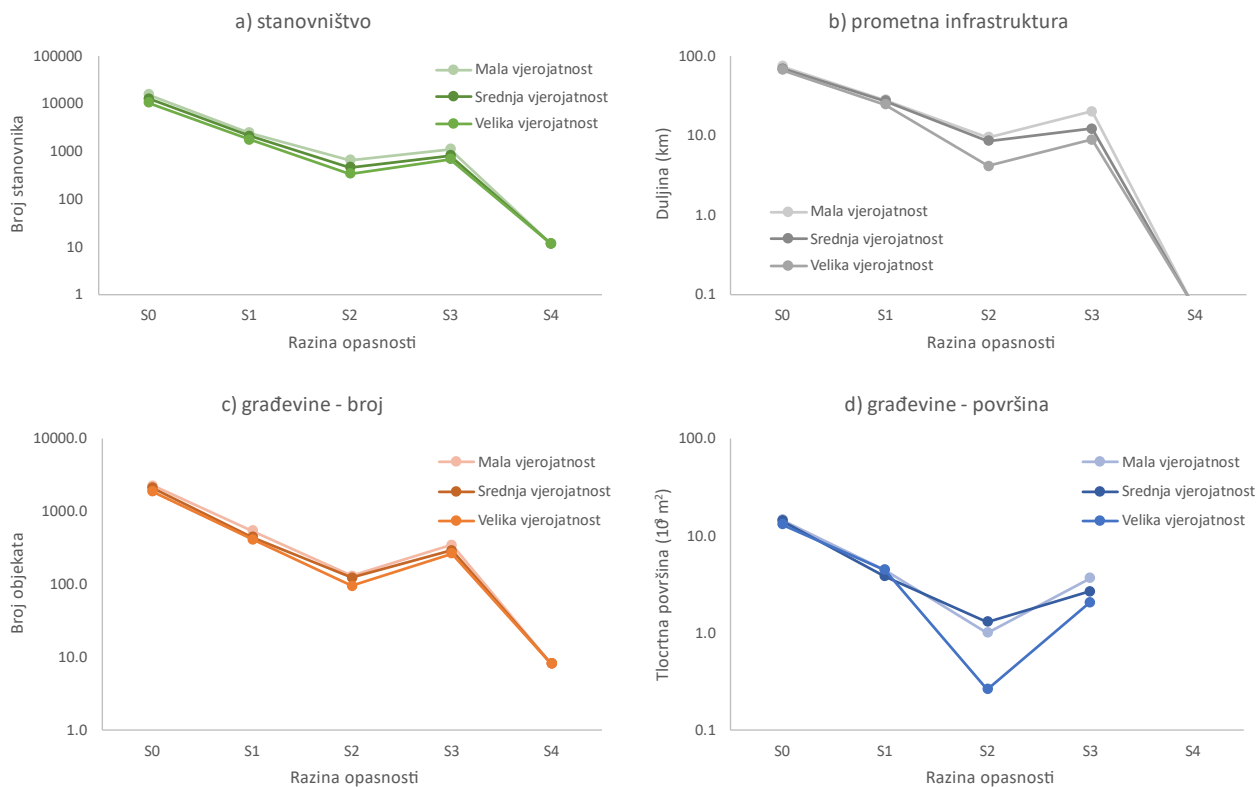


Slika 4.5.9 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Split.

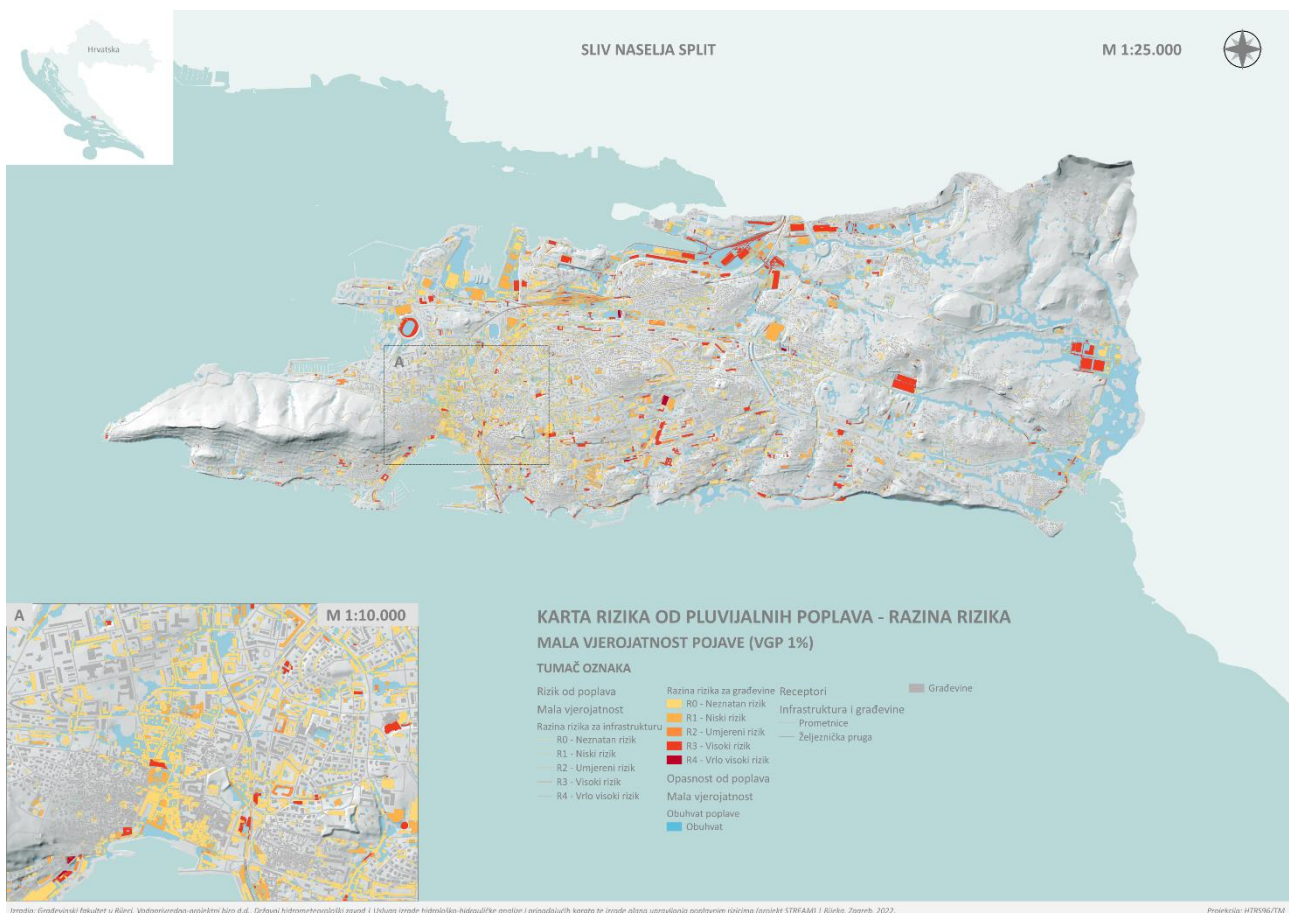
S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („nezatna razina rizika“). Broj receptora koji su izloženi umjerenoj ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine je manji, a radi se otprilike o 1.760 stanovniku, 30 km prometnica i 475 objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%). Vrlo visokoj razini rizika (S4) izloženo je 11 stanovnika, oko 50 m prometnica te 8 objekata.

Na Slikama 4.5.11 i 4.5.12 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost pojave. Na Slici 4.5.13. prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu

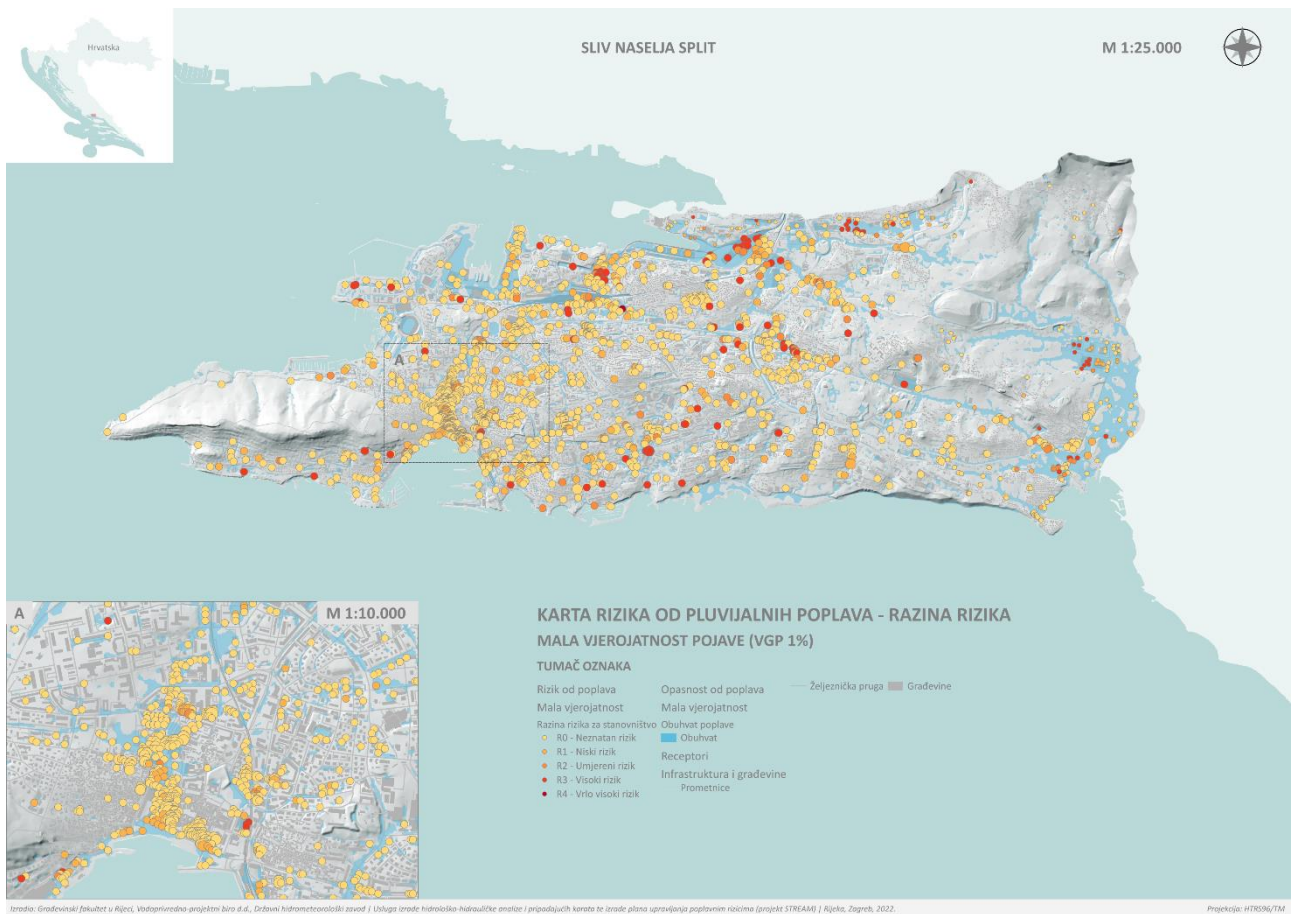
direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u središnjem dijelu splitskog poluotoka.



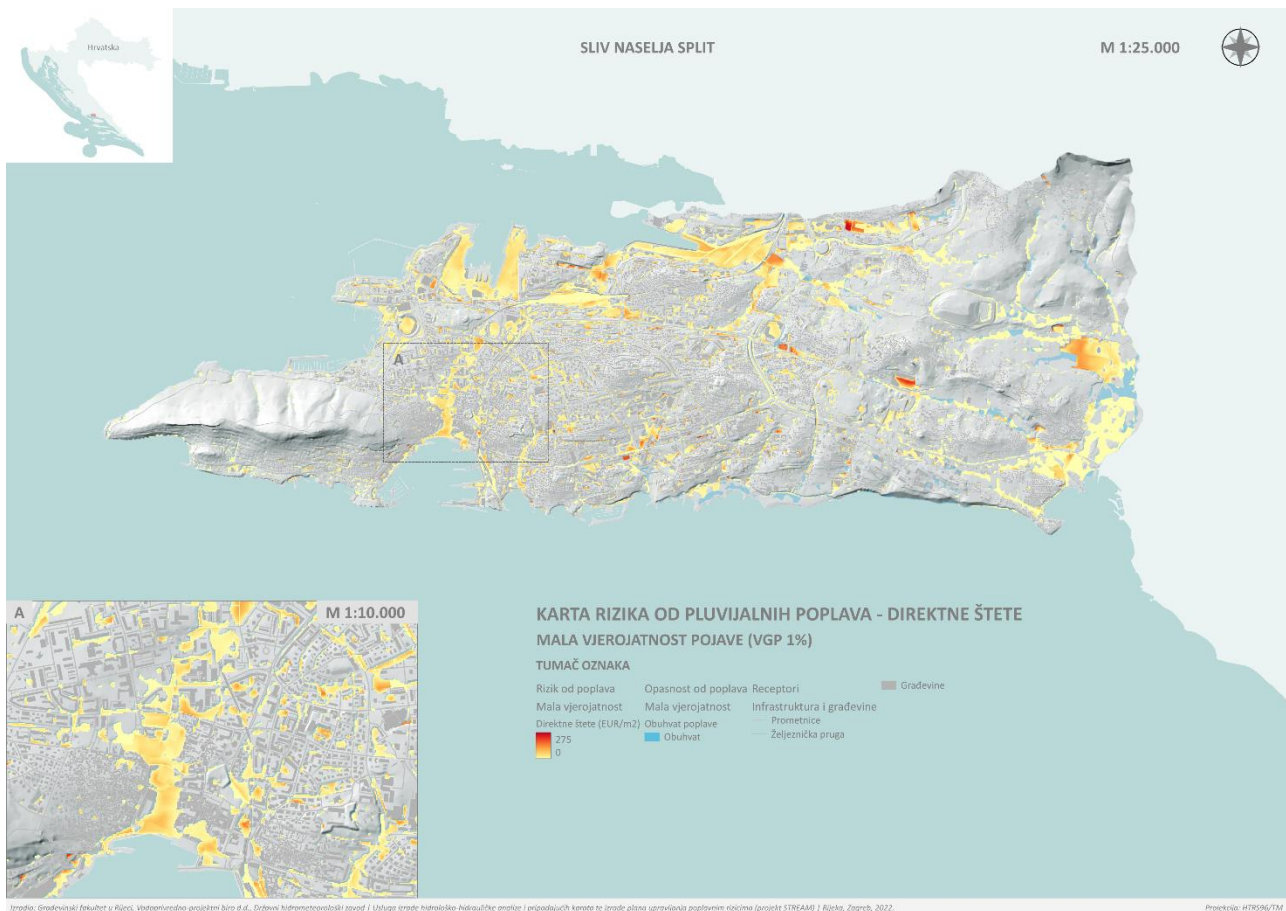
Slika 4.5.10 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Split.



Slika 4.5.11 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Split.



Slika 4.5.12 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

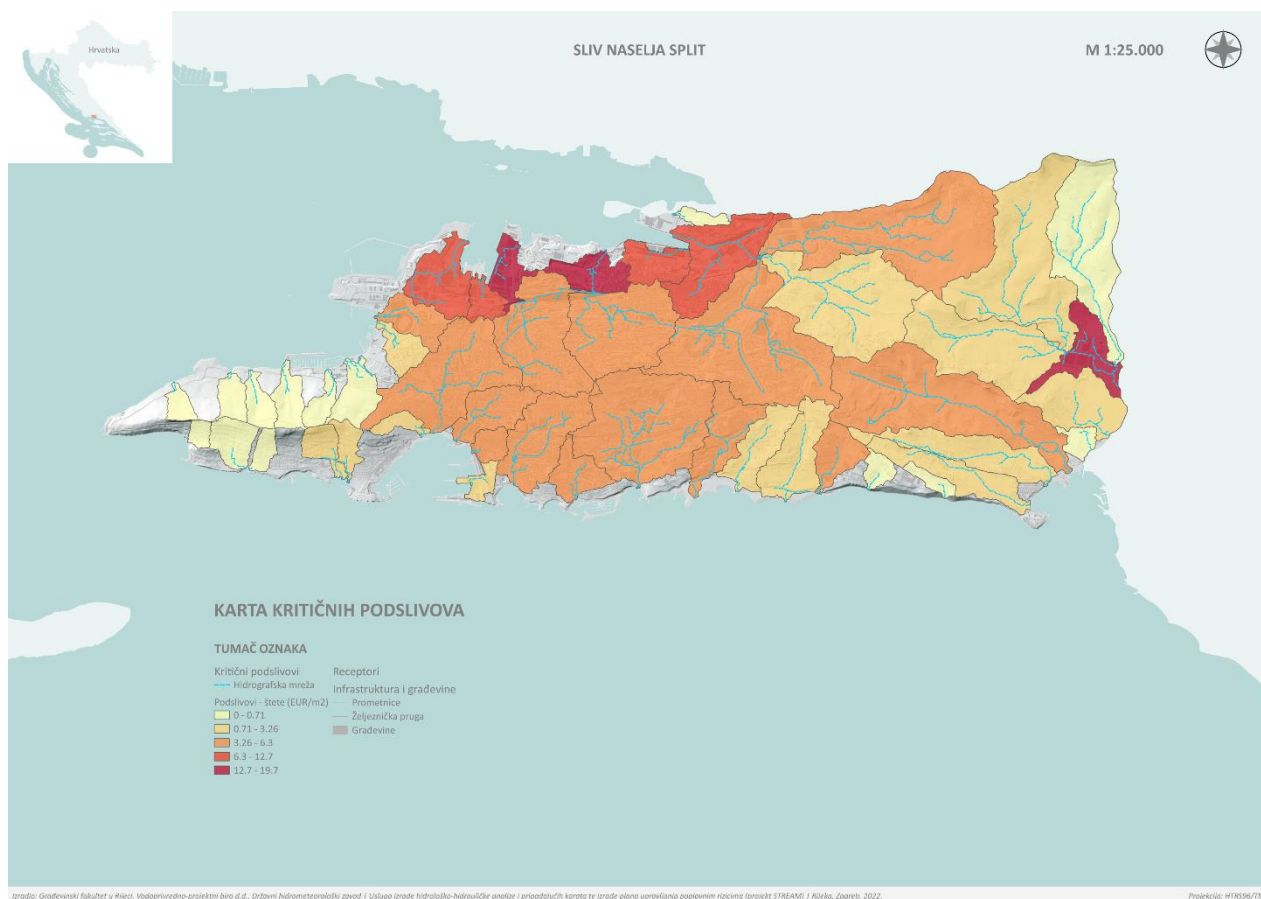


Slika 4.5.13 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

4.5.5 Kritični podslivovi na pilot području Split

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Split, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. “hotspots”) koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

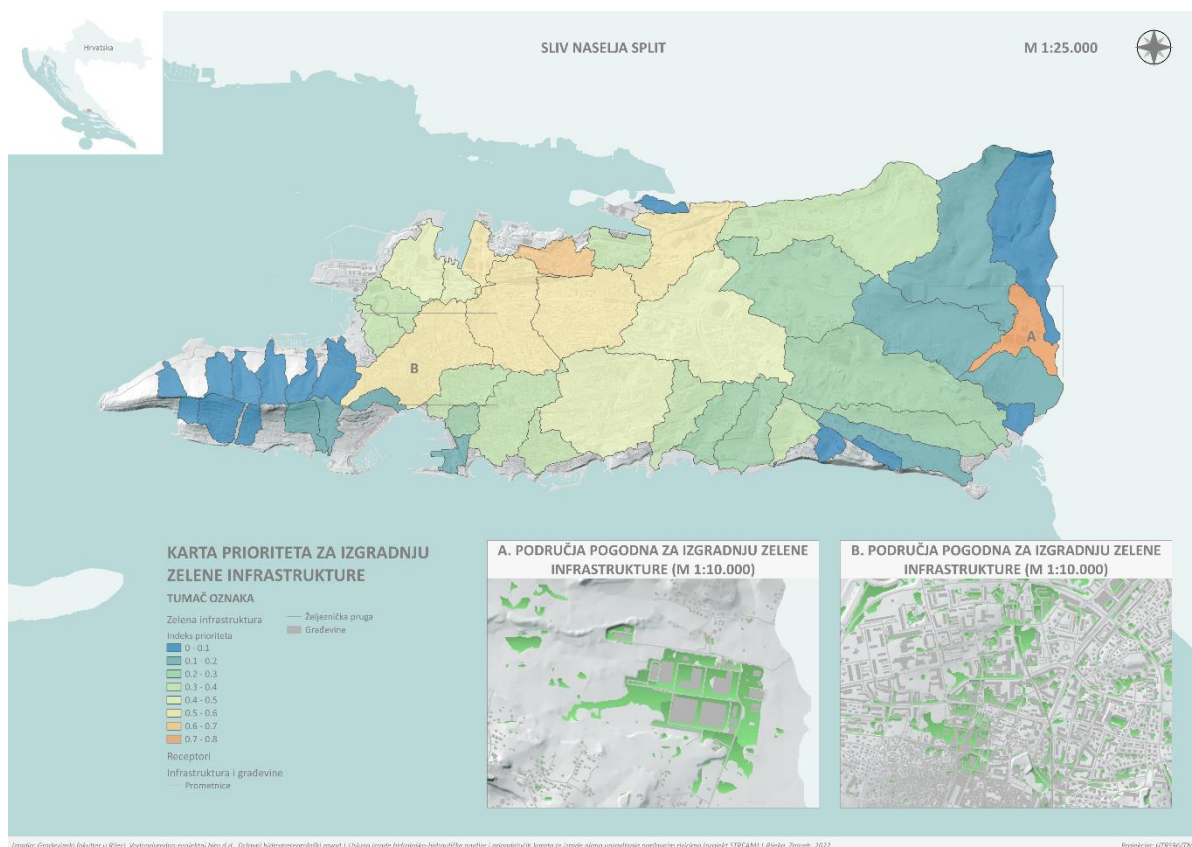
Na pilot području Split, podslivovi koji se nalaze unutar urbaniziranog dijela naselja Split imaju podjednaku razinu rizika s obzirom na štete od poplava (Slika 4.5.14). Najkritičniji podslivovi su smješteni na sjevernom dijelu poluotoka na području s visokim udjelom industrije. Također, kritičan je i podsliv u naselju Kamen, koji gravitira rijeci Žrnovnici.



Slika 4.5.14 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Split.

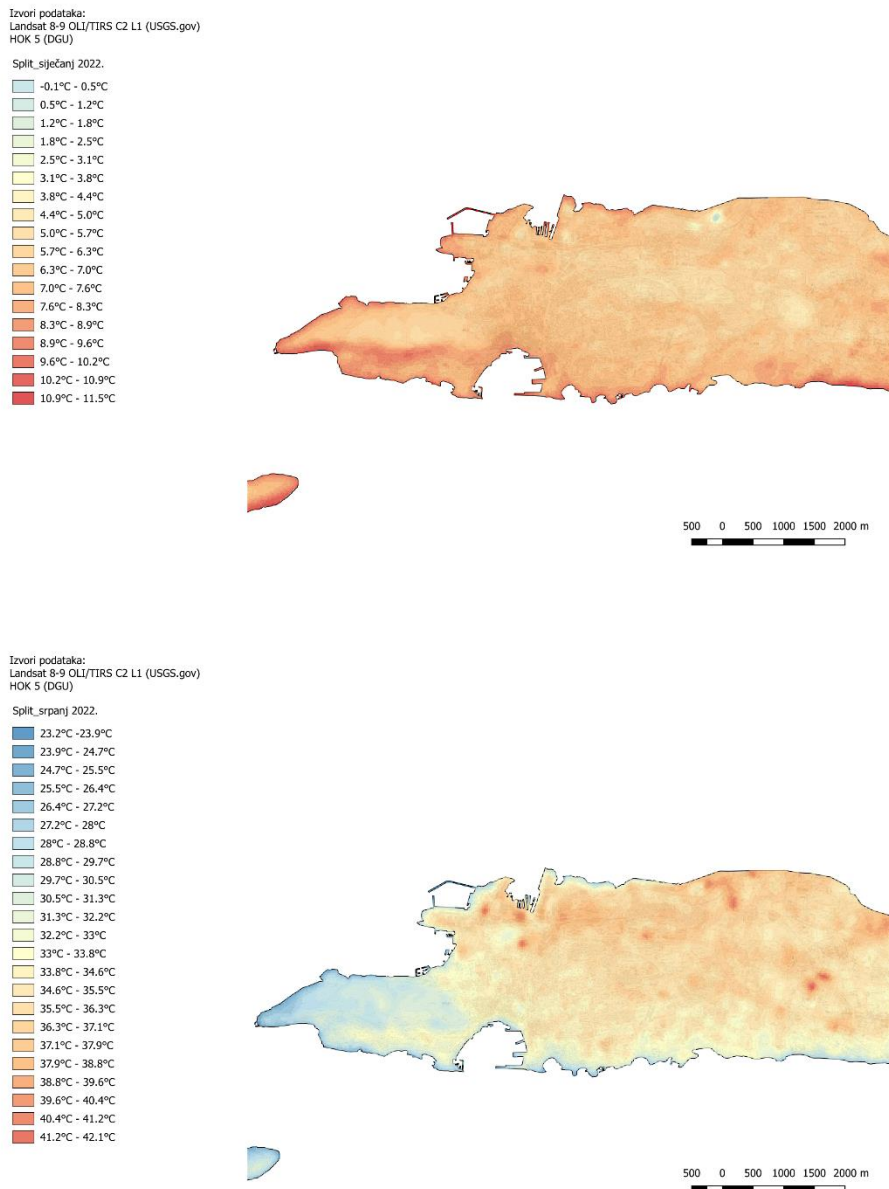
4.5.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Split

Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Split te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava. Na Slici 4.5.15 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima podsliv Trgovačko-transportnog terminala Split. Međutim, na ovom području većina urbaniziranih podslivova u centralnom dijelu poluotoka ima relativno visoki indeks prioriteta. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi konceptijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Split koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



Slika 4.5.15 Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Split.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklimе i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.5.16 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



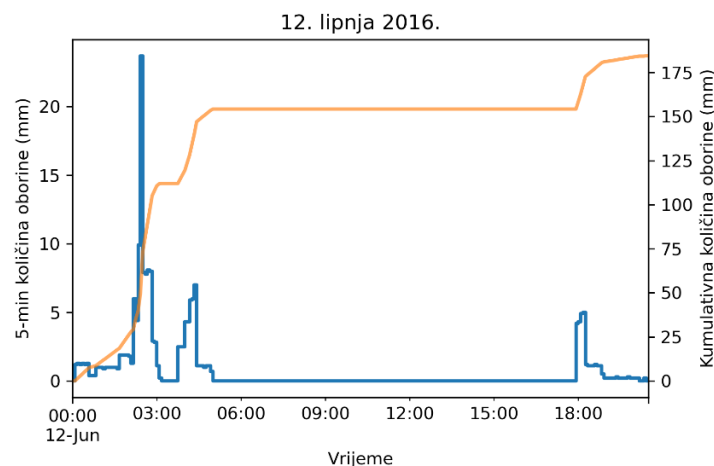
Slika 4.5.16. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Splita.

4.6 Pilot područje Metković

4.6.1 Povijesne poplave na pilot području Metković

Analiza povijesnih poplava na pilot području Metkovića provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije), prikupljenih podataka s različitih Internet izvora te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Treba napomenuti da su zabilježene poplavne površine na ovom području dostupne iz Registra poplavnih događaja za riječne poplave te prikupljenih podataka o poplavljenim površinama i lokacije vatrogasnih intervencija tijekom pluvijalnih poplava. Analizom oborina identificirane su tri ekstremne kišne epizode zabilježene na postaji Ploče u razdoblju 1968.-2020., to su kronološkim redom 25.-26. kolovoza 1995. godine, 11. rujna 2014. godine te 12. lipnja 2016. godine. Ekstremna oborina iz lipnja 2016. godine odabrana je za detaljniju analizu u nastavku ovog poglavlja, iako je modelska reanaliza poplava provedena za sve tri izdvojene oborine, a rezultati su dostupni u obliku dinamičke karte dubina vode u GIS okruženju. Treba napomenuti da navedeni kišni događaji ne koincidiraju s najvećim zabilježenim poplavama, koje su prvenstveno posljedice visokih vodostaja i protoka rijeke Neretve (fluvijalne poplave), a ne lokalnog površinskog otjecanja jakih oborina (pluvijalnih poplava).

Dana **12. lipnja 2016.** godine zabilježeno je 184 mm oborine na ombrografskoj postaji Ploče, dok je u samo jedan sat palo 84 mm oborine, a u tri sata 154 mm oborine (Slika 4.6.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave manju od 1%.



Slika 4.6.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene 12. lipnja 2016. godine na ombrografskoj postaji Ploče.

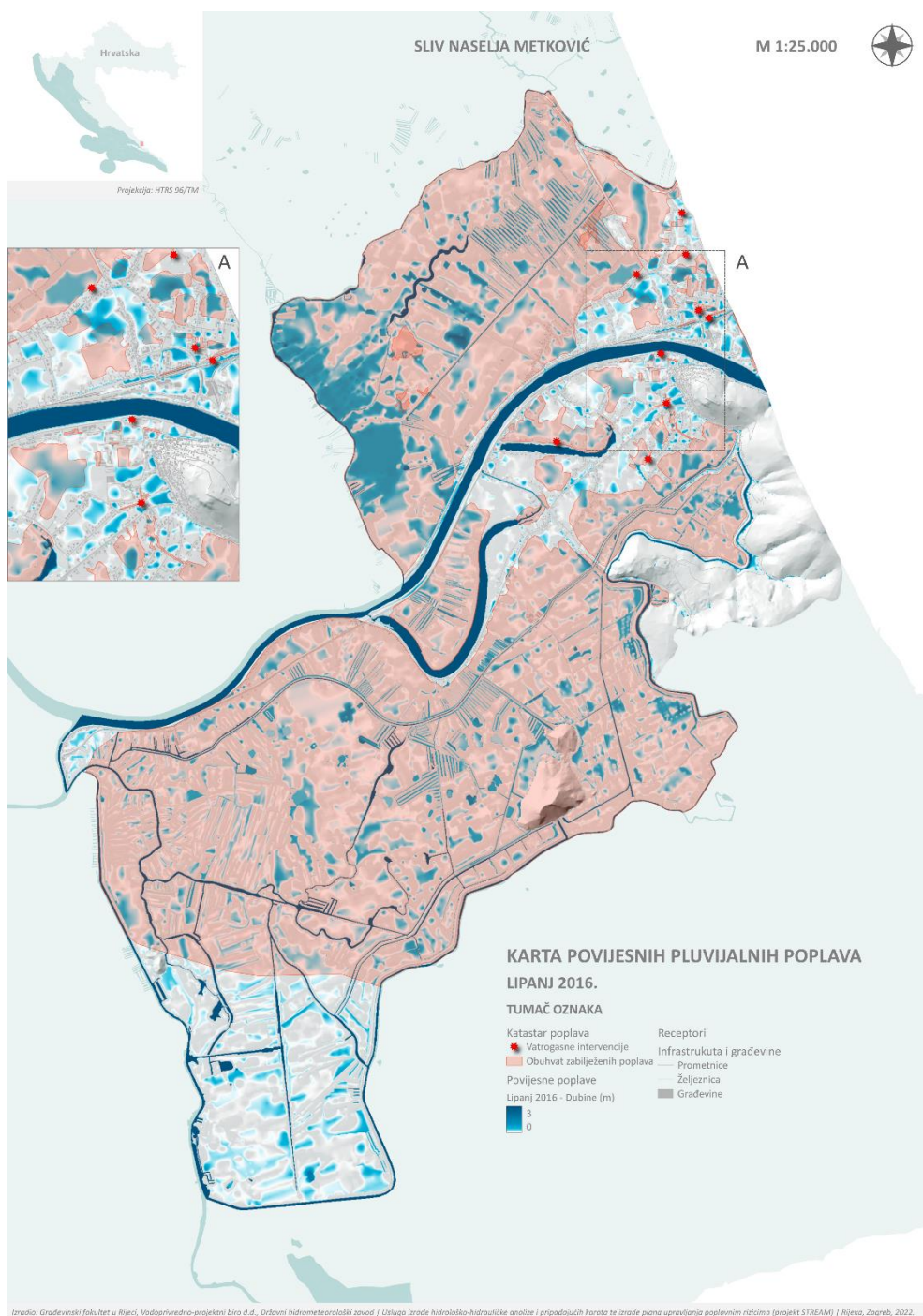
U nastavku se prikazuju informacije o četiri nezavisna poplavna događaja:

- Siječanj i prosinac 2010. godine kada je zabilježena značajna riječna (fluvijalna) poplava u Metkoviću uslijed visokog vodostaja rijeke Neretve. Za ovaj poplavni događaj dostupni su opisi iz novinskih članaka i obuhvat poplave iz Registra poplavnih događaja.
- Lipanj 2016. godine kada je zabilježena najjača oborina na postaji Ploče u razdoblju 1961.-2020. godine. Za ovaj događaj provedena je modelska reanaliza poplave u Metkoviću i dostupni su rezultati proračunatih dubina vode. Nažalost, za ovaj događaja nisu dostupni opisi niti fotografije posljedica poplave.
- Ožujak 2018. godine kada je također zabilježena jača oborina (iako znatno manja nego ona iz 2016. godine) te pluvijalna poplava. Za ovaj događaj dostupni su opisi i fotografije poplave.

Karta modelirane dubine vode za oborinu iz lipnja 2016. godine prikazana je na Slici 4.6.2. Na Slici se usporedno prikazuje i obuhvat pluvijalnih poplava i pojedine lokacije iz katastra poplava.

Opis i posljedice poplava iz siječnja i prosinca 2010. godine preuzeti su iz Meteorološkog i hidrološkog biltena DHMZ-a (2022). Treba naglasiti da se u oba slučaja radi o riječnom (fluvijalnom) tipu poplave, čiji je primarni uzrok visoki vodostaj Neretve, a ne otjecanje jakih oborina. Treba također napomenuti da je zabilježena poplave iz 2010. godine nastala prije izgradnje nasipa Jerkovac koji je integriran u model terena na osnovu kojeg su proračunate dubine pluvijalnih poplava za oborinu iz 2016. godine.

„Nasadi mandarina u dolini Neretve su pod vodom, jer je Neretva visoka. Pod vodom se našlo i naselje Komin. Voda je brzo nadirala, pa je u trenucima izbila panika. Obje strane Neretve su pod vodom. U Metkoviću su poplavljene brojne ulice, a pojedini dijelovi grada su pretvoreni u otoke. Cesta prema Splitu je zatvorena, nekoliko je obitelji evakuirano iz svojih kuća. Na snazi su redovite mjere obrane od poplava, ali i izvanredno stanje. U jedan dan napunjeno je 7000 vreća s pijeskom. Uslijed čestih i obilnih kiša voda izbija na brojnim točkama. Građani se koriste čamcima – trupicama, za redovno obavljanje poslova. 2000 kućanstava je poplavljeno. Poplavljeni su i neki granični prijelazi prema BiH. Jugo i visoko more usporavaju otjecanje rijeka. Voda za piće se mora prokuhavati, prijeti i zaraza jer su se kanalizacijske vode izlile. Neretva je kontinuirano rasla, pa je poplavljeno područje Metkovića bilo svakim danom sve veće. Prekinuta je nastava u školama. Proglašeno je stanje elementarne nepogode za dolinu Neretve, šteta je velika. Prva procjena nastalih šteta u dolini Neretve iznosi oko 80 milijuna kuna.“ Poplava iz siječnja 2010. godine (DHMZ, 2022).



Slika 4.6.2 Karta povijesnih poplava – modelska reanaliza pluvijalne poplave iz lipnja 2016. godine te obuhvat i lokacije fluvijalnih poplava iz katastra poplava – na pilot području Metković.

„U Metkoviću se u početku pod vodom našao dio grada na desnoj obali, drugi puta ove godine. Pod vodom su kuće i okućnice. Ponovo su se postavljali nasipi, postavljeno je oko 30 000 vreća s pijeskom. Voda je mjestimice bila duboka 30 cm do jednog metra. Voda izvire iz odvoda. Zbog vode na kolniku zatvorene su neke županijske ceste. Poplavljeno je i uže središte Metkovića. Voda je tamo duboka 40 cm. Neretva je postupno rasla, pa je tijekom vremena sve veći broj kuća poplavljivan, njih oko 1000. Ulicama se prometuje čamcima i u čizmama. Grad je ostao bez pitke vode, proglašeno je stanje elementarne nepogode. Prekinuta je nastava u školama, svi su poslovni prostori zatvoreni i ne rade. Postupno je Neretva plavila obje obale, na ulicama su samo plovila i interventne službe. Isključena je javna rasvjeta. Na desnoj obali je propalo u Neretvu 50 metara rive. Iz elektromreže su se isključivala domaćinstva ugrožena vodom. Granični prijelaz Doljani bio je zatvoren za promet. Probijen je nasip kod Kule Norinske. Poslije poplava počelo se sa dezinfekcijom Metkovića i ostalih poplavljenih mjesta. Ukupne štete se kreću preko 200 milijuna kuna, oštećene su ceste, objekti, poljoprivredna proizvodnja. Poplavljeno područje obišla je predsjednica vlade Jadranka Kosor. U kuće su se uvukle zmije, škorpijoni i glodavci. Nakon prolaska vodenog vala voda se sporo povlačila. Propalo je oko 25 000 tona mandarina.“. Poplava u prosincu 2010. godine (DHMZ, 2022).

Na Slici 4.6.3 prikazano je područje grada Metkovića, prikazuju se rezultati proračunate dubine za oborinu iz 2016. godine te fotografije nakon pluvijalne poplave 2018. godine. Tijekom 2016. godine zabilježen je porast vode unutar branjenog područja na desnoj obali. Tada su prvenstveno poplavile poljoprivredne površine te poneke prometnice. Glavni kanal Jerkovac je bio potpuno ispunjen vodom, koja se na nekim dijelovima prelijevala na bermu nasipa i poljski put s vanjske strane. Tijekom navedene poplave nije radila crpna stanica na Duvratu (CS Jerkovac), koja bi trebala crpiti vodu iz branjenog područja i transportirati je izvan nasipa. Međutim, ova crpna postaja se aktivira tek nakon proglašenja prvog stupnja obrane od poplava, koja je tijekom navedenog događaja dosegla maksimalnu vrijednost od 227 cm, što je ispod razine prvog stupnja obrane od poplava. Naime, postojeći sustav obrane od poplava dozvoljava porast unutrašnjih vodostaja do kote +2,20 m n. m., pri čemu se dopušta plavljenje poljoprivrednih površina.



Slika 4.6.3 Modelirana pluvijalna poplava u Metkoviću, lipanj 2016. Slike prikazuju poplavljena područja uz prometnicu Metković-Vid te uz kanal i nasip Jerkovac iz 2018. godine (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora).

4.6.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Metković

Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Metković provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slici 4.6.4. prikazan je shematski prikazan osnovnih elemenata sustava obrane od poplava (prema Provedbenom planu obrane od poplava), a na Slikama 4.6.5 – 4.6.7 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu pilot područja Metković te izdvojiti problematične lokacije. Generiranje pluvijalnih poplava na predmetnom području pored topografije terena i hidroloških rubnih uvjeta (vodostaj rijeke Neretve, Norino i Male Neretve, razina podzemnih voda) znatno je uvjetovano izgrađenim hidromelioracijskim sustavom i sustavom obrane od poplava (nasipi i crpne postaje, Slika 4.6.4). Područje predmetnog sliva nalazi se u dolini Neretve, pretežito je nizinskog karaktera s ujednačenim visinskim kotama i vrlo blagim nagibima terena. U okviru karakterizacije sliva razlikujemo područje desne i lijeve obale Metkovića.

Područje sliva na **desnoj obali** omeđeno je s južne strane koritom rijeke Neretve, sa zapadne i sjeverne strane koritom rijeke Norino i vodotokom Glibuša te s istočne strane granicom s BiH. Zbog prirodnog nagiba terena te orijentacije melioracijskih kanala, površinske vode prirodno otječu iz smjera urbaniziranog područja naselja Metković uz korito Neretve prema močvarnom području Vid-Norin, odnosno rijeci Norino. Nakon izgradnje nasipa Jerkovac, uspostavljeno je branjeno područje Metkovića na desnoj obali Neretve te je spriječen prodor vode iz smjera rijeke Norino (uslijed visokih vodostaja rijeke Neretve). Branjeno područje omeđeno je desnim obrambenim nasipom uz korito rijeke Neretve te obrambenim nasipom čija trasa ide uz postojeći kanal Duvrat od njegovog spoja s rijekom Neretvom do nasipa Jerkovac, gdje je smještena i crpna postaja Jerkovac (Slika 4.6.4). Nasip i kanal Jerkovac nastavljaju trasom prema cesti Metković-Vid. Nasip nastavlja uz navedenu prometnicu prema vodotoku Glibuša, nakon čega prati vodotok sve do državne granice s BiH. Završna dionica trase nasipa prolazi kroz Gabela Polje na prostoru susjedne države.

Izgradnjom nasipa Jerkovac presječen je prirodni pravac otjecanja oborinskih voda koje se sada skupljaju u (retencijskom) kanalu Jerkovac i odvođe do CS Jerkovac na Duvratu (Slika 4.6.3). Međutim, CS Jerkovac nije predviđena za odvodnju oborinskih voda iz branjenog područja, već samo

za odvodnju viška vode za vrijeme obrane od poplava (Građevinski fakultet u Splitu, 2002.). Način odvodnje, plan rada i održavanja nivoa, retencije i crpljenja su u režimu aktivne obrane od poplava, pa su unutrašnji vodostaji u funkciji vanjskih vodostaja i stabilnosti nasipa. Pritom, maksimalna unutrašnja poplava za vrijeme redovne obrane od vanjskih voda je + 2,20 m n. m. Prema Glavnom projektu obrane od poplava Grada Metkovića – desna obala rijeke Neretve (Građevinski fakultet u Splitu, 2002.) evakuacija oborinskih i vlastitih površinskih voda iz branjenog područja predviđena je putem žabljih poklopaca u nasipu prema rijeci Neretvi, ustave u nasipu Jerkovac kod CS Jerkovac te propustima u nasipu prometnica Metković-Vid te poljskih puteva koje spajaju urbanizirano područje naselja Metković i močvaru Vid-Norin. Utjecaj CS Veraja je stoga zanemaren u okviru predmetnih analiza opasnosti do pluvijalnih poplava.

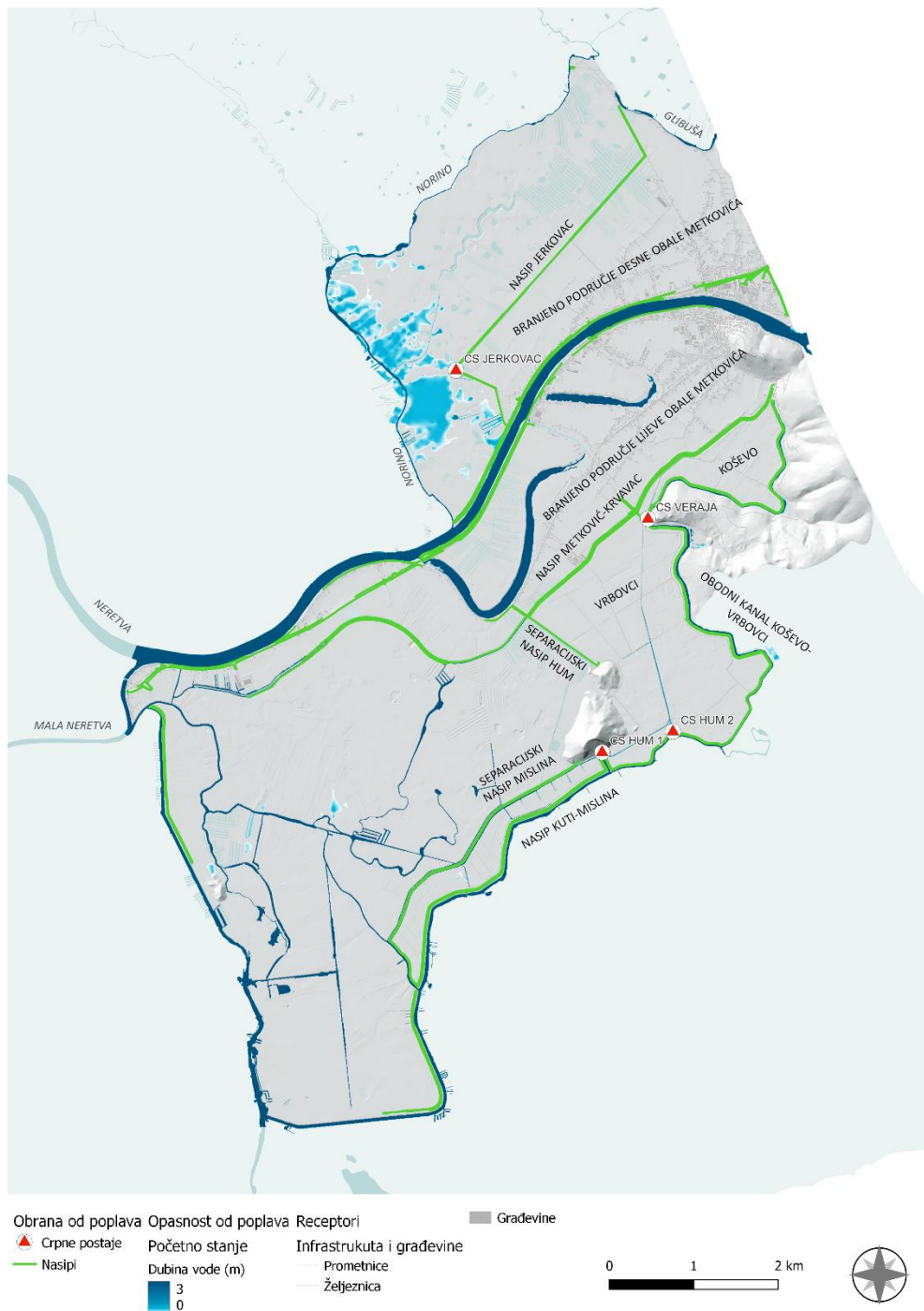
Većina prometnica unutar urbaniziranog područja izgrađena je na nasipima ili prirodno izdignutim područjima. Stambeni objekti su također izgrađeni na višim kotama uz prometnice. Na ovaj su se način u prirodnim depresijama koje su omeđene prometnicama formirali „bazeni“ unutar kojih se oborinske vode zadržavaju te infiltriraju u tlo ovisno o razini podzemne vode i zasićenosti tla. Stoga se najveće dubine vode javljaju upravo u neizgrađenim područjima između prometnica. Brzine vode su vrlo male zbog blagih nagiba terena, a najviše razine opasnosti se javljaju u područjima najvećih dubina akumuliranih površinskih voda.

Područje sliva na **lijevoj obali rijeke Neretve** obuhvaća urbanizirano područje naselja Metković te tradicionalne melioracije uz rijeku Neretvu, nova meliorirana područja Koševo – Vrbovci te još nemeliorirano područje Kuti. Na ovom području mogu se izdvojiti dvije cjeline: a) branjeno područje grada Metkovića koje je omeđeno lijevim obrambenim nasipom uz korito rijeke Neretve na sjeveru te nasipom Metković – Krvavac na jugu, b) branjeno područje Koševo – Vrbovci koje je od poplavnih voda rijeke Neretve zaštićeno nasipom Metković – Krvavac, od poplavnih voda područja Kuti separacijskim nasipom Hum – cesta Metković – Klada, dok je od brdskih i izvorskih voda, zaštićeno obodnim nasipom i lateralnim kanalom Koševo – Vrbovci (Slika 4.6.4).

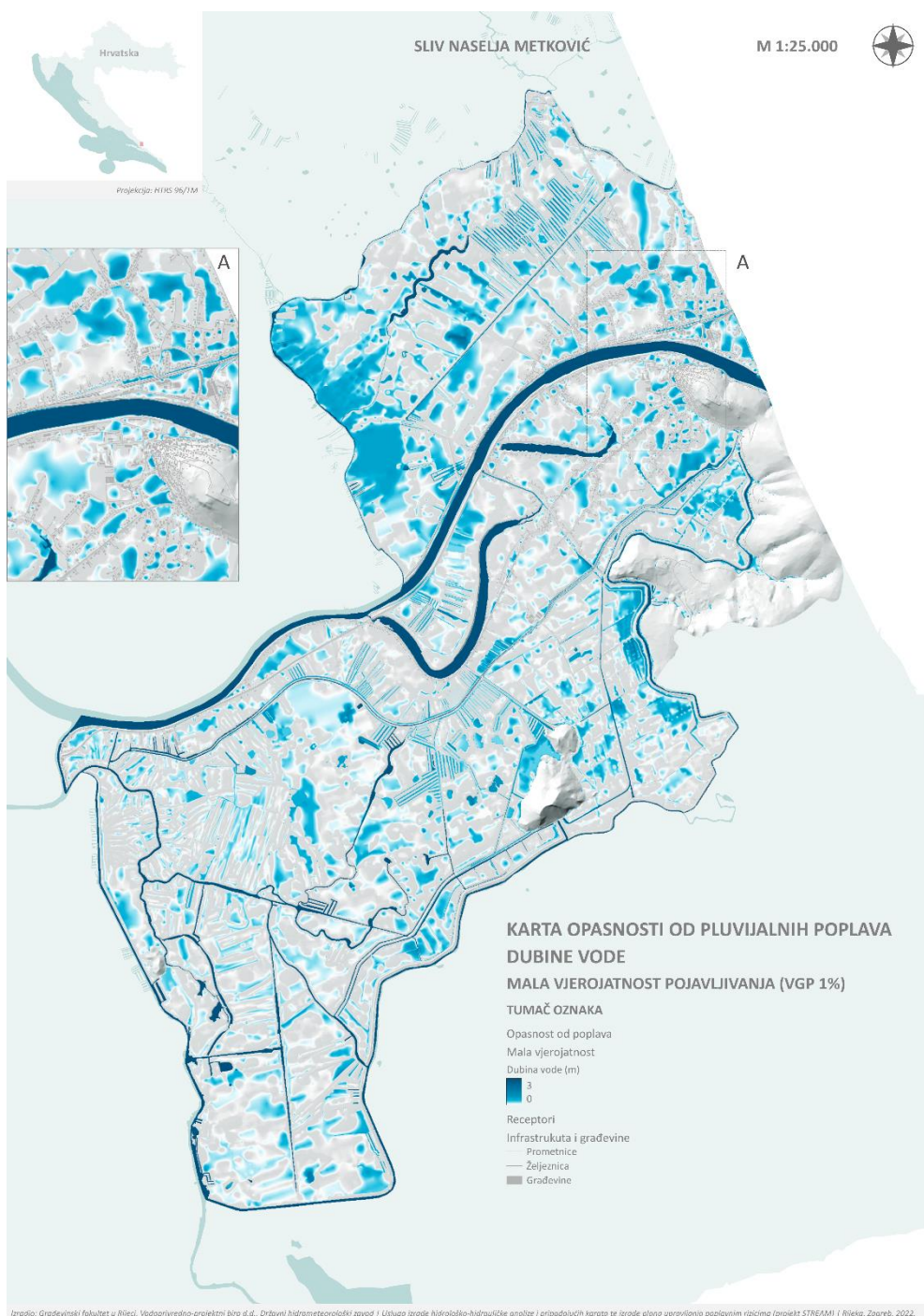
Proces površinskog otjecanja viška oborinskih voda na desnoj obali grada Metkovića vrlo je slično kao i na desnoj obali. Prometnice i objekti unutar urbaniziranog područja izgrađeni su na nasipima ili prirodno izdignutim područjima, uslijed čega se u depresijama između prometnica formiraju „bazeni“ unutar kojih se oborinske vode zadržavaju te infiltriraju u tlo ovisno o razini podzemne vode i zasićenosti tla. Stoga se najveće dubine vode javljaju upravo u neizgrađenim područjima između prometnica. Brzine vode su vrlo male zbog blagih nagiba terena, a najviše razine opasnosti se javljaju u područjima najvećih dubina akumuliranih površinskih voda.

Odvodnja hidromelioracijskog područja Koševo riješena je posebnom crpnom stanicom CS Veraja, a kroz regulacijsku ustavu na separacijskom kanalu moguće je dio voda usmjeriti ka susjednom području Vrbovci odnosno prema crpnoj stanici Hum. Crpna stanica Veraja završena je 1957. Voda se crpi iz usisnog bazena na koti -2,60 m n.m. na kotu +3,40 m n.m. u lateralni kanal Koševo-Vrbovci. Pod crpne stanice je na koti +3,20 m n.m. Ovom crpnom stanicom moguće je evakuirati dotok specifičnog doticanja od 7,5 l/s/ha za zadanu površinu kapacitetom 2,2 m³/s. U predmetnim analizama, razmatrana je kritična situacija u kojoj je crpna stanica ne radi te se stoga višak oborinske vode zadržava na poljoprivrednim površinama i odvodnim kanalima.

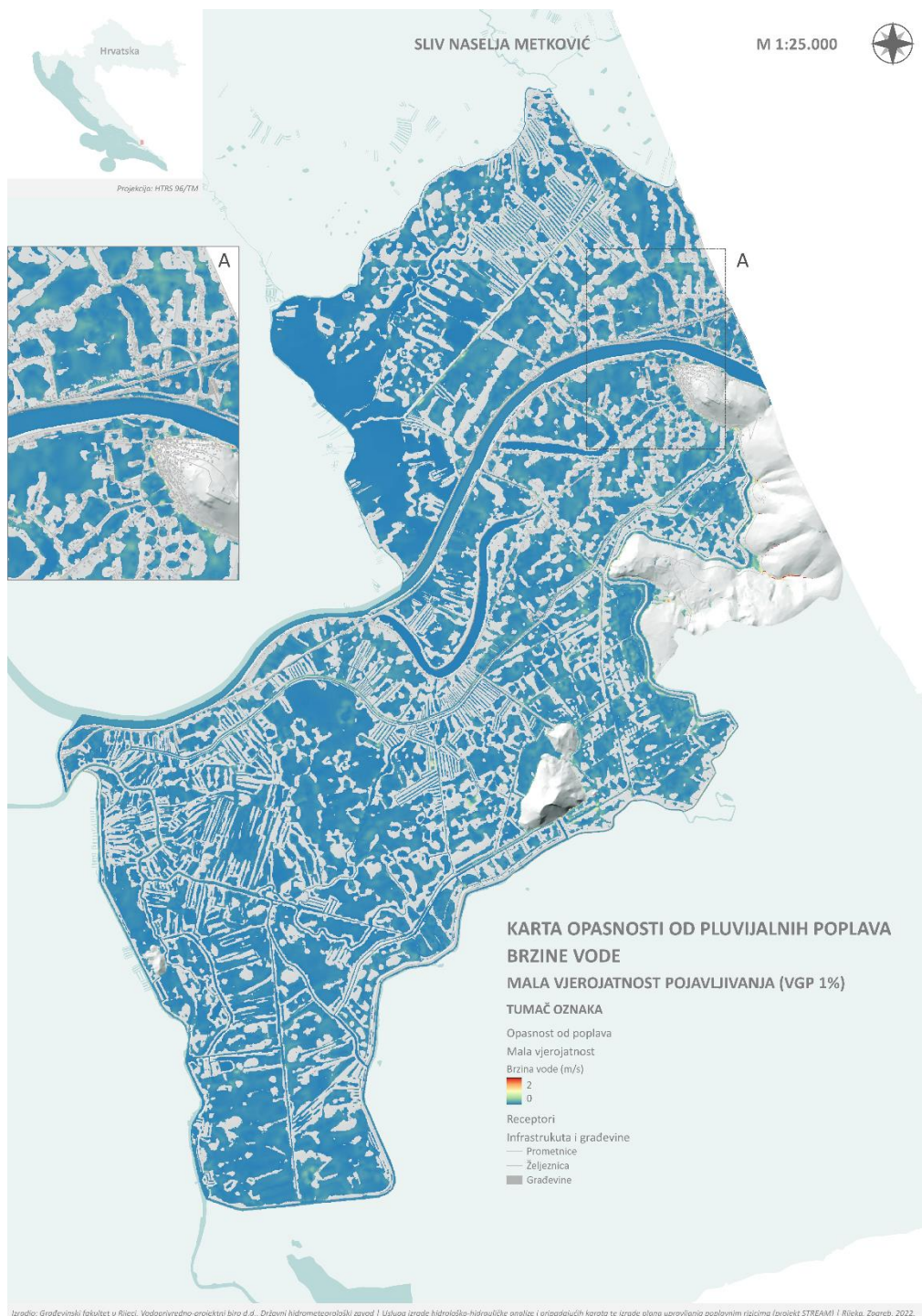
Odvodnja hidromelioracijskog sustava Vrbovci riješena je s dvije crpne postaje CS Hum 1 i CS Hum 2. Glavni kanal završava u usisnom bazenu CS Hum 1 koja je locirana uz brdo Hum te iz glavnog kanala crpi vodu u Rijeku Mislinu. Sadašnji kapacitet osigurava odvodnju od 7 l/s/ha. Prije rekonstrukcije 1964-1965, kapacitet je procijenjen na 2,04 m³/s, međutim rekonstrukcijom je kapacitet pojačan na 3,70 m³/s. Nažalost, ni nakon rekonstrukcije crpne stanice Hum 1 nije postignuta zadovoljavajuća dubina odvodnje. Crpna stanica Hum 1 tako je ostala za crpljenje velikih količina do kote -1,70 m n.m. Slijedeću razliku do kote -1,00 m n.m. crpka od godine 1968. nova plivajuća CS Hum 2 na čeličnom pontonu na lokaciji Medarevine. U predmetnim analizama, također je razmatrana kritična situacija u kojoj crpne stanice ne rade te se stoga višak oborinske vode zadržava na poljoprivrednim površinama i odvodnim kanalima. Brzine vode su i ovdje vrlo male zbog blagih nagiba terena, a najviše razine opasnosti se javljaju u područjima najvećih dubina akumuliranih površinskih voda.



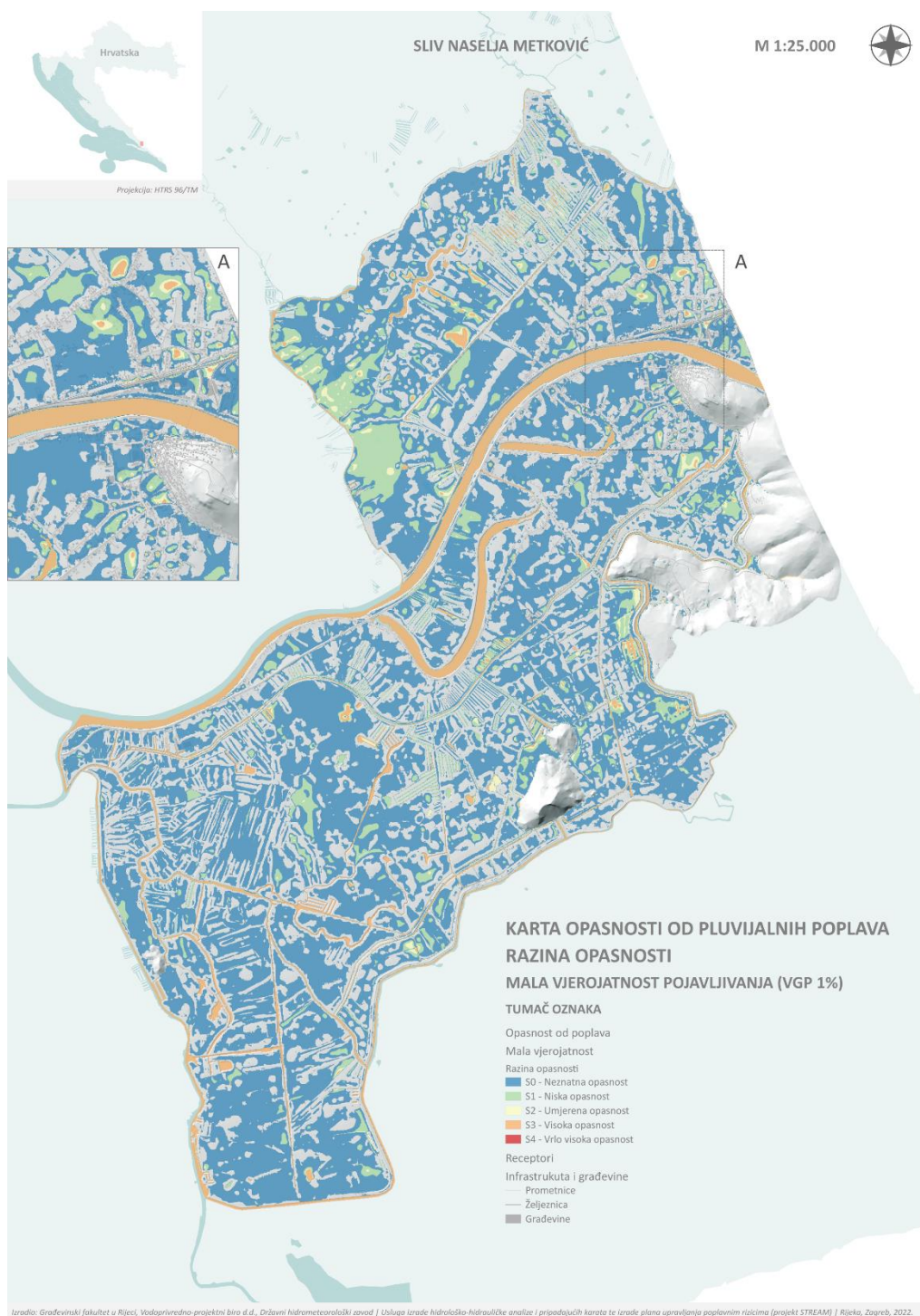
Slika 4.6.4 Shematski prikaz osnovnih elemenata sustava obrane od poplava i branjenih područja na pilot području Metković



Slika 4.6.5 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.



Slika 4.6.6 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.

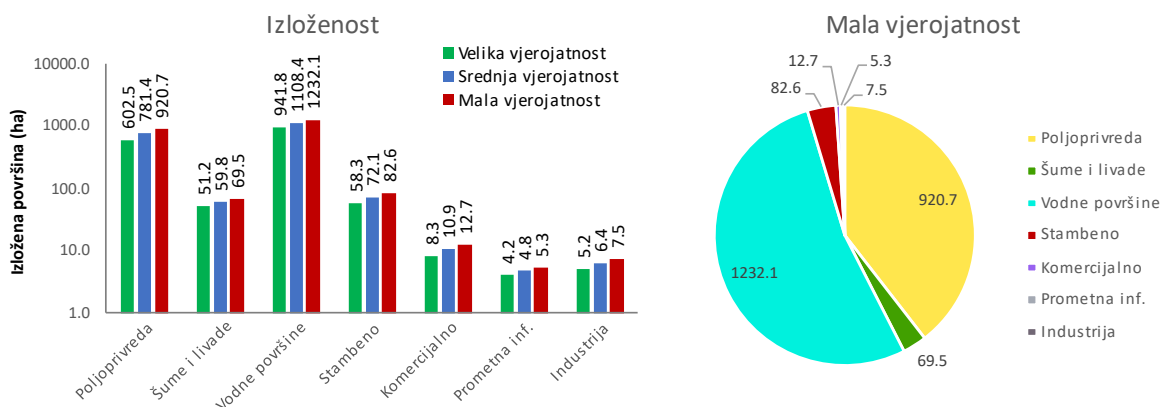


Slika 4.6.7 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.

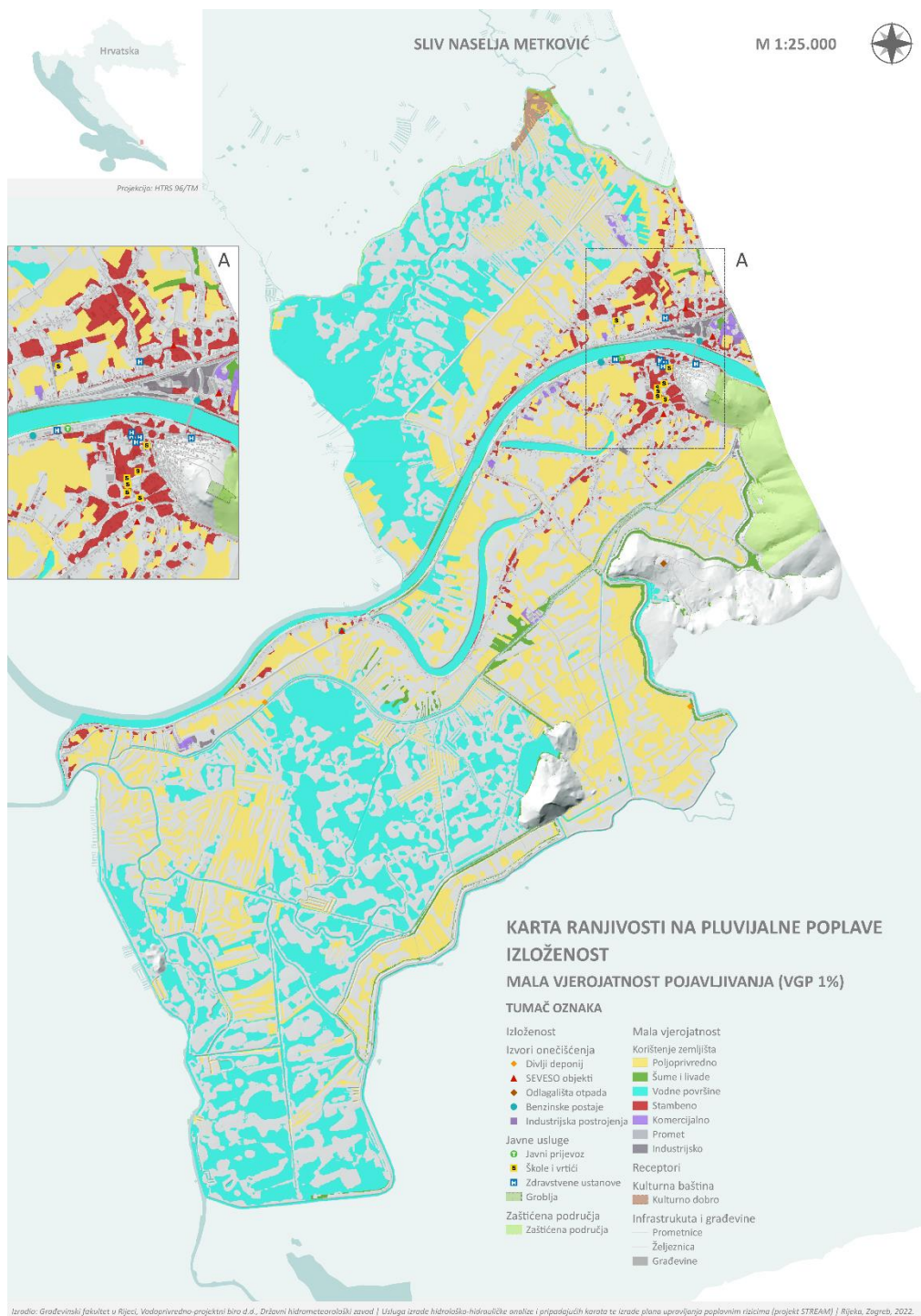
4.6.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Metković

Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost te svi identificirani receptori iz kategorije javne usluge, potencijalni izvori onečišćenja, zaštićena područja i kulturna baština. Na Slici 4.6.8 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene površine izložene poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave. Na Slici 4.6.9 prikazan je primjer statičke karte ranjivosti, odnosno izloženosti za malu vjerojatnost na pilot području Metković. Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Metković iznosi 51,5 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 16,7 km² (32 %) za veliku vjerojatnost, 20,4 km² (40 %) za srednju vjerojatnost i 23,3 km² (45 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina čini mreža melioracijskih kanala, močvarno područje te vlažna staništa. Znatan udio poplavljenih površina je poljoprivredne namjene (38 %), dok je stambenih, komercijalnih, prometnih i industrijskih površina zajedno ispod 10 %.

Što se tiče javnih usluga, sve zdravstvene ustanove, vrtići, škole i autobusni kolodvor nalaze se u području gdje je opasnost od poplava neznatna. Svi potencijalni izvori onečišćenja nisu izloženi opasnosti od poplava, uz iznimku dvije lokacije divljeg deponija koje se prijavljene da se nalaze uz obodni kanal Vrbovci – Koševo te uz glavni kanal Vrbovci – Koševo. Gotovo cijelo područje predmetnog sliva je dio je ekološke mreže Natura2000 (koja nije prikazana na karti zbog bolje vidljivosti preostalih elemenata).



Slika 4.6.8 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Metković.

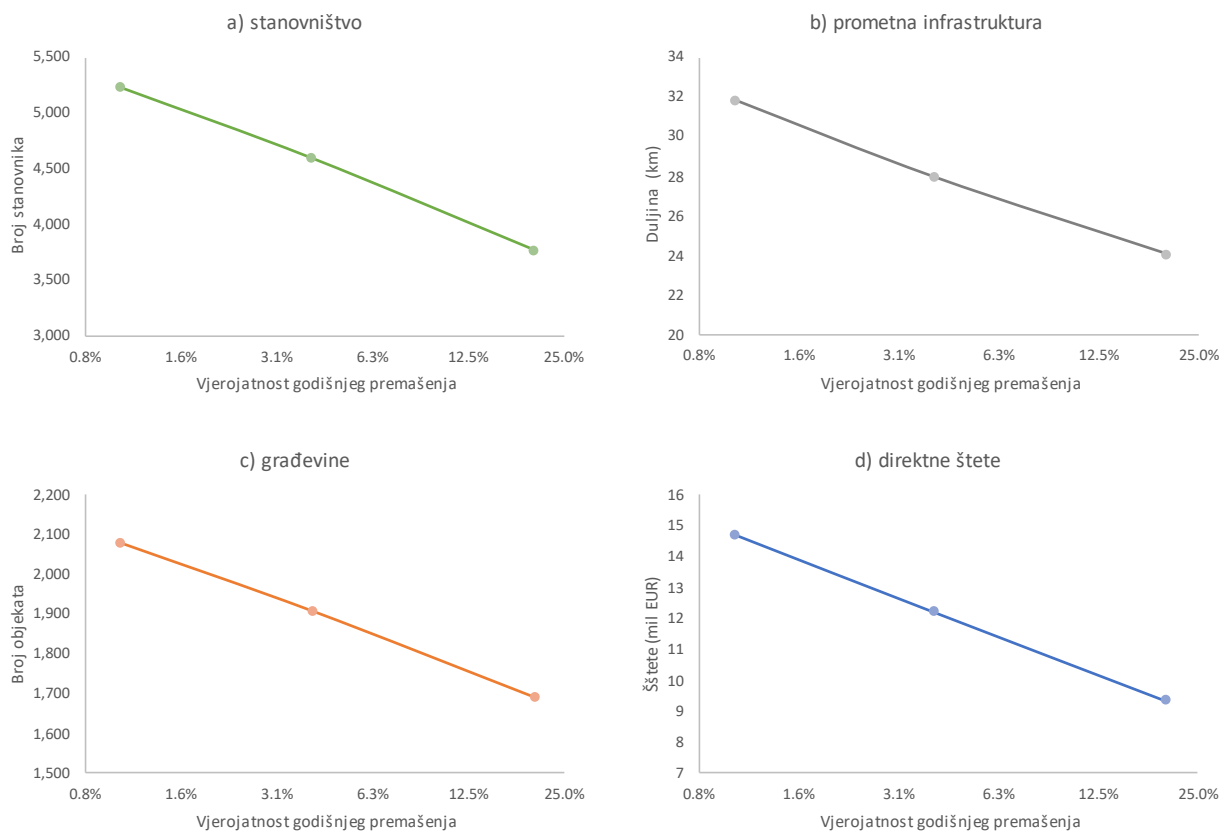


Slika 4.6.9 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.

4.6.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Metković

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Metković. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.6.10 s procjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljene duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava.

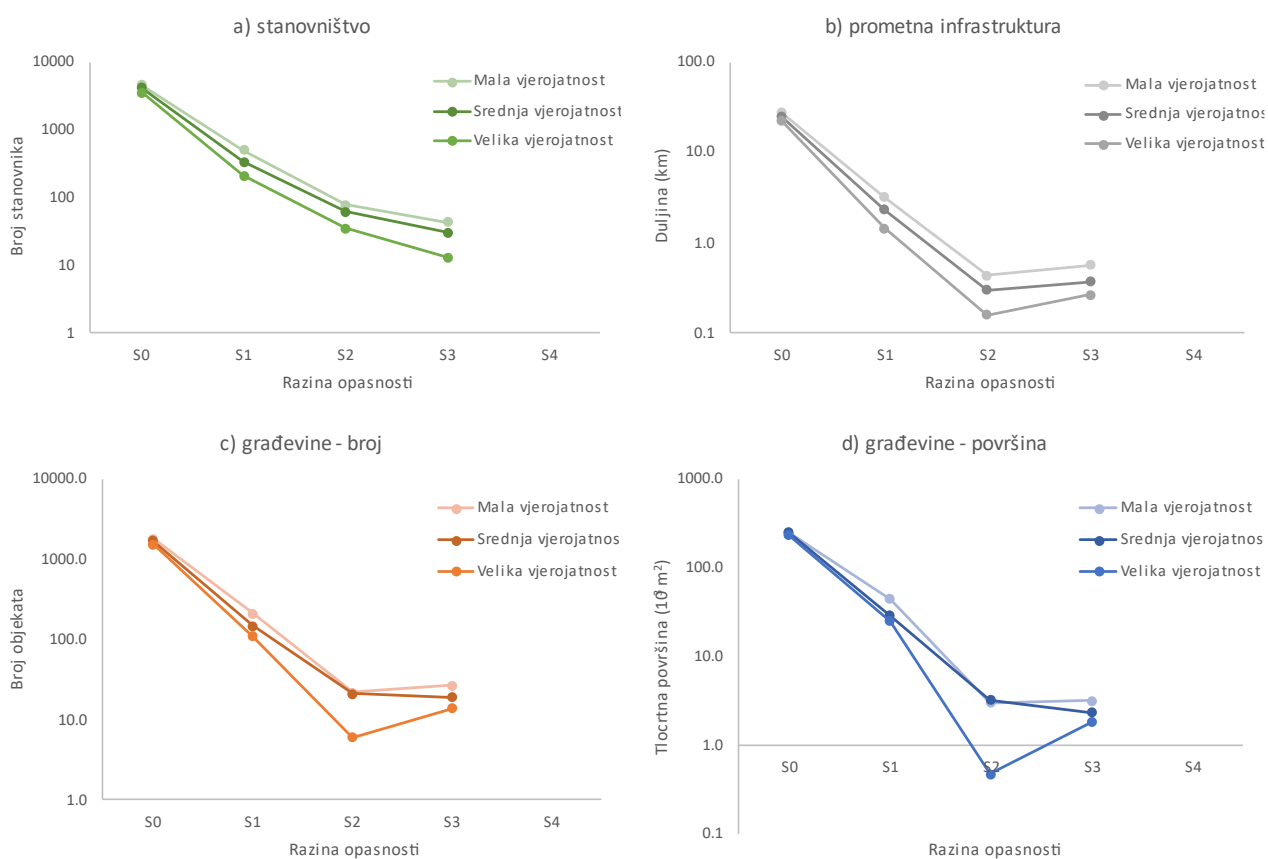
Broj stanovnika pogođenih poplava je u rasponu od 3.772 stanovnika (VGP=20%) do 5.235 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 24 km (VGP=20%) do 32 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 1.690 (VGP=20%) do 2.078 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 9,3 milijuna EUR (VGP=20%) do 14,7 milijuna eura (VGP=1%).



Slika 4.6.10 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Metković.

Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za različite razine opasnosti prema tri vjerojatnosti te su im sukladno opasnostima pridodane i razine rizika. Rezultati ove analize prikazani su na Slici 4.6.11.

S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („nezatna razina rizika“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenoj ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji. Radi se otprilike o 125 stanovnika, 1,0 km prometnica i 50ak objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%). Vrlo visoke razine rizika od pluvijalnih poplava (R4) nema na predmetnom području.



Slika 4.6.11 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Metković.

Na Slikama 4.6.12 i 4.6.13 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.6.14 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u urbanom dijelu naselja Metković. Međutim, najveći broj pogođenih poljoprivrednih površina nalazi se unutar branjenog područja Koševo i Vrbovci.

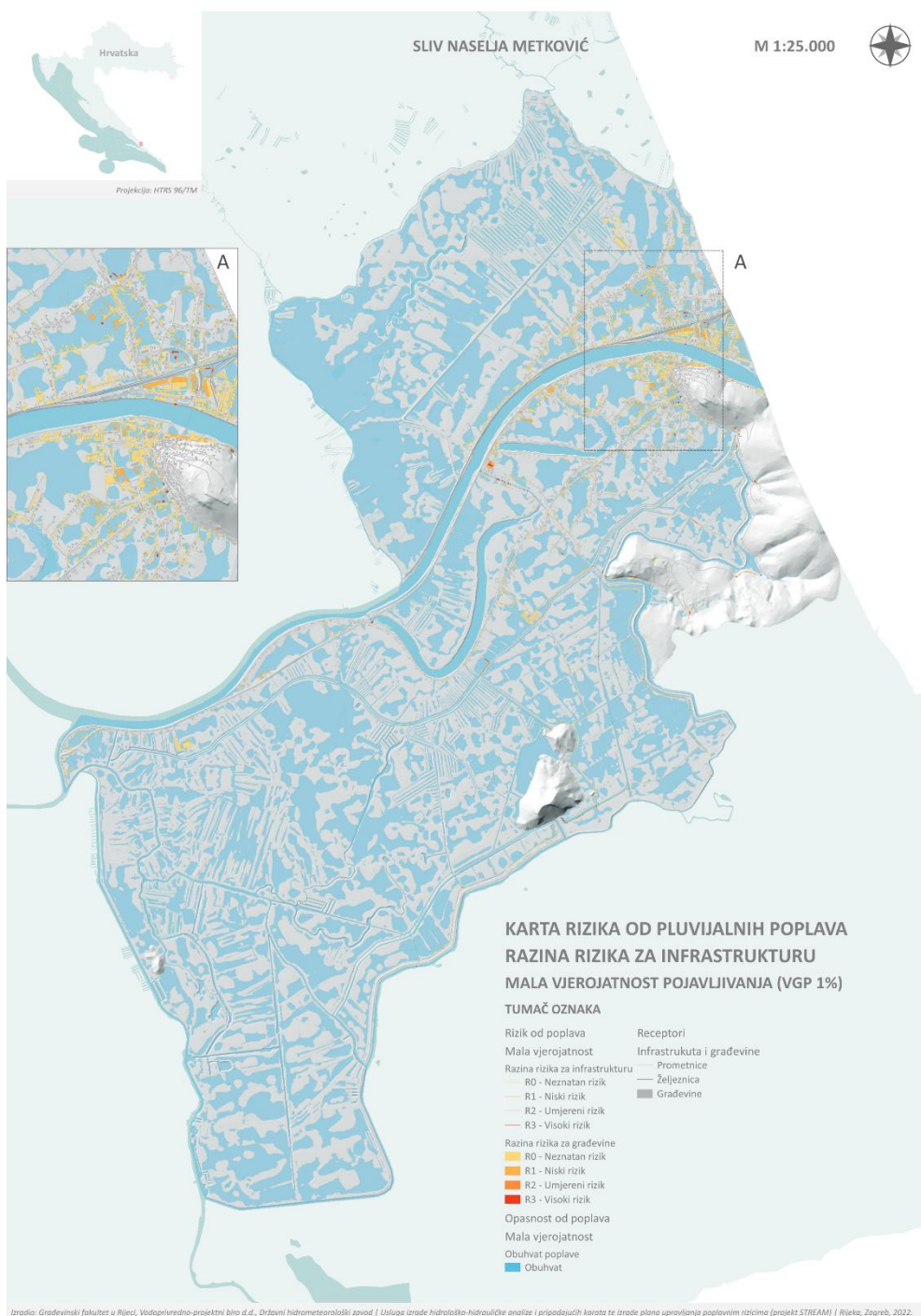
4.6.5 Kritični podslivovi na pilot području Metković

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava na pilot području Metković, prikazanih u prethodnom potpoglavlju, identificirani su i kritični podslivovi (tzv. "hotspots") koji imaju višu razinu riziku u odnosu na preostale dijelove sliva. Pritom, umjesto kritičnih točaka, definirani su kritični podslivova iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava. Pritom, na predmetnom području umjesto topografskih podslivova određene su cjeline definirane hidromelioracijskim sustavom, odnosno zaštitnim nasipima i/ili kanalima i vodotocima.

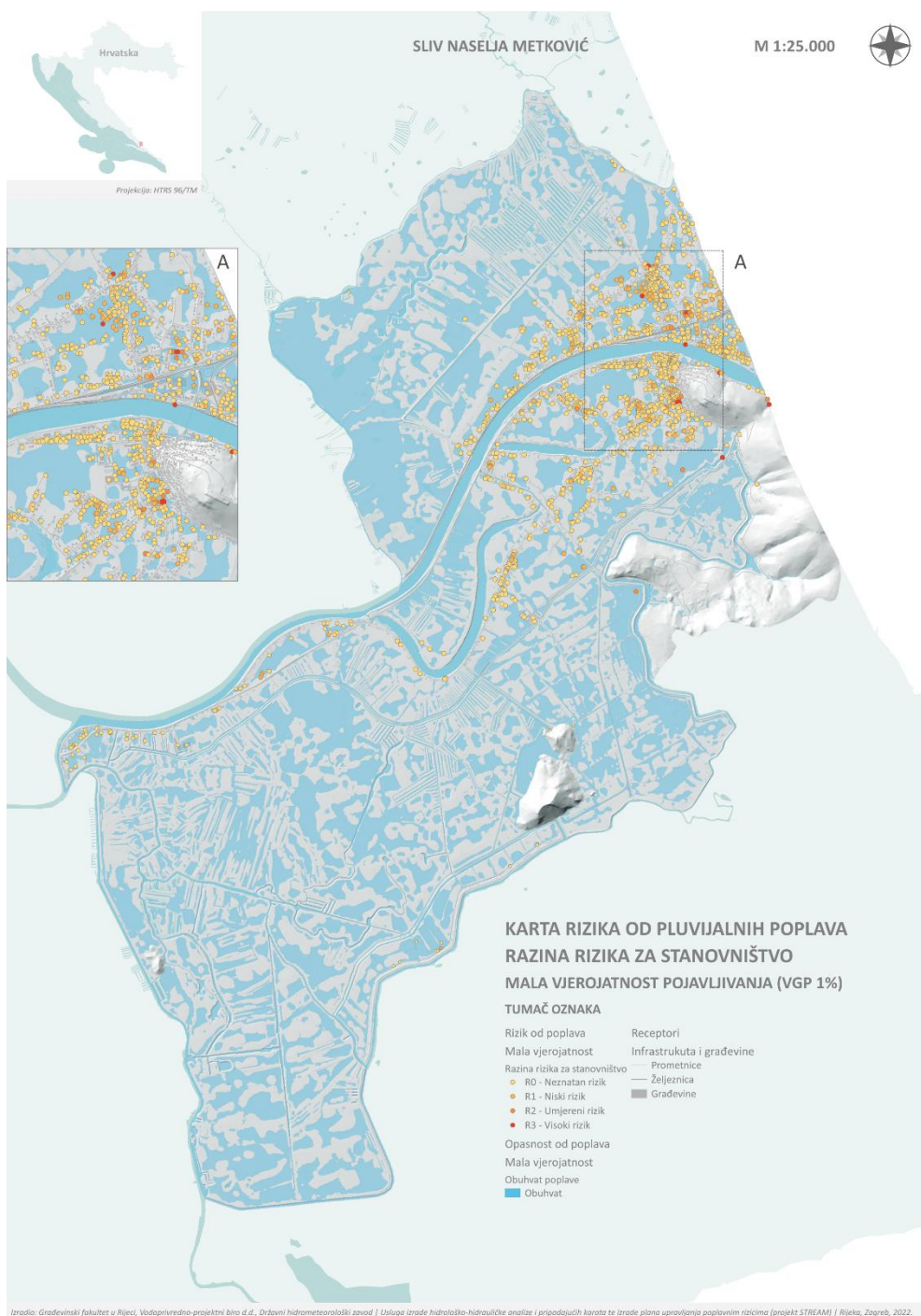
Na pilot području Metković, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju cjeline koje obuhvaćaju urbanizirani dio naselja Metković s obje strane rijeke Neretve (Slika 4.6.15). Najkritičnija cjelina je desna obala Metkovića, ali i lijeva obala od Krvavca do Metkovića se također može smatrati kritičnom s obzirom na štete od pluvijalnih poplava.

4.6.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Metković

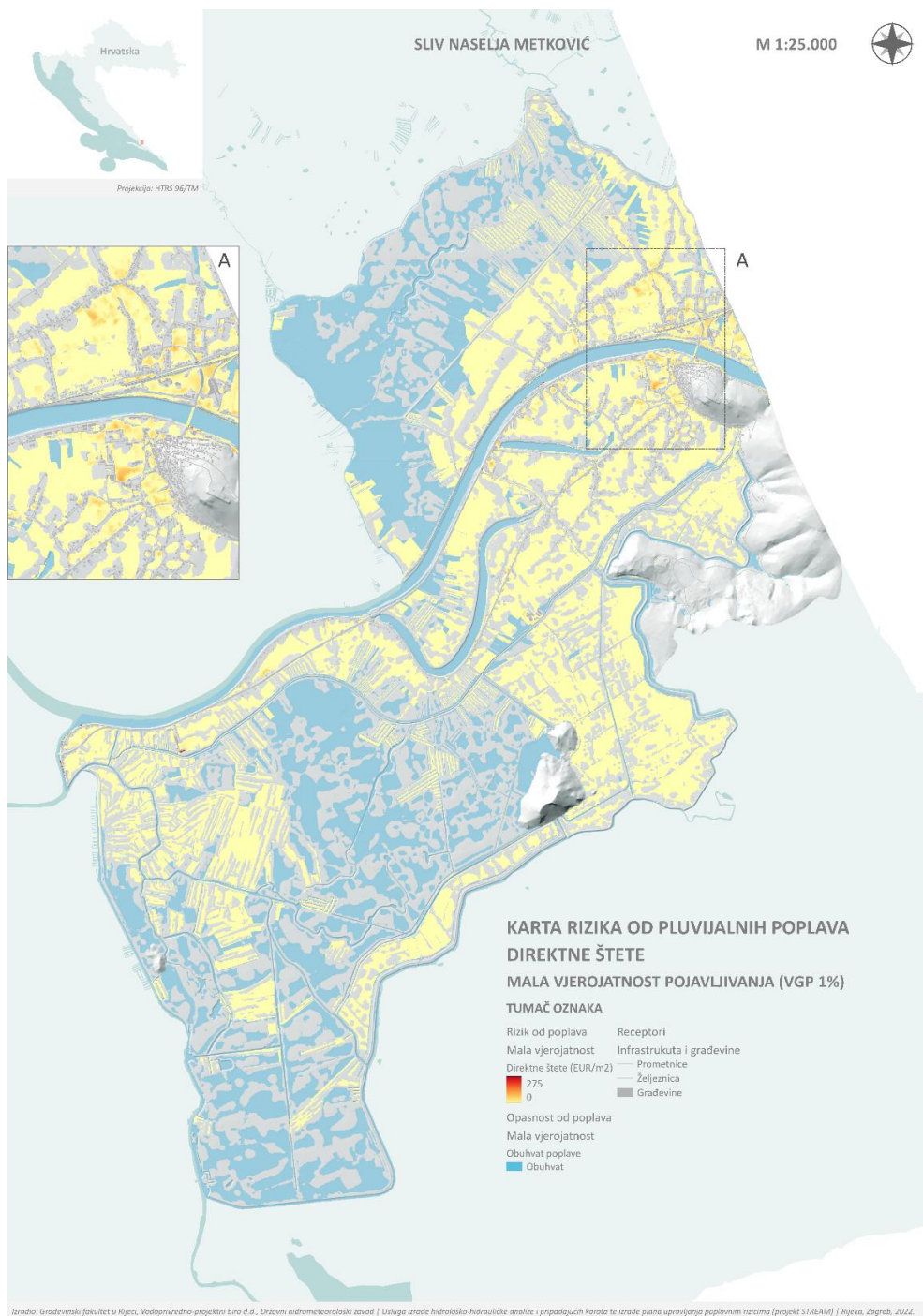
Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Metković te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava ona područja koja imaju visok stupanj izgrađenosti, dovoljno površine pogodne za izgradnju zelene infrastrukture te potencijalno velike štete od pluvijalnih poplava. Na Slici 4.6.16 prikazan je indeks prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture po podslivovima, pri čemu najviši indeks ima urbanizirani podsliv na desnoj obali rijeke Neretve. Prije izrade idejnih i glavnih projekata, predlaže se izraditi konceptijsko rješenje odvodnje oborinskih voda naselja Metković koje se temelji na integralnom pristupu, a u okviru kojega će se detaljnije razraditi prostorna raspodjela pojedinih elemenata oborinske odvodnje i zelene infrastrukture.



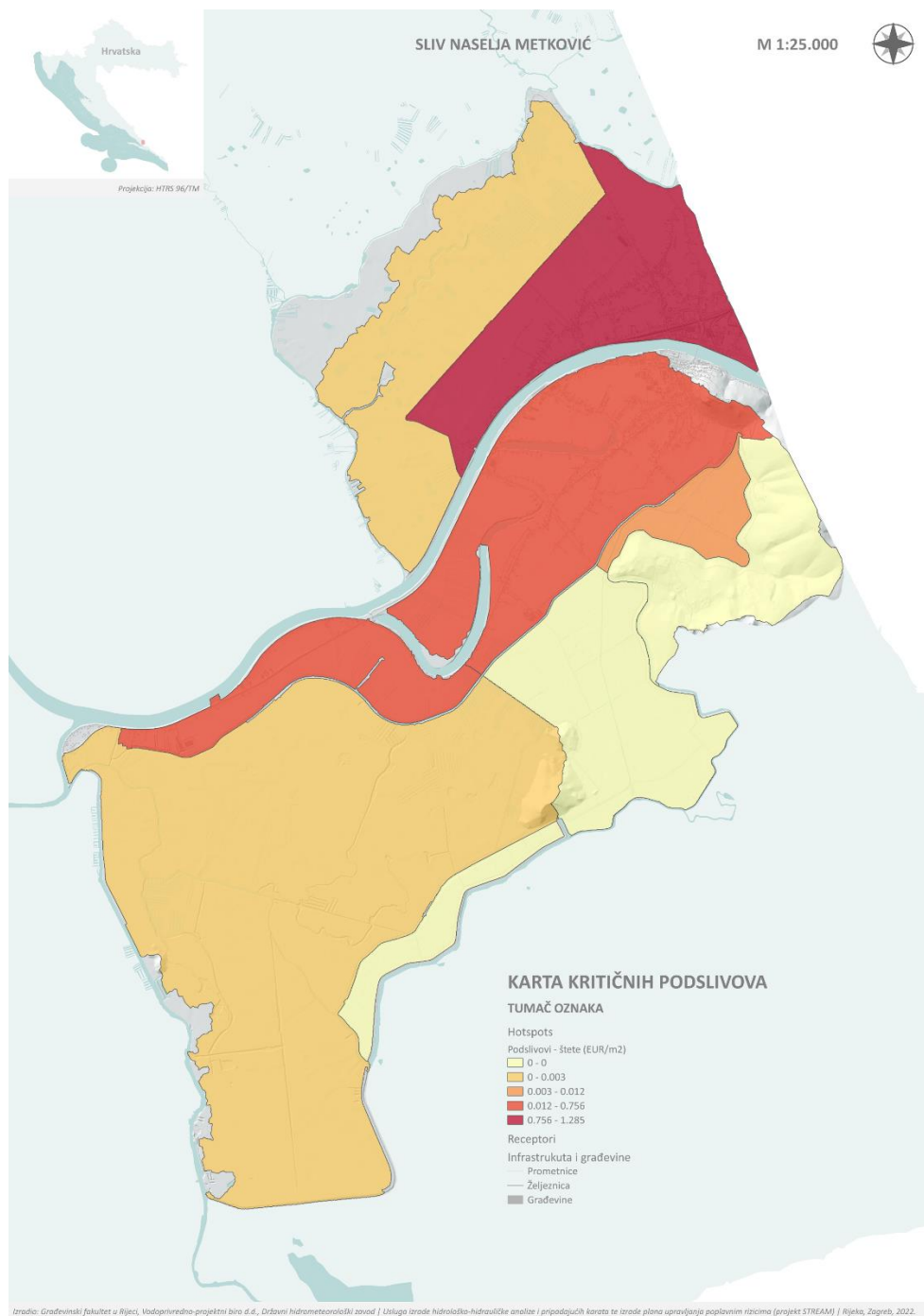
Slika 4.6.12 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.



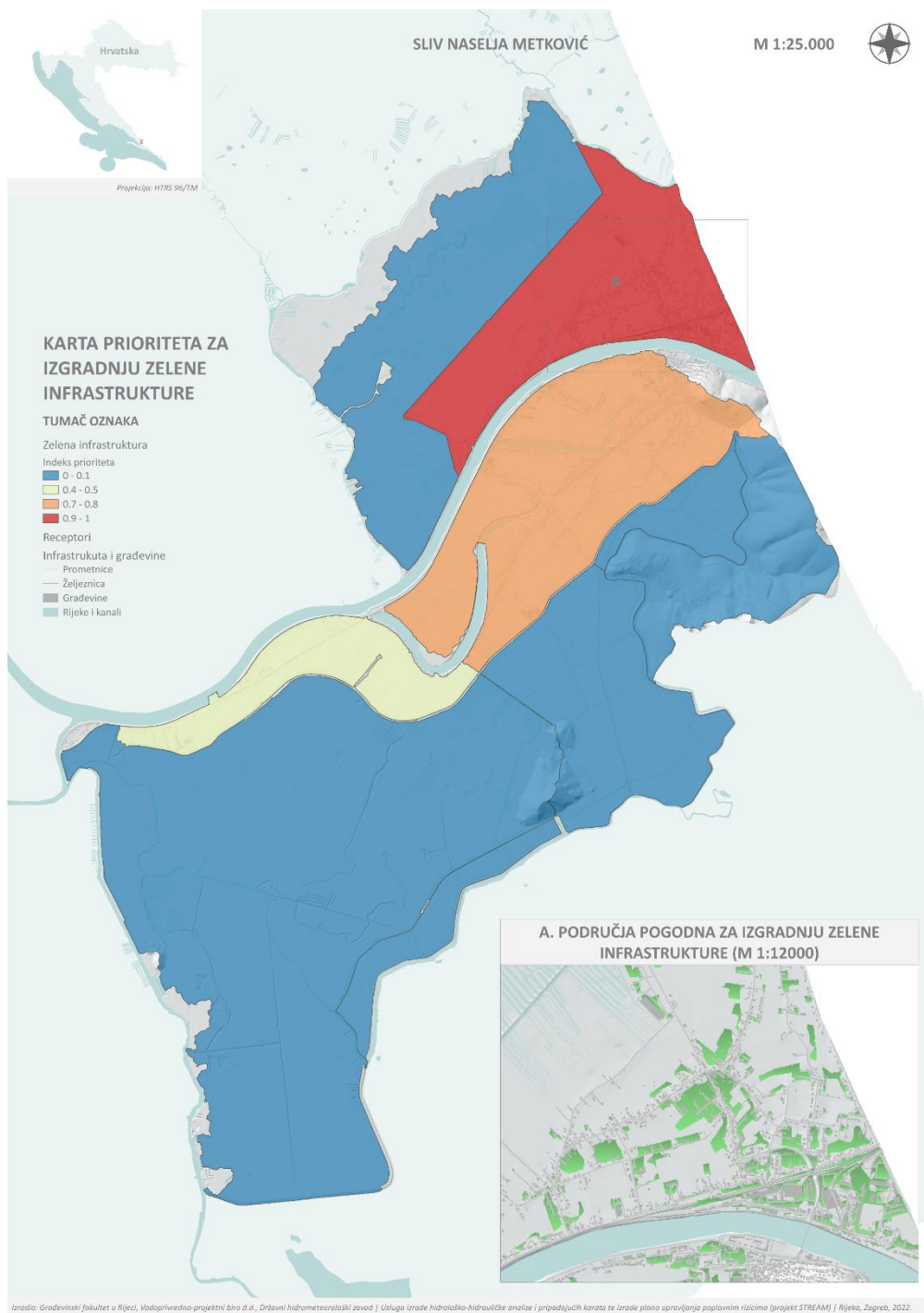
Slika 4.6.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.



Slika 4.6.14 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.

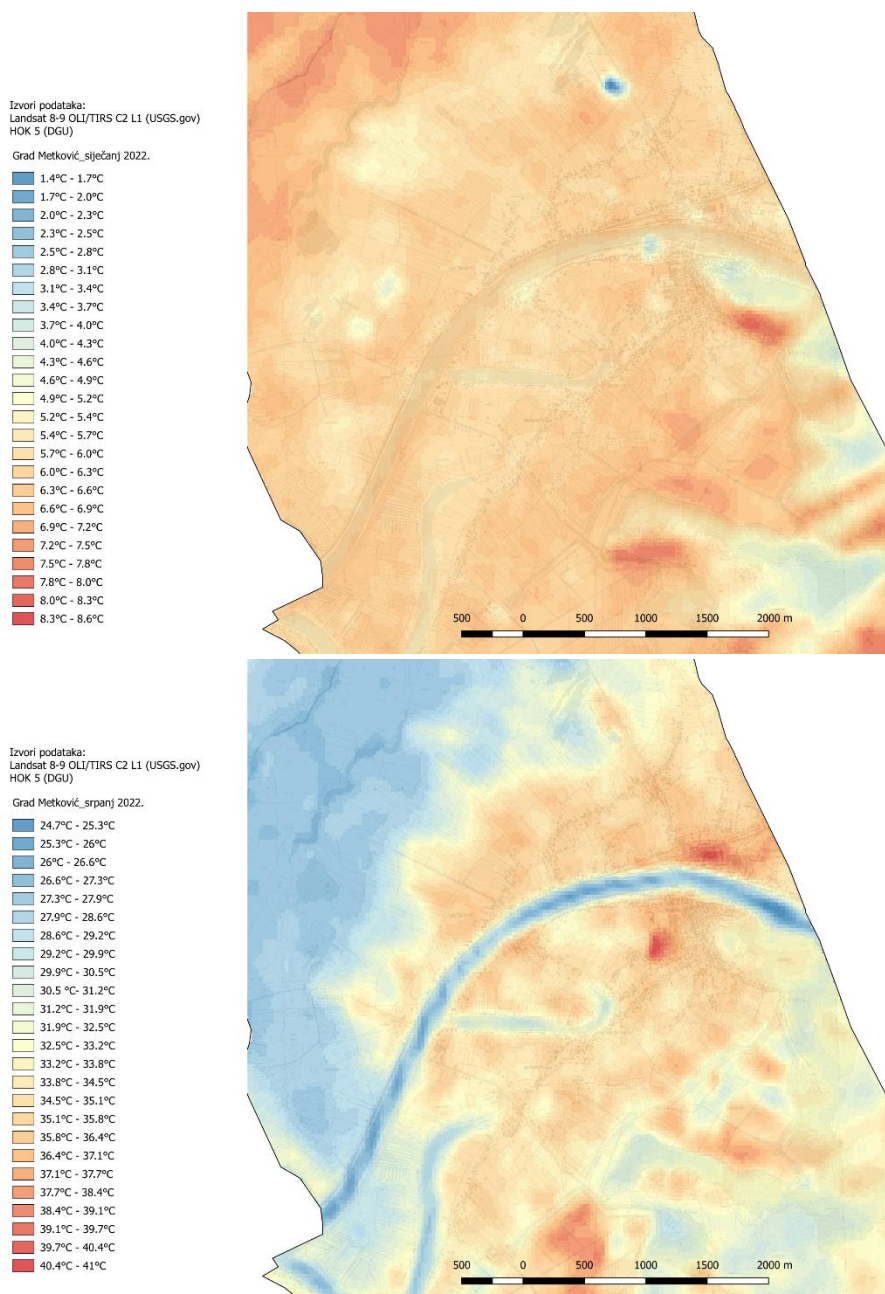


Slika 4.6.15 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Metković.



Slika 4.6.16. Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture na pilot području Metković.

Pri implementaciji zelene infrastrukture treba voditi računa o njezinim povoljnim utjecajem ne samo na odvodnju oborinskih voda, već i na poboljšanje mikroklima i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.6.17 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



Slika 4.6.17. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Metkovića.

4.7 Karte pluvijalnih poplava na pilot područjima

Karte pluvijalnih poplava izrađene su u statičkom i dinamičkom formatu.

Statičke karte izrađene su kao PDF dokumenti u mjerilu prikladnom A2 formatu papira. Za svako pilot područje izrađene su sljedeće statičke karte:

- **Karta povijesnih poplava** (za jednu odabranu poplavu s najvećim zabilježenim posljedicama ili najintenzivnijim oborinama)
- **Karta opasnosti od pluvijalnih poplava – dubine vode** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta opasnosti od pluvijalnih poplava – brzine vode** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta opasnosti od pluvijalnih poplava – razine opasnosti** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta ranjivosti na pluvijalne poplave – izloženost** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta rizika od pluvijalnih poplava – razina rizika za stanovništvo** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta rizika od pluvijalnih poplava – razina rizika za infrastrukturu i građevine** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta rizika od pluvijalnih poplava – direktne štete** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta kritičnih podslivova**
- **Karta prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture**

Ukupno su po pilot području izrađene 24 karte, odnosno za svih šest pilot područja izrađeno je ukupno 144 statičkih karata u PDF formatu.

Dinamičke karte izrađene su u GIS okruženju u mjerilu 1:2.000, a isporučuju se u obliku vektorskih i rasterskih datoteka. Popis i opis svih isporučenih datoteka po pilot području prikazan je u tablici 4.7.1. Datoteke su prema razinama analiza raspoređene i sistematizirane u grupe slojeva. Razine analiza se sastoje od: podloga, katastra poplava, receptora, izloženosti, opasnosti, rizika i kritične podslivove. Uz svaku datoteke izrađeni su i priloženi prikladni stilovi za prikaz u QGIS sučelju.

Tablica 4.7.1 Popis elemenata dinamičkih karata pluvijalnih poplava (GIS baza podataka)

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Exposure	<i>Catchment.shp</i>	Podloge	-		Sliv
\Exposure	<i>DEM_5m.tif</i>				Digitalni model terena (DMT)
\Exposure	<i>Settlements.shp</i>				Naselja
\Cadastre	<i>Flooded_areas_register.shp</i>	Katastar poplava	-	Katastar poplava Katastar poplava Katastar poplava Povijesne poplave	Obuhvat zabilježenih poplava (iz registra poplavnih događaja)
\Cadastre	<i>Flooded_areas.shp</i>				Obuhvat zabilježenih poplava
\Cadastre	<i>Flood_interventions.shp</i>				Vatrogasne intervencije
\Historical\Sep2010	<i>Depth (Max)_[date]_clipped.tif</i>				Dubine (m) - [date]
\Exposure	<i>Buildings.shp</i>	Receptori	-	Receptori-Infrastruktura i građevine Receptori-Kulturna baština Receptori-Stanovništvo Receptori Receptori Receptori-Zaštićena područja Receptori-Natura2000	Građevine
\Exposure	<i>Roads.shp</i>				Prometnice
\Exposure	<i>Railroads.shp</i>				Željeznička pruga
\Exposure	<i>Cultural_heritage.shp</i>				Kulturno dobro
\Exposure	<i>Population.shp</i>				Gustoća stanovnika
\Exposure	<i>LU_5m.tif</i>				Namjena korištenja zemljišta
\Exposure	<i>LU_5m_modified.tif</i>				Korištenje zemljišta (osnovno)
\Exposure	<i>Protected_areas.shp</i>				Zaštićena područja
\Exposure\Natura2000	<i>Direktiva_o_pticama_natura2000.shp</i>				Direktiva o pticama
\Exposure\Natura2000	<i>Direktivna_o_stanistima_natura2000.shp</i>				Direktiva o staništima
\Exposure\Pollution	<i>ePRTR.shp</i>	Izloženost		Izloženost-Izvori onečišćenja	Industrijska postrojenja

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)	
\Exposure\Pollution	<i>Gas_stations.shp</i>		-		Benzinske postaje	
\Exposure\Pollution	<i>Landfill.shp</i>				Odlagališta otpada	
\Exposure\Pollution	<i>SEVESO.shp</i>				SEVESO objekti	
\Exposure\Pollution	<i>Wild_dump_sites.shp</i>				Divlji deponij	
\Exposure	<i>Cemetery.shp</i>			Izloženost-Javne usluge	Groblja	
\Exposure\Public_facilities	<i>Health_facilities.shp</i>				Zdravstvene ustanove	
\Exposure\Public_facilities	<i>Kindergarten_Schools.shp</i>				Vrtići i škole	
\Exposure\Public_facilities	<i>Public_transport.shp</i>			Javni prijevoz		
\Risk\Scenario1\5YR	<i>LU_flooded_5YR_modified.tif</i>			Velika	Izloženost-Velika vjerojatnost	Korištenje zemljišta
\Risk\Scenario1\25YR	<i>LU_flooded_25YR_modified.tif</i>			Srednja	Izloženost-Srednja vjerojatnost	Korištenje zemljišta
\Risk\Scenario1\100YR	<i>LU_flooded_100YR_modified.tif</i>	Mala	Izloženost-Mala vjerojatnost	Korištenje zemljišta		
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>D_V (Max)_clipped.tif</i>	Opasnost	Velika	Opasnost od poplava-Velika vjerojatnost	<i>(ne prikazuje se)</i>	
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>D_V^2 (Max)_clipped.tif</i>				<i>(ne prikazuje se)</i>	
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>Depth (Max)_clipped.tif</i>				Dubina vode (m)	
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>Flood_extent_5yr.tif</i>				Obuhvat poplave	
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>Flood_severity_5yr_clipped.tif</i>				Razina opasnosti	
\Hazard\Scenario1\5YR	<i>Velocity (Max)_clipped.tif</i>				Brzina vode (m/s)	
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>D_V (Max)_clipped.tif</i>		Srednja	Opasnost od poplava-Srednja vjerojatnost	<i>(ne prikazuje se)</i>	
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>D_V^2 (Max)_clipped.tif</i>				<i>(ne prikazuje se)</i>	
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>Depth (Max)_clipped.tif</i>				Dubina vode (m)	

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>Flood_extent_25yr.tif</i>				Obuhvat poplave
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>Flood_severity_25yr_clipped.tif</i>				Razina opasnosti
\Hazard\Scenario1\25YR	<i>Velocity (Max)_clipped.tif</i>				Brzina vode (m/s)
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>D _ V (Max)_clipped.tif</i>	Rizik	Mala	Opasnost od poplava-Mala vjerojatnost	<i>(ne prikazuje se)</i>
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>D _ V^2 (Max)_clipped.tif</i>				<i>(ne prikazuje se)</i>
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>Depth (Max)_clipped.tif</i>				Dubina vode (m)
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>Flood_extent_100yr.tif</i>				Obuhvat poplave
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>Flood_severity_100yr_clipped.tif</i>				Razina opasnosti
\Hazard\Scenario1\100YR	<i>Velocity (Max)_clipped.tif</i>				Brzina vode (m/s)
\Risk\Scenario1\5YR	<i>Buildings_risk_5yr.shp</i>	Rizik	Velika	Rizik od poplava-Velika vjerojatnost	Razina rizika za građevine
\Risk\Scenario1\5YR	<i>Damages_percent_5yr.tif</i>				Postotak štete (%)
\Risk\Scenario1\5YR	<i>Infrastructure_risk_5yr.shp</i>				Razina rizika za infrastrukturu
\Risk\Scenario1\5YR	<i>Population_risk_5yr.shp</i>				Razina rizika za stanovništvo
\Risk\Scenario1\5YR	<i>Total_damages_5yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\Risk\Scenario1\25YR	<i>Buildings_risk_25yr.shp</i>	Rizik	Srednja	Rizik od poplava-Srednja vjerojatnost	Razina rizika za građevine
\Risk\Scenario1\25YR	<i>Damages_percent_25yr.tif</i>				Postotak štete (%)
\Risk\Scenario1\25YR	<i>Infrastructure_risk_25yr.shp</i>				Razina rizika za infrastrukturu
\Risk\Scenario1\25YR	<i>Population_risk_25yr.shp</i>				Razina rizika za stanovništvo
\Risk\Scenario1\25YR	<i>Total_damages_25yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\Risk\Scenario1\100YR	<i>Buildings_risk_100yr.shp</i>		Mala		Razina rizika za građevine

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Risk\Scenario1\100YR	<i>Damages_percent_100yr.tif</i>			Rizik od poplava-Mala vjerojatnost	Postotak štete (%)
\Risk\Scenario1\100YR	<i>Infrastructure_risk_100yr.shp</i>				Razina rizika za infrastrukturu
\Risk\Scenario1\100YR	<i>Population_risk_100yr.shp</i>				Razina rizika za stanovništvo
\Risk\Scenario1\100YR	<i>Total_damages_100yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\Hotspots	<i>streams.shp</i>	Kritični podslivovi		Kritični podslivovi	Hidrografska mreža
\Hotspots	<i>subcatchments.shp</i>				Podslivovi – štete (EUR/m2)
\LID	<i>[Ime podrucja]_podslivovi.shp</i>	Zelena infrastruktura		Zelena infrastruktura	Indeks prioriteta
\LID	<i>[Ime podrucja]_ZI_podslivovi_P100.shp</i>				Područja pogodna za izgradnju

4.8 Hidraulička analiza učinkovitosti zelene infrastrukture

Analiza učinkovitosti zelene infrastrukture, odnosno sustava za odvodnju temeljenih na prirodnim rješenjima (eng. *nature-based systems*, NBS), u ublažavanju posljedica pluvijalnih poplava provedena je na hipotetskom primjeru odvodnje oborinskih voda s prometnice, što je primjenjivo na svim pilot područjima. U tu svrhu predviđena je izgradnja linijskog zelenog sustava koji predstavlja potencijal za rješavanje oborinske odvodnje prometnica bez zauzimanja velikih površina, što je podjednako prikladno za područja s većim i manjim koeficijentom izgrađenosti.

Analiza je provedena u Stormwater Management modelu (SWMM), a dimenzioniranje bioretencije prema priručniku za dimenzioniranje sustava odvodnje oborinskih voda *New York State Stormwater Management Design Manual* (NYSDEC, 2015.) (u nastavku SWMD). Ovaj priručnik odabran je iz razloga jer u Hrvatskoj još uvijek ne postoje definirane smjernice za projektiranje zelene infrastrukture. Također, SWMD daje detaljnije i razrađenije upute u odnosu na priručnike iz nekih zemalja EU. Prema SWMD priručniku dimenzioniranje bioretencija provodi se s obzirom na pet kriterija:

- **Kriterij 1: Kontrola kakvoće oborinskih voda.** Poboljšanje kakvoće vode postiže se pročišćavanjem i uklanjanjem onečišćujućih tvari iz čestih i manje obilnih oborina koji sadržavaju više razine koncentracije onečišćenja. Volumen za kontrolu kakvoće oborinskih voda (*WQV*) definiran je kao volumen otjecanja 90. percentila oborina, što znači da je potrebno prihvatiti, zadržati i pročistiti 90% svih 24-satnih oborina. Pritom, navedeni volumen oborine treba zadržati u bioretenciji minimalno 24 sata, a maksimalno 36 sati radi mogućnosti prihvata idućeg kišnog događaja.
- **Kriterij 2: Smanjenje količine otjecanja oborinskih voda.** Cilj kriterija za smanjenje količine otjecanja je osigurati isti volumen, vršni protok i stupanj infiltracije oborinskih voda kao i u prirodnom (neizgrađenom) stanju. Smanjenje otjecanja postići će se zadržavanjem, procjeđivanjem, infiltracijom, ponovnom uporabom, isparavanjem/evapotranspiracijom cjelokupnog volumena za kontrolu kakvoće vode s ciljem postizanja prirodnih hidroloških procesa. Stoga je potrebno prihvatiti, zadržati i infiltrirati 90 % svih 24-satnih oborina.
- **Kriterij 3: Zaštita sustava odvodnje oborinskih voda.** Cilj kriterija za zaštitu sustava odvodnje oborinskih voda je spriječiti eroziju površinskih kanala te osigurati nesmetano funkcioniranje cijelog sustava odvodnje. Pritom treba osigurati produljeno 24-satno zadržavanje oborine

povratnog razdoblja 1 godine i trajanja 24 sata. Produljeno zadržavanje (CP) definirano je vremenskom udaljenosti težišta ulaznog i izlaznog hidrograma otjecanja površinskih voda.

- **Kriterij 4: Sprječavanje prekomjernog površinskog tečenja.** Cilj kriterija za sprječavanje prekomjernog površinskog tečenja je smanjiti učestalost i intenzitet poplava uzrokovanih urbanizacijom i jakim oborinama. Ovaj kriterij uključuje jake oborinske događaje koji nadmašuju projektne parametre sustava za odvodnju oborinskih voda, odnosno onih događaja koji uzrokuju otjecanje oborinskih voda koje premašuju kapacitet sustava za odvodnju i mogu prouzročiti plavljenje javnih površina. U tu svrhu potrebno je prihvatiti, zadržati i postepeno ispuštati oborinu povratnog razdoblja 25-godina i kritičnog trajanja (pritom kritično trajanje u sustavima zelene infrastrukture nije vezano uz standardno vrijeme koncentracije sliva, već je potrebno provesti modelske analize za cijeli raspon trajanja od 1h do 24 h, kako bi se utvrdila kritična oborina čije otjecanje rezultira s maksimalnim vršnim protokom). Pritom, vršni protok 25-godišnjeg povratnog razdoblja (Q_{p25}) potrebno je zadržati na razini vršnog protoka otjecanja s prirodnog sliva (prije urbanizacije). U SWMD priručniku preporuča se koristiti 10-god. povratno razdoblje, ali je u predmetnoj analizi odabrano 25-god. povratno razdoblje radi usklađenja sa srednjom vjerojatnosti pojavljivanja za koju su prethodno provedene analize poplava.
- **Kriterij 5: Ublažavanje poplava od ekstremnih oborina.** Cilj kriterija za ublažavanje poplava od ekstremnih oborina je (a) spriječiti povećani rizik od šteta od poplava od ekstremnih oborina, (b) održati granice 100-godišnje poplave prije urbanizacije i (c) zaštititi komunalnu infrastrukturu. **Kontrola ekstremnih oborina zahtjeva da se vršni protok 100-godišnjeg povratnog razdoblja i kritičnog trajanja (Q_{f100}) zadrži na razini vršnog protoka otjecanja s prirodnog sliva** (prije urbanizacije).

4.8.1 Ulazni parametri

Za analizu učinkovitosti odabrana je prometnica duljine 100 m i širine 10 m (površine 1000 m²), s uzdužnim nagibom 0,2 % i poprečnim nagibom 2%. Usvojena je pretpostavka da prometnica ima nepropusnost 100%. Pored prometnice odabrana je površina od 140 m² za izgradnju zelene infrastrukture. Stoga se otjecanje promatra s ukupne površine od 1140 m².

U svrhu hidrološke analize odabrane su sljedeće oborine s postaje Zadar (postaja Zadar je odabrana kao reprezentativna jer ima najobilnije oborine među analiziranim pilot područjima):

Za kontrolu kakvoće oborinskih voda i smanjenje količine otjecanja oborinskih voda (kriteriji 1 i 2 SWMD-a) odabrana je količina oborine koja odgovara 90. percentilu 24-satnih oborina:

90% oborina trajanja 24 sata

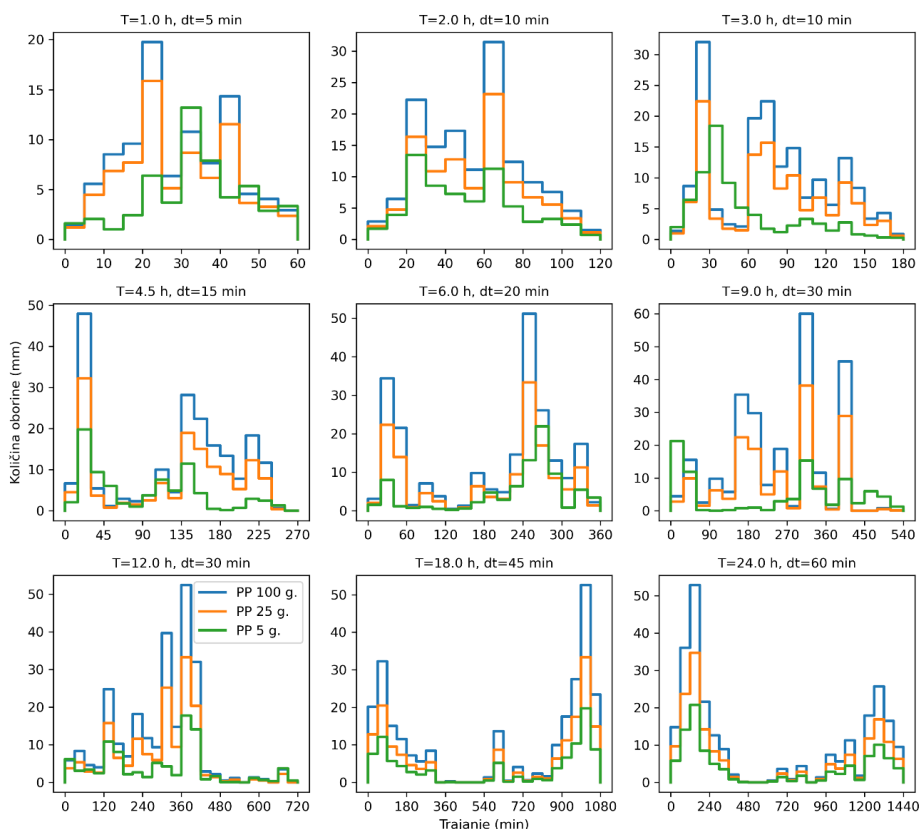
$H_{90\%} = 22,2 \text{ mm}$

Za zaštitu cijevnog sustava oborinske i/ili mješovite odvodnje (kriterij 3 SWMD-a) odabrana je količina oborine koja odgovara vjerojatnosti pojavljivanja od 1 godine i trajanja 24 sata:

Oborina povratnog razdoblja 1 godine

$H_{1g} = 45,4 \text{ mm}$

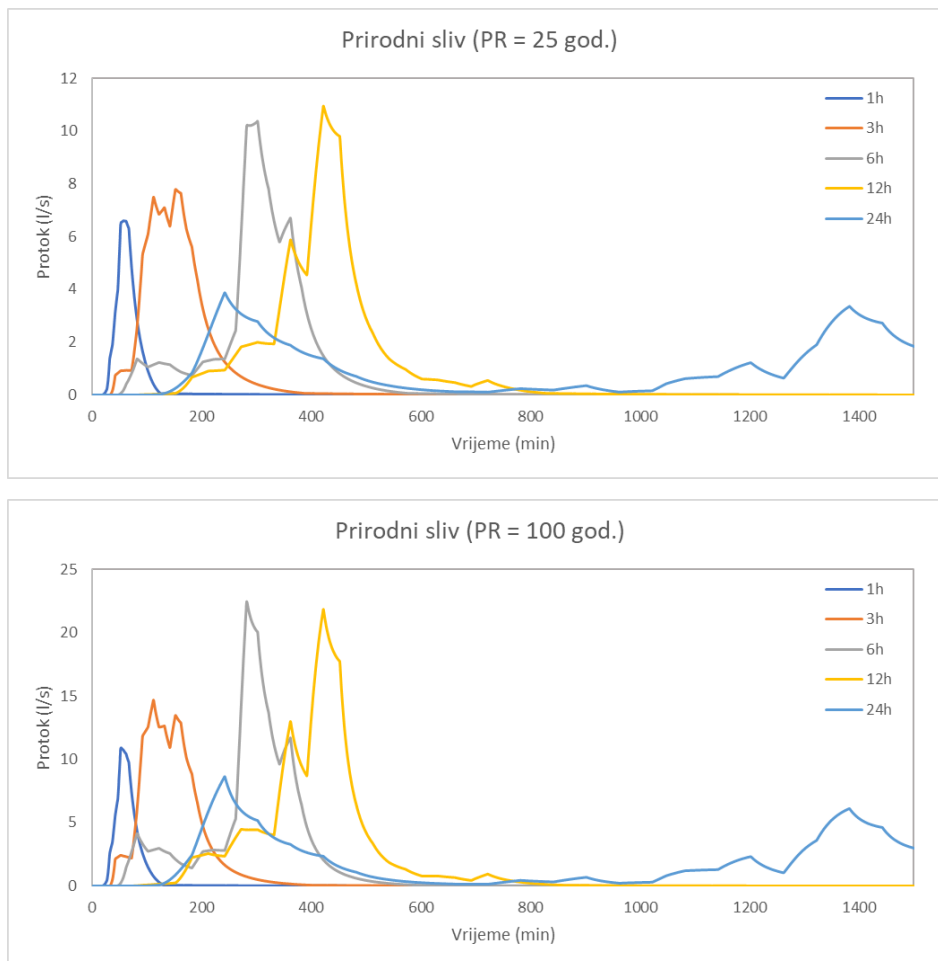
Za sprječavanje prekomjernog površinskog tečenja (kriterij 4) odabrani su projektni pljuskovi trajanja 1, 3, 6, 12 i 24 sata i povratnog razdoblja 25 godina, dok su za ublažavanje poplava od ekstremnih oborina odabrani projektni pljuskovi istog trajanja i povratnog razdoblja 100 godina (Slika 4.8.1).



Slika 4.8.1. Projektni pljuskovi za područje Zadra različitog trajanja i vjerojatnosti pojavljivanja 5, 25 i 100 godina.

4.8.2 Rezultati otjecanja s prirodnog sliva (prije izgradnje)

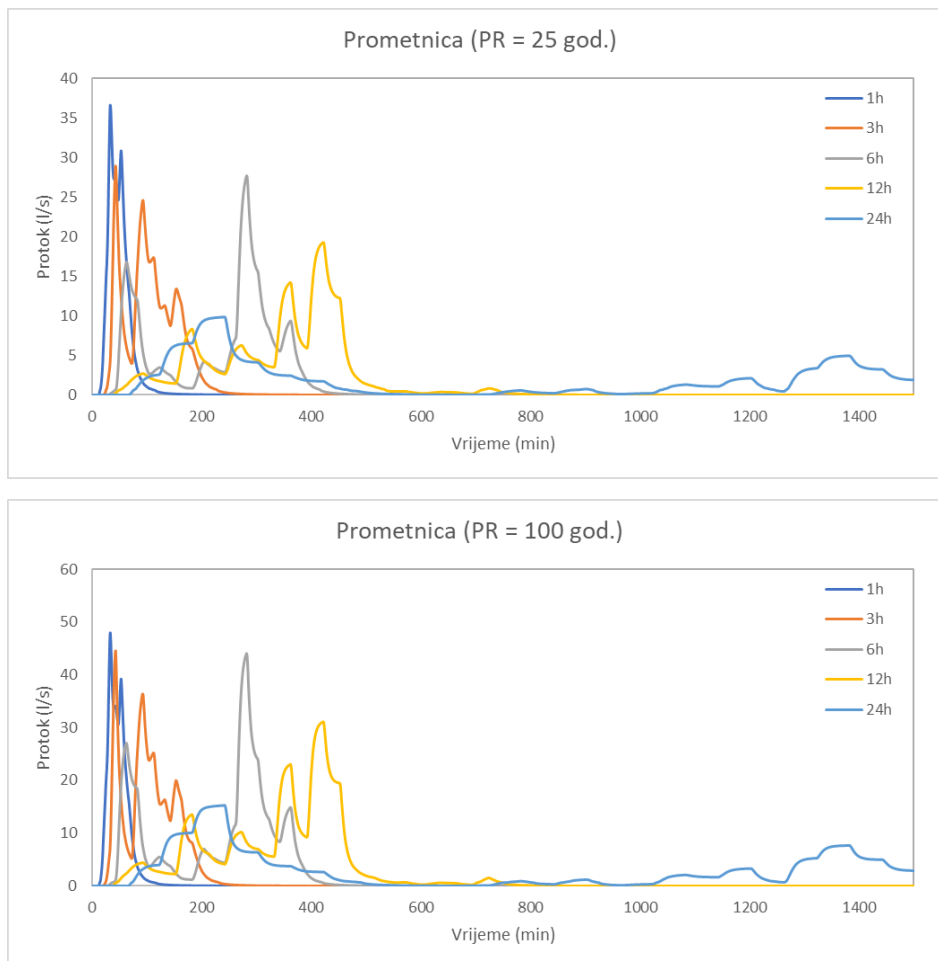
U nastavku se daju rezultati hidrološko-hidrauličkog proračuna otjecanja oborinskih voda sa predmetnog sliva u stanju prije izgradnje, koji je proveden u SWMM računalnom programu. Infiltracija je zadana putem CN broja krivulje, pri čemu je odabrana vrijednost CN = 60 s 0% nepropusnih površina. Na Slici 4.8.2. prikazani su rezultirajući hidrogrami otjecanja za različita trajanja i povratna razdoblja 25 i 100 godina. Maksimalni vršni protok očekuje se za trajanje 12 sati i iznosi 10,9 l/s za 25-god. PR, odnosno za trajanje oborine 6 sati i iznosi 22,5 l/s za 100-god. PR, dok se maksimalni volumeni očekuju za trajanje od 24 sata, što iznosi 93,3 m³ za 25-god PR, odnosno 172,2 m³ za 100-god PR.



Slika 4.8.2. Rezultati proračuna otjecanja oborinskih voda sa prirodnog sliva (prije urbanizacije) za trajanja oborine 1, 3, 6, 12, i 24 sata te povratna razdoblja 25 i 100 godina.

4.8.3 Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva

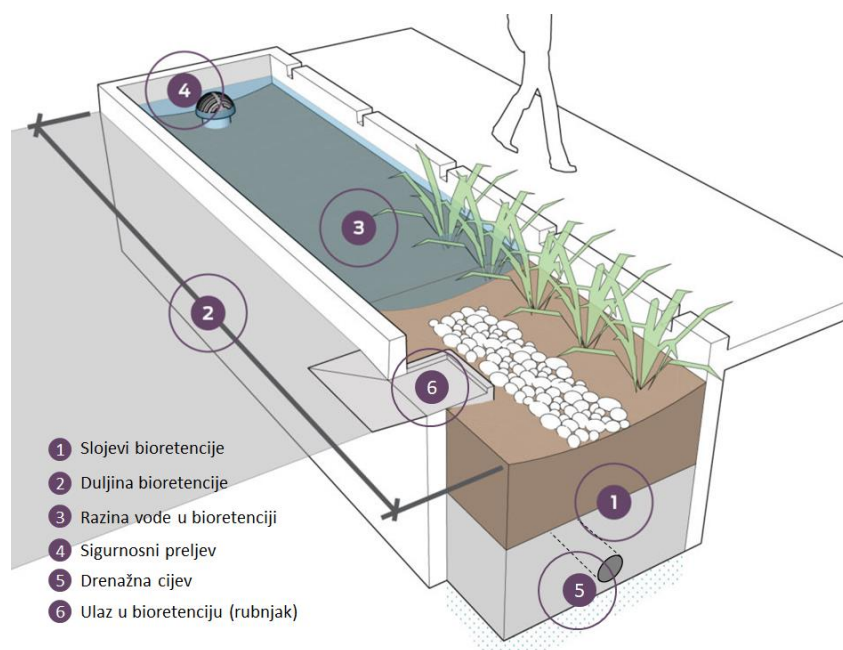
U nastavku se daju rezultati hidrološko-hidrauličkog proračuna otjecanja oborinskih voda sa predmetnog sliva u stanju nakon izgradnje prometnice. Pretpostavljeno je da prometnica ima nepropusnost 100%, dok je površina predviđena za izgradnju zelene infrastrukture u potpunosti propusna, a infiltracija je definiran CN brojem 60. Na Slici 4.8.3. prikazani su rezultirajući hidrogrami otjecanja za različita trajanja i povratna razdoblja 25 i 100 godina. Maksimalni vršni protok očekuje se za trajanje od 1 sata i iznosi 36,6 l/s za 25-god. PR (faktor povećanja 3,4), odnosno 47,9 l/s za 100-god. PR (faktor povećanja 2,1). Maksimalni volumeni očekuju za trajanje od 24 sata, što iznosi 173,7 m³ za 25-god PR (faktor uvećanja 1,9), odnosno 268,4 m³ za 100-god PR (faktor uvećanja 1,6).



Slika 4.8.3. Rezultati proračuna otjecanja oborinskih voda sa prometnice za trajanja oborine 1, 3, 6, 12, i 24 sata te povratna razdoblja 25 i 100 godina.

4.8.4 Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva s NBS sustavom

U nastavku se daje primjer hidrološko-hidrauličkog proračuna NBS sustava, odnosno bioretencije/infiltracijskog jarka izgrađenog uz rub prometnice, pri čemu se oborinska voda direktno preljeva u bioretenciju putem razmaknutih rubnjaka. Bioretencija je shematski prikazana na Slici 4.8.4, a opisana je sljedećim osnovnim elementima: a) slojevi tla, b) duljina bioretencije, c) razina površinske vode, d) sigurnosni preljev, e) drenažna cijev, i f) ulaz u bioretenciju. Slojevi tla se sastoje od gornjeg (filtracijsko-vegetacijskog) i donjeg (drenažnog) sloja, pri čemu se gornji sloj sastoji od mješavine pijeska i gline (saturirani koeficijent provodljivosti iznosi $K_s = 5 \text{ mm/h}$, poroznost $\eta = 0,3$), a donji sloj se sastoji od šljunka visoke vodopropusnosti (poroznost $\eta = 0,45$). Također je usvojena pretpostavka da je propusnost podloge umjerena i iznosi $1,0 \text{ mm/h}$ ($2,7 \times 10^{-7} \text{ m/s}$). Duljina bioretencije i razina vode su predmet hidrauličkog proračuna. Sigurnosni preljev se postavlja za evakuaciju prekomjernih površinskih voda direktno u drenažni sloj (bez procjeđivanja) tijekom ekstremnih oborina. Drenažna cijev se postavlja u slučaju nedovoljnog infiltracijskog kapaciteta podloge radi evakuacije vode izvan bioretencije u sustav odvodnje (kota nivelete je predmet proračuna). Ulaz u bioretenciju se postavlja kontinuirano duž prometnice u obliku razmaknutih rubnjaka (razmak je također predmet detaljnih proračuna).



Slika 4.8.4. Shematski prikaz bioretencije – infiltracijskog jarka s osnovnim elementima (modificirano prema NACTO, 2107).

Hidraulički proračun je proveden iterativno u SWMM računalnom programu uz uvjet zadovoljavanja svih pet prethodno navedenih kriterija prema SWMD priručniku.

U prvom koraku odabrana je tlocrtna površina bioretencije. Okvirni omjer nepropusnih površina i površine bioretencije iznosi između 0,1 i 0,2. U predmetnoj analizi odabrana je vrijednost 0,14; odnosno površina bioretencije iznosi:

$$\text{Usvojena tlocrtna površina bioretencije} \quad A_{\text{bio}} = 140 \text{ m}^2$$

Širina retencije iznosi 2 m, a duljina 70 m.

Kriterij 1 i 2: Kontrola kakvoće oborinskih voda i smanjenje količine otjecanja oborinskih voda.

Potrebna visina površinskog retencijskog prostora iznad gornjeg sloja bioretencije H_{ret} određena je da zadovolji kriterij 1, odnosno da u potpunosti prihvati 90%-tnu oborinu trajanja 24 sata:

$$90\% \text{ oborina 24-satnog trajanja} \quad H_{90\%} = 22,2 \text{ mm}$$

$$\text{Površina sliva} \quad A = 1140 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen za kontrolu kakvoće} \quad WQV = A \times H_{90\%} = 25,3 \text{ m}^3$$

$$\text{Potrebna visina} \quad H_{\text{ret}} = WQV / A_{\text{bio}} = 18,0 \text{ cm}$$

Ovo je minimalna potrebna visina koju je potrebno osigurati iznad bioretencije i u gornjem filtracijskom sloju kako bi se omogućilo maksimalno pročišćavanje i 24-satno zadržavanje volumena za kontrolu kakvoće vode. Odabrana je visina od $H_{\text{pov}} = 20 \text{ cm}$ od sredine bioretencije to rubnjaka te debljina filterskog sloja od $H_{\text{filt}} = 25 \text{ cm}$ (obično 20 – 40 cm). Kota preljeva H_p se postavlja na odgovarajuću kotu kako bi se osigurala potrebna visina H_{ret} .

$$\text{Minimalna kota preljeva} \quad H_{p,\text{min}} = H_{\text{ret}} - \eta_{\text{filt}} H_{\text{filt}} = 18 - 0,3 \times 25 = 10,5 \text{ cm}$$

Kota preljeva se usvaja na $H_p = 11 \text{ cm}$ iznad sredine površine bioretencije kako bi se osigurala potrebna dubina za kontrolu kakvoće oborinskih voda u gornjem filterskom sloju i površinskom sloju. Također, minimalna kota cijevi u drenažnom sloju također iznosi $H_{\text{dc,min}} = 18,0 \text{ cm}$ kako bi se omogućila potpuna infiltracija ove količine vode, odnosno prihranjivanje podzemnih voda.

Kriterij 3: Zaštita sustava odvodnje oborinskih voda.

U sljedećem koraku provedena je iterativna analiza da se odredi optimalna debljina gornjeg sloja bioretencije kako bi se osiguralo da količina vode 1-god. PR bude zadržana minimalno 24 sata, ali ne duže od 36 sati.

Oborina 24-satnog trajanja 1 -god. PR

$$H_{1g} = 45,4 \text{ mm}$$

Površina sliva

$$A = 1140 \text{ m}^2$$

Volumen za zaštitu sustava odvodnje

$$V_{1g} = A \times H_{1g} = 51,76 \text{ m}^3$$

Potrebna visina

$$H_{ret} = V_{1g} / A_{bio} = 37,0 \text{ cm}$$

Ovo je minimalna potrebna visina koju je potrebno osigurati u bioretenciji (na površini, u gornjem sloju i u drenažnom sloju) kako bi se omogućilo produljeno 24-satno zadržavanje oborine povratnog razdoblja 1 godine i trajanja 24 sata.

Minimalna visina drenažnog sloja

$$H_{d,min} = (H_{ret} - H_p - \eta_{filt} H_{filt}) / \eta_d$$

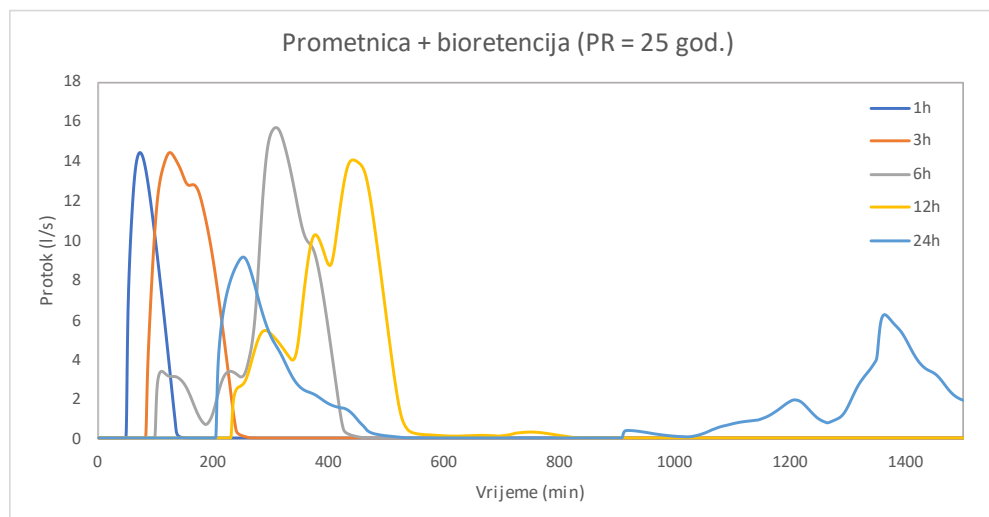
$$H_{d,min} = (37 - 11 - 0,3 \times 25) / 0,4 = 46,3 \text{ cm}$$

Usvojena kota nivelete drenažne cijevi

$$H_{dc} = 30,0 \text{ cm iznad dna drenažnog sloja}$$

Kriterij 4: Sprječavanje prekomjernog površinskog tečenja

U svrhu zadovoljavanja kriterija 4 provedena je analiza za oborinu 25-godišnjeg povratnog razdoblja i trajanja od 1, 3, 6, 12 i 24 sata. Na Slici 4.8.5 prikazani su hidrogrami otjecanja iz bioretencije za različita trajanja. Maksimalni izlazni vršni protok za 25-godišnje povratno razdoblje očekuje se za trajanje od 6 sati i iznosi 15,7 l/s. Maksimalni volumen se očekuje za trajanje oborine od 24 h i iznosi 131,5 m³.



Slika 4.8.5. Rezultati proračuna otjecanja oborinskih voda sa prometnice i bioretencije za trajanja oborine 1, 3, 6, 12, i 24 sata te povratno razdoblje 25 godina.

U ovom se slučaju dio volumena oborine postepeno filtrira kroz gornji sloj, dok se preostali dio preljeva direktno u drenažni sloj putem preljeva te postepeno infiltrira u podzemlje te ispušta iz bioretencije putem drenažne cijevi. Dimenzija drenažne cijevi iznosi 100 mm s odgovarajućim perforacijama ($28 \text{ cm}^2/\text{m}'$), a ista je odabrana u cilju ograničavanja maksimalnog protoka istjecanja iz bioretencije.

Usvojeni profil drenažne cijevi

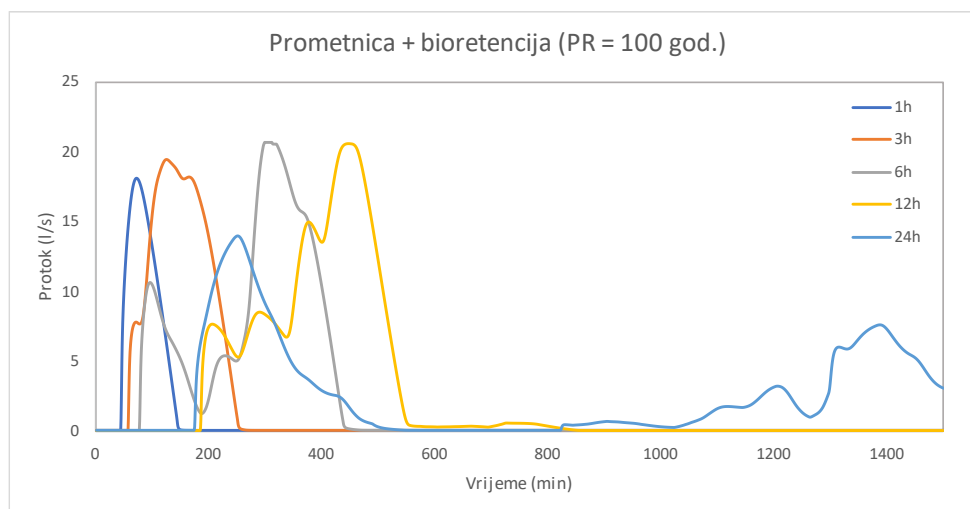
$D_d = 100 \text{ mm}$

Usvojena duljina drenažne cijevi

$L_d = 68 \text{ m}$

Kriterij 5: Ublažavanje poplava od ekstremnih oborina.

U svrhu zadovoljavanja kriterija 5 provedena je analiza za oborinu 100-godišnjeg povratnog razdoblja i trajanja od 1, 3, 6, 12 i 24 sata. Na Slici 4.8.6 prikazani su hidrogrami otjecanja iz bioretencije za različita trajanja. Maksimalni vršni protok za 100-godišnje povratno razdoblje očekuje se za trajanje od 6 sati i iznosi $20,7 \text{ l/s}$. Maksimalni volumen se očekuje za trajanje oborine od 24 h i iznosi $230,9 \text{ m}^3$.



Slika 4.8.6. Rezultati proračuna otjecanja oborinskih voda sa prometnice i bioretencije za trajanja oborine 1, 3, 6, 12, i 24 sata te povratno razdoblje 100 godina.

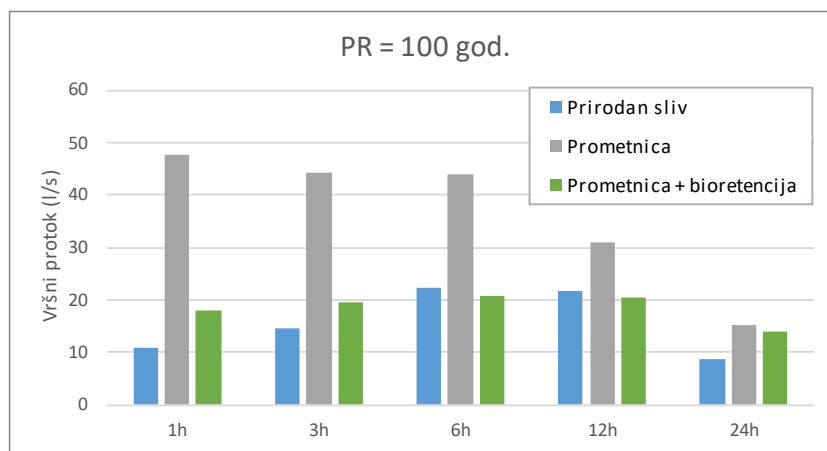
U ovom se slučaju samo manji početni volumen oborine postepeno filtrira kroz gornji sloj, dok se preostali (veći) dio preljeva direktno u drenažni sloj te kontrolirano ispušta iz bioretencije putem drenažne cijevi.

Nakon provedbe svih prikazanih analiza može se usvojiti da je potreban drenažni sloj debljine 100 cm kako bi se zadovoljio kriterije 4 i 5.

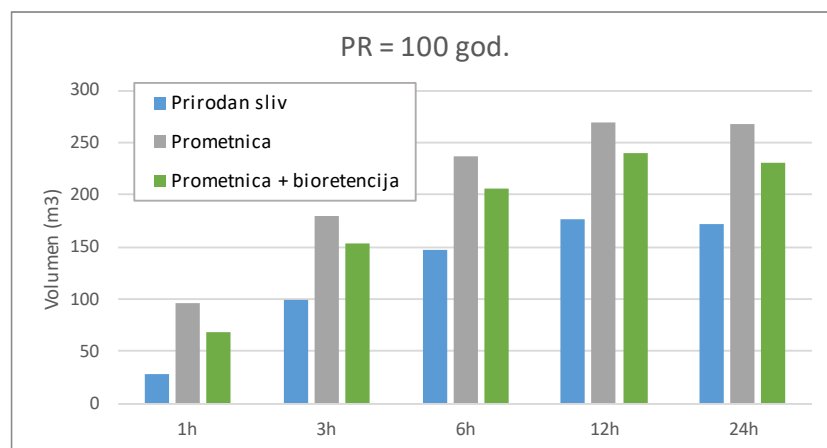
Usvojena debljina donjeg (drenažnog) sloja

$H_d = 100$ cm.

Konačno se može zaključiti da ovako dimenzionirana bioretencija ima povoljan utjecaj ne samo na redovne oborine već vjerojatnosti pojavljivanja, već i za ekstremne oborine koje uzrokuju pluvijalne poplave (Slika 4.8.7 i 4.8.8). Pritom za sve situacije bioretencija pruža dostatni uvjet zadovoljenja kakvoće vode. Na Slici 4.8.9 prikazano je nekoliko primjera izgrađenih bioretencija uz prometnice.



Slika 4.8.7. Usporedba vršnih protoka povratnog razdoblja 100 godina za otjecanje oborina kritičnog trajanja s prirodnog sliva, s prometnice te iz bioretencije uz prometnicu.



Slika 4.8.8. Usporedba volumena povratnog razdoblja 100 godina za otjecanje oborina trajanja 24 sata s prirodnog sliva, s prometnice te iz bioretencije uz prometnicu.



Slika 4.8.9. Primjer izgrađenih bioretencija uz prometnice (preuzeto iz različitih Internet izvora).

4.9 Smjernice za planirane i projektiranje zelene infrastrukture

4.9.1 Uvodno o zelenoj infrastrukturi

Jedan od prioriteta Europske Unije je ostvarenje održive, klimatski neutralne i zelene Europe. Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Europskom vijeću, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: **Europski zeleni plan** (COM, 2019.) razvija ambiciozan smjer zelene i održive Europe te ističe iznimnu važnost intenzivnijeg djelovanja u pogledu otpornosti na klimatske promjene, izgradnje te otpornosti, prevencije klimatskih promjena i pripravnosti na njih.

Strateški dokument Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: **Zelena infrastruktura** (ZI) – Unapređenje Europskog prirodnog kapitala (COM, 2013.), definira zelenu infrastrukturu kao „strateški planiranu mrežu prirodnih i poluprirodnih površina koja je, s drugim elementima okoliša, projektirana i upravljana da uspostavi široki raspon usluga ekosustava. Ona obuhvaća krajobrazne i ozelenjene prostore (ili plave ukoliko se odnosi na vodene ekosustave) i ostale fizičke elemente u kopnenim (uključujući obalne) i morskim područjima. Na kopnu je zelena infrastruktura prisutna u ruralnom i urbanom okruženju.“

Urbana agenda za EU (COM, 2016.) se bavi integriranim, koordiniranim i održivim rješavanjem urbanih pitanja njezinih zemalja članica. Ona promiče europski model urbanog razvoja, stvaranje nadnacionalnog mehanizma koordinacije urbanih politika i osnaživanje gradova na razini EU-a. Agenda, također, nastoji poboljšati kvalitetu života u urbanim područjima usmjeravanjem na konkretne prioritete teme. To čini kroz rad 14 tematskih partnerstava od kojih su sedam „zelena partnerstava“, i to:

- Održivo korištenje zemljišta i rješenja prihvatljiva za prirodu koje, između ostalog, prioritizira učinkovitiju iskorištenost zemljišta i miješanje funkcija te potiče povećanje prisutnosti zelenih površina i zelene infrastrukture i promicanje korištenja rješenja temeljenih na prirodi za poboljšanje uvjeta života unutar urbanih područja;
- Kvaliteta zraka koje potiče veću usmjerenost na poboljšanje zdravlja građana na način da gradovi pri strateškom planiranju stave veći naglasak na učinke na zdravlje povezane s kvalitetom zraka;
- Kružno gospodarstvo koje, između ostalog, aktivno promiče održivo urbano planiranje;

- Prilagodba klimatskim promjenama (COM, 2018.) koje, između ostalog, ističe važnost zelene infrastrukture kao dio sinergijskog procesa za urbanu regeneraciju i mjere prilagodbe klimatskim promjenama;
- Energetska tranzicija koje se bavi razvojem pametnog integriranog energetskog sustava unutar urbanih područja koji će gradovima omogućiti učinkovito ublažavanje klimatskih promjena, istovremeno postižući dekarbonizaciju i šire ekološke ciljeve;
- Inovativna i odgovorna javna nabava koje posebnu pažnju posvećuje međusektorskim pitanjima, između ostalih i urbanoj regeneraciji koja uključuje društvene, gospodarske, ekološke, prostorne i kulturne aspekte u cilju ograničavanja *greenfield* potrošnje te
- Urbana mobilnost koje snažno povezuje temu mobilnosti s održivim urbanim razvojem, klimatskim promjenama i kvalitetom života.

Iako su i ostala partnerstva relevantna za ovaj Program (partnerstva Stanovanje, Urbano siromaštvo, Digitalna tranzicija, Poslovi i vještine u funkciji lokalnog gospodarstva, Kultura i kulturna baština), među njima se naročito ističe partnerstvo Sigurnost javnih prostora, koje, između ostalog, naglašava važnost zelene infrastrukture i rješenja temeljenih na prirodi kao snažnih alata za postizanje pristupačnosti, održivosti i sigurnosti javnih prostora.

Razvojni smjer koji doprinosi stvaranju otpornih gradova je Zeleni grad. Ističe se potreba da gradovi koriste **rješenja temeljena na prirodi** (eng. *nature based systems*, NBS) koja će omogućiti razvoj visokokvalitetne zelene i plave infrastrukture koja može odgovoriti, između ostalog, izazovima stvaranja toplinskih otoka i ekstremnih padalina u urbanim područjima. Naglašeno je da razvojem zelene i plave infrastrukture stvaramo preduvjete za zdravi okoliš koji doprinosi smanjenju klimatskih promjena te čuvanju bioraznolikosti u urbanim sredinama.

Bitno je istaknuti kako je u okviru Urbane agende za EU zelena infrastruktura prepoznata kao iznimno važan aspekt razvoja gradova, koju razmatraju gotovo sva partnerstva, a naročito partnerstvo Održivo korištenje zemljišta i rješenja temeljena na prirodi te partnerstvo Prilagodba klimatskim promjenama kao i pripadajući Akcijski planovi.

4.9.2 Tipologija zelene infrastrukture

Svi oblici trajnog zelenila i vode u okolišu i na zgradama su potencijalni sastavni elementi zelene infrastrukture te je potrebno poticanje njihovog povezivanja u strateški planiranu mrežu. Zelena infrastruktura može se tipološki sistematizirati prema različitim principima: karakteru i strukturi, fizičkim oblicima i mjerilu.

4.9.2.1 Tipologija po karakteru / strukturi

Prva podjela zelene infrastrukture na tipove zasniva se na karakteru njene strukture i uvjeta na kojima funkcionira. Biološka (biotička) je izvorna i najveća grupa koja se bazira na živim organizmima flore i faune, koja se rađa, raste, razvija i umire. Nebiološka (abiotička) grupa uključuje tlo, vodu i zrak te sve procese vezane uz njih, a bez kojih prva grupa ne može postojati.

Mehanička (tehnička) grupa je nužno povezana s biološkom i nebiološkom zelenom infrastrukturom, posebice u nepovoljnim uvjetima narušenih klimatskih pojava, a čine ju mehanički uređaji i tehnike koje pomažu pri pročišćavanju vode i zraka, snižavanju temperature i slično. Mnogi ovu grupaciju ne svrstavaju u zelenu infrastrukturu, ali je ne svrstavaju niti u sivu infrastrukturu. Ona je sve potrebniya u urbanim sredinama gdje je nivo zagađenja okoliša najveći, a uvjeti života svih živih organizama najlošiji.

4.9.2.2 Tipologija prema fizičkim oblicima

Najvažnija podjela zelene infrastrukture u užem smislu odnosi se na definiranje njezinih fizičkih oblika. Urbane točke su najčešći oblik nepovezanog zelenila i najzastupljenije su u hrvatskim naseljima i gradovima. To su velike i male površine zelene infrastrukture kao npr. šume i šumarci u urbanim područjima, perivoji, parkovi, sportski tereni u zelenilu, urbani vrtovi, povrtnjaci, zelena groblja i kampusi, vrtovi vila i ljetnikovaca, zelene okućnice kuća i zgrada, jezera, močvare, retencije, detencije i bare, kišni vrtovi, male zelene površine s niskim zelenilom, pojedinačna stabla i jako male grupe stabala te poljoprivredne površine u urbanom prostoru koje samostalno ne predstavljaju zelenu infrastrukturu, a to postaju povezivanjem s ostalim zelenim površinama u strateški planiranu mrežu.

Urbane trake/koridori su uže i šire trake zelenila i vodenih površina, koje najčešće prate prirodne tokove voda ili tokove oblikovane ljudskim djelovanjem kao npr. rijeke i potoci s okolnim zelenilom, slivovi rijeka i potoka, ceste, kanali, željeznice s drvoredima, trakaste retencije oborina, zelenilo i vode uz energetske vodove, vjetrovni i ekološki koridori i slično. Cilj je povezivanje postojećih nepovezanih traka novim trakama zelene infrastrukture.

Urbane matrice/mreže, kao najkvalitetniji oblici zelene infrastrukture, su velike mreže i sustavi koji povezuju urbane zelene infrastrukture s prirodnim zelenim i plavim površinama oko i izvan grada. Oblici mreža najčešće su rezultat planiranja, jer prate urbano tkivo, dijele kvartove u gradu prema namjenama na javne, proizvodne, sportske, stambene ili prate konfiguraciju prirodnog terena (obronke i udoline, organske tokove vode i sl.).

4.9.3 NBS sustavi odvodnje površinskih i oborinskih voda kao dio zelene infrastrukture

Razvoj nekog područja, urbanizacija i promjena namjene zemljišta utječe na režim tečenja površinskih i oborinskih voda, njihov volumen i raspodjelu te njihovu dispoziciju. U skladu s tim može se reći da planiranim namjenama novih površina stanovanja, industrijskih zona, cestovnih pravaca i drugih namjena direktno utječemo na okoliš i hidrološki ciklus. Kako je sve veća potreba za zaštitom i konzervacijom vodenih resursa to bi se već u prostornim planovima kod planiranja novih namjena a time i novih površina koje više nisu prirodne moralo voditi računa i o oborinskim vodama radi smanjenja kasnijih utjecaja kad je već obično prekasno i preskupo za intervenciju.

Otjecanje u urbanim sredinama različito je nego u prirodnim. U prirodnim sredinama najveći dio voda infiltrira se u podzemlje dok kod urbanih sredina različitom namjenom površina – objekti, prometnice, parkirališta i drugi vodonepropusni objekti mijenjaju osnovne komponente otjecanja. U urbaniziranim sredinama manji dio infiltrira se u podzemlje, razina podzemne vode opada, smanjuje se podzemno otjecanje a nedostatkom zelenila smanjuje se i količina oborine koja isparava u atmosferu.

Noviji trendovi odvodnje oborinskih i površinskih voda upućuju na smanjivanje vrha hidrograma otjecanja retencioniranjem a to znači i lakšim upravljanjem zagađenjem. U slučajevima kad se geomorfološki i hidrološki uvjeti nekog sliva promjene urbanizacijom, dolazi do učestalog poplavlivanja i zagađenja gradskog područja, u priobalju mora, a izvori pitke vode postaju zagađeni.

Urbanizacijom direktno utječemo na hidrološke i geomorfološke uvjete na nekom slivu gdje su posljedice brzo vidljive ali i dugoročne s vrlo štetnim posljedicama a što je vidljivo posebno u priobalnim područjima. Klimatske promjene i povećanje razine mora u priobalnim područjima gdje je ljeti evidentan nedostatak vode, a u kišnim razdobljima oborinske vode uzrokuju poplave s vremenom će još više otežavati ionako problematičnu odvodnju. Dosadašnji klasični pristup planiranja i projektiranja odvodnje oborinskih voda nije dao pozitivne rezultate u smislu smanjenja poplava, zaštite podzemnih voda i mora kao ni smanjenje utjecaja na sanitarnu kanalizaciju i uređaje za pročišćavanja. Povećanom urbanizacijom povećavaju se i troškovi infrastrukture i to u izgradnji a još više u održavanju sustava. Bez cjelovitog integralnog pristupa na nivou cijelog sliva nije moguće kvalitetno upravljati vodama sliva kako pitkim tako i otpadnim.

U mnogim je zemljama Europe, Amerike, Azije a posebno Australije način gospodarenja oborinskim vodama standardiziran i propisan odgovarajućim mjerama i zakonskom regulativom. U našoj zemlji to nije slučaj i takovi propisi ne postoje te se koriste različite metode u skladu s projektantovim iskustvom i naobrazbom. Određivanje mjerodavnih količina oborinske vode je hidrološki problem koji uglavnom rješavaju hidrolozi u slučajevima složenih sustava, dok inženjeri rješavaju problem u jednostavnijim situacijama uz konzultacije hidrologa.

Izrada standardizirane procedure za područje cijele Hrvatske nije moguća zbog različitih topografskih, klimatoloških i ostalih prostornih uvjeta na relativno malom prostoru. U posljednje vrijeme razvojem grada, ubrzanom urbanizacijom i promjenama nastalim izgradnjom sustava odvodnje, problem odvodnje oborinskih i površinskih voda se multiplicirao a odvodnja oborinskih i površinskih voda postala je kočnicom razvoja.

Odvodnja svih voda sustavom mješovite kanalizacije ne daje rezultate jer se u osnovi te vode razlikuju i po sastavu i po mjestu nastajanja a ono što vrijedi za sanitarne vode *“as soon as possible”*, nikako ne može vrijediti za oborinske i površinske vode gdje bi trend odvodnje morao biti u skladu sa novijim *“slow the flow”* načelom. Drugim riječima za razliku od sanitarnih otpadnih voda i mješovitih sustava odvodnje, oborinske vode moraju se već na početku formiranja sliva usporiti, retencionirati smanjivanjem otjecanja i povećanjem infiltracije gdje je to moguće, a to se nikako ne može primijeniti na mješovitim sustavima odvodnje u gradskim područjima.

NBS sustavi maksimalno oponašaju odvodnju kao u prirodi, pomoću ekonomski prihvatljivijih rješenja od klasičnog sustava, s minimalnim utjecajem na okoliš, unutar sliva, kroz prikupljanje, usporavanje, retencioniranje, infiltraciju i evapotranspiraciju uz prirodno pročišćavanje voda prije nego se ispuste u okoliš. To je suprotno načinima uobičajenih, klasičnih sustava odvodnje gdje se voda što brže izvodi iz sliva i točkasto pročišćava prije ispuštanja u konačni recipijent. Rješenja koja se daju NBS sustavima trebaju biti takva da sustav koji je predviđen bude jednostavan za upravljanje, zahtijeva malu ili nikakvu potrebu za energijom (osim izvora iz okoliša kao što je sunčeva energija itd.), te ekološki i estetski ne samo prihvatljiv nego i atraktivan.

Integralni pristup projektiranju i planiranju u urbaniziranim ali i ruralnim sredinama osnova je za rješavanje postojećih i rastućih problema koje nameću klasična rješenja oborinske odvodnje. Integralnim pristupom oborinskoj odvodnji ističu se ekonomski, estetski i ekološki pozitivni utjecaji na nivou ekosustava za razliku od jednodisciplinarnog klasičnog pristupa problemu odvodnje. To prvenstveno znači da se u rješavanju odvodnje NBS sustavima u cijeli proces moraju osim hidrotehničara koji su bili dio dosadašnje prakse, moraju uključiti i ostale struke: prostorni planeri,

arhitekti, krajobrazni arhitekti, ekolozi, sociolozi a posebno kod izrade strategija i prostorno planskih dokumentacija.

U zemljama EU, USA i AU integralni pristup odvodnji naziva se još SuDS - *Sustainable drainage system*, WSUD – *Water sensitive urban design*, LID – *Low impact development*, BMP – *Best management practice* a u EU, pa tako i u RH, ti sustavi zovu se NBS sustavi, plavo-zelena infrastruktura i sl.

U Republici Hrvatskoj prvi takvi sustavi primijenjeni su u gradu Puli i gradu Rovinju (Slike 4.9.1 – 4.9.3.), a nakon 10 godina primjene takovih sustava vidljive su značajne promjene u zaštiti od poplava, ekonomskoj isplativosti, socijalnoj prihvatljivosti te utjecajima na okoliš i prilagodbu klimatskim promjenama, posebno vidljivim u smanjenju CO₂.



Slika 4.9.1. Trg kralja Tomislava u Puli – NBS sustav s kišnim vrtovima.



Slika 4.9.2. Šijanski sliv, grad Pula – NBS sustav laguna.



Slika 4.9.3. Šijanski sliv, grad Pula – NBS sustav bioretencija.

Na nivou EU, NBS sustavi podržani su preko platforme NWRM (nwrn.eu). **Mjere prirodnog zadržavanja vode** (eng. *Natural Water Retention Measures*, NWRM) višenamjenske su mjere kojima je cilj zaštititi i upravljati vodnim resursima i riješiti izazove povezane s vodom obnavljanjem ili održavanjem ekosustava, kao i prirodnih značajki i karakteristika vodnih tijela korištenjem prirodnih sredstava i procesa. Njihov glavni fokus je poboljšati, kao i očuvati, sposobnost zadržavanja vode vodonosnika, tla i ekosustava s ciljem poboljšanja njihovog statusa.

NWRM ima potencijal pružiti višestruke koristi uključujući smanjenje rizika od poplava i suša, poboljšanje kvalitete vode, obnavljanje podzemnih voda i poboljšanje staništa. Primjena NWRM-a podržava zelenu infrastrukturu, poboljšava ili čuva kvantitativno stanje površinskih i podzemnih vodnih tijela i može pozitivno utjecati na kemijski i ekološki status vodnih tijela obnavljanjem ili poboljšavanjem prirodnog funkcioniranja ekosustava i usluga koje oni pružaju. Očuvani ili obnovljeni ekosustavi mogu pridonijeti i prilagodbi i ublažavanju klimatskih promjena a time smanjiti rizike i opasnosti od poplava.

4.9.3.1 Tipologija NBS sustava za cestovnu mrežu

Odvodnja sustava prometnica grada može se rješavati bioretencijama – kišnim vrtovima, drenažnim rovovima, infiltracijskim jarcima, mokrim i lagunama s produženom retencijom (posebno za prometnice van naselja), i/ili klasičnim sustavom odvodnje s mehaničkim pročišćavanjem, ali na kratkim dionicama gdje nema drugih mogućnosti, ali svakako s retencioniranjem 24 satne oborine, stupnja zaštite PP 5 godine i više.

- **Bioretencije, kišni vrtovi, infiltracijski kanali i žardinjere, ekstenzije**

Služe za usporavanje, retencioniranje i pročišćavanje oborinskih voda. Kod većih dotoka retencioniraju i pročišćavaju prve oborinske vode, a onda se sustavom podzemnih drenaža kroz mješavine tla/pijeska i malča polako ispuštaju u recipijent (mješovitu kanalizaciju, oborinsku kanalizaciju, tlo, more, vodotoke). Vrijeme zadržavanja, debljina filterskih slojeva, izbor biljaka, dimenzioniranje drenaža i način ispuštanja rješavaju se posebno za svaki slučaj i uvjetima in situ.

Obično se koriste na relativno malim slivovima i u gusto urbaniziranim djelovima naselja gdje su koeficijenti otjecanja veći od 0,5. Isto tako mogu se koristiti na jako zagađenim površinama kao što su industrijska područja i benzinske stanice.

Ne smiju se upotrebljavati u vodozaštitnim zonama i područjima gdje se crpi voda za vodoopskrbu. U područjima s visokim nivoima podzemne vode poželjno ih je dimenzionirati iznad visine

podzemnih voda te odvojiti slojeve geomembranom. Sam dizajn, oblik i položaj ovise o mogućnostima na terenu te se detaljnije rješavaju kroz projektnu dokumentaciju. Bez obzira na dizajn svaki se od tih sustava sastoji od pet glavnih dijelova: predtretmana, tretmana, prijenosa i zadržavanja vode kroz slojeve i na površini te smanjenje održavanja i krajobraznim uređenjem. To je pet osnovnih dijelova svakog od ovih sustava. Integriranjem zelenih površina u sastavni dio odvodnje, tzv. zelene infrastrukture gradskih prostora, može se postići i značajan efekt pročišćavanja oborinskih voda i to:

- suspendirane čestice: 97%,
- fosfori: 35-65 %,
- dušik: 33-66 %,
- bakar: 36-93%,
- olovo: 24-99%,
- cink: 31-99%,
- ulja i masti: 99%,
- bakterije: 70%.

Pravilnim izborom biljaka, ukrasnih trava i grmlja odabiru se one koje imaju karakteristike da podnose duge periode suše i isto tako duže periode vlage s čime se može izbjeći problematika uvjetovana vremenskim prilikama.

Bioretencije ili kišni vrtovi kao varijacija su plitko iskopane površine, ozelenjene depresije sa kompleksnom vrtnom zemljom u čijem sastavu trebaju biti i komponente za filtraciju onečišćivača s prometnicama, te odabrane vrste vegetacije kako trava tako i trajnica, grmlja i stablašica s filtarskim svojstvima te da su otporne na prekomjernu vlagu u tlu u dugim vremenskim razdobljima i da posjeduju izdržljivost na dugotrajnu sušu i sl. uz ostale parkovne funkcije.

Područja bioretencija mogu biti integrirana u raznovrsnoj tipološkoj ljestvici krajobraznih područja, od najvećih i složenih do najmanjih i jednostavnih, uključujući sve tipove zelenih traka u sustavu cesta, zelene otoke na kružnim tokovima, parking u svim pojavnim formama s mogućnostima integracije zelenila s mogućnostima integriranja željenog karaktera krajobraznog uređenja okoliša u dati prostor.

- **Porozni kolnici, parkinzi i nogostupi**

Porozni kolnik je varijacija opločenja završne konstrukcije u odnosu na tradicionalni kolnik. Površina kolnika, po principu pohrane površinske vode u podzemlje posredstvom infiltracije, može biti od

propusnog asfalta, propusnog betona, propusne betonske galanterije, travne rešetke od plastičnog materijala za parkirališta i vatrogasne puteve te pješačke nogostupe.

Otvori u propusnim sustavima betonskih opločnika, betonskih rešetaka i travnih ploča od plastike obično se ispunjavaju s rizolom, pijeskom, složenom zemljom za travni pokrov i sl. Porozne kolnike i nogostupe preporučljivo je koristiti na ravnim dijelovima naselja i do max. nagiba od 5%.

- **Drenažni rovovi – infiltracijski jarci**

Drenažni rovovi se odnose na infiltracijske rovove, drenažne blokove, galerije i sl. građeni su ispod razine poda i stoga zauzimaju malo prostora na površini ili se uopće ne nalaze na površini zemlje. Takvi sustavi (uobičajeno drenažni blokovi i drugi tipovi drenaža) mogu biti ugrađeni u širokom spektru namjene površina, uključujući stambena dvorišta, parkirališta, šetališta, pješački trgovi, parkovi i sportski tereni.

Linearni infiltracijski rovovi mogu biti dizajnirani tako da se ugrađuju ispod granuliranih podnih površina. Otjecanja iz susjednih naseljenih prostornih sustava može biti usmjeren na infiltracijske rovove u slobodno krajobrazno okruženje. Pritom mreža staza povećava povezanost otvorenog krajobraznog prostora s naseljenim dijelom što tvori zajedničku, cjelovitu mrežu infiltracijskog sustava.



Slika 4.9.4. Uređenje parkirališta – naizmjenice propusni asfalti i zelene površine za odvodnju

U novo planirane urbane zone koje se dizajniraju na temelju načela suvremenog urbanizma, drenažni jarci ili rovovi mogu se ugraditi u sustav sporednih ulica. Otjecanje s krovova građevina se usmjerava na sporednu ulicu koja može biti opremljena kako na rubovima s zelenim trakastim sustavom tako i s podzemnim drenažnim blokovima. Drenažni rovovi ili pak drenažni blokovi te kišni

vrtovi mogu biti građeni ispod podnih površina, ispod travnjaka, vrta i povrtnjaka te drugih površina u okvirima privatnih okućnica.

- **Lagune s produljenom retencijom i mokre lagune**

Lagune s produženom retencijom (LPR lagune) uklanjaju iz oborinskog dotoka onečišćenja i smanjuju vršne protoke na razinu prije izgradnje prometnice, to znači da koeficijent otjecanja ostaje isti. Iz oborinskog dotoka uklanjaju se taložive i plivajuće tvari, a s njima i hranjiva, teške kovine i toksične tvari. Regulacijom otjecanja štite se od erozije nizvodni objekti i smanjuje mogućnost plavljenja. Mogu se graditi u formi nasipom ograđenih kaseti, iskopanih laguna ili spremnika. LPR nemaju stalni volumen vode između oborina. Dakle, LPR su depresije koje povremeno retenciraju dio oborinskog dotoka. Učinkovitost u uklanjanju onečišćenja raste im s povećanjem vremena zadržavanja vode.

Moguće je ukloniti 90% suspenzija, ako je zadržavanje vode 24 ili više sati. Unatoč tome u LPR se ne smanjuju bitno koncentracije otopljenog fosfora i dušika. LPR se mogu primijeniti u slučajevima:

- Kad se očekuje posebno veliko onečišćenje prijamnika (obično kad je srednje dnevno prometno opterećenje preko 30000 vozila/dan, i/ili za opterećene gradske prometnice)
- Kad je potrebno smanjiti utjecaj onečišćenja s prometnice, a ne mogu se primijeniti bioretencije ili infiltracijski jarci.

Kad vodoprivredne vlasti traže da se ne poremeti vodni režim uslijed promjene namjene površina. Ova je laguna u pravilu jeftinija od vlažnih laguna i umjetnih močvara, ali skuplja od travnatih jaraka, bioretencija, kišnih vrtova i sporih tresetno-pješčanih filtara. Zemljište potrebno za LPR iznosi od 0,5-2,0% od ukupne slivne površine. Potrebno je razmotriti infiltracijski kapacitet tla ispod lagune s pretpostavkom da će se bitno smanjiti kolmatacijom. Visoka razina podzemne vode ne mora ograničiti mogućnost primjene ili rada LPR, ali se mora razmotriti u projektu i izvedbi. Zbog najčešćeg lociranja unutar eksproprijacijskog pojasa autoceste, LPR su uske i izdužene. Mogu se smjestiti uz pokos nasipa, u širokom razdjelnom pojasu ili u slobodnim prostorima prometnih petlji. Gornja granica za primjenu LPR su slivne površine od najviše 20-30 ha. Iznad spomenute granice pogodnija je primjena vlažnih laguna.

Mokra laguna (ML) je NPU koja koristeći stalnu prisutnost vode iz oborinskih dotoka s prometnice uklanja konvencionalna onečišćenja kroz taloženje, biološku razgradnju i biljnu filtraciju. Biološkim procesima koji se odvijaju u laguni uklanjaju se metali i otopljena hranjiva kao što su nitrati i ortofosfati. Mokre lagune mogu također biti regulacijske građevine i kontrolirati dotok preko tzv.

živog retencijskog volumena iznad stalne radne razine. Ako se grade u formi prirodnih stajačica mogu imati rekreacijsku i estetsku vrijednost. Mokra je laguna slična laguni s produženom retencijom, osim što ima stalni radni volumen.

Kod odvodnje prometnica koriste se za slučajeve, kad osim same prometnice postoji veći dio vanjskog sliva, i pouzdani stalni izvor vode. Za lokacije s manjom površinom izvan prometnice i bez stalnog izvora vode pogodnija je primjena LPR ili neko drugo rješenje. Također su pogodne za primjenu kod velikih parkirališta i odmorišta. Pouzdani izvor vode treba osigurati stalni volumen lagune.

- **Umjetne močvare**

U močvarnom zemljištu odvijaju se fizikalni, kemijski i biološki postupci čišćenja otpadnih voda. Fizikalno djelovanje rezultat je malih brzina tečenja i iskazuje se kao isparavanje, taloženje, adsorpcija, i/ili filtracija. Kemijski postupci uključuju obaranje i kemijsku adsorpciju. Biološki procesi sastoje se od razgradnje, trošenja hranjiva od biljaka i biološke razgradnje i pretvorbe. Hidrološki čimbenici presudno djeluju na uklanjanje onečišćenja, jer utječu na taloženje, aeraciju, biološku pretvorbu i adsorpciju na sedimentu dna močvare. Velike površine dna močvara pospješuju adsorpciju, adsorpciju, filtraciju, mikrobiološku razgradnju i hranjenje, više nego bi bilo moguće postići u kanaliziranim vodotocima. Prirodne močvare određene su tipom tla, hidrološkim čimbenicima, i vrstom vegetacije kojom su prekrivene. U prirodnim močvarama prevladavaju nedrenirana tla, saturirana ili potopljena tankim slojem vode, stalno ili tijekom vegetacije. Močvare su staništa hidrofita, biljaka koje su stalno ili povremeno u vodi. Za čišćenje oborinskih dotoka s autocesta koriste se prirodne i umjetne močvare. Korištenje postojećih močvara je svakako ekonomičnije.

Umjetne močvare (UM) imaju estetsku vrijednost, staništa su biljaka i životinja, služe za kontrolu erozije i uklanjanje onečišćenja. U kombinaciji s mokrom lagunom ili drugim zaštitnim objektima daju visoku učinkovitost čišćenja i mogu zadovoljiti veće slivove. Nedostatak im je što trebaju stalni dotok vode, mogu se vremenom zasoliti i zamočvariti, a tijekom velikih dotoka može doći do ispiranja u vodotoke i podzemlje. Potrebno ih je redovito održavati košenjem biljaka i odstranjivanjem taloga. Dobrim planiranjem i oblikovanjem mogu se smanjiti negativne osobine UM i troškovi održavanja. To najviše ovisi o korištenju biljaka, životinja, mikroorganizama i hidrološkim veličinama. Potrebno je uvažavati prirodno okruženje i karakteristike vodotoka u smislu vodnog režima. Potpuno učinkovita UM ne može nastati spontano. Potrebno je vrijeme da se uspostave

biljne i životinjske zajednice i postigne željena učinkovitost. UM moraju što više sličiti prirodnim, tako da oblikovanje u strogim geometrijskim oblicima ne dolazi u obzir.

- **Infiltracijski spremnici**

Infiltracijski spremnik (IS) je otvorena zemljana građevina koja zahvaća volumen prvog oborinskog dotoka i pročišćava ga procjeđivanjem kroz propusno tlo. Procjeđivanjem kroz tlo na onečišćenu oborinsku vodu djeluju fizikalni, kemijski i biološki procesi kojim se uklanjaju suspenzije i otopljena onečišćenja.

Onečišćenja se zadržavaju u gornjim slojevima tla, a pročišćena voda otječe u podzemlje. IS se koriste za slivne površine između 2 i 20 ha. Za površine manje od 2 ha pogodni su infiltracijski jarci (IJ). Za slivne površine veće od 20 ha, održavanje postaje suviše složeno, pa je primjena LPR ili ML pogodnija. Infiltracijski spremnici su uglavnom suhi, osim neposredno nakon oborina. Kod odabira lokacije potrebno je oprezno odabrati lokaciju IS, naročito u pogledu propusnosti tla. Ako je tlo slabo propusno, procjeđivanje u tlo biti će presporo. Važan je i nagib tla u slivu, dubina vodonepropusnog sloja i razine podzemne vode, blizina zdenaca pitke vode i temelja objekata. Smatra se da tla s brzinom filtracije ispod 7 mm/h nisu pogodna za IS. Isto tako nisu pogodna tla s velikim udjelom gline (>30%). U svrhu definiranja karakteristika tla, potrebno je učiniti niz uzorkovanja sa dubine od najmanje 1,5 m ispod zamišljenog dna IS.



Slika 4.9.5. Infiltracijski jarci parkirališta Dom Braće Ribar Pula

Osim ovakvih sistema odvodnje i pročišćavanja oborinskih voda, mogu se upotrebljavati i klasični mastolovi, taložnici, pjeskolovi i sl., ali samo iznimno kad nije moguće primijeniti nikakav drugi

sustav pročišćavanja, a to je vrlo rijetko jer su ovi sustavi višestruko ekonomski nepovoljniji, ne uklapaju se u okoliš, a održavanje je problematično, kao i odlaganje i/ili skupljanje ulja, masti i taloga, osim ako nije za ponovnu uporabu.

4.9.3.2 Tipologija NBS sustava za trgove, parkove, rekreacijske površine i otvorene površine bez namjene

U parkovima, rekreacijskim područjima i otvorenim prostorima prisutan je potencijal za integraciju zbrinjavanja oborinskih voda s ostalim sadržajima unutar uređenog krajolika. Međutim, važno je da takva integracija unutar javnih prostora ne ugrožava njegove funkcije ili korisnost.

Integracija sustava odvodnje oborinskih voda unutar parkova i otvorenih prostora pruža višestruke mogućnosti:

- uključivanja bioretencija, sustava trakaste vegetacije s funkcijama filtera i širokih zelenih jarka u otvorene prostore kao sastavnica krajobraznog plana
- integracija kao oblik vodene motivacije u sadržajima unutar parka,
- izvođenje infiltracijskih ili filtracijskih sustava/ objekata ispod piknik zona, parkirališta, igrališta i sl.
- uključiti infiltracijske sustave u pojasu pored zaštitnih šuma, gdje njihova funkcija i ekološki integritet neće biti ugroženi

4.9.3.3 Tipologija NBS sustava za šumske i ostale otvorene površine vanjskog sliva

Pošumljavanje i ostale krajobrazne tehnike te šumarske i hidrotehničke melioracije.

4.9.3.4 Tipologija NBS sustava za individualno stanovanje

Jako je važno naglasiti da se oborinske vode s privatnih građevinskih čestica ne smiju ispuštati na ulice, trgove i ostale javne površine kao ni na nizvodna područja, a radi zaštite istih, već se moraju retencionirati na samim građevinskim česticama. Preporučljivo je oborinske vode uklopiti u uređenje okućnica i/ili sakupljati ih za ponovnu uporabu.

Zbrinjavanje putem kišnih vrtova, zelenih krovova, zelenih zidova, stepenastim barijerama, suhozidima, podzemnim spremnicima, sadnja stabala sa širokim krošnjama, porozni opločnici itd.

4.9.3.5 Tipologija NBS sustava za kulturnu baštinu

NBS mjere kod kulturne baštine odnose se na: prikupljanje oborinskih voda podzemnim spremnicima (npr. s krovnih oluka i vertikalna), porozno opločenje, koristiti izvorne načine slaganja opločenja, sprječavanje dotoka vode s vanjskog sliva (zbrinjavanje vode na početku formiranja sliva), smanjivanje zagrijavanja krovova i pročelja premazima (npr. tekući pluto) itd.

4.9.3.6 Tipologija NBS sustava za industrijska i ostala gospodarska područja

Za industrijska i gospodarska područja potrebno je osigurati odvodnju unutar zone a prostornim planom odrediti da li će ovisno o veličini građevinske čestice biti potrebno oborinsku vodu zbrinjavati na vlastitoj čestici korištenjem zelenih površina, poroznih parkinga i zelenih krovova ili će se na pojedinim dijelovima cijele zone rješavati odvodnja i za koliku površinu čestica. Isto tako vrijede sve tehnike zbrinjavanja vode kao i za ostala područja.

4.9.4 Smjernice za prostorne planere

Osnovne smjernice za primjenu NBS sustava za prostorne planere:

- Svi planovi moraju imati i mogućnosti implementacije zaštitnih nekonstruktivnih NBS sustava (rješenja temeljena na prirodi)
- Upravljanje oborinskim dotocima na planskom nivou za svaku lokaciju treba se temeljiti i biti u skladu s planom cijelog sliva – voda ne poznaje administrativne granice
- Otjecanje prije i poslije izgradnje trebalo bi biti isto – zadržati ili smanjiti koeficijente otjecanja primjenom tehnika NBS sustava
- U najvećoj mjeri omogućiti održavanje propusnosti tla – smanjiti betonizaciju.
- Povećati zadržavanje vode na slivu i smanjiti veličinu dotoka – krajobraznim uređenjem
- Koristiti postojeći reljef pri izgradnji dijelova sustava odvodnje – maksimalno koristiti prirodni okoliš
- Povećati infiltraciju i filtraciju i smanjiti brzine tečenja i eroziju – krajobraznim uređenjem sliva
- Po mogućnosti predvidjeti korištenje pročišćene oborinske vode
- Tamo gdje postoje uvjeti treba planirati višenamjenske objekte ili neposredno u blizini (golf tereni, uz turistička naselja i gradove, parkovi i zaštitne zelene površine u gradovima i naseljima, dječja igrališta po kvartovima naselja)

- Propisati korištenje poroznih materijala u građenju trgova, ulica u starogradskim jezgrama – nevezani kamen, te porozni asfalt ili beton ili sl. u niskim dijelovima naselja (kod prometnih ulica ili parkiranja u mirovanju te pješačkih i biciklističkih staza)

4.9.5 Smjernice za projektante

Osnovne smjernice za primjenu NBS sustava za prostorne planere:

- Sustav odvodnje treba u punoj mjeri koristiti prednosti postojeće vegetacije i prirodne odvodnje
- Ako je moguće sustav odvodnje izgraditi prije izgradnje objekta
- Projektiranje započeti s ispuštom prikupljenih voda. Proračunate ispusne količine ne smiju premašiti postojeći nizvodni kapacitet, kako bi se smanjila mogućnost plavljenja, erozija, degradacija staništa i opterećenost postojećeg sustava odvodnje
- Projektirati tako da sustav odvodnje zahtjeva minimalne troškove održavanja
- Odvoditi površinsku vodu do propusnih i zelenih površina, te depresija da se poveća infiltracija
- Primijeniti tehnike oblikovanja terena te koristiti depresije za spremanje i infiltraciju vode
- Projektirati retencijske prostore sa sinusoidalnim obalama da se osigura više prostora za litoralnu vegetaciju (tako povećati filtraciju), veći broj biljnih vrsta i bolji estetski dojam
- Smjestiti ulazne građevine i vodolovna grla u travnate površine a ne asfaltirane
- Na prometnim površinama koristiti konstrukcije rigola s bočnim otvorima za ravnomjernu raspodjelu dotoka po bliskim zatravljenim površinama i jarcima
- Locirati zaštitne građevine unutar pojasa cesta, razdjelnog pojasa ili prometnih čvorova

4.9.6 Čuvanje i korištenje postojećih resursa

Osnovne smjernice vezane uz čuvanje i korištenje postojećih resursa:

- Maksimalno omogućiti provođenje površinskih i oborinskih dotoka preko vegetacijskih ili drugih objekata zaštite i izbjeći direktno ispuštanje u podzemne ili površinske vode korištenjem građevinsko krajobraznih tehnika oblikovanja nekonstruktivnih zahvata
- Sačuvati i/ili uspostaviti prirodnu vegetaciju

- Provesti istraživanja terena i prirodne odvodnje s ciljem da se zabilježe površine pod vegetacijom, postojeći stalni ili povremeni vodotoci, kulturni ili prirodni spomenici i odredi mogućnost uklapanja u projekte objekata a naročito prometnica
- Sačuvati ili uspostaviti močvare i/ili lokve gdje ih je moguće koristiti za ispuštanje oborinskog dotoka
- Izbjegavati uništavanje ili zamjenu prirodnih močvara drugim objektima i namjenama
- Izbjegavati zamjenu prirodnih kanala i vodotoka umjetnim – ne zacjevljivati prirodne vodotoke
- Strme nagibe izvesti terasasto kako bi se smanjio vršni dotok i erozija
- Koristiti autohtone biljke da se smanji uporaba pesticida, gnojenje, zalijevanje i druge potrebe za održavanjem
- Izbjegavati promjene i graditeljske intervencije unutar dolina prirodnih vodotoka, močvara, inundacija, prirodnih depresija i strmih nagiba
- Održavati i štiti vegetaciju uz more, močvare i vodotoke kao zaštitne i filtracijske pojaseve
- Sačuvati i zaštititi porozna tla zbog povećane infiltracijske sposobnosti – ne planirati industrijska postrojenja na takvim tlima
- Ograničiti zemljane radove kao što su čišćenje, ravnanje, usijecanje i nasipanje, zbog smanjenja erozije i pronosa sedimenta
- Uključivanjem principa opsežnog i temeljitog planiranja namjene zemljišta u planove i projekte postižu se tehnički bolja i ekonomski učinkovitija rješenja.
- Oponašanjem što prirodnijih uvjeta smanjit će se zahtjevi za održavanjem, a dugoročno gledano povećat će se učinkovitost u radu sustava odvodnje.
- Osnovni princip integralnog pristupa je da se infrastruktura odvodnje radi zajedno s krajobrazom te se smatra njegovim sastavnim dijelom.

4.9.7 Preporuke za izradu idejnih konceptijskih rješenja NBS sustava

U nastavku se daje preporuka sadržaja idejnih konceptijskih rješenja NBS sustava na temelju kojih se izrađuju idejni, glavni i izvedbeni projekti.

1. Projektni zadatak
2. Analiza postojećeg stanja slivova
 - 2.1. Hidrogeološke značajke šireg područja
 - 2.2. Hidrološki uvjeti i klima

3. POSTOJEĆA PROSTORNO PLANSKA I PROJEKTNJA DOKUMENTACIJA – obveze
 - 3.1. Prostorni planovi - analiza
 - 3.1.1. Vodnogospodarski sustav
 - 3.1.2. Pedološke karte, Inženjersko-geološke karte, geomehanička ispitivanja, hidrogeološke karte
 - 3.2. Postojeća projektna dokumentacija i izgrađeni objekti odvodnje
 - 3.3. Postojeći pravilnici, odluke, uredbе i norme
4. ANALIZA SVIH PROSTORNIH POKAZATELJA
5. INTEGRALNI PRISTUP RJEŠENJA U PROSTORU (HIDROLOŠKO, HIDROTEHNIČKO, KRAJOBRAZNO, PROMETNO, ARHITEKTONSKO, EKOLOŠKO)
 - 5.1. Mogućnosti u prostoru u već izgrađenim dijelovima naselja
 - 5.2. Multikriterijalna analiza prostora za integralni pristup
 - 5.3. Metodologija proračuna
 - 5.4. Mogućnosti i načini te analiza prostora za primjenu integralnog pristupa
 - 5.5. Hidraulički proračuni (odabir projektnog pljuska, usvojeni potrebni hidrološki podatci, matematički model sustava odvodnje)
 - 5.5.1. Analiza rezultata
 - 5.6. Smjernice - preporuke za proračun
 - 5.7. Preporučene biljke i plodno tlo
 - 5.8. Pročišćavanje otpadnih oborinskih voda
 - 5.9. Održavanje sustava odvodnje - preporuke
 - 5.10. Analiza i usporedba troškova – CB analiza
6. PRIJEDLOG IDEJNOG KONCEPTA
 - 6.1. Opis idejnog koncepta
 - 6.2. Opis koncepta tipologije rješenja
 - 6.2.1. Cestovna mreža
 - 6.2.2. Trgovi, parkovi, rekreacijske površine i otvorene površine
 - 6.2.3. Individualno stanovanje
 - 6.2.4. Industrijska i ostala gospodarska područja
 - 6.3. Smjernice za primjenu
 - 6.3.1. Smjernice za više dijelove naselja
 - 6.3.2. Smjernice za niske zone naselja
 - 6.3.3. Smjernice za neizgrađene građevinske zone i zapuštene zone

6.3.4. Smjernice za ruralna i poljoprivredna područja

7. SMJERNICE I MJERE ZA UPRAVLJANJE I ODRŽAVANJE SUSTAVA

7.1. Upravljanje sustavom

7.2. Održavanje sustava

4.9.8 Preporuke za proračun i dimenzioniranje NBS sustava

U nastavku se daje osnovne preporuke za projektante vezano uz proračun i dimenzioniranje NBS sustava za odvodnju oborinskih voda:

- analizirati mogućnost zadržavanja vode u prirodnom slivu
- mjerenje infiltracije *in situ*
- analiza sliva po prirodnim i antropogenim činiteljima
- planiranje glavnog odvodnog kanala (ako je potrebno)
- recipijent – određivanje recipijenta
- određivanje jedne ili više tehnika krajobraznog uređenja ovisno o dijelu naselja i veličini sliva
- definirati projektni pljusak i proračun provesti za različita trajanja oborine kako bi se definiralo kritično trajanje (funkcioniranje NBS sustava ovisi i o protocima i volumenima)
- hidrološki proračun za veće slivove i otjecanje s cijelog sliva, te prigradske i poljoprivredne površine, provesti prema SCS metodi (izbjegavati racionalnu metodu) koristeći vremenske analize i projektni pljusak za različita trajanja oborine do 24 sata.
- hidrološko-hidraulički proračun za gusto naseljena gradska područja (gdje nema jasno definiranog vremena koncentracije i mogućnosti infiltracije) provesti pomoću matematičkog modela (metoda kinematičkog vala ili Saint-Venantove jednadžbe) ili pomoću Santa Barbara metode, min. PP 5 godina, za različita trajanja oborine do 24 sata, uzeti u obzir i maksimalne protoke i maksimalne volumene.
- za pojedinačne cijevne sustave, slivnike, pregrade, preljeve (ulice i ostalo), ovisno o stupnju zaštite PP 5 ili PP 10 godina, može se koristiti i racionalna metoda za određivanje maksimalnog protoka.
- planiranje i uređenje prometnica, dijela naselja, parka ili trga te odvodnih kanala i krajobraza potrebno sagledavati integralno (neodvojivo jedno od drugih)
- ostale hidrotehničke građevine – prema uobičajenim metodama proračuna.

4.9.9 Preporuke za upravljanje NBS sustavom

Prije početaka projektiranja (idejnih i glavnih projekata) potrebno je napraviti idejni koncept odvodnje po određenim slivovima s hidrološko-hidrotehničkom analizom i matematičkim modelom te da kao takav, koncept postane dio jedinstvenog sustava.

Sustav treba biti stalno ažuriran i u skladu s izvedenim stanjem po fazama i kao cjelina. Idejni koncept – studiju potrebno je ažurirati svake 4 godine. Da bi se sustavom moglo upravljati i intervenirati mora cijeli sustav biti primjenjiv u GIS tehnologiji i u skladu s najnovijom zakonskom regulativom.

4.9.10 Zaključno o zelenoj infrastrukturi i NBS sustavima

Primjenom integriranog upravljanja vodama posredstvom urbanističkih analiza prostora, tehnikama uređenja prostora s inženjerskog i s krajobraznog stajališta postižu se značajna poboljšanja i uštede u planiranju prostora i infrastrukture kao i zaštita od negativnog djelovanja oborinskih voda na način da se prostor sagledava kao jedinstveni ekosustav. Integralnim pristupom, u skladu s prihvaćenim načinom odvodnje putem zelenih površina povećava se složenost i pozitivni efekti na ekosustav naselja, a s time i dodana vrijednost gradske sredine u cjelini.

Dodatni pozitivni učinci korištenja zelenih površina u kontekstu zbrinjavanja oborinske odvodnje su višestruki:

- Veća složenost i bogatstvo krajobrazno-ekološkog sustava u naselju,
- Poboljšanje percepcijskih vrijednosti urbanog prostora
- Poboljšanje zdravstvene sredine,
- Obogaćenje socijalne uloge otvorenih prostora
- Zaštita recipijenta i pročišćavanje.

5 Zaključci i preporuke

U predmetnoj studiji provedena je procjena opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na šest pilot područja u Hrvatskoj (Poreč, Gospić, Zadar, Biograd na Moru, Split i Metković). U skladu s Direktivom o poplavama i projektnim zadatkom, analize su provedene za tri scenarija, odnosno za malu, srednji i veliku vjerojatnost pojavljivanja, što odgovara vjerojatnostima godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %.

Opasnost od poplava analizirana je pomoću hidrološko-hidrauličkog dvodimenzijskog modela otjecanja površinskih voda. Za svaki navedeni scenarij definirani su projektni pljusкови trajanja 1, 3, 6, 12, i 24 sata, koji su potom zadani kao rubni uvjet u svakoj simulaciji. Rezultat analize opasnosti od pluvijalnih poplava izražen je kroz dubine i brzine vode te razinu opasnosti.

Procjena ranjivosti na poplave provedene je kroz analize izloženosti i podložnosti. U okviru analize izloženosti obuhvaćeni su različiti receptori rizika, kao što su građevine, prometna infrastruktura, stanovništvo, namjena korištenja zemljišta, zdravstvene ustanove, objekti javnog prijevoza, škole, vrtići, groblja, objekti koji mogu uzrokovati onečišćenje (industrijski objekti, SEVESO objekti, benzinske postaje i skladišta, odlagališta otpada, divlji deponiji), kulturno dobro te zaštićena područja. Podložnost je procijenjena na razini namjene korištenja zemljišta pomoću krivulja dubine-štete, koje opisuju postotak štete s obzirom dubinu vode.

Rizik je analiziran na kvalitativnoj razini – procjenom razine rizika za građevine, prometnu infrastrukturu i stanovništvo - te kvantitativnoj razini – procjenom šteta. Pritom, razina rizika je procijenjena na osnovu razine opasnosti i izloženosti receptora rizika, dok su štete određene na osnovu dubina vode, krivulja štete-dubine i maksimalne vrijednosti različitih klasa namjene korištenja zemljišta.

Rezultati su prikazani u obliku statičkih i dinamičkih karata, pri čemu su generirane 22 statičke karte u PDF formatu po svakom pilot području te po jedna GIS baza podataka (dinamičke karte) po pilot području.

Nastavno na prikazane analize dodatno su provedene detaljnije i sveobuhvatne analize na pilot području Zadar (prikazano u Knjizi 3 ove studije). Također, nastavno na predmetne analize i karte izrađen je Plan upravljanja rizicima od poplava (prikazano u Knjizi 4).

Iz provedenih analiza mogu se dati sljedeće preporuke za buduće aktivnosti na pilot područjima, ali i ostalim gradovima u Republici Hrvatskoj:

- Prema razrađenoj metodologiji provesti analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava za ostale gradove i općine u Republici Hrvatskoj.
- Na pilot području Poreč, Gospić, Biograd na Moru, Split i Metković provesti detaljnije analize užih područja (kritičnih podslivova) na podlogama više razlučivosti i veće detaljnosti.
- U budućim analizama poplava na pilot područjima projekta STREAM, ali i na cjelokupnom području Republike Hrvatske preporuča se korištenje digitalnog modela reljefa (DMR) dobivenog iz LiDAR snimaka.
- Za preciznije i pouzdanije modeliranje pluvijalnih poplava preporuča se instalacija nekoliko meteoroloških postaja s automatskim ombrografima ujednačeno raspodijeljenim po slivu kako bi se dobila preciznija slika oborinskog režima.
- Analize opasnosti od poplava u urbanim područjima mogu se dodatno unaprijediti uključivanjem sustava za odvodnju otpadnih voda u spregnuti 1D/2D hidraulički model kojim će se simulirati kombinirano površinsko tečenje i tečenje u cijevima.
- Analize rizika od poplava se mogu unaprijediti uključivanjem i sagledavanjem društvenih aspekata poplava (raspodjela stanovništva, demografske i ekonomske karakteristike), kao i sagledavanjem okolišnih aspekata poplava (potencijalni izvori onečišćenja i njihovo širenje te utjecaj na vodne resurse). Također, procjene šteta bi se mogle unaprijediti s detaljnijom prostornom bazom podataka o industrijskim i komercijalnim objektima.
- Problem pluvijalnih poplava rješavati integralnim pristupom odvodnji oborinskih voda. Integralni pristup odvodnji znači maksimalno oponašati odvodnju kao u prirodi pomoću ekonomski prihvatljivijih rješenja od klasičnog sustava, s minimalnim utjecajem na okoliš, unutar sliva, kroz prikupljanje, usporavanje, retencioniranje, infiltraciju i evapotranspiraciju uz prirodno pročišćavanje voda prije nego se ispuste u okoliš. To je suprotno načinima uobičajenih, klasičnih sustava odvodnje gdje se voda što brže izvodi iz sliva i točkasto pročišćava prije ispuštanja u konačni recipijent. Rješenja koja se daju Integralnim pristupom trebaju biti takva da sustav koji je predviđen bude jednostavan za upravljanje, zahtijeva malu ili nikakvu potrebu za energijom (osim izvora iz okoliša kao što je sunčeva energija itd.), te ekološki i estetski ne samo prihvatljiv nego i atraktivan. Integralnim pristupom oborinskoj

odvodnji ističu se ekonomski, estetski i ekološki pozitivni utjecaji na nivou ekosustava za razliku od jednodisciplinarnog klasičnog pristupa problemu odvodnje.

6 Literatura

Babister M. & Barton C. (2012): Australian Rainfall & Runoff: Project 15 - Two Dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains.

Brunner, G.W. (2021): HEC-RAS 6.0 2D User's Manual.

Burek P., Binachi A., Gentile A (2014): A Pan-European Dana Set for hydrological modelling, JRC.

Cardona, O. D., Van Aalst, M. K., Birkmann, J., Fordham, M., Mc Gregor, G., Rosa, P., ... & Thomalla, F. (2012). Determinants of risk: exposure and vulnerability. In *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change* (pp. 65-108). Cambridge University Press.

DHMZ (2022): Meteorološki i hidrološki bilten, Državni hidrometeorološki zavod http://meteo.hr/proizvodi.php?section=publikacije¶m=publikacije_publicacije_dhmz&el=bilteni

Direktiva 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. godine o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima

Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodríguez, J. T., Perales-Momparler, S., and Morales-Torres, A. (2011): SUFRI methodology for pluvial and river flooding risk assessment in urban areas to inform decisionmaking, SUFRI project, WP3, final report.

EXCIMAP (2007): Handbook on good practices for flood mapping in Europe, European exchange circle on flood mapping.

Hidroprojekt-ing (2014): Hidrološko-hidraulička analiza s konceptijskim varijantnim rješenjima, studija, Zagreb.

Hidroprojekt-ing (2018): Hidrološka analiza događaja 11.9.2017. na potoku Ričina u Zadru, stručni elaborat, Zagreb.

Hong, Y., & Adler, R. F. (2008). Estimation of global SCS curve numbers using satellite remote sensing and geospatial data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), 471-477.

Hrvatske vode (2022): Nacrt plana upravljanja vodnim područjima, Zagreb.

Huizinga, J., De Moel, H., & Szewczyk, W. (2017). *Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines* (No. JRC105688). Joint Research Centre (Seville site).

Institut IGH (2018): Regulacija vodotoka Ričine u Zadru – IV faza, Glavni projekt, Split.

- Kuller, M., Bach, P. M., Roberts, S., Browne, D., & Deletic, A. (2019). A planning-support tool for spatial suitability assessment of green urban stormwater infrastructure. *Science of the total environment*, 686, 856-868.
- Merz, B., Thielen, A. H., & Gocht, M. (2007). Flood risk mapping at the local scale: concepts and challenges. In *Flood risk management in Europe* (pp. 231-251). Springer, Dordrecht.
- Martin-Mikle, C. J., de Beurs, K. M., Julian, J. P., & Mayer, P. M. (2015). Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. *Landscape and urban planning*, 140, 29-41.
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2017). *Urban street stormwater guide*. Island Press.
- New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC) (2015). *Stormwater Management Design Manual*, Albany NY.
- NRCS (2016): Manning's n Values for Various Land Covers to use for Dam Breach Analyses by NRCS in Kansas.
- Provedbeni planovi obrane od poplava, Hrvatske vode, <https://www.voda.hr/hr/provedbeni-planovi-obrane-od-poplava>, pristupljeno 30. svibnja 2022.
- RAINMAN (2020): Policy brief - Integrating pluvial flood risk management into flood risk management plans according to the EU Floods Directive and beyond.
- Registar poplavnih događaja, Hrvatske vode, <https://www.voda.hr/hr/registar-poplavnih-dogadaja>, pristupljeno 30. svibnja 2022.
- Samuels, P., Gouldby, B. (2009). Language of risk: project definitions. *T32-04-01*.
- Sauer, A., Olfert, A., Korte, L, Neubert, M, Ortlepp, R (2019): Joint definitions and analytical framework, RAINMAN. Leibniz Institute of Ecological Urban and Regional Development.
- Te Chow, V. (2010). *Applied hydrology*. Tata McGraw-Hill Education.
- Three common types of flood explained, <https://www.zurich.com/en/knowledge/topics/flood-and-water-damage/three-common-types-of-flood>, pristupljeno 30. svibnja 2022.
- Vincze, G., Moulin, C., Schlacher, C., Wubbels, T. (2014): Glavni elementi pripreme karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava. Izvješće o Komponenti 3.
- USACE (2021): *Creating Land Cover, Manning's N Values, and % Impervious Layers*. US Army Corps of Engineers.
- UNISDR (2009): *Terminology on Disaster Risk Reduction*, UN, Geneva, Switzerland.

UNISDR Terminology, <https://www.undrr.org/terminology>, pristupljeno 30. Svibnja 2022.

USDA (2017): Part 630 Hydrology: National Engineering Handbook, Chapter 9: Hydrological Soil-Cover Complexes.

Zakon o vodama, Narodne novine 19/2022, 84/2021

Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Europskom vijeću, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: Europski zeleni plan (COM(2019) 640 final) od 11.12.2019. godine, dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>

Komunikacija Komisije Europskom parlamentu, Vijeću, Europskom gospodarskom i socijalnom odboru i Odboru regija: Zelena infrastruktura (ZI) – Unapređenje Europskog prirodnog kapitala (COM(2013) 249 final) od 6.5.2013. godine, dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1577969537982&uri=CELEX:52013DC0249>

Izvješće komisije Vijeću o Programu EU-a za gradove (COM(2017) 657 final) od 20.11.2017. godine, dostupno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0657&from=DE>

Urbana agenda za EU, Partnerstvo Održivo korištenje zemljišta i rješenja prihvatljiva za prirodu, dostupno na: <https://futurium.ec.europa.eu/en/urban-agenda/sustainable-land-use>

Akcijski plan Partnerstva za prilagodbu klimatskim promjenama, dostupno na: <https://futurium.ec.europa.eu/en/urban-agenda/climate-adaptation/action-plan/climate-adaptation-action-plan>