

Flood risk and flood hazard maps for Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić and Biograd na Moru areas in Croatia developed

Final Version of April/2023

Deliverable Number 3.2.1.

Project Acronym	STREAM
Project ID Number	10249186
Project Title	Strategic Development of Flood Management
Priority Axis	2 - Safety and Resilience
Specific objective	2.2 - Increase the safety of the Programme area from natural and man-made disaster
Work Package Number	3
Work Package Title	Creating Flood Knowledge Documents
Activity Number	3.2.
Activity Title	Flood hazard and risk mapping
Partner in Charge	University of Zadar
Partners involved	LP, PP1, PP2, PP3, PP5, PP6, PP7, PP8, PP9, PP10, PP11, PP13, PP14, PP15
Status	Final
Distribution	Public

Summary

Introduction	3
1. Study of hazard and risk assessment of floods due to heavy precipitation and sea action in pilot areas in Croatia (STREAM project)	4
1.1. Analysis of precipitation in pilot areas	4
1.2. Assessment of the hazard and risk of flooding due to heavy precipitation in the pilot areas	152
1.3. Comprehensive analysis of urban flooding in Zadar and improving the flood forecasting system.....	381
2. Very high-resolution flood hazard for Metković – case study	629
Conclusion	674

Introduction

Flood event maps are based on floods which occurred in the near or far past. Flood risk maps integrate the potential hazards with the vulnerabilities of existing or potential economic activities when exposed to floods of a range of probabilities. It shows the average damage per unit area, often expressed in monetary terms. Flood hazard maps show areas which could be flooded according to three probabilities (low, medium, high) complemented with: type of flood, the flood extent, water depths or water level, flow velocity where it is relevant. Flood risk maps expressed in terms of: the indicative number of inhabitants potentially affected; type of economic activity of the area potentially affected; installation which might cause accidental pollution in case of flooding. Flood mapping heavily depends on high quality data. On the basis of GIS database on the macro and micro level of research, GIS and statistical analyses are done from which a whole series of thematic maps (1-4) is generated. Depending on the methodology used, the MCDA-GIS process included specific criteria groups based on which a flood risk model is generated. Flood event maps show the observed flood events and their extent as recorded by different means.

1. Study of hazard and risk assessment of floods due to heavy precipitation and sea action in pilot areas in Croatia (STREAM project)

The main goal of work task 1 is to create a study of the hazard and risk assessment of floods due to heavy precipitation and the action of the sea. Within the scope of this Study, and the entire STREAM project, it is necessary to carry out activities that will result in the creation of a flood cadastre, i.e. maps of the danger and risk of floods due to heavy rainfall in six pilot areas in Croatia, as well as the establishment and improvement of a system for forecasting floods from heavy rainfall and actions of the sea in Zadar, all with the help of hydrological hydraulic modeling. Also, although there are maps of the danger and risk of flooding from the sea, they are made only on the basis of projections of high sea levels and topographic bases and do not include the dynamics of the sea, i.e. the influence of waves, storm surges and meteotsunamis, which can significantly affect the coverage of the flooded coastal area.

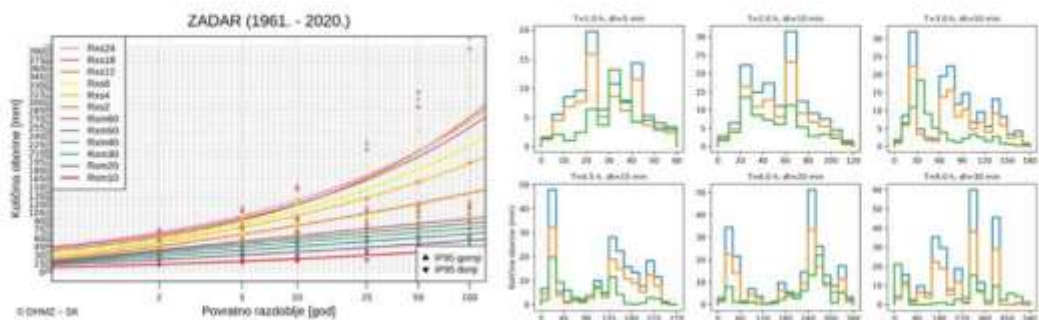
1.1. Analysis of precipitation in pilot areas

Basic processing of the precipitation regime will be carried out of short-term heavy precipitation, for a period of at least 30 years from one ombrographic station closest to each pilot area (Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić and Biograd na Moru), which will include the following:

- Analysis of the acceptability of ombrographic data for further analysis - comparison of precipitation amounts measured by rain gauge and ombrograph
- Analysis of trends and probability of occurrence of short-term heavy precipitation for durations from 10 min to 24 h, as well as maximum cumulative curves of longer duration
- Defining HTP and ITP curves for up to 24 hours
- Analysis of the spatial distribution of precipitation in each pilot area
- Analysis of the shape of the project shower for different classes of duration within the range of up to 24 h
- Systematization of knowledge about the effects of climate change on the features of the occurrence of short-term heavy precipitation and a quantified assessment of the possible effects of such changes on changes in the peak runoff of stormwater

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

KNJIGA 1: ANALIZA OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA



Rijeka – Zagreb, listopad, 2022.

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

 Sveučilište u Zadru
Universitetas 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 1: ANALIZA OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA**

Razina dokumentacije: Studija

Voditelj projekta: Dr. sc. Nino Kravica

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

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

Mjesto i datum: Rijeka – Zagreb, listopad, 2022.

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

Voditelj projekta i hidrauličkih istraživanja:	dr. sc. Nino Kravica, 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: 2170-57-05-00-22-9

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 1: ANALIZA OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA

Broj studije: 033/2021

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

Voditelj studije:



dr. sc. Nino Krvavica

Dekan:



dr. sc. Mladen Bulić

Naziv:	STUDIJA PROCJENE OPASNOSTI I RIZIKA OD POPLAVA USLIJED JAKIH OBORINA I DJELOVANJA MORA KNJIGA 1: ANALIZA OBORINA NA PILOT PODRUČJIMA
Naručitelj:	SVEUČILIŠTE U ZADRU Ulica Mihovila Pavlinovića 1, 23 000 Zadar
Izvešće izradili (Zajednica ponuditelja):	SVEUČILIŠTE U RIJECI, GRAĐEVINSKI FAKULTET DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
Voditelj studije:	dr. sc. Nino Krvavica
Suradnici:	
Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet (vodeći član)	dr. sc. Josip Rubinić Maja Radišić, mag. ing. aedif.
Državni hidrometeorološki zavod	dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin dr. sc. Ivan Güttler mr. sc. Melita Perčec Tadić Leonardo Patalen, dipl. ing. geod.

Sadržaj

1	Uvod	1
1.1	Uvodno o STREAM projektu	1
1.2	Projektni zadatak	2
1.2.1	<i>Radni zadatak 1</i>	3
1.3	Uvodno o problematici jakih kratkotrajnih oborina	5
2	Klimatološke značajke pilot područja	7
2.1	Uvodno o klimatološkim značajkama	7
2.2	Klimatološke značajke pilot područja Poreč	8
2.3	Klimatološke značajke pilot područja Gospić	14
2.4	Klimatološke značajke pilot područja Zadar	20
2.5	Klimatološke značajke pilot područja Biograd na Moru	26
2.6	Klimatološke značajke pilot područja Split	32
2.7	Klimatološke značajke pilot područja Metković	38
2.8	Usporedba mjesečnih količina oborina na pilot područjima	44
3	Metodologija provedenih obrada oborina	45
3.1	Analiza prihvatljivosti ombrografskih podataka	45
3.2	Analiza nizova godišnjih maksimalnih kratkotrajnih i višednevnih količina oborine	47
3.3	Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborina	47
3.4	Generiranje HTP i ITP krivulja na pilot područjima	48
3.5	Generiranje projektnog pljuska na pilot područjima	50
3.5.1	<i>Identifikacija relevantnih pljuskova</i>	50
3.5.2	<i>Definiranje bezdimenzionalnog oblika projektnog pljuska</i>	53
3.5.3	<i>Generiranje projektnog pljuska</i>	55
4	Rezultati analize kratkotrajnih jakih količina oborina na pilot područjima	56

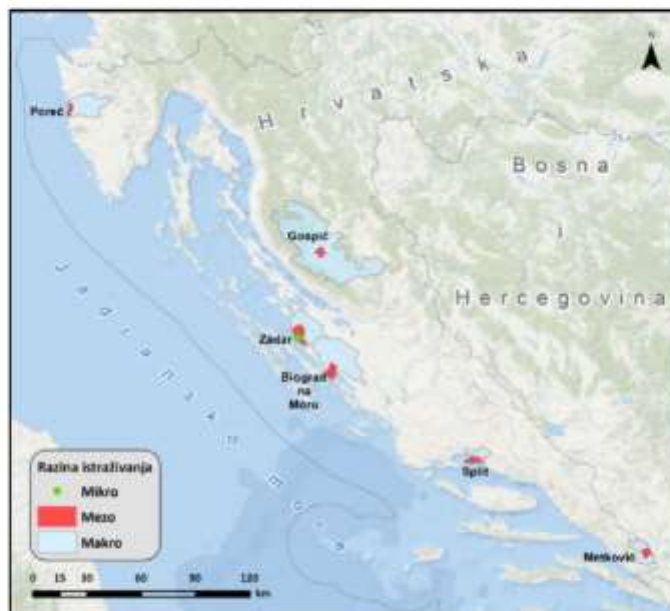
4.1	Prihvatljivost ombrografskih podataka	56
4.2	Analiza nizova godišnjih maksimalnih količina oborine	65
4.3	Vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborina	74
4.4	HTP i ITP krivulje	77
4.4.1	<i>HTP krivulje kratkotrajnih oborina</i>	77
4.4.2	<i>HTP krivulje višednevnih oborina</i>	85
4.4.3	<i>ITP krivulje kratkotrajnih oborina</i>	89
4.5	Oblici projektnog pljuska	93
4.6	Prostorna varijabilnost ekstrema količine oborina između pilot područja	106
5	Trenutna saznanja o utjecaju klimatskih promjena na značajke pojave kratkotrajnih jakih oborina	110
6	Zaključak i preporuke	115
	Popis literature	117
	Prilog A: Tablice projektnih pljuskova	119
	Prilog B: Tablice vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborine	135

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 umanjena 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 višemodelnog sustava razvijenog u EU-Adriatic 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-projektni biro d.d. (VPB) i Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) te podizvoditelj Centar Građevinskog fakulteta d.o.o. provode predmetni zadatak s ciljem realizacije predviđenih aktivnosti kroz radne pakete.

Projektni zadatak podijeljen je na dva radna zadatka:

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

U nastavku se daje detaljan opis ova dijela radnog zadatka 1 vezanog uz analizu oborina, kako je to specificirano u Projektnom zadatku Knjige 3. Dokumentacije za nadmetanje.

1.2.1 Radni zadatak 1

Osnovni cilj radnog zadatka 1 je izrada Studije procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora. U okviru ove 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

Obuhvat svih šest pilot područja prikazan je na slici 1.1.1.

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

A. Analiza oborina na pilot područjima. Izvršitelj će provesti osnovne obrade oborinskog režima kratkotrajnih jakih oborina, za razdoblje od minimalno 30 godina s jedne ombrografske postaje najbliže svakom pilot području (Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić i Biograd na Moru), koje će uključiti sljedeće:

- Analizu prihvatljivosti ombrografskih podataka za provedbu daljnjih analiza – usporedba količina oborine izmjerenih prema kišomjeru i ombrografu
- Analizu trendova i vjerojatnosti pojava kratkotrajnih jakih oborina za trajanja od 10 min do 24 h, kao i maksimalnih kumulativnih krivulja duljih trajanja
- Definiranje HTP i ITP krivulja za trajanja do 24 h
- Analizu prostorne raspodjele oborina na svakom pilot području
- Analizu oblika projektnog pljuska za različite razrede trajanja unutar raspona do 24 h
- Sistematizaciju saznanja o utjecajima klimatskih promjena na značajke pojava kratkotrajnih jakih oborina i kvantificiranu ocjenu mogućih utjecaja takvih promjena na promjene vršnih otjecanja oborinskih voda

U navedenim analizama Izvršitelj treba nužno koristiti različite tipove statističkih obrada:

- Analiza homogenosti i analize trenda
- Analize vjerojatnosti pojave jakih oborina s testiranjem dobrote prilagodbe
- Definiranje HTP/ITP krivulja višeparametarskim funkcijama izjednačenja
- Definiranje projektnog pljuska prema jednoj od metoda kumulativnih profila, odnosno masenih krivulja (npr. Metoda prosječne varijabilnosti, Huffove krivulje, i sl.)

1.3 Uvodno o problematici jakih kratkotrajnih oborina

Na pojavnost jakih kratkotrajnih oborina utječe niz prostornih i klimatskih faktora, a na otjecanje oborinskih voda utječu i dodatni faktori, kako prirodni (geološka i pedološka podloga, prirodan vegetacijski pokrov, topografija), tako i antropogeni (prenamjena zemljišnog pokrova, stupanj urbane izgrađenosti i opremljenosti infrastrukturom, sustav oborinske odvodnje, prometna infrastruktura).

Oborinskim vodama posebno su ugrožene urbane sredine u kojima poplave nastaju kao kombinacija nagle i neplanske urbanizacije, neodržavanja sustava odvodnje te sve češćih kratkotrajnih jakih oborina (IPCC, 2022). Rezultati nedavno provedenih analiza trenda pojava kratkotrajnih jakih oborina za Split i Varaždin, kao pokazatelja maritimnog i kontinentalnog režima oborina, ukazuju na statistički neznačajnu prisutnost pojačanja kratkotrajnih jakih oborina na analiziranim lokalitetima (Cindrić i sur., 2014). Stoga je zaključeno da se uzroci sve učestalijih problema koji se javljaju s oborinskom odvodnjom u Republici Hrvatskoj (RH) moraju tražiti i izvan domene mogućih vremenskih promjena značajki kratkotrajnih jakih oborina (Krvavica i sur., 2018).

Posljednjih nekoliko desetljeća sve se češće pojavljuju ekstreme količine oborina i poplave na području RH, s najizraženijim ekstremima na Jadranskoj obali (Gajić Čapka i sur., 2014; Ivančan-Picek i sur., 2014). Priobalno područje RH nalazi se pod utjecajem sredozemnih atmosferskih strujanja i u kombinaciji sa planinskim masivom Dinarida u njegovom zaleđu ima i naglašenije pojave kratkotrajnih intenzivnih oborina. Na tom priobalnom području u vrlo značajnoj mjeri prisutne su i krške površine na kojima velike oborine utječu na bitno složeniji karakter otjecanja njima izazvanih površinskih i podzemnih voda. Priobalni dijelovi (kao što su pilot područja Poreč, Zadar, Biograd na Moru i Split) su i pod složenim utjecajem dinamike kolebanja razine mora – kako unutar dnevnih, tako i na duljoj, višegodišnjoj vremenskoj skali. S druge strane, područja koja su smještena uz veće rijeke u zaleđu (kao što su pilot područja Gospić i Metković), ujedno su izložena i poplavama koje nastaju uslijed izlivanja vode iz korita rijeka (tzv. fluvijalne poplave).

Za ublažavanje štetnih posljedica pojava obilnih oborina nužno je preispitati značajke oborinskog režima kratkotrajnih jakih oborina, tehnička rješenja odvodnje oborinskih voda (jer je zamjetno da se štetne posljedice vrlo učestalo javljaju i na urbanim područjima koja nominalno imaju uređenu urbanu odvodnju), kao i uspostaviti sustave za rano upozoravanje na mogućnost poplava uslijed pojava obilnih oborina (tzv. pluvijalne poplave). U Europi već postoje sustavi za rano upozoravanje od pojava poplavnih voda vodotoka koji imaju karakter bujičnih voda, pa i vrlo prikladan vodič

(UCAR, 2010) koji bi mogao biti predložak za sličan sustav upozoravanja na poplave od obilnih oborina na pilot područjima projekta STREAM.

Potreba osiguranja primjerene zaštite od pojava obilnih oborina i njihovih štetnih posljedica uvjetovana je i intenziviranjem klimatskih promjena. Klimatske promjene, kako već zapažene tako i u još većoj mjeri predviđene do kraja 21. stoljeća (IPCC, 2022), manifestiraju se na vrlo različite načine, a vrlo se često javljaju i kao združena manifestacija nekoliko različitih promjena. Na primjer pri pojavama velikih voda i njima uzrokovanih poplava kao kombinacija porasta razine mora i velikih voda uzrokovanih intenzivnijim pojavama kratkotrajnih jakih oborina. Zbog toga je u danom dokumentu dan i pregled postojećih saznanja o mogućim promjenama kratkotrajnih jakih oborina, temeljeno na rezultatima prethodnih klimatskih istraživanja. Treba također napomenuti da prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjena u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020), među izdvojenim mjerama prilagodbe su i mjere HM-1 (Jačanje kapaciteta za provedbu nestrukturnih mjera zaštite od štetnog djelovanja voda pri pojavama ekstremnih hidroloških prilika čije je povećanje intenziteta i učestalosti pojave uvjetovano klimatskim promjenama) te HM-04 (Jačanje upravljačkih kapaciteta nadležnih institucija za djelovanje pri pojavama ekstremnih hidroloških prilika), koje se neposredno odnose na problematiku zaštite i prilagodbe pojavama obilnih oborina.

Treba još napomenuti kako je problematika pojavnosti jakih oborina na području RH nedavno analizirana i u okviru projekta RAINMAN (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019). U okviru te studije, definirane su ili novelirane HTP i ITP krivulje za nekoliko postaja na pilot područjima Istre i Zagreba, generirani su oblici projektnog pljuska te je analiziran utjecaj klimatskih pojava na kratkotrajne jake oborine. Studija RAINMAN stoga predstavlja korisno metodološko uporište i polazište za daljnja razmatranja problematike jakih oborina i u okviru predmetne analize.

2 Klimatološke značajke pilot područja

2.1 Uvodno o klimatološkim značajkama

Za potrebe analize sadašnje klime šest pilot područja analizirani su vremenski nizovi srednje dnevne temperature zraka na 2 m i ukupne količine oborine na lokacijama meteoroloških postaja u mreži Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) u svrhu izrade prostornih polja srednje mjesečne temperature i količine oborine metodom geostatističke interpolacije. Pritom, prostorna interpolacija je provedena unutar obuhvata slivova na svakom pilot području, koji su generirani u okviru hidroloških analiza sliva te prikazani u Knjizi 2 ove Studije.

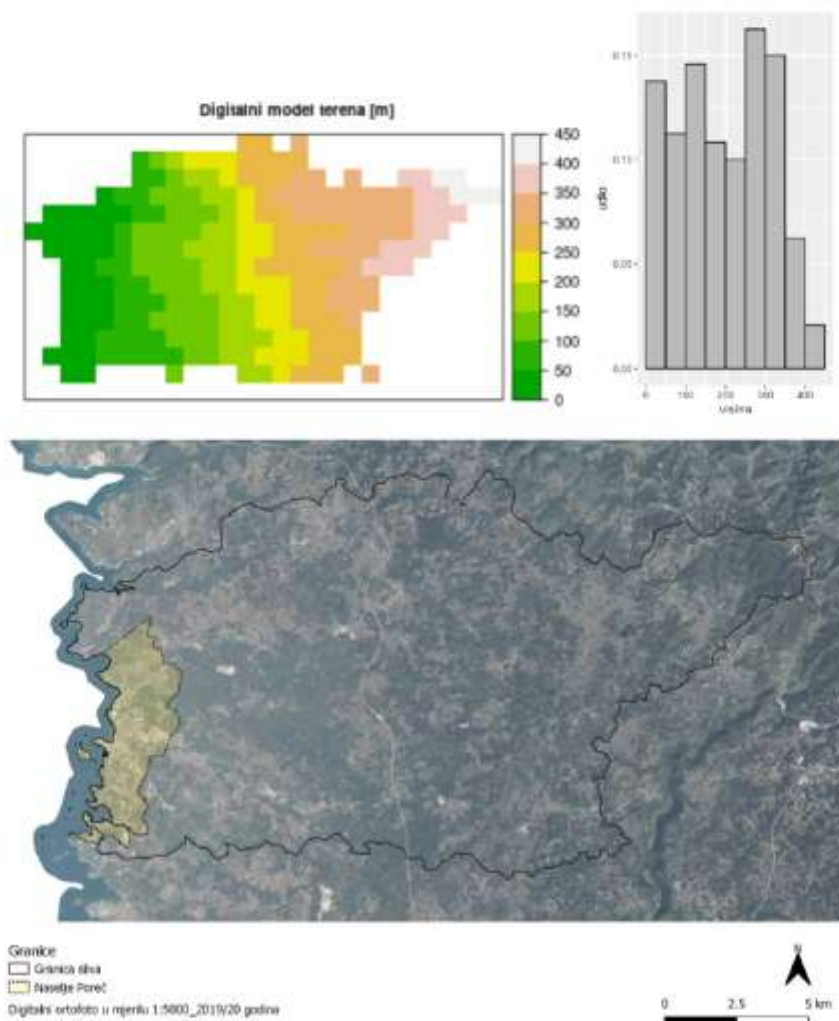
Iako su podaci s meteoroloških postaja reprezentativni za lokaciju i okolno područje, često nisu dovoljni da bi pružili sveobuhvatan uvid u klimatske prilike pilot područja. Razlozi mogu biti različiti, primjerice najbliža postaja nije unutar pilot područja kao što je slučaj za pilot područje Metković i postaju Ploče, ili je područje izrazito geografski kompleksno pa lokacija postaje nije reprezentativna za čitavo područje. Posljednje može biti slučaj kod većih područja gdje postoje i veće razlike u nadmorskoj visini kao jednom od glavnih klimatskih faktora, pri čemu lokacija meteorološke postaje nije reprezentativna za opis klime na čitavom rasponu nadmorskih visina. Primjerice postaja Gospić na istočnom je dijelu područja na n.v. od 654 m dok se područje uzdiže prema padinama Velebita i u najvišim jugozapadnim dijelovima visine prelaze 1300 m. Izrazitiji raspon nadmorskih visina je i kod pilot područja Poreč. Prostorna raspodjela temperature zraka i količine oborine, koja dominantno ovisi o geografskim obilježjima, pri ovakvim visinskim obilježjima pilot područja ne može biti adekvatno opisana podacima izmjerenim na najbližoj postaji. U pravilu je na manjim visinama toplije, a na višim hladnije, uz vrijednost vertikalne stope ohlađivanja od približno 0.6°C/100m. Kod prostorne raspodjele oborine manje kiše obično imaju nizinska područja, a više brdska i planinska. Ostala obalna područja su malih raspona nadmorskih visina pa i same meteorološke postaje zadovoljavajuće opisuju njihovu klimu.

Alternativa ili dodana vrijednost opisu klime reprezentativne meteorološke postaje je korištenje interpoliranih podataka, odnosno rastera, koji temeljem većeg skupa podataka mjerenja i dodatnih prediktora daju procjenu vrijednosti klimatskih varijabli na čitavom području uključivo i lokacije na kojima ne postoje mjerenja. Ovdje korišteni rasteri dio su novog skupa prostornih podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda koji sadrži prostorno interpolirane srednje mjesečne temperature zraka i mjesečne sume oborine za svaki mjesec pojedine godine iz razdoblja 1981.

–2018. kao i mjesečne srednjake klimatske normale 1981. – 2010. Za izradu mjesečnih karata korištena je metoda regresijskog kriginga kojoj je prethodila analiza kvalitete podataka izmjerenih na postajama. Analiza je obuhvaćala analizu homogenosti i nadopunu nedostajućih mjesečnih podataka. Prostorna obilježja diskutirana su usporedbom s mjerenjima. Kod procjene vrijednosti klimatskih parametara na lokacijama na kojima nema mjerenja regresijski kriging kombinira višestruku regresiju ovisnu o klimatskim faktorima (nadmorska visina, udaljenost od mora, geografska širina) i interpolaciju reziduala krigingom gdje su reziduali razlike izmjerenih vrijednosti i procjena regresijom. Korištene su statističke mjere koeficijenta determinacije (R^2) za procjenu uspješnosti regresijskog modela i korijen srednje kvadratne pogreške (RMSE) za ocjenu modela regresijskog kriginga (Perčec Tadić, 2010). Osim statistički mjera važna je i vizualna usporedba mjerenja i interpoliranih mjesečnih vrijednosti. Znanstveni rad s detaljnim opisom metodologije i verifikacije je u postupku recenzije (Perčec Tadić, Pasarić, Guijarro, 2022). Kompletna polja biti će dostupna nakon objavljivanja znanstvenog rada. Iz srednjih mjesečnih vrijednosti razdoblja 1981. – 2010. pripremljeni su i rasteri srednjih godišnjih vrijednosti kalendarske godine. Diskutirana je reprezentativnost pojedine meteorološke postaje za ocjenu klime šireg pilot područja koja ovisi prvenstveno o rasponu nadmorskih visina područja i samom položaju meteorološke postaje. Nadmorske visine prikazane su digitalnim modelom terena horizontalne rezolucije 1000 m koji je korišten i kao prediktor kod regresijskog kriginga. U prilogima P1 i P2 nalaze se detalji dostave podataka s opisom dostavljenih mapa i datoteka.

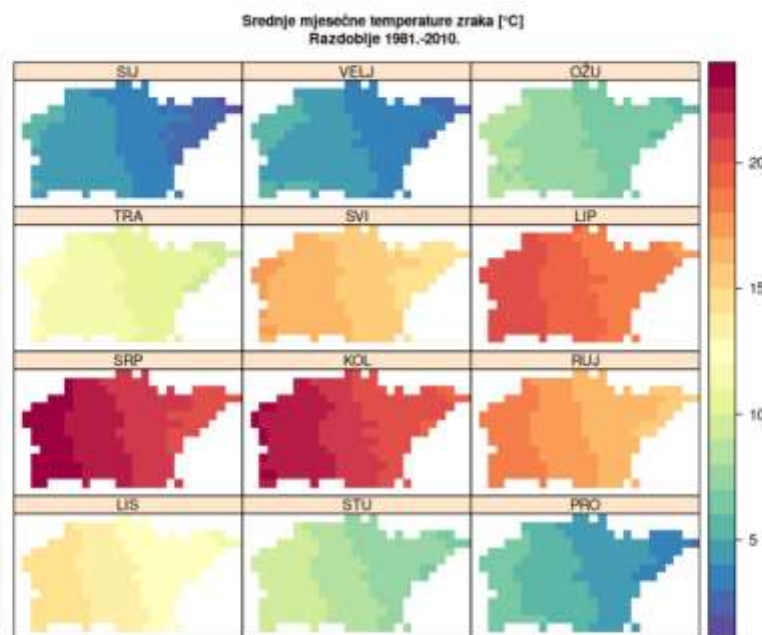
2.2 Klimatološke značajke pilot područja Poreč

Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Poreč iznosi 240 km². Najniža područja nalaze se na 7 m n.v., a najviša su na 429 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 50 m pokazuje da je 25 % pilot područja na nadmorskim visinama do 100 m, 25 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time podaci postaje Poreč, (geo. šir = 45.22, geo. duž = 13.6, n.m. = 15) nisu reprezentativni za viša područja te se ukazuje na vrijednost rastera u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja. Stoga su klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije prikazane rasterima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine.

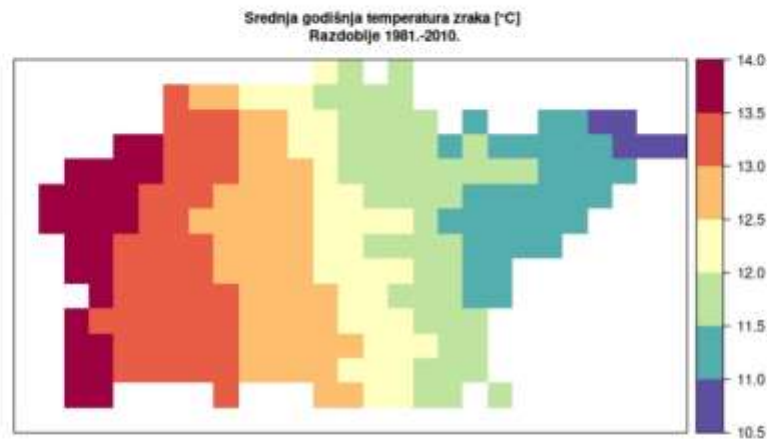


Slika 2.2.1. Digitalni model terena, histogram visina i granica sliva pilot područja Poreč na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.2.2, a detaljnije su u tablici 2.2.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Poreč, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.2.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz rastera (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja uniformniji je u proljeće, a izrazitiji zimi (Tablica 2.2.1, stupac gr.ras) i odraz je raspona nadmorskih visina od oko 400 m. Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.2.3) je od 10.6 °C na najvišim predjelima do 13.8 °C uz obalu uz srednjak 12.4 °C. Apsolutne razlike mjesečnih temperatura zraka iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 0.2 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



Slika 2.2.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Poreč za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SU,...,PRO).

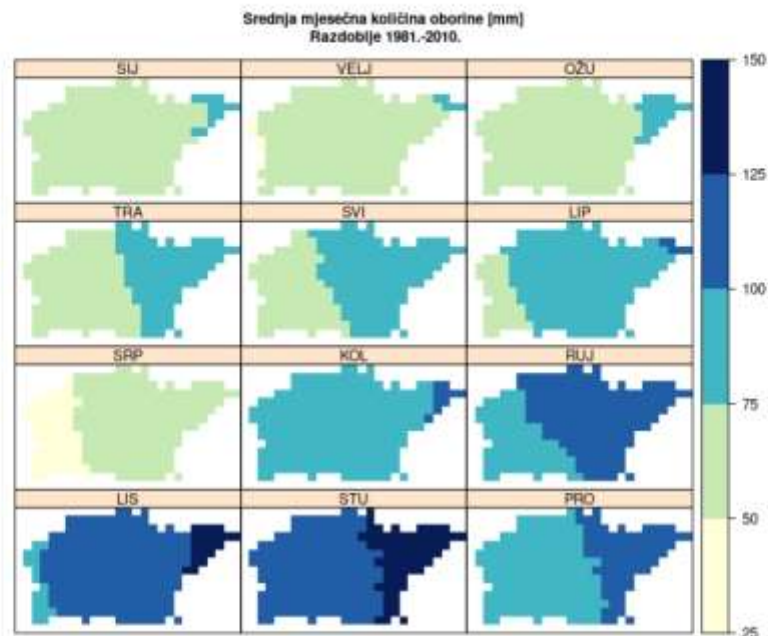


Slika 2.2.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Poreč. Razdoblje 1981. – 2010.

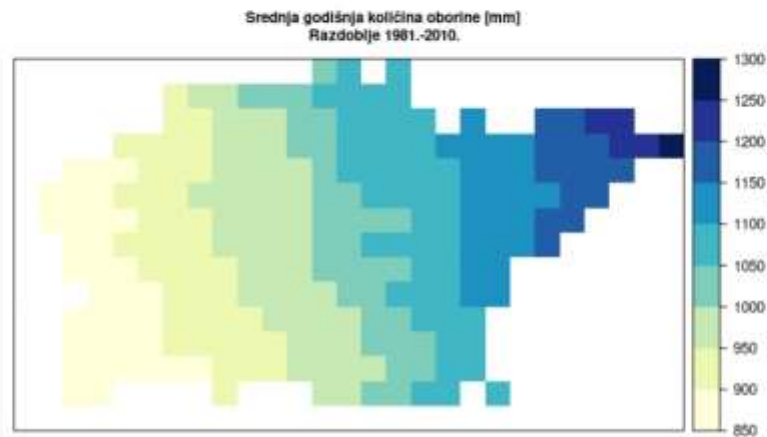
Tablica 2.2.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Poreč, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	4.8	4.8	0.0	1.7	3.9	5.2	3.5
2	4.9	4.8	0.1	2.3	4.2	5.5	3.1
3	7.9	8.0	-0.1	5.6	7.2	8.5	2.9
4	11.9	12.0	-0.1	9.4	11.0	12.3	2.9
5	17.0	16.9	0.1	14.3	15.9	17.1	2.9
6	20.6	20.7	-0.1	17.8	19.5	20.9	3.1
7	23.3	23.5	-0.2	20.3	22.1	23.6	3.4
8	22.7	22.9	-0.2	19.6	21.5	23.1	3.4
9	18.4	18.6	-0.2	15.4	17.2	18.8	3.4
10	14.3	14.3	0.0	11.7	13.4	14.7	3.1
11	9.8	9.7	0.1	6.6	8.4	9.9	3.4
12	6.3	6.2	0.1	3.0	5.1	6.5	3.5
13	13.5	13.6	-0.1	10.6	12.4	13.8	3.2

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.2.4, a detaljnije su u tablici 2.2.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Poreč, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.2.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz rastera (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja najizraženiji je od listopada do prosinca kada je i oborine najviše (Tablica 2.2.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.2.5) kreće se od 852 mm na najnižim predjelima uz obalu do 1258 mm na višim predjelima prema unutrašnjosti, uz srednjak od 1008 mm. Apsolutne razlike mjesečnih količina oborine iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 3 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



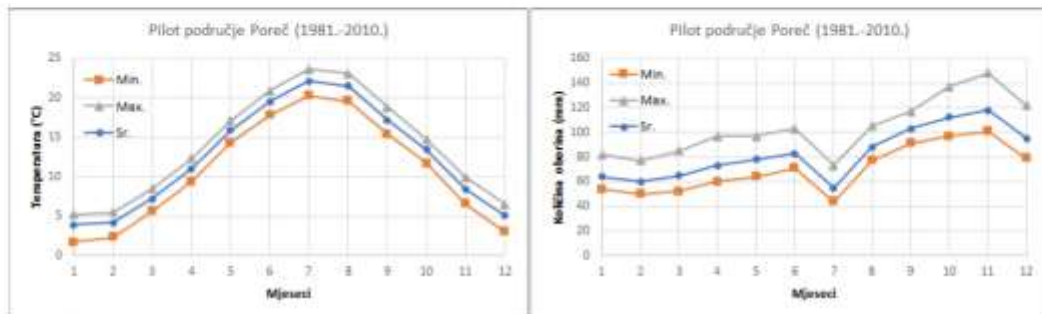
Slika 2.2.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Poreč za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).



Slika 2.2.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Poreč. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.2.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Poreč, za razdoblje 1981. – 2010.

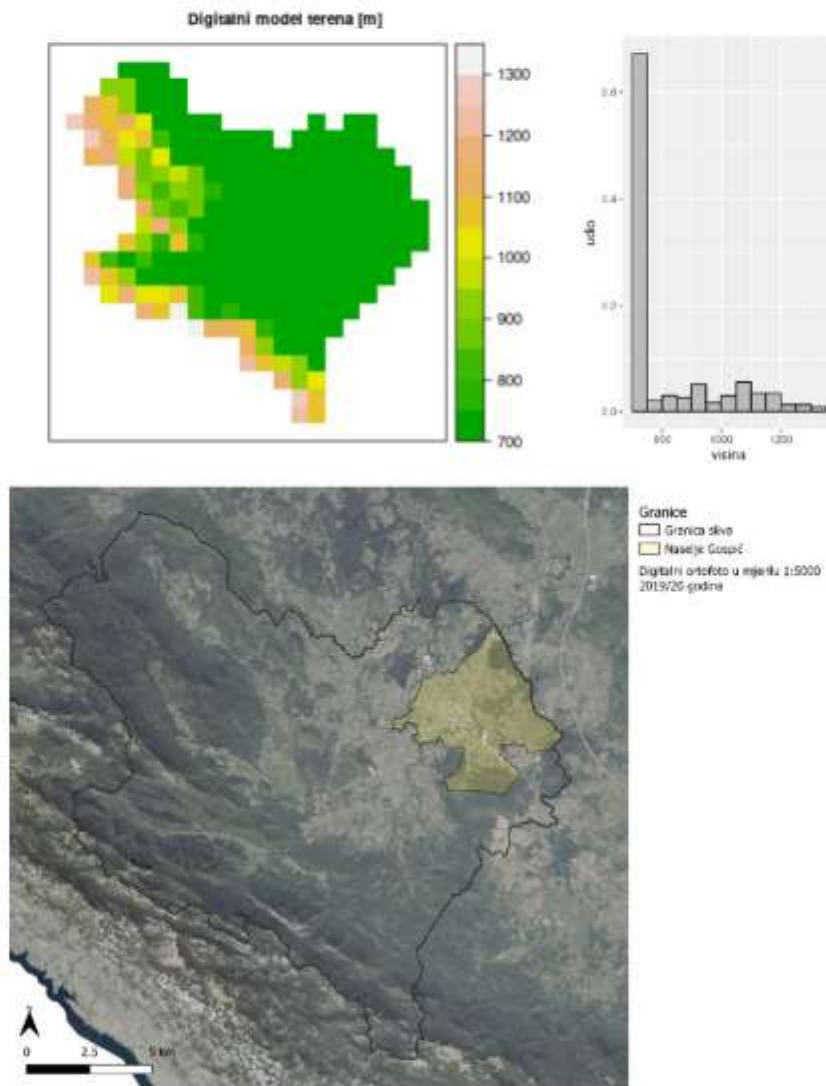
mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	54	55	-1	54	64	82	28
2	51	50	1	50	60	77	28
3	52	53	-2	52	65	85	32
4	61	61	0	60	73	97	37
5	66	66	0	64	78	97	33
6	72	72	0	71	83	103	33
7	43	45	-2	44	55	73	29
8	80	80	0	77	88	105	29
9	95	94	2	91	103	117	26
10	102	99	3	97	112	137	40
11	106	103	3	101	118	148	47
12	80	80	0	79	95	122	43
13	856	868	-11	852	1008	1258	405



Slika 2.2.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Poreč, za razdoblje 1981. – 2010.

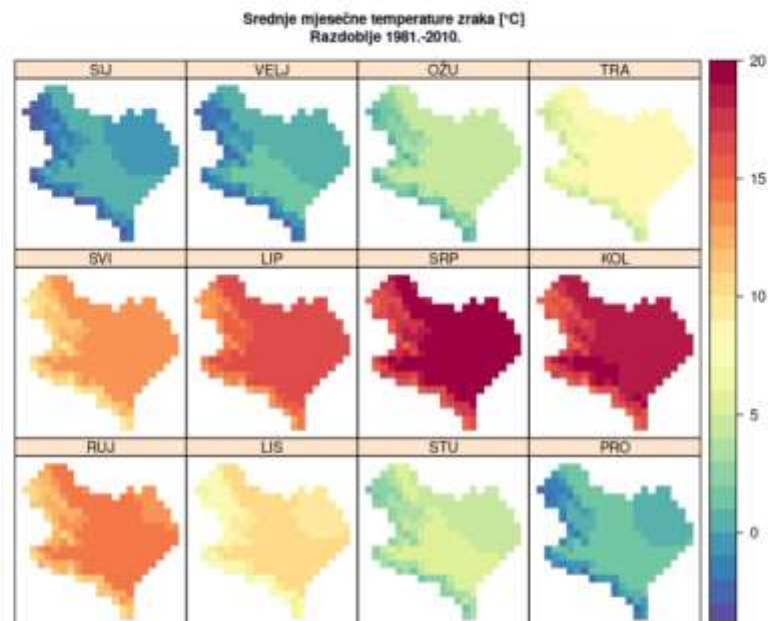
2.3 Klimatološke značajke pilot područja Gospić

Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Gospić iznosi 238 km². Najniža područja nalaze se na 707 m n.v., a najviša su na 1323 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 50 m pokazuje da je 69 % pilot područja na nadmorskim visinama do 800 m. Time podaci postaje Gospić, (geo. šir = 44.55, geo. duž = 15.37, n.m. = 564) nisu reprezentativni za oko 31 % područja na visinama iznad 800 m te se ukazuje na vrijednost rastera u procjeni klimatskih osobitosti tih područja. Stoga su klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije prikazane rasterima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine.

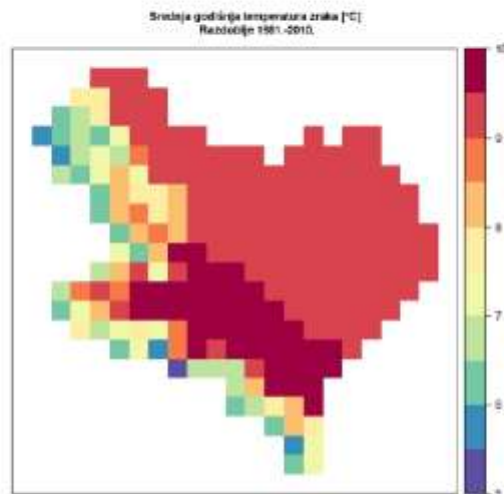


Slika 2.3.1. Digitalni model visina, histogram visina i granica sliva pilot područja Gospić na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.3.2, a detaljnije su u tablici 2.2.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na položaj postaje Gospić na nižim dijelovima područja, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.3.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz rastera (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja izraženiji je u proljeće (Tablica 2.3.1, stupac gr.ras). Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.3.3) je od 5.4 °C na najvišim predjelima do 9.7 °C uz obalu uz srednjak 8.7 °C. Apsolutne razlike mjesečnih temperatura zraka iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 0.1 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



Slika 2.3.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Gospić za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).

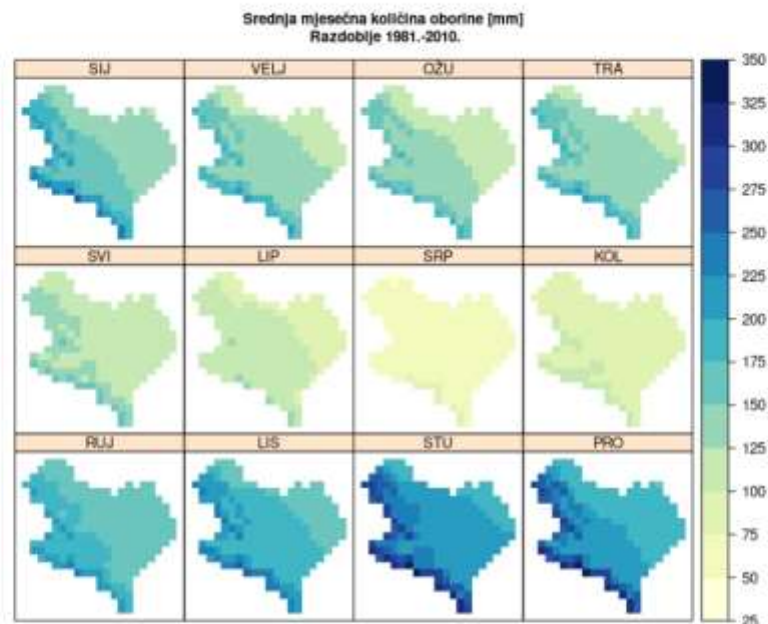


Slika 2.3.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Gospić. Razdoblje 1981. – 2010.

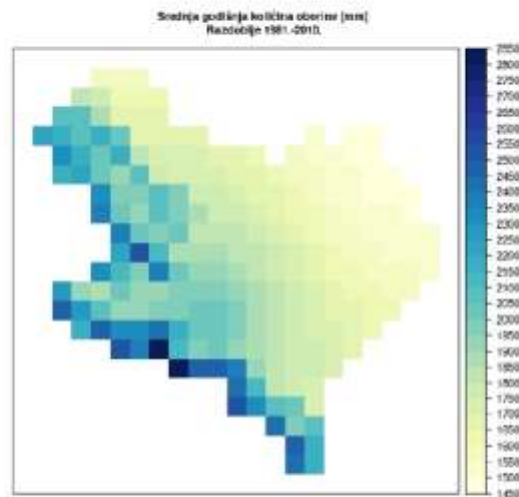
Tablica 2.3.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Gospić, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	-0.9	-0.9	0.0	-3.5	-0.5	0.8	4.3
2	0.3	0.3	0.0	-3.0	0.2	1.3	4.3
3	4.2	4.2	0.0	0.1	3.6	4.4	4.3
4	8.6	8.5	0.1	4.0	7.6	8.6	4.6
5	13.7	13.6	0.1	9.1	12.6	13.7	4.5
6	17.0	16.9	0.1	12.4	16.0	16.9	4.5
7	19.3	19.2	0.1	15.1	18.5	19.5	4.5
8	18.7	18.7	0.0	14.8	18.1	19.2	4.4
9	13.9	14.0	-0.1	10.2	13.5	14.5	4.3
10	9.7	9.7	0.0	6.4	9.6	10.5	4.1
11	4.5	4.6	-0.1	1.4	4.4	5.5	4.0
12	0.4	0.4	0.0	-2.3	0.7	2.0	4.3
13	9.1	9.1	0.0	5.4	8.7	9.7	4.3

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.3.4, a detaljnije su u tablici 2.3.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na položaj postaje Gospić, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.3.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz rastera (stupac gr.min) koje odgovaraju oborinama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja uniformniji je ljeti, a izrazitiji zimi (Tablica 2.3.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.3.5) kreće se od 1467 mm na najnižim predjelima uz obalu do 2828 mm na višim predjelima prema unutrašnjosti, uz srednjak od 1860 mm. Apsolutne razlike mjesečnih količina oborine iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 33 mm i negativne su što ukazuje na precjenjivanje procjene regresijskim krigingom na lokaciji postaje što se može opravdati i nešto višom nadmorskom visinom DEM-a horizontalne rezolucije 1000 m.



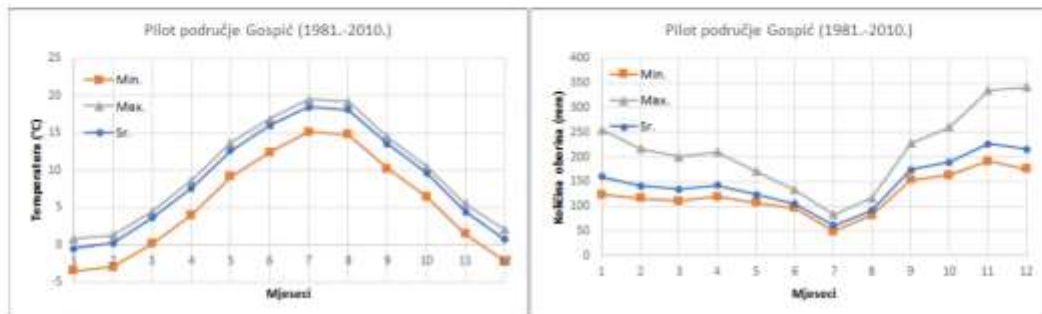
Slika 2.3.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Gospić za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).



Slika 2.3.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Gospić. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.3.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Gospić, za razdoblje 1981. – 2010.

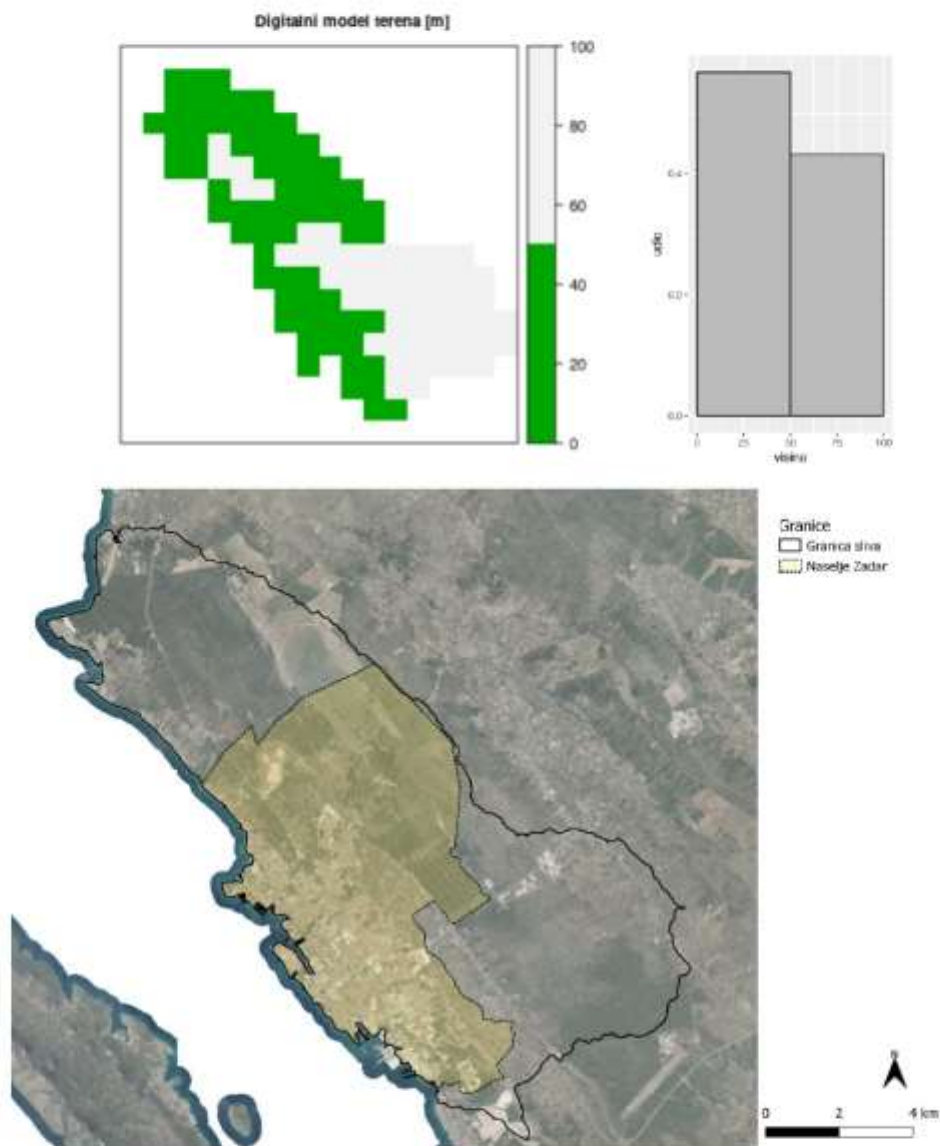
mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	103	132	-29	124	160	255	131
2	99	122	-23	116	141	217	101
3	95	117	-22	111	135	200	89
4	104	124	-20	120	142	210	91
5	100	113	-13	107	124	171	64
6	93	98	-6	96	105	134	38
7	51	54	-3	49	61	83	34
8	81	83	-3	82	92	117	36
9	149	160	-11	153	174	228	74
10	150	170	-20	163	190	261	98
11	178	201	-24	192	227	335	143
12	151	184	-33	175	216	342	168
13	1355	1526	-172	1467	1860	2828	1361



Slika 2.3.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Gospić, za razdoblje 1981. – 2010.

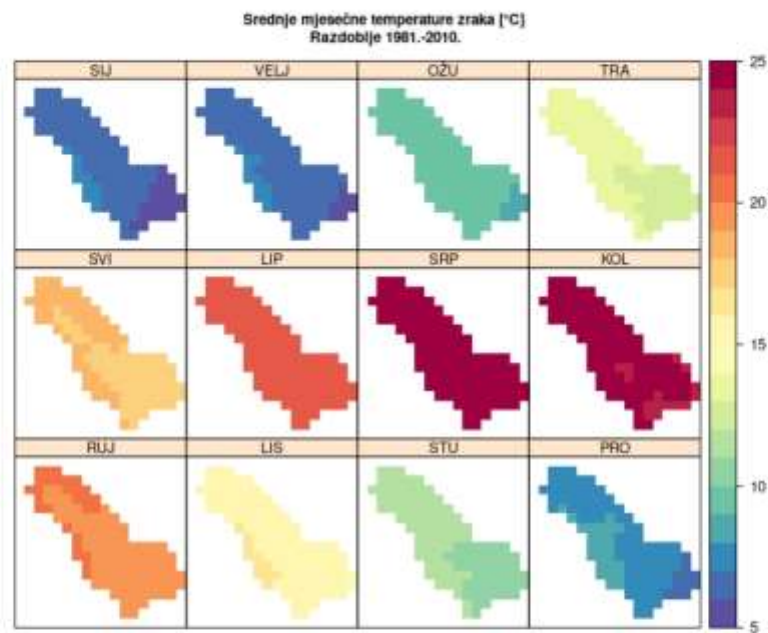
2.4 Klimatološke značajke pilot područja Zadar

Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Zadar iznosi 118 km². Najniža područja nalaze se na 28 m n.v., a najviša su na 97 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 100 % pilot područja na nadmorskim visinama do 100 m. Time su podaci postaje Zadar, (geo. šir = 44.13, geo. duž = 15.21, n.m. = 5) reprezentativni za niža područja. Na višim dijelovima područja klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije se mogu ocijeniti rasterima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine.

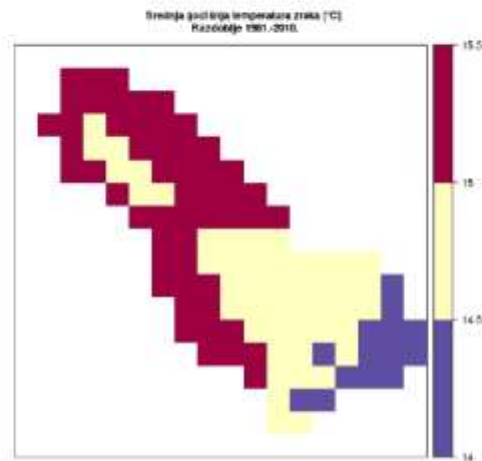


Slika 2.4.1. Digitalni model visina, histogram visina i granica sliva pilot područja Zadar na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.4.2, a detaljnije su u tablici 2.4.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.4.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz rastera (stupac gr.maks) koje odgovaraju temperaturama na nižim nadmorskim visinama. Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja uniformniji je ljeti, a izrazitiji zimi (Tablica 2.4.1, stupac gr.ras). Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.4.3) je od 14.2 °C na višim predjelima do 15.2 °C na nižim uz srednjak 14.9 °C. Apsolutne razlike mjesečnih temperatura zraka iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 0.2 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



Slika 2.4.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Zadar za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,..,PRO).

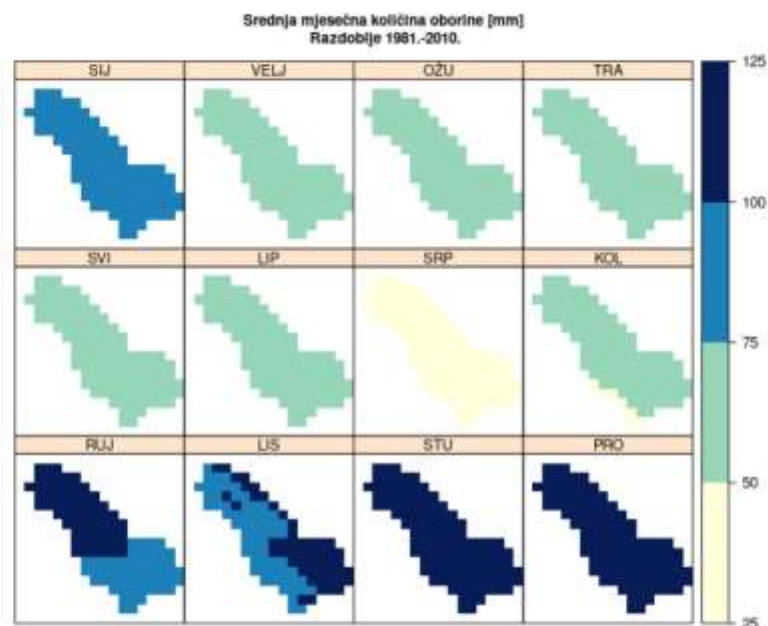


Slika 2.4.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Zadar. Razdoblje 1981. – 2010.

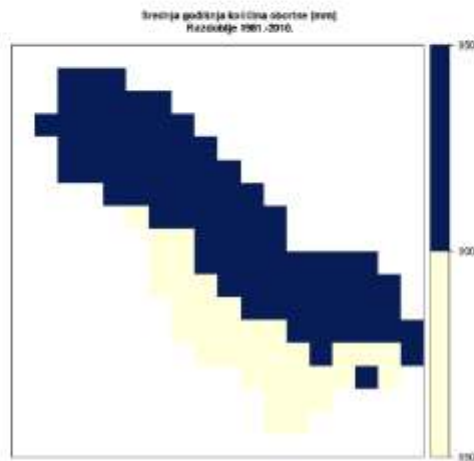
Tablica 2.4.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Zadar, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	7.3	7.2	0.1	5.3	6.5	7.3	2.0
2	7.3	7.2	0.1	5.6	6.7	7.3	1.7
3	9.9	9.8	0.1	8.8	9.5	9.8	1.1
4	13.4	13.4	0.0	12.5	13.1	13.4	0.9
5	18.1	18.1	0.0	17.5	17.9	18.2	0.7
6	21.8	21.9	-0.1	21.3	21.7	22.0	0.6
7	24.6	24.8	-0.2	24.3	24.7	24.9	0.5
8	24.2	24.3	-0.1	23.8	24.2	24.4	0.6
9	20.1	20.0	0.1	19.3	19.8	20.1	0.8
10	16.3	16.2	0.1	14.8	15.7	16.3	1.5
11	11.8	11.6	0.2	10.1	11.1	11.6	1.5
12	8.5	8.4	0.1	6.6	7.7	8.5	1.9
13	15.3	15.2	0.1	14.2	14.9	15.2	1.0

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.4.4, a detaljnije su u tablici 2.4.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Zadar, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tab. 2.4.2) usporedive su s najnižim i srednjim vrijednostima iz rastera (stupac gr.min) na općenito području malog raspona nadmorskih visina. Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja je neznan (Tablica 2.3.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.4.5) kreće se od 856 mm na najnižim predjelima uz obalu do 933 mm na višim predjelima prema unutrašnjosti, uz srednjak od 903 mm. Apsolutne razlike mjesečnih količina oborine iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 5 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



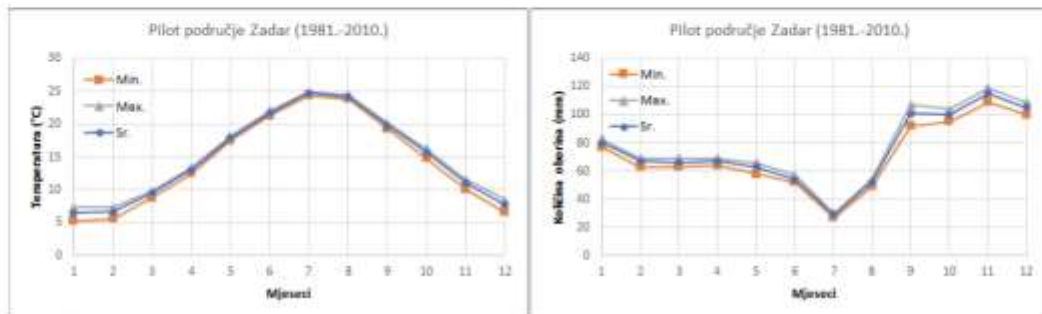
Slika 2.4.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Zadar za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).



Slika 2.4.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Zadar. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.4.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Zadar, za razdoblje 1981. – 2010.

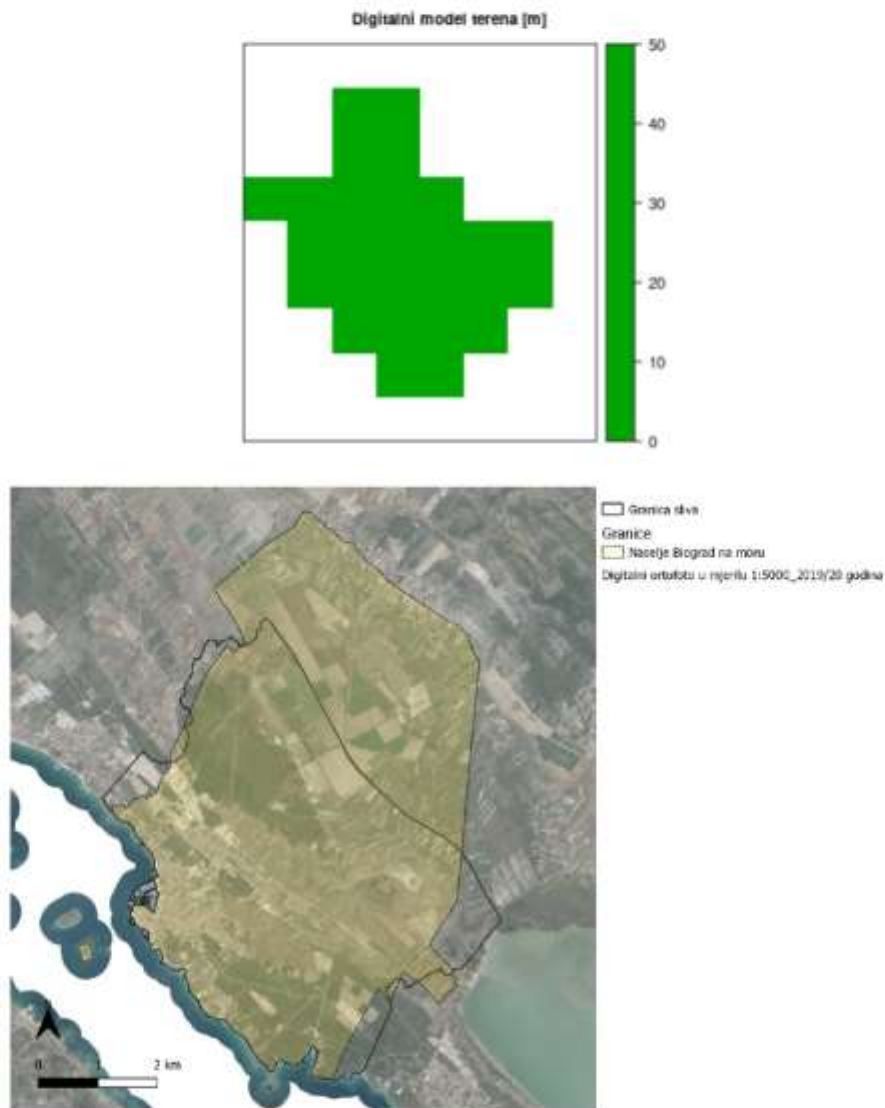
mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	74	79	-5	77	80	83	6
2	64	66	-2	63	67	69	6
3	60	64	-3	63	66	69	5
4	62	65	-3	64	67	69	5
5	61	62	-1	58	63	66	7
6	49	52	-4	52	54	57	5
7	28	29	-1	27	29	30	3
8	49	51	-2	49	52	54	5
9	107	102	5	92	101	107	16
10	95	96	-2	95	100	104	8
11	108	112	-4	109	115	119	10
12	97	102	-5	100	105	109	9
13	854	879	-25	856	903	933	78



Slika 2.4.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Zadar, za razdoblje 1981. – 2010.

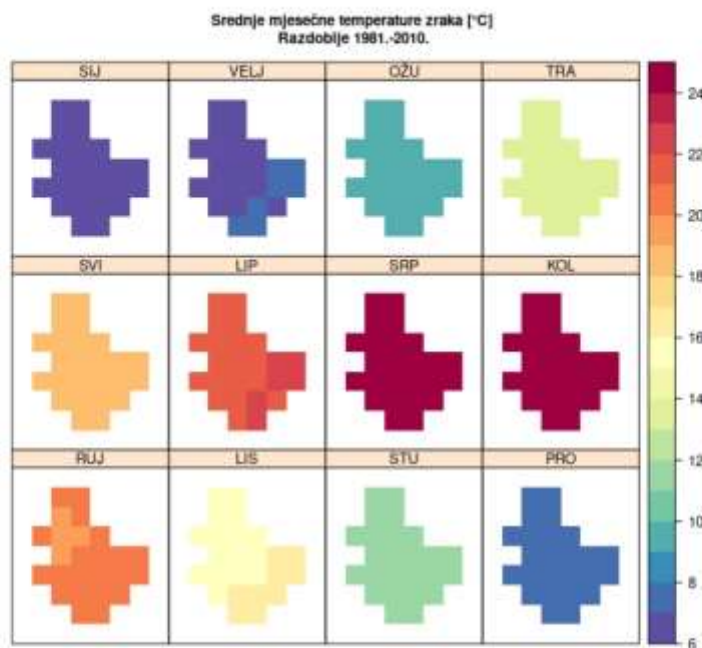
2.5 Klimatološke značajke pilot područja Biograd na Moru

Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Biograd na Moru iznosi 27 km². Najniža područja nalaze se na 32 m n.v., a najviša su na 47 m n.v. Time su podaci postaje Biograd na Moru, (geo. šir = 43.95, geo. duž = 15.45, n.m. = 8) reprezentativni za opis klime ovog pilot područja. Klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. prikazane rasterima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine ne pokazuju gotovo nikakvu prostornu varijabilnost, već služe za prikaz godišnjeg hoda.

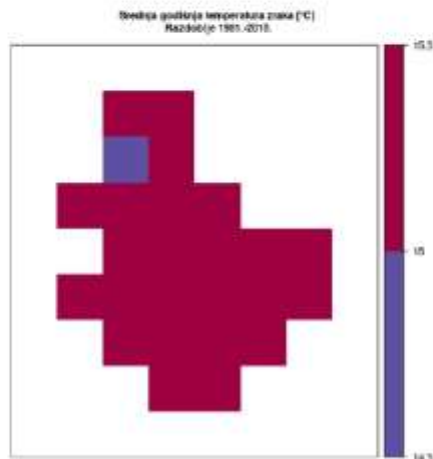


Slika 2.5.1. Digitalni model visina i granica sliva pilot područja Biograd na Moru na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.5.2, a detaljnije su u tablici 2.5.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na gotovo ravan teren, temperature zraka izmjerene na postaji Biograd na Moru (stupac lokacija u Tab. 2.5.1) usporedive su sa svim vrijednostima iz rastera (stupci hr.min, gr.sred i gr.maks). Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja je uniforman (Tablica 2.5.1, stupac gr.ras). Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.5.3) je od 15.0 °C do 15.2 °C uz srednjak 15.1 °C. Apsolutne razlike mjesečnih temperatura zraka iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 0.2 °C što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



Slika 2.5.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Biograd na Moru za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).

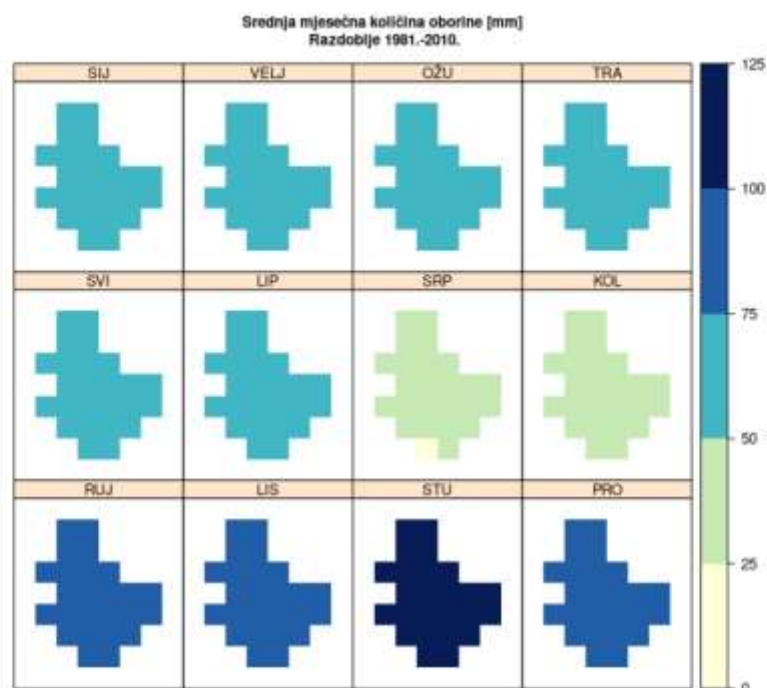


Slika 2.5.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Biograd na Moru. Razdoblje 1981. – 2010.

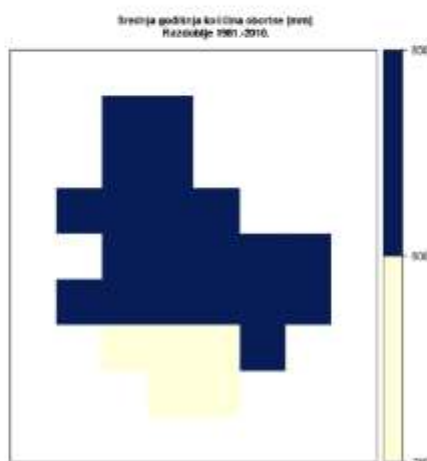
Tablica 2.5.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Biograd na Moru, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	6.6	6.6	0.0	6.5	6.7	6.8	0.2
2	6.8	6.9	-0.1	6.8	7.0	7.0	0.2
3	9.6	9.7	-0.1	9.6	9.8	9.8	0.2
4	13.3	13.3	0.0	13.2	13.3	13.4	0.2
5	18.2	18.2	0.0	18.1	18.2	18.2	0.1
6	21.8	21.9	-0.1	21.9	22.0	22.0	0.2
7	24.8	24.9	-0.1	24.8	24.9	24.9	0.1
8	24.2	24.4	-0.2	24.3	24.4	24.5	0.2
9	19.9	20.0	-0.1	19.9	20.1	20.1	0.2
10	15.8	15.9	-0.1	15.8	16.0	16.1	0.2
11	11.1	11.2	-0.1	11.0	11.2	11.3	0.3
12	7.7	7.8	-0.1	7.7	7.9	8.0	0.3
13	15.0	15.1	-0.1	15.0	15.1	15.2	0.2

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.5.4, a detaljnije su u tablici 2.5.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na gotovo ravan teren, količine oborine izmjerene na postaji Biograd na Moru (stupac lokacija u Tab. 2.5.2) usporedive su sa svim vrijednostima iz rastera (stupci hr.min, gr.sred i gr.maks). Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja je uniforman (Tablica 2.5.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.5.5) kreće se od 795 mm do 820 mm, uz srednjak od 807 mm. Apsolutne razlike mjesečnih količina oborine iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 5 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



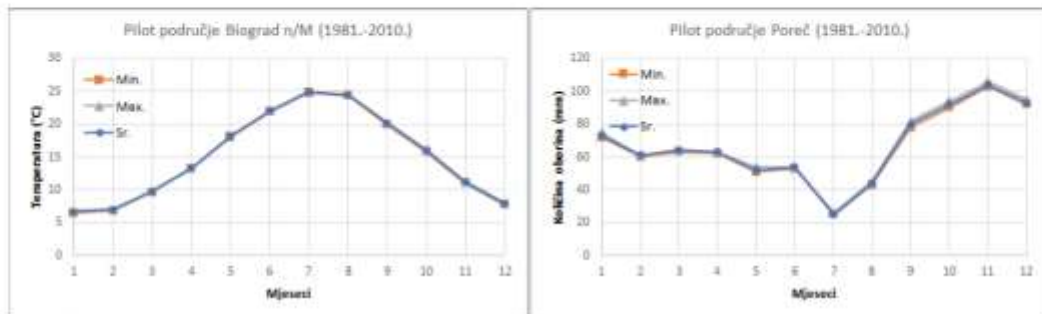
Slika 2.5.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Biograd na Moru za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SU,...,PRO).



Slika 2.5.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Biograd na Moru. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.5.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Biograd na Moru, za razdoblje 1981. – 2010.

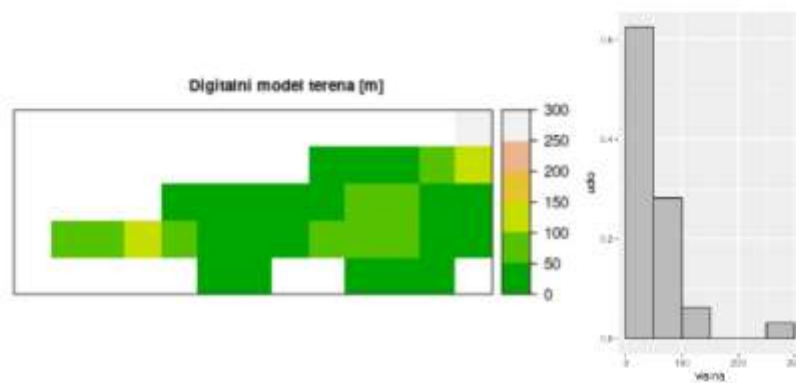
mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	78	74	4	72	73	75	2
2	61	60	1	60	61	61	1
3	66	63	2	63	64	64	1
4	63	62	1	62	63	63	1
5	51	52	-1	51	52	54	3
6	56	53	3	53	54	54	1
7	23	25	-2	25	25	26	1
8	45	44	1	43	44	45	2
9	75	80	-4	78	80	82	4
10	98	92	5	90	92	94	4
11	104	104	0	103	104	106	3
12	99	94	5	92	93	95	3
13	815	808	8	795	807	820	26



Slika 2.5.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Biograd na Moru, za razdoblje 1981. – 2010.

2.6 Klimatološke značajke pilot područja Split

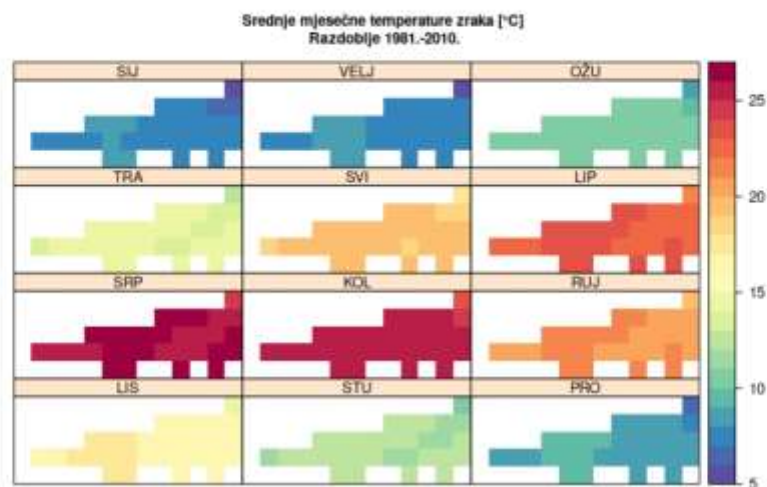
Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Split iznosi 32 km². Najniža područja nalaze se na 27 m n.v., a najviša su na 286 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 91 % pilot područja na nadmorskim visinama do 100 m, 6 % na visinama od 100-200 m dok je ostatak područja na visinama iznad 200 m. Time su podaci postaje Split - Marjan, (geo. šir = 43.51, geo. duž = 16.43, n.m. = 122) manje reprezentativni za područja iznad 200 m te se ukazuje na vrijednost rastera u procjeni klimatskih osobitosti područja na kojima nema mjerenja. Stoga su klimatske prilike razdoblja 1981. – 2010. detaljnije prikazane rasterima mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine.



Granice
 □ Granica sliva
 □ Naselje Split
 Digitalni ortofoto u mjerilu 1:5000_2019/20 godina

Slika 2.6.1. Digitalni model visina, histogram visina i granica sliva pilot područja Split na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.6.2, a detaljnije su u tablici 2.6.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Temperature zraka izmjerene na postaji Split – Marjan (stupac lokacija u Tab. 2.6.1) usporedive su s najvišim vrijednostima iz rastera (stupac gr.maks). Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja je manji je ljeti, a izrazitiji zimi (Tablica 2.6.1, stupac gr.ras). Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.6.3) je od 14.1 °C na višim predjelima do 16.4 °C na nižim uz srednjak 16 °C. Na lokaciji postaje se uočava nešto veće podcjenjivanje procjene regresijskim krigingom (stupac lok.grid u tablici 2.6.1) na u odnosu na vrijednosti izmjerene na postaji (stupac lokacija u Tablici 2.6.1) tijekom toplog dijela godine od lipnja do rujna uz razlike (stupac loc.bias u tablici 2.6.1) od 0.4 °C do 0.7 °C.



Slika 2.6.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Split za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SUJ,...,PRO).



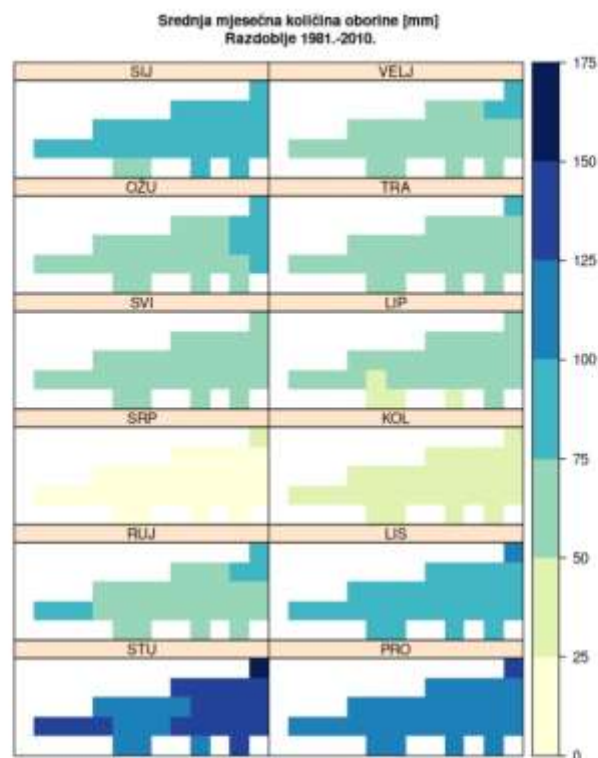
Slika 2.6.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Split. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.6.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Split, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	8.0	7.9	0.1	5.5	7.6	8.2	2.7
2	8.1	8.0	0.1	5.8	7.7	8.3	2.5
3	10.8	10.6	0.2	8.7	10.5	10.9	2.2
4	14.4	14.2	0.2	12.2	14.1	14.5	2.3
5	19.5	19.3	0.2	17.3	19.2	19.6	2.3
6	23.4	23.0	0.4	21.1	22.9	23.3	2.3
7	26.4	25.8	0.6	24.1	25.9	26.2	2.1
8	26.0	25.3	0.7	23.7	25.5	25.8	2.1
9	21.4	20.9	0.5	19.1	20.9	21.2	2.2
10	17.3	17.2	0.1	14.8	16.7	17.5	2.6
11	12.4	12.2	0.2	10.2	12.1	12.5	2.2
12	9.1	9.0	0.1	6.7	8.7	9.3	2.7
13	16.4	16.0	0.4	14.1	16.0	16.4	2.3

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.6.4, a detaljnije su u tablici 2.6.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Količine oborine izmjerene na postaji Split – Marjan (stupac lokacija u

tablici 2.6.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz rastera (stupac gr.min). Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja uniformniji je ljeti, a izrazitiji zimi (tablica 2.6.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.6.5) kreće se od 788 mm na najnižim predjelima uz obalu do 1012 mm na višim predjelima prema unutrašnjosti, uz srednjak od 832 mm. Apsolutne razlike mjesečnih količina oborine iz mjerenja i vrijednosti iz rastera na lokaciji postaje ne prelaze 16 mm što ukazuje na kvalitetu procjene regresijskim krigingom.



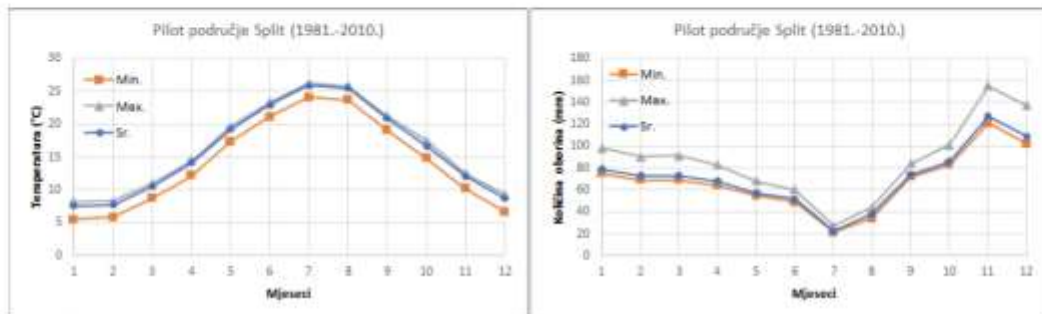
Slika 2.6.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Split za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).



Slika 2.6.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Split. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.6.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija), procijenjena iz rastera (lok.grid) i njihova razlika (lok.bias). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Split, za razdoblje 1981. – 2010.

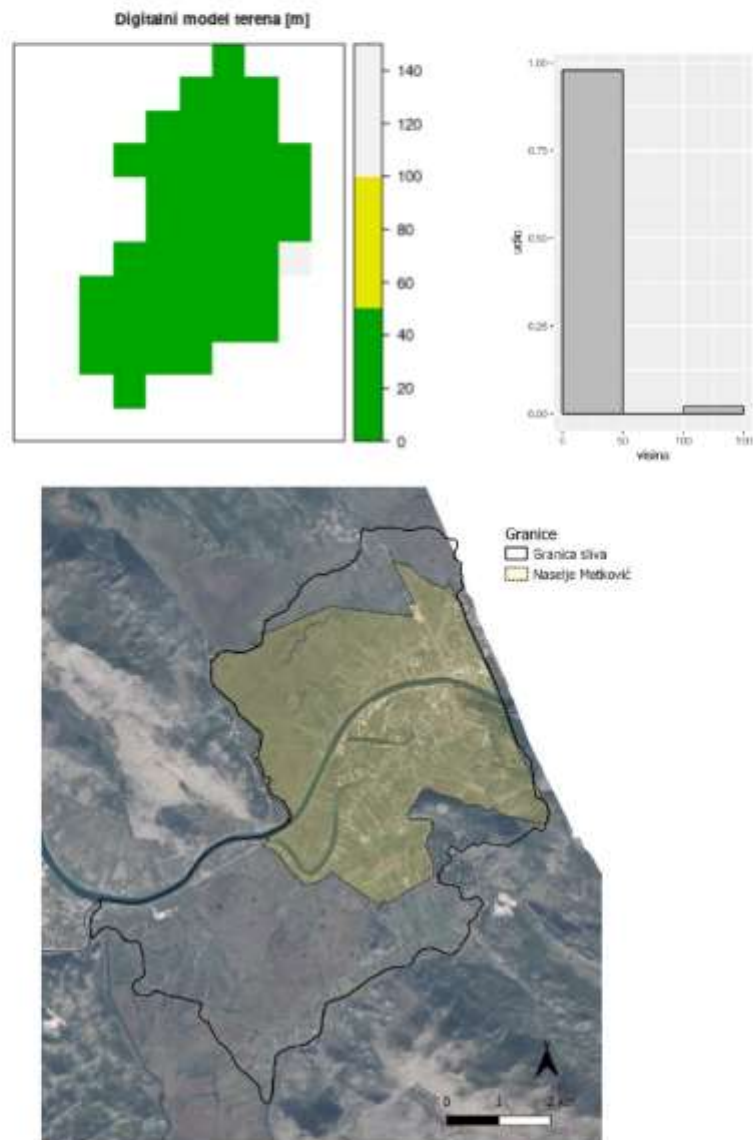
mjesec	lokacija	lok.grid	lok.bias	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	69	78	-10	75	79	98	24
2	65	73	-8	69	73	90	21
3	63	72	-9	69	73	91	22
4	62	67	-5	64	68	83	19
5	55	57	-2	55	57	68	13
6	49	51	-3	49	52	60	11
7	22	22	-1	21	22	27	6
8	37	39	-2	34	38	44	10
9	72	75	-3	72	74	84	12
10	78	86	-8	83	86	101	17
11	112	127	-15	121	127	155	33
12	92	108	-16	102	109	137	35
13	776	837	-61	788	832	1012	223



Slika 2.6.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Split, za razdoblje 1981. – 2010.

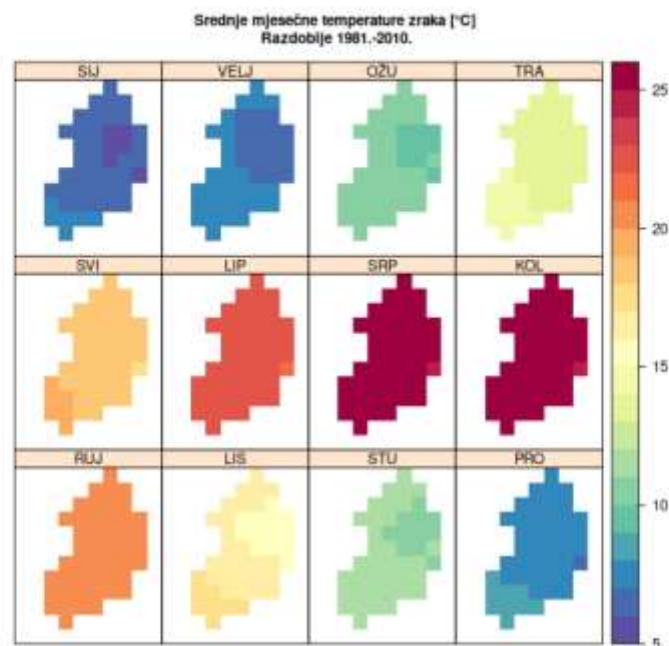
2.7 Klimatološke značajke pilot područja Metković

Prema korištenom digitalnom modelu terena horizontalne rezolucije 1000 m površina pilot područja Metković iznosi 47 km². Najniža područja nalaze se na 25 m n.v., a najviša su na 107 m n.v. Histogram udjela nadmorskih visina prema razredima visina od 100 m pokazuje da je 98 % pilot područja na nadmorskim visinama do 100 m, a 2 % na visinama od do 200 m. Najbliža meteorološka postaja Ploče (geo. šir = 43.05, geo. duž = 17.44, n.m. = 2) ne nalazi se u granicama pilot područja Metković pa je tim značajnija analiza klimatskih prilika razdoblja 1981. – 2010. korištenjem rastera mjesečnih i godišnjih srednjih temperatura zraka i količina oborine.

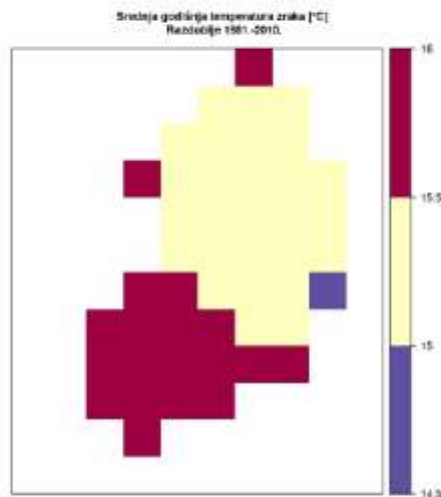


Slika 2.7.1. Digitalni model visina, histogram visina i granica sliva pilot područja Metković na ortofoto podlozi.

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih temperatura zraka za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.7.2, a detaljnije su u tablici 2.7.1 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Ploče, temperature zraka izmjerene na postaji (stupac lokacija u tablici 2.7.1) usporedive su sa srednjim i najvišim vrijednostima iz rastera (stupci gr.sred i gr.maks). Najniže mjesečne vrijednosti temperature zraka na pilot području su u siječnju, a najviše u srpnju. Raspon temperatura zraka na prostoru pilot područja uniformniji je ljeti, a izrazitiji zimi (tablica 2.7.1, stupac gr.ras). Srednja godišnja temperatura zraka pilot područja (slika 2.7.3) je od 14.8 °C do 15.9 °C uz srednjak 15.5 °C. Niie moguće na isti način kao za ostala pilot područja ocijeniti odstupanje procjene na lokaciji postaje obzirom da se postaja ne nalazi unutar granica područja.



Slika 2.7.2 Srednje mjesečne temperature zraka na pilot području Metković za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).

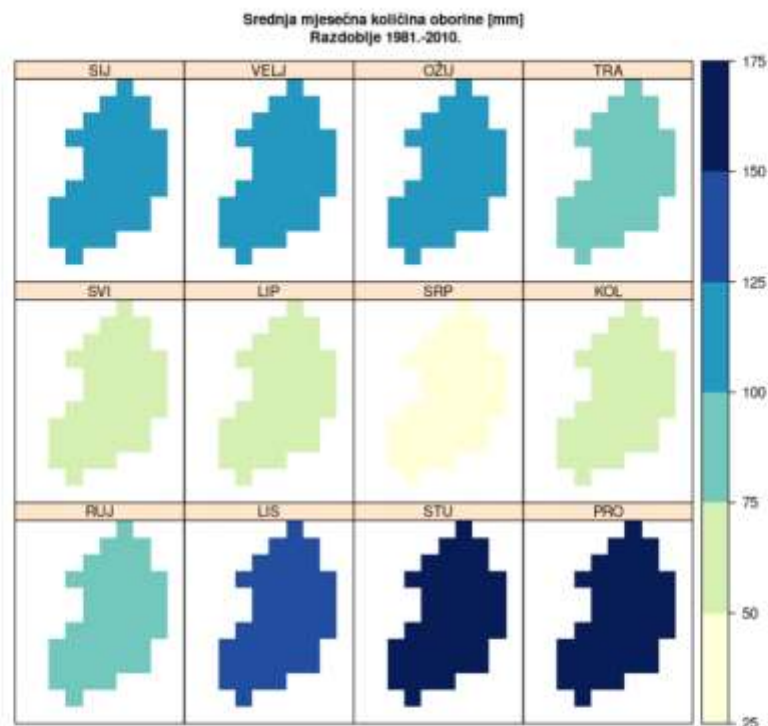


Slika 2.7.3 Srednja godišnja temperatura zraka na pilot području Metković. Razdoblje 1981. – 2010.

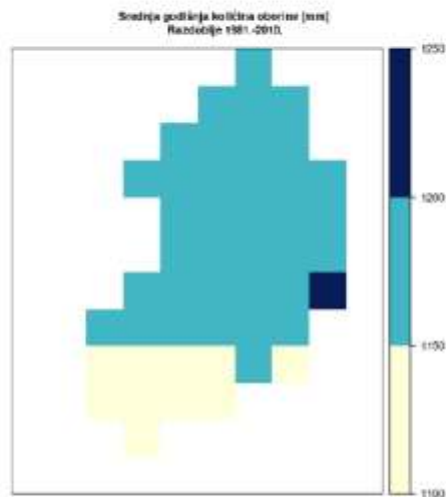
Tablica 2.7.1 Srednja mjesečna i godišnja temperatura zraka izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija). Dalje slijede minimalne (*gr.min*), srednje (*gr.sred*) i maksimalne (*gr.maks*) i raspon (*gr.ras*) vrijednosti temperature zraka iz rastera za pilot područje Metković, za razdoblje 1981. – 2010.

mjesec	lokacija	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	6.8	5.8	6.5	7.4	1.6
2	7.5	6.5	7.2	8.0	1.5
3	10.5	9.6	10.3	10.9	1.3
4	14.1	13.1	13.8	14.3	1.3
5	18.8	18.0	18.7	19.1	1.2
6	22.5	21.9	22.5	22.8	1.0
7	25.4	24.8	25.4	25.5	0.7
8	25.0	24.5	25.1	25.2	0.7
9	20.7	20.0	20.6	20.9	0.9
10	16.3	15.6	16.4	17.2	1.6
11	11.4	10.6	11.2	11.7	1.1
12	7.9	6.9	7.6	8.6	1.7
13	15.6	14.8	15.5	15.9	1.1

Prostorna raspodjela srednjih mjesečnih količina oborine za normalu razdoblja 1981. – 2010. prikazana je na slici 2.7.4, a detaljnije su u tablici 2.7.2 dane minimalne, srednje i maksimalne vrijednosti mjesečnih rastera. Obzirom na malu nadmorsku visinu postaje Ploče, količine oborine izmjerene na postaji (stupac lokacija u tablici 2.7.2) usporedive su s najnižim vrijednostima iz rastera (stupac gr.min). Najniže mjesečne količine oborine su u srpnju, a najviše u studenom. Raspon količina oborine na prostoru pilot područja uniformniji je ljeti, a izrazitiji u studenom i prosincu (tablica 2.7.2, stupac gr.ras). Srednja godišnja količina oborine pilot područja (slika 2.7.5) kreće se od 1125 mm do 1215 mm, uz srednjak od 1162 mm. Niie moguće na isti način kao za ostala pilot područja ocijeniti odstupanje procjene na lokaciji postaje obzirom da se postaja ne nalazi unutar granica područja.



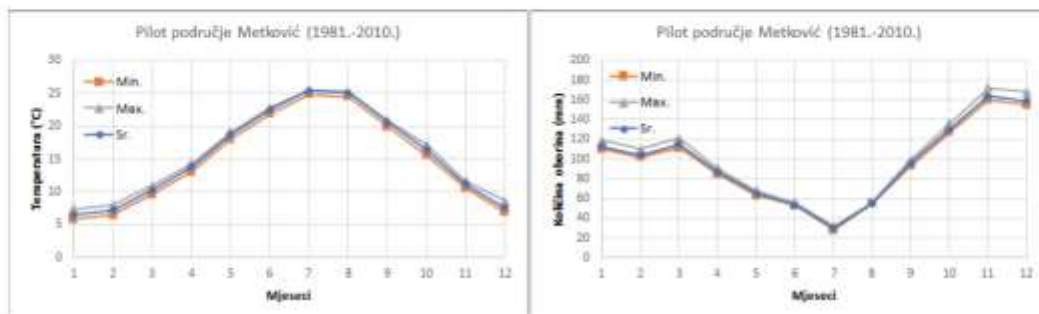
Slika 2.7.4 Srednje mjesečne sume količine oborine na pilot području Metković za normalu razdoblja 1981. – 2010. Paneli su naslovljeni skraćenom oznakom mjeseca (SIJ,...,PRO).



Slika 2.7.5 Srednja godišnja količina oborine na pilot području Metković. Razdoblje 1981. – 2010.

Tablica 2.7.2 Srednja mjesečna i godišnja količina oborine izmjerene na lokaciji meteorološke postaje (lokacija). Dalje slijede minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) i raspon (gr.ras) vrijednosti količine oborine iz rastera za pilot područje Metković, za razdoblje 1981. – 2010.

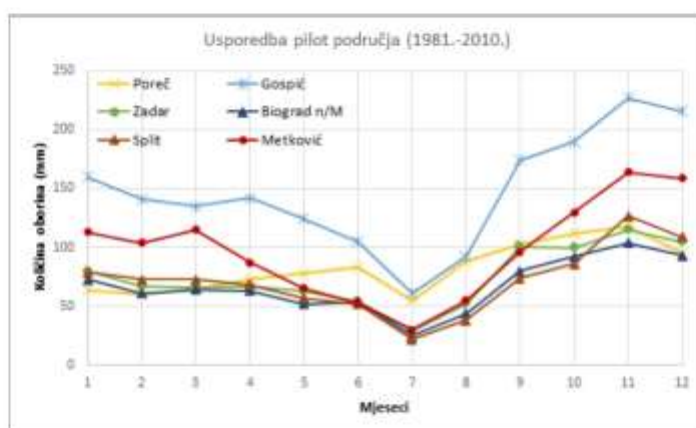
mjesec	lokacija	gr.min	gr.sred	gr.maks	gr.ras
1	106	110	113	119	9
2	97	102	104	110	8
3	104	111	115	121	10
4	82	85	87	91	7
5	56	63	65	68	5
6	50	53	53	56	3
7	26	28	30	32	4
8	52	55	55	56	2
9	91	93	96	99	6
10	108	127	130	136	10
11	157	160	164	172	13
12	147	155	159	168	14
13	1077	1125	1162	1215	90



Slika 2.7.6 Srednja mjesečna temperatura zraka i količina oborine, minimalne (gr.min), srednje (gr.sred) i maksimalne (gr.maks) vrijednosti iz rastera za pilot područje Metković, za razdoblje 1981. – 2010.

2.8 Usporedba mjesečnih količina oborina na pilot područjima

Na slici 2.8.1. dan je usporedni prikaz unutar godišnjeg hoda srednjih mjesečnih količina oborina po pilot područjima. Može se primijetiti kako najveće mjesečne količine oborine ima pilot područje Gospić, dok su vrijednosti na pilot područjima Poreč, Zadar, Biograd na Moru, Split i Metković vrlo slične. Najveće mjesečne količine na svim područjima javljaju se u jesenjim mjesecima (rujan – prosinac).



Slika 2.8.1 Usporedba srednjih mjesečnih količina oborina na pilot područjima (1981. – 2010.)

3 Metodologija provedenih obrada oborina

3.1 Analiza prihvatljivosti ombrografskih podataka

Za provedbu analize ekstremnih količina oborine koja je nužna za potrebe procjene opasnosti od pluvijalnih poplava koje ovise o oborinskom režimu potrebno je poznavati dinamiku oborine koja padne u kratkim vremenskim intervalima. Za analizu kratkotrajnih količina oborine koriste se zapisi ombrografa. Ombrograf (ili pluviograf) je automatski mjerni instrument za neprekidno praćenje količine i trajanja oborine. Na temelju njegovog zapisa, ombrograma (pluviograma), moguće je odrediti vrijeme početka, završetka i ukupno trajanje te jačinu oborine. U Državnom hidrometeorološkom zavodu koristi se tzv. Hellmannov ombrograf koji radi na principu plovka (Pandžić i dr., 2008). Neki ombrografi imaju uređaj za grijanje pomoću električne energije koji trebaju zagrijati unutrašnjost ombrografa toliko da se održi tekuće stanje oborine u posudi. Na taj se način produžuje razdoblje uporabe ombrografa uključujući ona kada je temperatura zraka ispod 0°C. U ranijim godinama uglavnom nije bilo uređaja za grijanje pa ombrografi u hladnom dijelu godine nisu bili aktivni. U kontinentalnom području gdje se maksimum oborine može očekivati u toplom dijelu godine, nedostatak podataka u zimskim mjesecima ne predstavlja problem. Međutim, na području Jadrana gdje prevladava mediteranska klima maksimum oborine se može očekivati u hladnom dijelu godine pa u pojedinim godinama kad nije bilo mjerenja u svim mjesecima, postoji mogućnost da stvarni maksimum nije zabilježen. U tom slučaju, ako se u statističke analize uključe samo oni podaci koji su raspoloživi u toplom dijelu godine nepouzdanost procjene ekstrema se povećava.

Zbog toga je nužno provesti dodatnu kontrolu pojavnosti intenzivne oborine. U ovom poglavlju opisana je analiza prihvatljivosti ombrografskih podataka usporedbom mjerenja maksimalnih dnevnih količina oborine prema ombrografu i prema pripadnom kišomjeru iz zajedničkog raspoloživog razdoblja na pet lokacija koje su najbliže pojedinom pilot području projekta STREAM. Popis postaja i razdoblje raspoloživih podataka nalazi se u tablici 3.1.1. U zadnjem stupcu tablice navedeno je i raspoloživo razdoblje mjerenja na kišomjernim postajama koje je u nastavku studije korišteno za analizu godišnjih maksimalnih dnevnih količina oborine. Treba napomenuti da se količina oborine na kišomjernoj postaji mjeri svakog dana u 7 sati po lokalnom vremenu, a dnevna količina oborine predstavlja količinu sakupljenu od 7 sati prethodnog do 7 sati onog dana u kojem se mjeri i na koji se izmjereni podatak odnosi. Za usporedbu dnevnih maksimuma izmjerenih prema kišomjeru i prema ombrografu, iz izvornih 5-minutnih ombrografskih zapisa izračunata je ukupna dnevna količina oborine za iste termine kao na kišomjernoj postaji. Kako bi utvrdili moguće sumnjive godišnje maksimume u podacima ombrografa, korištena je modificirana metoda usporedbe koja je

korištena u studiji *Upravljanje rizicima od poplava uslijed jakih oborina – RAINMAN* (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019).

Tablica 3.1.1. Popis ombrografskih i kišomjernih postaja (stupac Postaja) analiziranih u ovoj studiji za pojedina pilot područja s pripadnim raspoloživim dugogodišnjim razdobljem mjerenja (stupci Razdoblje)

Pilot područje	Postaja	Razdoblje (ombrograf)	Razdoblje (kišomjer)
Poreč	Poreč	1984.-2020.	1981. – 2020.
Gospić	Gospić	1961.-2020.	1961. – 2020.
Zadar	Zadar	1961.-2020.	1961. – 2020.
Biograd na Moru	Zadar	1961.-2020.	1961. – 2020.
Split	Split - Marjan	1961.-2020.	1961. – 2020.
Metković	Ploče	1968.-2020.	1978. – 2020.

Za vremenske nizove dnevne količine oborine (od 7 h prethodnog dana do 7 h tekućeg dana) dobivene iz ombrografa i pripadnog kišomjera na istoj lokaciji postaje određen je za svaku godinu apsolutni godišnji maksimum i datum njegovog pojavljivanja. Godišnje maksimalne dnevne vrijednosti ćemo u nastavku teksta označiti s Rd_{maks} . Ovdje treba napomenuti da su ombrografski podaci, prilikom njihove digitalizacije, prošli redovnu kontrolu tako da su uspoređeni s pripadnim kišomjernim podacima prema kojoj razlike u dnevnim vrijednostima ne bi trebale biti veće od 20%.

Za potrebe ove studije, dodatno su za svaku pojedinačnu godinu uspoređeni iznosi godišnjih dnevnih maksimuma oborine prema ombrografu i kišomjeru te mjeseci njihovog. Za one godine u kojima se podudaraju mjeseci pojavljivanja maksimuma prema kišomjeru i ombrografu te međusobne razlike u njihovim iznosima nisu veće od 20%, pripadni niz se preporučuje za daljnju analizu bez obzira i na moguću nepotpunost ombrografskog niza. Za one godine u kojima nije bilo ombrografskih mjerenja tijekom cijele godine, a mjesec pojavljivanja dnevnog maksimuma se ne podudara s mjesecom pojavljivanja dnevne maksimalne količine oborine prema kišomjeru i ako je razlika između $Rd_{kišmaks}$ i $Rd_{ombmaks}$ veća od 20%, te godine su izdvojene kao suspektne.

Budući da su u nastavku ove studije analizirane količine oborine različitog trajanja (10 do 60 minuta te 2, 4, 6, 12, 18 i 24 sata) za koja nije moguće provesti direktne usporedbe, za konačnu odluku o uključivanju ili isključivanju izdvojenih suspektnih godina korišteni su dodatni kriteriji:

- 1) Količine oborine za pojedina trajanja su rangirane od najmanjih prema najvećim vrijednostima. Ako se vrijednosti u suspektnoj godini za većinu trajanja nalaze među deset najmanjih vrijednosti cijelog niza, tada se ta godina smatra nepouzdanom i izuzeta je iz analize.
- 2) Dodatno su izdvojene i granično suspektne godine za koje je rang manji od 10 samo za mali broj trajanja.

3.2 Analiza nizova godišnjih maksimalnih kratkotrajnih i višednevnih količina oborine

U ovoj studiji najprije su analizirane maksimalne godišnje količine oborine za sljedeća trajanja: 10, 20, 30, 40, 50 i 60 minuta, 2, 4, 6, 12, 18 i 24 sata te 1 do 5 dana. Za pet meteoroloških postaja najbližih predmetnim lokacijama projekta STREAM (tablica 3.1.1) provedena je osnovna statistika pripadnih nizova kako bi se utvrdile prosječne vrijednosti i međugodišnja varijabilnost oborine. Analize nizova do 24h provedene su prema podacima s ombrografskih postaja, dok su analize dnevnih i višednevnih količina provedene prema podacima s kišomjernih postaja prema najduljem raspoloživom razdoblju.

Trend maksimalnih godišnjih količina oborine za pojedina trajanja u dugogodišnjem razdoblju određen je procjenom Senovog ili Kendallovog tau nagiba (Sen, 1968). Nagib se procjenjuje određivanjem N nagiba Q u vremenskom nizu:

$$Q = \frac{x_{t'} - x_t}{t' - t} \quad (3.2.1)$$

gdje su $x_{t'}$ i x_t vrijednosti elemenata niza u vremenu t' odnosno t , za $t' > t$. N je broj parova podataka za koje vrijedi $t' > t$ i jednak je $n(n-1)/2$, gdje je n duljina niza. Senov nagib je medijan tih N vrijednosti. Zbog toga je statistički otporniji od nagiba dobivenog uobičajenom linearnom regresijom. Statistička značajnost trenda je ocijenjena pomoću neparametarskog Mann-Kendallovog testa (Helsel i Hirsch, 2002). Kako Mann-Kendallov test koristi rangove, tj. ne uzima u obzir same vrijednosti podataka već njihov međusobni odnos, testom se ocjenjuje koliko je značajno monotono povećanje ili smanjenje analizirane varijable tijekom vremena (Cindrić i sur. 2014). Premda je u ovoj studiji analiza trenda provedena za sve postaje i njihova raspoloživa razdoblja mjerenja, treba imati na umu da postojanje prekida u nizovima godišnjih maksimalnih podataka može utjecati na smanjenu pouzdanost rezultata trenda (Slater i Villarini, 2017).

3.3 Analiza vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborina

Analiza vjerojatnosti pojave maksimalne godišnje količine oborine na pet predmetnih lokacija za odabrana trajanja provedena je pomoću opće razdiobe ekstrema (engl. *Generalized extreme value distribution*, GEV) (Coles, 2001). Ta razdioba se u meteorološkoj (i hidrološkoj) praksi najčešće

primjenjuje na godišnje maksimume pod uvjetom da se unutar godine nalazi dovoljan broj podataka koji se mogu smatrati međusobno nezavisnima.

Kumulativna funkcija razdiobe GEV ima sljedeći oblik (Coles 2001):

$$G(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \frac{k}{\alpha} (x - x_0)^{\frac{1}{k}} \right] \right\} \quad (3.3.1)$$

gdje je k parameter oblika (zakrivljenosti), α je parameter skale i x_0 parametar lokacije. U ovoj notaciji, razdioba je neograničena u desno ako je $k > 0$ s donjom granicom jednakom $x_0 - \alpha/k$. Takva razdioba se naziva Frechetova ili razdioba ekstrema tipa 2. U slučaju $k < 0$ razdioba je neograničena u lijevo s gornjom granicom $x_0 - \alpha/k$ i naziva se Weibullova ili razdioba ekstrema tipa 3. U graničnom slučaju kada k teži nuli, razdioba teži Gumbelovoj (tipa 1), neograničenoj ($-\infty < x < \infty$) razdiobi.

U praksi je uobičajeno teorijsku kumulativnu razdiobu izraziti pomoću njezine inverzne funkcije, odnosno funkcije kvantila, $x(G)$. Ako pretpostavimo da imamo jednu realizaciju (opažanje) u jedinici vremena (jedna godina ako se radi o godišnjim maksimumima), onda se kvantil $x(G)$ može iskazati i kao povratna vrijednost x_T za odgovarajući povratni period $T=1/p$, gdje je $p=1-G$. Povratna vrijednost za razdiobu GEV može se izraziti na sljedeći način:

$$x_T = \begin{cases} x_0 - \frac{\alpha}{k} [1 - y_p^{-k}] & \text{za } k \neq 0 \\ x_0 - \alpha \log(y_p) & \text{za } k = 0 \end{cases} \quad (3.3.2)$$

gdje je $y_p = -\log(1-p)$.

Za određivanje pouzdanih procjena povratnih vrijednosti ne preporučuju se procjene za povratna razdoblja dulja od dvostruke duljine raspoloživog niza mjerenja (Klein Tank i sur. 2009). U ovoj studiji su procijenjene očekivane maksimalne količine oborine pojedinog trajanja za povratna razdoblja 2, 5, 10, 25, 50 i 100 godina te pripadni intervali pouzdanosti na razini značajnosti 95 %.

3.4 Generiranje HTP i ITP krivulja na pilot područjima

Za potrebe tradicionalnog načina dimenzioniranja odvodnih sustava (procjena maksimalnog protoka) značajke kratkotrajnih jakih oborina iskazuju se u vidu HTP (Količina oborine - Trajanje-Povratni period) ili ITP (Intenzitet oborine – Trajanje – Povratni period). Ta se obrada provodi na temelju prilagođavanja više tipova krivulja te testiranjem uspješnosti njihova prilagođavanja

proračunatim vrijednostima maksimalnih količina (intenziteta) oborina različitih trajanja i odabranih vjerojatnosti pojave. Kao mjerilo dobrote prilagođavanja u danom je dokumentu korišten koeficijent determinacije R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (3.4.1)$$

uz sljedeće izraze:

$$SS_{res} = \sum_i (y_i - f_i)^2 \quad (3.4.2)$$

$$SS_{tot} = \sum_i (y_i - \bar{y})^2 \quad (3.4.3)$$

gdje je y_i poznata vrijednost količine ili intenziteta oborine, f procijenjena vrijednost količine ili intenziteta oborine odabranom krivuljom, \bar{y} aritmetička sredina svih poznatih vrijednosti količine ili intenziteta oborine.

Sukladnost krivulje i poznatih vrijednost je veća što je R^2 bliži jedinici.

Pri tome je moguće koristiti dva pristupa definiranja HTP ili ITP krivulja – izjednačavanje provesti za svaki povratni period sa zasebnom krivuljom ili pak takvo izjednačenje provesti s jednom krivuljom za sve povratne periode. U radu Bonaccija (1994) iscrpno su prikazani uglavnom svi u praksi najčešće korišteni analitički oblici tih krivulja te se taj dio neće detaljnije razmatrati u ovoj studiji. Parametri tih krivulja određuju se na osnovu regresijskih i višestruko regresijskih analiza po teoriji najmanjih kvadrata.

Vrlo rijetko je moguće pronaći krivulju koja bi se uspješno prilagođavala ulaznim podacima u čitavom svom rasponu, tj. od 5 (ili 10) minuta do ukupno 24 sata. Razlog tome je prirodni karakter režima oborina koje su naglašenije tijekom trajanja kraćih trajanja – u našim je krajevima obično ta granica u promjeni oborinskog režima u rasponu između 1 i 2 sata. Stoga je u slučajevima nemogućnosti osiguranja dobrog prilagođavanja nekog od odabranih funkcija proračunatim količinama oborine nužno provesti takvo izjednačenje za vremenske intervale kraćih i duljih trajanja, te iz rezultirajućih funkcija izjednačenja odrediti presjecišno vrijeme tih krivulja. U tom je slučaju, ali i inače zbog bolje mogućnosti prilagodbe, primjerenije koristiti različite HTP (ITP) krivulje za različite povratne periode.

3.5 Generiranje projektnog pljuska na pilot područjima

Generiranje projektnog pljuska proizlazi iz potrebe za definiranjem sintetičke oborine vremenski promjenjivog intenziteta koja što točnije predstavlja realne oborine na pilot područjima. Naime, jednolična oborina direktno izvedena iz HTP ili ITP krivulja može znatno podcijeniti površinsko otjecanje u odnosu na realne oborine slične vjerojatnosti pojavljivanja, što je posebno izraženo za dulja trajanja i urbane slivove (Krvavica i Rubinić, 2021).

Metodologija generiranja projektnog pljuska na području RH predstavljena je u prethodnim studijama (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 201.) i znanstvenim radovima (Krvavica i sur., 2018; Krvavica i Rubinić, 2021), a dodatno je razrađena i unaprijeđena u okviru predmetne studije.

Generiranje projektnog pljuska sastoji se od tri koraka:

1. Identifikacija i izdvajanje relevantnih pljuskova iz niza izmjerenih ombrografskih podataka.
2. Definiranje bezdimenzionalnog oblika projektnog pljuska za različita trajanja.
3. Generiranje projektnog pljuska za različita trajanja i vjerojatnosti pojavljivanja.

3.5.1 Identifikacija relevantnih pljuskova

Identifikacija i izdvajanje relevantnih pljuskova provedena je prema metodologiji definiranoj u dokumentu *Australian Rainfall and Runoff* (Ball i sur., 2019), a sastoji se od sljedećih koraka:

1. Identifikacija pljuska koji premašuje zadani prag iz niza zabilježenih oborina.
2. Definiranje cjelokupne oborine unutar kojeg se nalazi identificirani pljusak.
3. Izdvajanje pljuska za daljnju analizu ako se trajanje nalazi unutar odabranog raspona.

Identifikacija pljuskova se provodi na nizu ombrografskih podataka vremenske razlučivosti 5 min i preciznosti 0,1 mm sa postaja Poreč, Gospić, Zadar, Split-Marjan i Ploče. Ukupna duljina vremenskih nizova po ombrografskoj postaji prikazana je u tablici 3.1.1, a iznosi minimalno 30 godina.

Za početak je potrebno definirati standardna trajanja pljuskova te pripadajuće raspone cjelokupne oborine za koje se provodi identifikacija (prikazano u tablici 3.5.1). Za svako standardno trajanje pljuska, provodi se pretraga vremenskog niza zabilježenih oborina pri čemu se identificira svaka zabilježena količina oborina koja premašuje unaprijed definirani prag. Prag za identifikaciju relevantnih pljuskova definiran je količinom oborine koja odgovara povratnom periodu od 1 godine (Ball i sur., 2019). Primjerice, za standardno trajanje pljuska od 1 h pretražuju se vrijednosti gdje 12 uzastopnih izmjerenih vrijednosti (12 x 5 min = 60 min) kumulativno premašuje vrijednost koja se

proračuna iz HTP krivulje za trajanje 1 h i povratni period od 1 godine. Nakon što je cijeli niz pretražen za jedno standardno trajanje, pretraga se provodi ispočetka za sljedeće standardno trajanje pljuska.

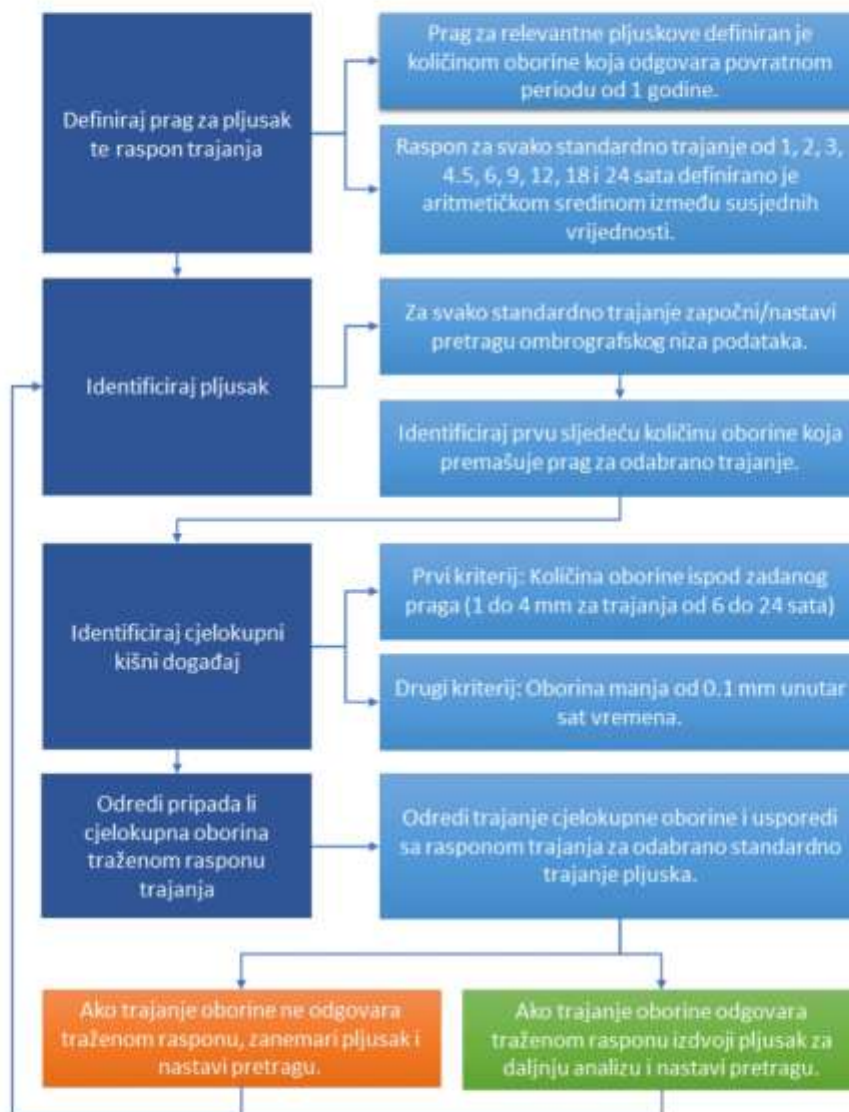
Tablica 3.5.1. Standardna trajanja pljuskova i pripadajući raspon trajanja cjelokupne oborine korišteni u predmetnoj analizi

Standardno trajanje pljuska		Raspon trajanja cjelokupne oborine	
(min)	(h)	od (h)	do (h)
60	1	0,5	1,5
120	2	1,5	2,5
180	3	2,5	3,75
270	4,5	3,75	5,25
360	6	5,25	7,5
540	9	7,5	10,5
720	12	10,5	15
1080	18	15	21
1440	24	21	>24

Nakon što je pojedini pljusak identificiran, potrebno je odrediti trajanje cjelokupne oborine, čiji se točan početak i kraj iterativno određuje prema dva kriterija (Ball i sur., 2019). Prvi kriterij je vezan uz kumulativnu količinu oborine u određenom razdoblju:

- Za standardno trajanje pljuska kraće od 6 h, početak/kraj oborine definiran je kao razdoblje od 6 sati unutar kojeg je zabilježeno manje od 1 mm oborine.
- Za standardno trajanje pljuska između 6 i 12 h, početak/kraj oborine definiran je kao razdoblje od 12 sati unutar kojeg je zabilježeno manje od 2 mm oborine.
- Za standardno trajanje pljuska između 12 i 18 h, početak/kraj oborine definiran je kao razdoblje od 18 sati unutar kojeg je zabilježeno manje od 3 mm oborine.
- Za standardno trajanje pljuska dulje od 18 h, početak/kraj oborine definiran je kao razdoblje od 24 sati unutar kojeg je zabilježeno manje od 4 mm oborine.

Drugi kriterij je period od jednog sata unutar kojeg je palo manje od 0,1 mm oborine.



Slika 3.5.1. Dijagram toka kojim je opisana metodologija identifikacije i izdvajanja pljuskova relevantnih za daljnje analize (modificirano prema Ball i sur., 2019)

Ako se trajanje cjelokupne oborine nalazi unutar raspona definiranog u tablici 3.5.1 za odabrano standardno trajanje, pljusak se izdvaja za daljnju analizu, u suprotnom se odbacuje te se nastavlja potraga. Jednom kada pretraga dođe do kraja vremenskog niza, odabire se sljedeće standardno trajanje i započinje postupak od početka vremenskog niza.

Izdvojeni pljuskovi se dodatno kategoriziraju kao česti ili rijetki događaja, pri čemu je granica koja dijeli te dvije kategorije definirana povratnim periodom od 10 godina (vjerojatnost godišnjeg premašenja 10%).

3.5.2 Definiranje bezdimenzionalnog oblika projektnog pljuska

Definiranje bezdimenzionalnog oblika projektnog pljuska provedeno je prema metodi uprosječne varijabilnosti oborine (Pilgrim, 1987). Navedena metoda je detaljnije obrazložena u prethodnoj studiji (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019) te znanstvenim radovima (Krvavica i sur., 2018; Krvavica i Rubinić, 2021).

Metoda uprosječne varijabilnosti sastoji se od statističke analize pljuskova izdvojenih u prethodnom koraku. Za svako trajanje pljuska generiraju se pluviogrami jednakog trajanja i vremenskog inkrementa. Pritom, odabrani inkrement je manji za kraća trajanja, a veći za dulja trajanja kako bi se očuvala realna varijabilnost intenziteta (Ball i sur., 2019.). Primjerice za trajanje od 1 h, inkrement iznosi 5 min, što znači da se pljusak sastoji od 12 inkremenata različitih količina oborine trajanja 5 min, dok za trajanje od 12 sati, inkrement iznosi 30 min te se pljusak sastoji od 24 inkrementa različitih količina oborine trajanja 30 min. Odabrani inkrementi prikazani su u tablici 3.5.2.

Tablica 3.5.2. Odabrani vremenski inkrementi za različita trajanja pljuska (prema Ball i sur., 2019.)

Trajanje pljuska (h)	1	2	3	4.5	6	9	12	18	24
Trajanje pljuska (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Vremenski inkrement (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
Broj inkremenata (-)	12	12	18	18	18	18	24	24	24

Prema navedenoj metodi, za svaki se pljusak količina oborine izražava kao postotak ukupne količine oborine te rangira po inkrementima. Potom se za svaki rangirani inkrement određuje prosječna

postotna vrijednost s obzirom na sve analizirane pljuskove tog trajanja. Konačan rezultat je bezdimenzionalni oblik projektnog pljaska izražen kao postotak oborine u svakom inkrementu, ali koji odražava vremensku raspodjelu povijesnih oborina na odabranoj lokaciji.

Na slici 3.5.3. dan je primjer proračuna bezdimenzionalnog oblika projektnog pljaska prema metodi uprosječene varijabilnosti oborine za 10 hipotetskih oborina istog trajanja koje su podijeljene u tri vremenska inkrementa. U svakom inkrementu se određuje postotna vrijednost količine oborine. Potom se za svakom inkrementu dodjeljuje odgovarajući razred s obzirom na količinu oborine (u danom primjeru; razred 1 za najveću količinu oborine, a razred 3 za najmanju količinu oborine). Ako su količine oborine jednake u dva razred, dodjeljuje se prosječni razred. Zatim se za svaki razred određuje pripadajuća postotna količina oborine. Nakon što se svaka pojedinačna oborina obradi na prethodno opisani način, određuje se prosjek razreda za svaki inkrement i prosjek postotne količine oborine za svaki razred. Konačno se definiraju postotne količine oborine u svakom inkrementu prema određenom razredu, čime je definiran i bezdimenzionalni oblik projektnog pljaska.

Tablica 3.5.3. Primjer generiranja bezdimenzionalnog oblika projektnog pljaska (modificirano prema Cordery i sur., 1984)

Datum	Ukupna količina oborine (mm)	Količina oborine u svakom inkrementu (mm)			Postotna količina oborine u svakom inkrementu (-)			Razred svakog inkrementa			Postotak količine oborine u svakom razredu		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	R1	R2	R3
<i>kiša1</i>	57	19	19	19	0.33	0.33	0.33	2	2	2	0.33	0.33	0.33
<i>kiša2</i>	56	16	26	14	0.29	0.46	0.25	2	1	3	0.46	0.29	0.25
<i>kiša3</i>	54	17	17	20	0.31	0.31	0.37	2.5	2.5	1	0.37	0.31	0.31
<i>kiša4</i>	53	20	18	15	0.38	0.34	0.28	1	2	3	0.38	0.34	0.28
<i>kiša5</i>	52	15	19	18	0.29	0.37	0.35	3	1	2	0.37	0.35	0.29
<i>kiša6</i>	49	14	19	16	0.29	0.39	0.33	3	1	2	0.39	0.33	0.29
<i>kiša7</i>	47	15.7	15.7	15.7	0.33	0.33	0.33	2	2	2	0.33	0.33	0.33
<i>kiša8</i>	47	16	13	18	0.34	0.28	0.38	2	3	1	0.38	0.34	0.28
<i>kiša9</i>	46	16.5	15.5	14	0.36	0.34	0.30	1	2	3	0.36	0.34	0.30
<i>kiša10</i>	44	19	18	7	0.43	0.41	0.16	1	2	3	0.43	0.41	0.16
Prosjek								1.95	1.85	2.2	0.38	0.34	0.28
Konačni razred inkrementa								R2	R1	R3			
Konačna postotna količina oborine u inkrementu								0.34	0.38	0.28			

Bezdimenzionalni oblici projektnog pljuska se posebno definiraju za pljuskove koji su kategorizirani kao rijetki i kao česti događaji, stoga se za svaku ombrografsku postaju definira ukupno 18 oblika pljuskova (9 standardnih trajanja x 2 vjerojatnosti).

3.5.3 Generiranje projektnog pljuska

Nakon što su bezdimenzionalni oblici projektnog pljuska definirani za svako trajanje i dvije različite kategorije (česti i rijetki događaji), provodi se pridruživanje apsolutnih vrijednosti količine oborina iz HTP krivulja za tri vjerojatnosti pojavljivanja (povratni period od 5, 25 i 100 godina). Pritom se pri određivanju projektnog pljuska povratnog perioda 5 godina koriste bezdimenzionalni oblici iz kategorije česti događaji, dok se pri određivanju projektnog pljuska povratnog perioda 25 i 100 godina koriste bezdimenzionalni oblici iz kategorije rijetki događaji. Za trajanja u kojima nisu zabilježeni rijetki događaji, za sve povratne periode se koriste oblici pljuska iz kategorije čestih događaja.

Primjerice za određivanje projektnog pljuska povratnog perioda 25 godina i trajanja 3 sata, prvo se proračuna količina oborine iz HTP krivulje istog trajanja i povratnog perioda. Potom se dobivena vrijednost pomnoži sa postocima svakog inkrementa kako je definirano oblikom bezdimenzionalnog pljuska, a rezultat je konačni projektni pljusak trajanja 3 sata, koji se sastoji od 18 inkremenata trajanja 10 minuta, pri čemu svaki inkrement ima različit intenzitet oborine.

4 Rezultati analize kratkotrajnih jakih količina oborina na pilot područjima

4.1 Prihvatljivost ombrografskih podataka

Provedenom usporedbom maksimalnih dnevnih količina oborine prema ombrografu i prema pripadnom kišomjeru detektirane su potencijalno nepouzdana godine ombrografskih mjerenja za procjene očekivanih ekstrema. U tablici 4.1.1 nalaze se rezultati za pojedina pilot područja. Navedene su nepouzdana godine koje su izuzete iz daljnje analize, a zvjezdicom su označene one godine koje su procijenjene kao granično suspektne. U zadnjoj koloni naveden je broj godina nakon isključivanja nepouzdatih godina.

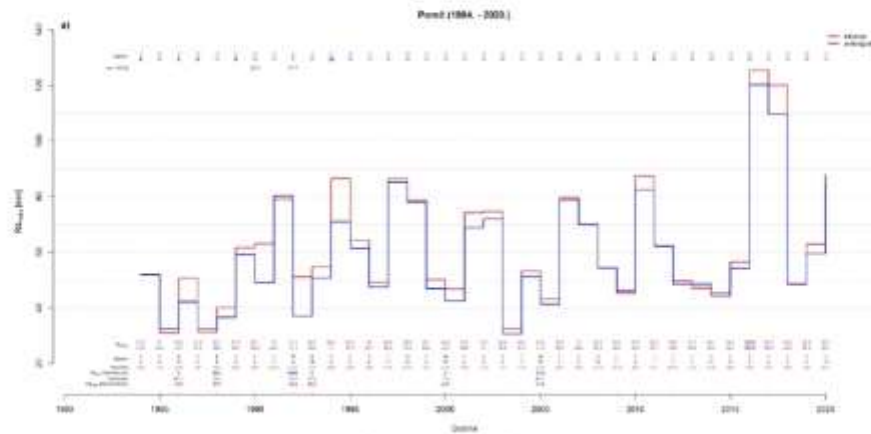
Tablica 4.1.1. Popis ombrografskih postaja analiziranih u ovoj studiji za pojedina pilot područja, s raspoloživim dugogodišnjim razdobljem mjerenja prema ombrografu i popis nepouzdatih godina ombrografskih mjerenja za analizu ekstrema nakon usporedbe s podacima pripadnih kišomjera. Godine označene sa zvjezdicom označavaju granično suspektne godine. U stupcu nGod navedena je duljina raspoloživog niza nakon izuzimanja nepouzdatih godina za analizu ekstrema.

Pilot	Postaja	Razdoblje	Nepouzđano i suspektno	nGod
Poreč	Poreč	1984.-2020.	1986., 1992., 1993.	34
Gospić	Gospić	1961.-2020.	1961., 1963.*, 1971., 1979.*, 1980., 1982.*, 1983.*, 1985.*, 1987.*, 1998.	56
Zadar, Biograd na Moru	Zadar	1961.-2020.	1965., 1985., 1989., 1990., 1991.	55
Split	Split Marjan	1961.-2020.	1961.*, 1963.*, 1964.*, 1974., 1978., 1990., 1993., 1994.*	56
Metković	Ploče	1968.-2020.	1968., 1981.*	52

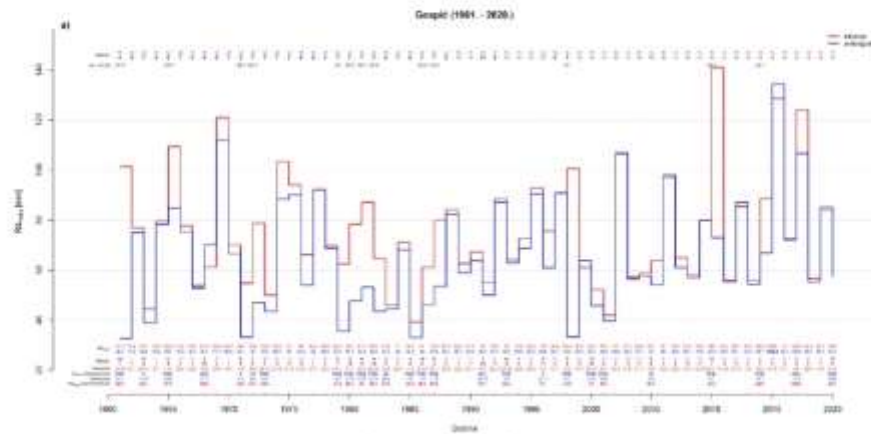
Na slikama od 4.1.1 do 4.1.5 prikazani su nizovi $Rd_{kiš_{maks}}$ i $Rd_{omb_{maks}}$ za sve analizirane postaje te rezultati ispitivanja *i)* dostupnosti mjerenja tijekom godine (tekst iznad grafa; broj mjeseci tijekom godine od 1 do 12) te *ii)* slaganja mjeseca dostizanja godišnjeg maksimuma (tekst ispod grafa; mjeseci tijekom godine od 1 do 12). Brojevi ispod krivulja označavaju vrijednosti dnevnog maksimuma ($Rdmaks$) (označen istom bojom kao i pripadni izvor), zatim mjeseci (Mjesec) u kojem su maksimumi izmjereni prema kišomjeru i ombrografu te pripadni datum prema kišomjeru ($Datum_{kiš}$). Crnom bojom su označeni oni slučajevi u kojima se mjeseci pojavljivanja maksimuma iz dva izvora ne podudaraju. Za te slučajeve je dodatno navedena vrijednost izmjenog dnevnog

maksimuma prema ombrografu na datum izmjerenog maksimuma prema kišomjeru ($Rd_{omb}(Datum_{kis})maks$) te datum izmjerenog maksimuma prema ombrografu ($Datum_{omb}$) i na taj datum vrijednost izmjerenog maksimuma prema kišomjeru ($Rd_{kiš}(Datum_{omb})maks$). Poništeni podaci ombrografa na $Datum_{kiš}$ označeni su s *PON*. Brojevi iznad krivulja označavaju za koliko je mjeseci (*nMjeseć*) unutar godine dostupna informacija o mjesečnom maksimumu dnevnih količina oborine te je navedena razlika opaženih maksimuma ako je veća od 20% ($raz > 20\%$).

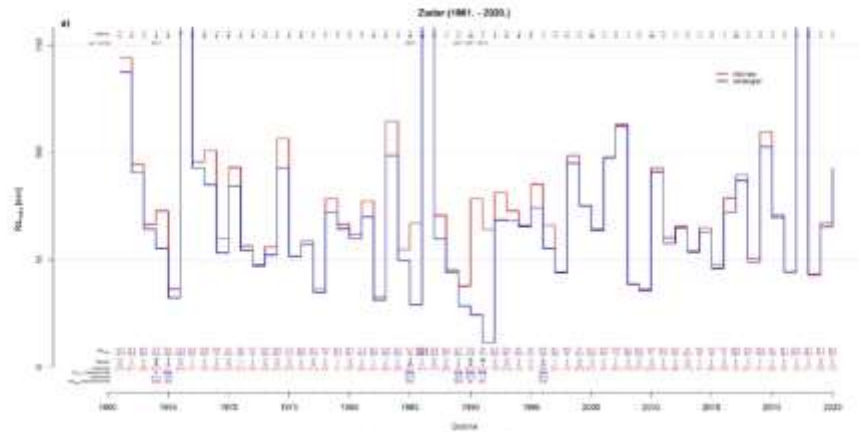
Slike 4.1.6 do 4.1.10 pružaju uvid u učestalost pojavljivanja godišnjih maksimuma po mjesecima za svaku postaju koje su također korištene pri konačnom odabiru (ne)pouzdatih godina. Rezultati pokazuju da na postajama Poreč i Zadar treba iz analize ekstrema ukloniti tri odnosno pet nepouzdatih godina u kojima sa sigurnošću možemo tvrditi da za sva trajanja nije detektiran godišnji maksimum oborine. Na postajama Gospić i Split-Marjan je utvrđeno po četiri takve godine, a na postaji Ploče je jedna godina nepouzdana. Najviše granično suspektnih godina ocijenjeno je na postaji Gospić (6) te Split-Marjan (4) dok je na postaji Ploče jedna godina granično suspektna. Naime, za te godine vrijednosti maksimalnih količina oborine za samo pojedina (vrlo kratka ili najdulja) trajanja pripadaju među deset najmanjih vrijednosti u nizu, a za ostala su visoko rangirana. Na te godine će se obratiti više pažnje prilikom procjene ekstrema te će biti uklonjene iz analize ovisno o tome koliko će utjecati na statistička svojstva razdiobe ekstrema.



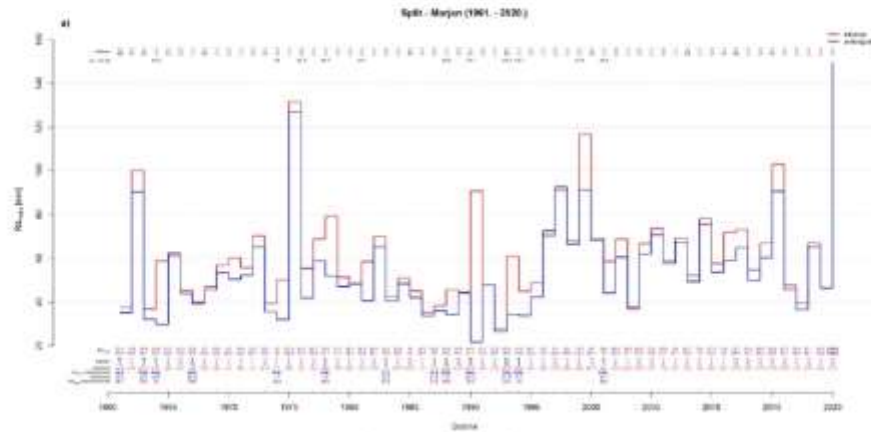
Slika 4.1.1. Usporedba vremenskih nizova maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru (crvena krivulja) i ombrografu (plava krivulja) za raspoloživo zajedničko razdoblje mjerenja na postaji Poreč (1984.-2020.).



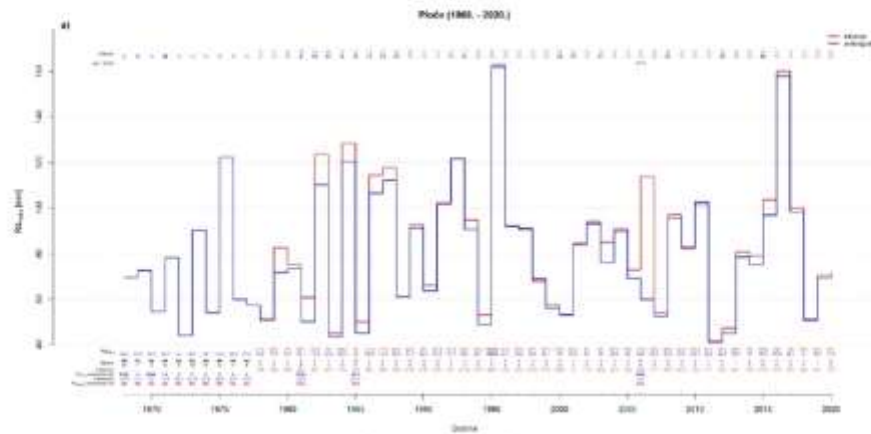
Slika 4.1.2. Usporedba vremenskih nizova maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru (crvena krivulja) i ombrografu (plava krivulja) za raspoloživo zajedničko razdoblje mjerenja na postaji Gospić (1961.-2020.).



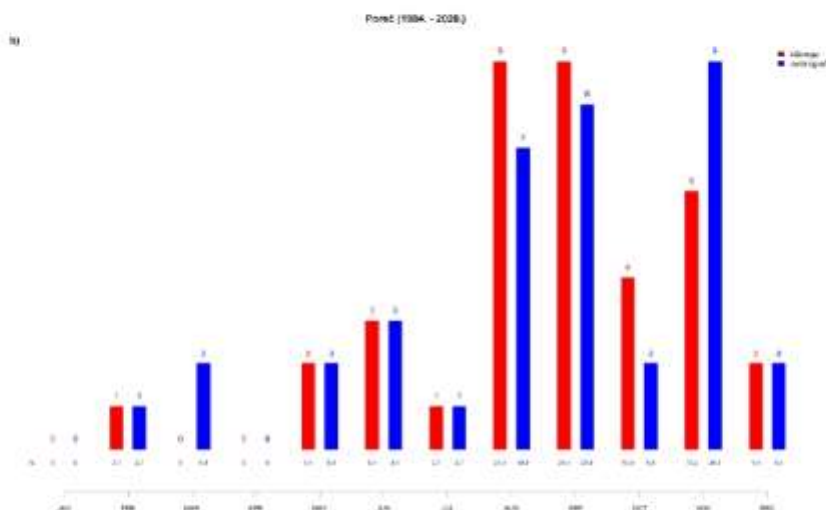
Slika 4.1.3. Usporedba vremenskih nizova maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru (crvena krivulja) i ombrografu (plava krivulja) za raspoloživo zajedničko razdoblje mjerenja na postaji Zadar (1961.-2020.).



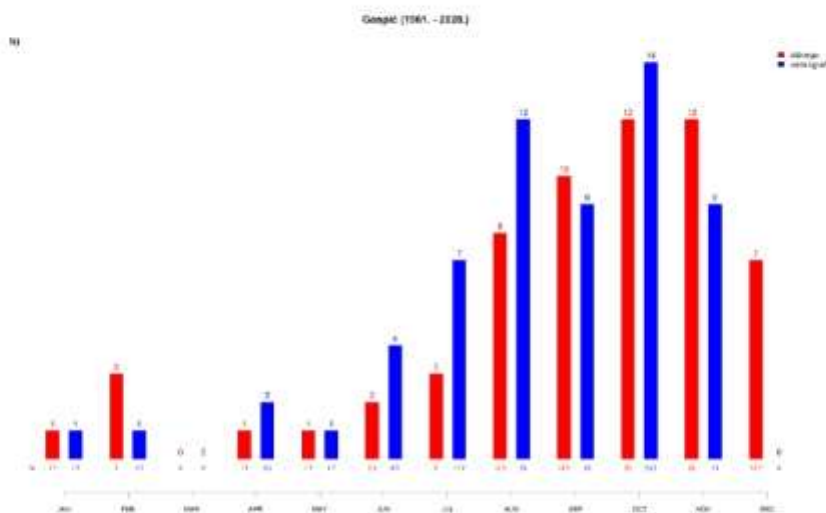
Slika 4.1.4. Usporedba vremenskih nizova maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru (crvena krivulja) i ombrografu (plava krivulja) za raspoloživo zajedničko razdoblje mjerenja na postaji Split-Marjan (1961.-2020.).



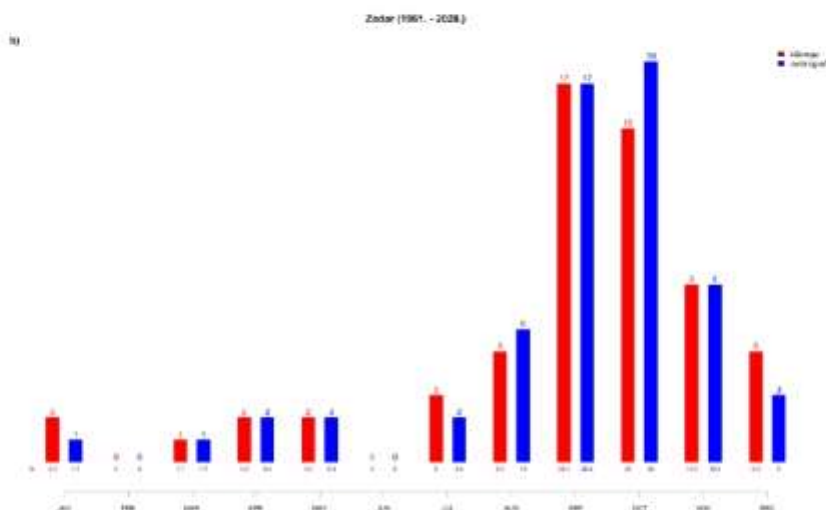
Slika 4.1.5. Usporedba vremenskih nizova maksimalne dnevne količine oborine prema kišomjeru (crvena krivulja) i ombrografu (plava krivulja) za raspoloživo zajedničko razdoblje mjerenja na postaji Ploče (1968.-2020.).



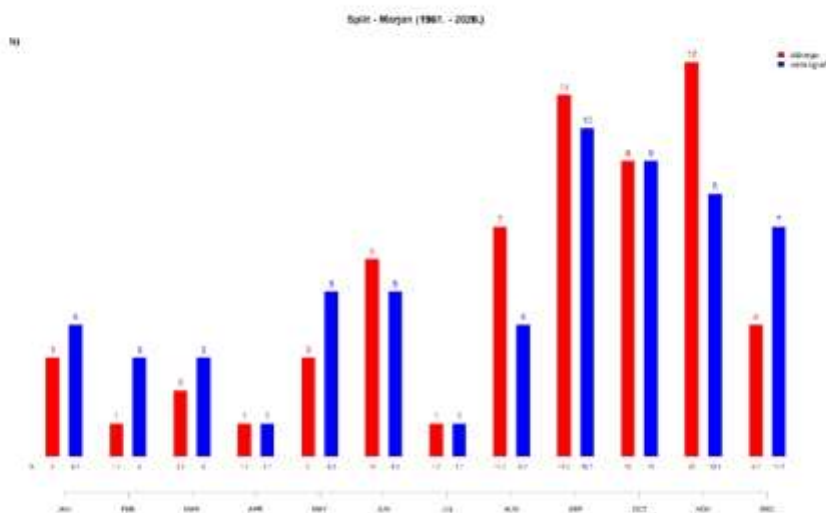
Slika 4.1.6. Usporedba učestalosti pojavljivanja godišnje maksimalne dnevne količine oborine po mjesecima za postaju Poreč, razdoblje 1984. – 2020.



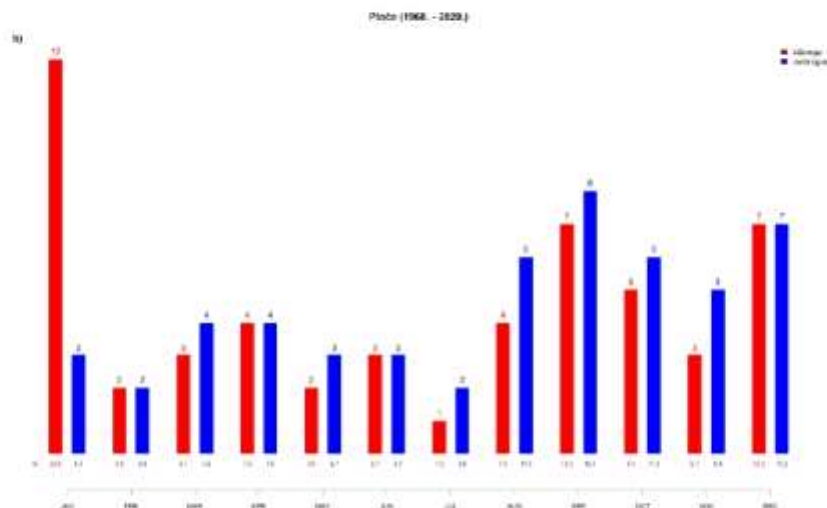
Slika 4.1.7. Usporedba učestalosti pojavljivanja godišnje maksimalne dnevne količine oborine po mjesecima za postaju Gospić, razdoblje 1961. – 2020.



Slika 4.1.8. Usporedba učestalosti pojavljivanja godišnje maksimalne dnevne količine oborine po mjesecima za postaju Zadar, razdoblje 1961. – 2020.



Slika 4.1.9. Usporedba učestalosti pojavljivanja godišnje maksimalne dnevne količine oborine po mjesecima za postaju Split-Marjan, razdoblje 1961. – 2020.



Slika 4.1.10. Usporedba učestalosti pojavljivanja godišnje maksimalne dnevne količine oborine po mjesecima za postaju Ploče, razdoblje 1968. – 2020.

4.2 Analiza nizova godišnjih maksimalnih količina oborine

U ovom poglavlju analizirane su osnovne statističke veličine pojedinih nizova trajanja od 10 do 60 minuta, za 2, 4, 6, 12, 18 i 24 sata te trajanja od 1 do 5 uzastopnih dana.

U tablicama 4.2.1. do 4.2.5. navedeni su srednjak, standardna devijacija i koeficijent varijacije pojedinog niza maksimalnih godišnjih količina oborine, zatim najveće izmjerene količine oborine za pojedino trajanje te pripadno povratno razdoblje procijenjeno pomoću razdiobe GEV na pet postaja na pilot područjima projekta STREAM. Iz vrijednosti standardnih devijacija i koeficijenata varijacije vidi se promjenjivost godišnjih maksimuma od godine do godine.

Na postaji Poreč je promjenjivost oborine za sva trajanja podjednaka i kreće se u rasponu od 29 % do 35 %. Na postaji Gospić se koeficijent varijacije kreće između 26 % i 29 % za dnevne i višednevne količine oborine, a za kraća trajanja, do 24 sata, promjenjivost se kreće od 32 % do 37 %. Slično je i na postaji Ploče na kojoj najmanju promjenjivost imaju višednevne količine oborine (od 25 % do 27 %) dok se za kraća trajanja promjenjivost izmjenjuje u rasponu od 31 % do 39 %. Nešto promjenjivije vrijednosti opažane su na postaji Split-Marjan, gdje se promjenjivost oborine minutnih kao i dnevnih

te višednevnih trajanja kreće u rasponu od 30 % do 39 % dok se za trajanja od 2 do 24 sata koeficijent varijacije kreće u rasponu od 40 % do 45 %. U Zadru je promjenjivost oborine od godine do godine znatno veća nego na ostalim postajama. Za trajanja od 10 do 60 minuta koeficijent varijacije kreće se u rasponu od 37 % do 41 %, zatim se povećava za višednevne količine oborine (od 47 % do 56 %), a najveću međugodišnju promjenjivost na postaji Zadar pokazuju satne (2, 4, 6, 12, 18 i 24 h) količine oborine (od 61 % do 69 %).

Izmjerene maksimalne količine oborine su na svim postajama za većinu trajanja dva puta veće od pripadne srednje vrijednosti. Na postaji Gospić je zabilježen 2-satni maksimum (iz 1969. godine) bio tri puta veći od pripadnog srednjaka. I na postaji Split-Marjan je zabilježen 4- i 6- satni maksimum bio tri puta veći od prosjeka kao i na postaji Zadar za 2-satno te 4- i 5- dnevno trajanje oborine (iz 1986. godine). Na postaji Zadar je maksimalna zabilježena količina oborine za trajanja od 4 sata do 3 dana bila čak četiri puta veća od pripadnih srednjih vrijednosti u analiziranom razdoblju.

Pripadna povratna razdoblja takvih događaja, određena prema razdiobi GEV, pokazuju da trostruko veće vrijednosti od srednjaka predstavljaju vrlo rijetke događaje koji se mogu očekivati prosječno jednom u više od 50 godina na postaji Split-Marjan odnosno više od 100 godina na postajama Gospić i Zadar. Na potonjoj postaji, godišnji ekstremi zabilježeni 1986. godine za većinu trajanja mogu se očekivati s povratnim razdobljem preko 200 godina.

U tablicama 4.2.1. do 4.2.5. su dane i vrijednosti trenda (Senov nagib) na 10 godina izraženog u postocima u odnosu na srednjak iz klimatološkog razdoblja 1981. – 2010. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane. Rezultati trenda pokazuju različit signal promjena na pojedinoj postaji i za različita trajanja oborine. Tako je na postaji Poreč uočen pozitivan trend maksimalne godišnje količine oborine za sva trajanja osim 30-minutnog za koji je trend negativnog predznaka. Na postajama Gospić i Ploče je raspodjela trenda po trajanjima slična – trend je negativan za najkraća trajanja (do 60 minuta) dok za sva dulja trajanja prevladava pozitivan trend. U Zadru pak prevladava negativan trend količine oborine za sva trajanja dok je na postaji Split-Marjan uočen negativan trend za trajanja oborine do 40 minuta, a za trajanja dulja od 50 minuta trend je pozitivan. Međutim, vrijednosti trenda su relativno male i kreću se u rasponu od – 8 % / 10 god do 5 % / 10 god. Statistički značajan pozitivan trend uočen je samo na postaji Ploče za trajanja od 12, 18 i 24 sata, a negativan na postaji Zadar za 10-minutne godišnje maksimume. Trend dnevnih i višednevnih maksimalnih količina oborine nije značajan niti na jednoj postaji. Treba napomenuti kako je trend na postaji Ploče analiziran za razdoblje 1969. – 2020. za koji je niz godišnjih maksimuma potpun dok na ostalim postajama postoji određeni broj nedostajućih godina u raspoloživom vremenskom nizu

(tablica 3.1.1) koji doprinosi nepouzdanosti procjena trenda godišnjih maksimuma za trajanja do 24 sata. Na slikama 4.2.1 do 4.2.5 prikazani su vremenski nizovi dnevnih i višednevnih količina oborine i pripadni pravci trenda na pojedinoj postaji.

Tablica 4.2.1. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimalnih količina oborine (R_{red} – srednjak, σ – standardna devijacija, c_v – koeficijent varijacije), najveća registrirana količina oborine (R_{maks}) i pripadno povratno razdoblje (T) procijenjeno pomoću opće razdiobe ekstrema te dekadni trend za različita trajanja (10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12 i 24 sata te 1 do 5 dana) za postaju **Poreč** prema raspoloživom razdoblju iz tablice 3.1.1. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

Trajanje	R_{red} (mm)	σ (mm)	c_v	R_{maks} (mm)	T (god)	Trend (mm/10god)
10 min	13.5	4.6	0.34	24.2	18	0.99
20 min	21.3	7.3	0.34	38.8	24	0.00
30 min	26.1	8.7	0.33	50.4	35	-0.78
40 min	29.3	9.2	0.31	56.2	27	0.12
50 min	32	10.1	0.32	63.3	46	0.57
60 min	34.1	11.2	0.33	70.0	61	3.78
2 h	40.9	13.9	0.34	88.7	57	3.99
4 h	47.8	16.4	0.34	106.4	107	1.10
6 h	51.5	17.2	0.33	112.1	119	2.30
12 h	59.4	17.9	0.3	112.4	73	3.44
18 h	64.3	19.9	0.31	120.2	89	4.97
24 h	69.9	22.4	0.32	120.2	28	4.97
1 d	61.6	21.5	0.35	125.5	66	6.78
2 d	79.6	23.7	0.30	138.2	71	4.71
3 d	89.3	28.3	0.32	158.2	41	4.20
4 d	96.3	28.4	0.29	172.3	55	2.68
5 d	102.7	30	0.29	175.4	58	1.74

Tablica 4.2.2. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimalnih količina oborine (R_{red} – srednjak, σ – standardna devijacija, c_v – koeficijent varijacije), najveća registrirana količina oborine (R_{maks}) i pripadno povratno razdoblje (T) procijenjeno pomoću opće razdiobe ekstrema te dekadni trend za različita trajanja (10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12 i 24 sata te 1 do 5 dana) za postaju **Gospić** prema raspoloživom razdoblju iz tablice 3.1.1. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

Trajanje	R_{red} (mm)	σ (mm)	c_v	R_{maks} (mm)	T (god)	Trend (mm/10god)
10 min	11.8	4.1	0.35	21.9	80	-4.76
20 min	18.5	6.4	0.35	37.8	98	-5.00
30 min	22.8	8.3	0.36	47.6	74	-5.35
40 min	26	9.7	0.37	59.9	116	-3.62
50 min	28.1	10.4	0.37	64.7	117	-2.26
60 min	29.6	10.7	0.36	67.1	119	-1.73
2 h	36.3	12.7	0.35	91.3	317	2.31
4 h	45.9	15.5	0.34	110.2	159	4.47
6 h	52.4	17	0.32	110.8	61	3.38
12 h	64.6	21.2	0.33	122.7	49	3.09
18 h	73.8	24.4	0.33	151.9	75	2.92
24 h	79.9	27.7	0.35	159.1	44	3.02
1 d	75.6	22.2	0.29	141.0	78	0.13
2 d	100.3	27.9	0.28	186.2	68	-0.17
3 d	118.6	31.8	0.27	236.5	194	1.36
4 d	131.7	34.8	0.26	262.3	231	1.40
5 d	146.5	38.9	0.27	267.9	116	0.55

Tablica 4.2.3. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimalnih količina oborine (R_{med} – srednjak, σ – standardna devijacija, c_v – koeficijent varijacije), najveća registrirana količina oborine (R_{maks}) i pripadno povratno razdoblje (T) procijenjeno pomoću opće razdiobe ekstrema te dekadni trend za različita trajanja (10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12 i 24 sata te 1 do 5 dana) za postaju **Zadar** prema raspoloživom razdoblju iz tablice 3.1.1. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

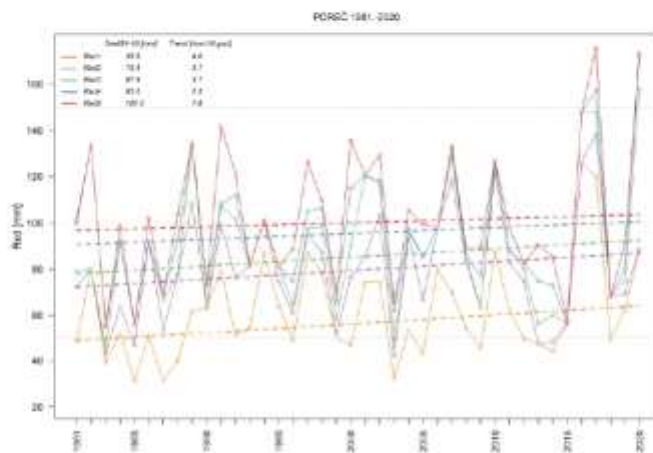
Trajanje	R_{med} (mm)	σ (mm)	c_v	R_{maks} (mm)	T (god)	Trend (mm/10go)
10 min	15.5	6.1	0.39	33.2	39	-7.71
20 min	24.2	8.9	0.37	49.3	48	-5.95
30 min	30.4	11.4	0.38	61.8	54	-4.94
40 min	35.2	13.6	0.39	68.3	41	-5.43
50 min	38.9	15.4	0.4	73.3	33	-5.52
60 min	41.8	17.1	0.41	88.3	62	-5.96
2 h	51.1	25.1	0.49	147.3	132	-4.31
4 h	61.7	39	0.63	247.4	275	-1.6
6 h	68.8	47.4	0.69	304.1	284	-0.82
12 h	75.6	50.9	0.67	334.6	178	-0.95
18 h	79.3	50	0.63	335.6	233	-0.87
24 h	83.3	51	0.61	336.3	204	-0.87
1 d	78.7	48.2	0.61	352.2	360	-1.07
2 d	93.3	52.2	0.56	353.7	236	-2.09
3 d	100.1	52.0	0.52	353.7	275	-0.89
4 d	106.9	51.8	0.48	353.7	275	-1.99
5 d	115.1	54.0	0.47	353.7	204	-2.13

Tablica 4.2.4. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimalnih količina oborine (R_{red} – srednjak, σ – standardna devijacija, c_v – koeficijent varijacije), najveća registrirana količina oborine (R_{maks}) i pripadno povratno razdoblje (T) procijenjeno pomoću opće razdiobe ekstrema te dekadni trend za različita trajanja (10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12 i 24 sata te 1 do 5 dana) za postaju **Split-Marjan** prema raspoloživom razdoblju iz tablice 3.1.1. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

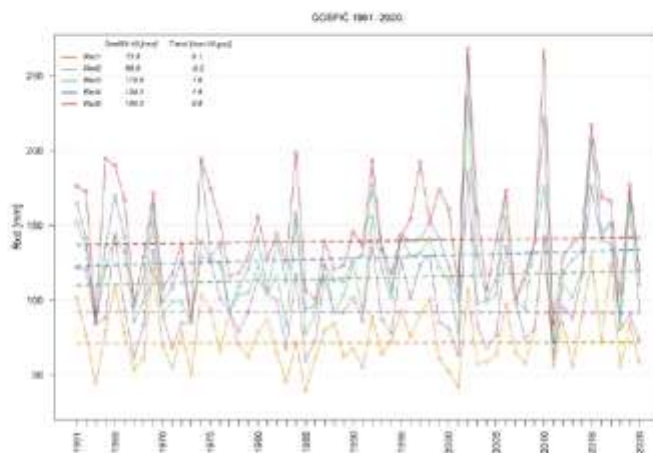
Trajanje	R_{red} (mm)	σ (mm)	c_v	R_{maks} (mm)	T (god)	Trend (mm/10go)
10 min	11.4	4.4	0.39	25.6	87	-1.27
20 min	17.9	6.1	0.34	38.2	237	-1.04
30 min	22.4	7.3	0.33	43.4	176	-1.12
40 min	25.6	8.4	0.33	46.5	97	-0.40
50 min	27.7	9.5	0.34	50.6	67	0.00
60 min	29.4	10.5	0.36	56.6	74	0.42
2 h	36.4	15.2	0.42	81	43	3.83
4 h	43.4	19.7	0.45	110.4	58	4.09
6 h	47.1	21	0.45	120.9	53	4.07
12 h	54.8	21.9	0.4	126.8	38	3.38
18 h	60.8	22.2	0.37	137.1	53	3.26
24 h	64.8	23.1	0.36	149.2	96	3.63
1 d	61.6	23.0	0.37	149.6	131	4.35
2 d	76.7	25.8	0.34	168.2	93	3.13
3 d	83.4	26.6	0.32	168.8	82	2.46
4 d	89.8	27.4	0.31	186.6	132	1.76
5 d	94.5	28.4	0.30	205.2	225	1.33

Tablica 4.2.5. Osnovna statistika nizova godišnjih maksimalnih količina oborine (R_{med} – srednjak, σ – standardna devijacija, c_v – koeficijent varijacije), najveća registrirana količina oborine (R_{maks}) i pripadno povratno razdoblje (T) procijenjeno pomoću opće razdiobe ekstrema te dekadni trend za različita trajanja (10 do 60 minuta, 2, 4, 6, 12 i 24 sata te 1 do 5 dana) za postaju **Ploče** prema raspoloživom razdoblju iz tablice 3.1.1. Vrijednosti statistički značajnog trenda su podebljane.

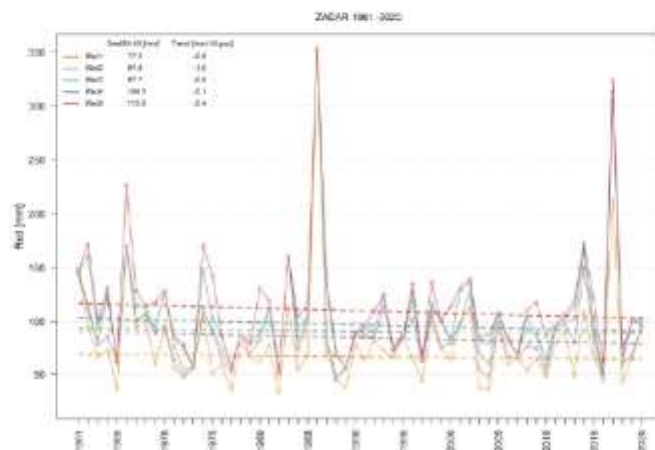
Trajanje	R_{med} (mm)	σ (mm)	c_v	R_{maks} (mm)	T (god)	Trend (mm/10go)
10 min	15.3	4.9	0.32	33.6	291	-5.93
20 min	24.2	7.6	0.31	49.3	279	-4.19
30 min	30.1	10.4	0.35	65.4	186	-3.25
40 min	34.4	12.8	0.37	75.8	138	-2.69
50 min	37.9	14.7	0.39	81.5	89	-1.87
60 min	40.7	15.6	0.38	84.6	80	-0.99
2 h	49.8	17.7	0.36	101.0	60	2.5
4 h	59.3	22.3	0.38	144.4	108	3.87
6 h	65.5	22.9	0.35	156	192	3.06
12 h	75.9	24.3	0.32	156.6	111	4.76
18 h	82.3	26.3	0.32	174.0	119	4.97
24 h	88.5	29.5	0.33	187.4	104	5.23
1 d	84.6	29.0	0.34	161.5	58	-1.38
2 d	105.5	28.8	0.27	190.7	136	0.00
3 d	118.9	30.5	0.26	213.2	195	0.75
4 d	131.8	32.7	0.25	226.8	115	0.47
5 d	141.8	37.2	0.26	229.2	51	0.67



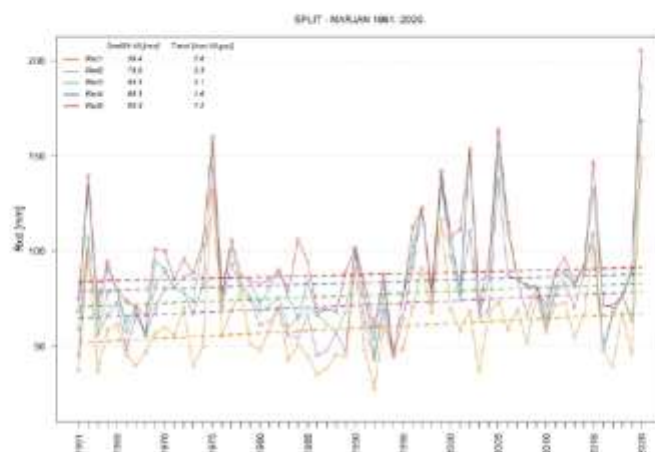
Slika 4.2.1. Vremenski nizovi godišnjih maksimalnih dnevnih (Rx1d) i višednevnih (Rx2d, Rx3d, Rx4d i Rx5d) količina oborine i pripadni pravci trenda za postaju **Poreč** iz razdoblja 1961. – 2020. Naznačene su vrijednosti trenda (u % / 10 god) i pripadne srednje vrijednosti iz klimatološkog razdoblja 1961. – 2010.



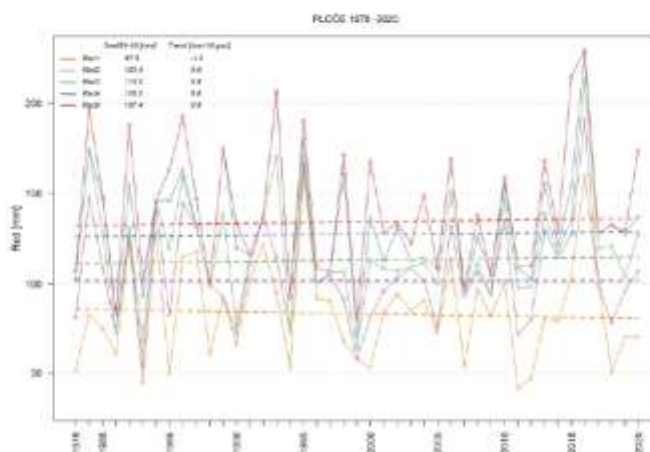
Slika 4.2.2. Vremenski nizovi godišnjih maksimalnih dnevnih (Rx1d) i višednevnih (Rx2d, Rx3d, Rx4d i Rx5d) količina oborine i pripadni pravci trenda za postaju **Gospić** iz razdoblja 1961. – 2020. Naznačene su vrijednosti trenda (u % / 10 god) i pripadne srednje vrijednosti iz klimatološkog razdoblja 1961. – 2010.



Slika 4.2.3. Vremenski nizovi godišnjih maksimalnih dnevnih (Rx1d) i višednevnih (Rx2d, Rx3d, Rx4d i Rx5d) količina oborine i pripadni pravci trenda za postaju **Zadar** iz razdoblja 1961. – 2020. Naznačene su vrijednosti trenda (u % / 10 god) i pripadne srednje vrijednosti iz klimatološkog razdoblja 1981. – 2010.



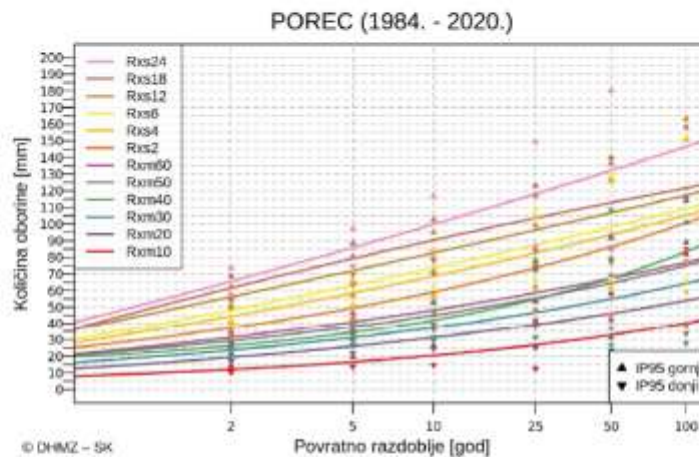
Slika 4.2.4. Vremenski nizovi godišnjih maksimalnih dnevnih (Rx1d) i višednevnih (Rx2d, Rx3d, Rx4d i Rx5d) količina oborine i pripadni pravci trenda za postaju **Split-Marjan** iz razdoblja 1961. – 2020. Naznačene su vrijednosti trenda (u % / 10 god) i pripadne srednje vrijednosti iz klimatološkog razdoblja 1981. – 2010.



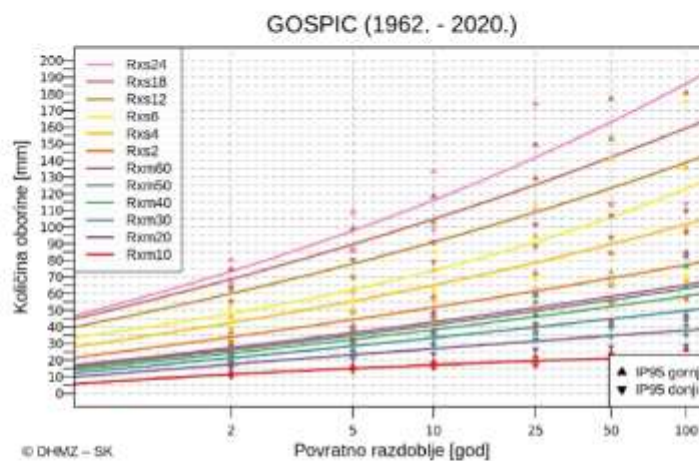
Slika 4.2.5. Vremenski nizovi godišnjih maksimalnih dnevnih (Rx1d) i višednevnih (Rx2d, Rx3d, Rx4d i Rx5d) količina oborine i pripadni pravci trenda za postaju **Ploče** iz razdoblja 1978. – 2020. Naznačene su vrijednosti trenda (u % / 10 god) i pripadne srednje vrijednosti iz klimatološkog razdoblja 1981. – 2010.

4.3 Vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborina

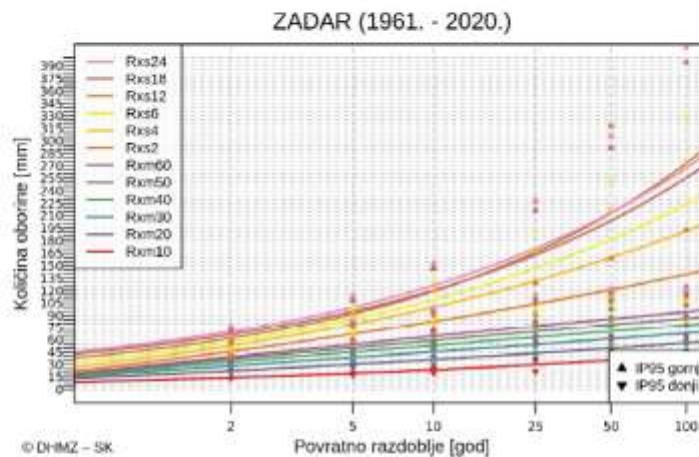
Na slikama 4.3.1 do 4.3.5 prikazane su procijenjene godišnje maksimalne količine oborine za povratna razdoblja 5, 10, 25, 50 i 100 godina za sva trajanja od 10 minuta do 24 sata te za dnevne i višednevne količine oborine na pet analiziranih postaja. Za svaku procjenu dani su i pripadni intervali pouzdanosti (IP) na razini značajnosti 95 %. Tablične vrijednosti vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborina dane su u Prilogu B ovog dokumenta. Iz slika se može vidjeti kako se krivulje, očekivano, pomiču prema višim vrijednostima s povećanjem trajanja oborine. Ipak, za pojedine postaje i trajanja oborine, krivulje povratnih vrijednosti se presijecaju što je posljedica pojavljivanja jednakih vrijednosti godišnjih maksimuma za pojedina uzastopna trajanja u istoj godini. Na primjer, na postaji Zadar se krivulje povratnih vrijednosti za 12- i 18-satna trajanja presijecaju za povratna razdoblja dulja od 10 godina (Slika 4.3.3) što je rezultat odnosa pripadnih nizova maksimuma. Naime, u osam godina su pripadne vrijednosti godišnjih maksimuma 12- i 18-satnih trajanja jednake. Zbog takvih slučajeva je posebno važno za daljnju primjenu procijenjenih vrijednosti uzeti u obzir i vrijednosti donjeg i gornjeg intervala pouzdanosti.



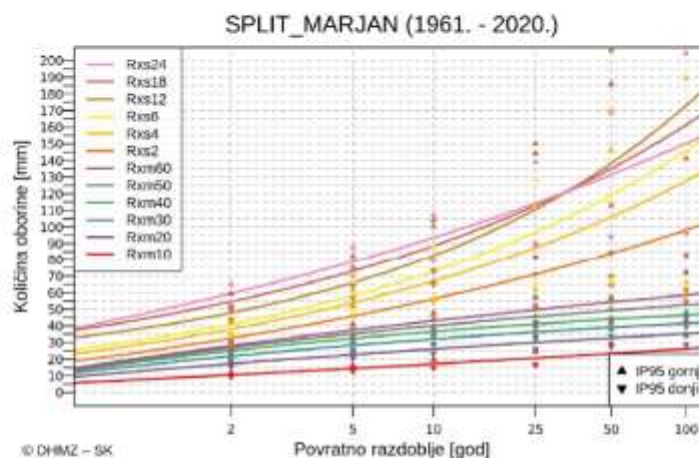
Slika 4.3.1. Procjene maksimalnih godišnjih količina oborina (Rx) za povratna razdoblja do 2 do 100 godina (krivulje) i odgovarajući donji i gornji 95 %-tni intervali pouzdanosti (trokutići) za različita trajanja izračunate poću opće razdiobe ekstremnih vrijednosti. **Poreč**, razdoblje 1984. – 2020.



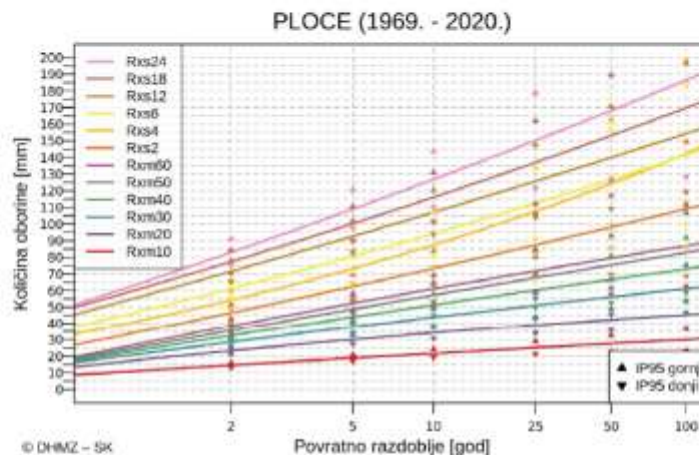
Slika 4.3.2. Procjene maksimalnih godišnjih količina oborina (Rx) za povratna razdoblja do 2 do 100 godina (krivulje) i odgovarajući donji i gornji 95 %-tni intervali pouzdanosti (trokutići) za različita trajanja izračunate poću opće razdiobe ekstremnih vrijednosti. **Gospić**, razdoblje 1962. – 2020.



Slika 4.3.3. Procjene maksimalnih godišnjih količina oborina (Rx) za povratna razdoblja do 2 do 100 godina (krivulje) i odgovarajući donji i gornji 95 %-tni intervali pouzdanosti (trokutići) za različita trajanja izračunate poću opće razdiobe ekstremnih vrijednosti. **Zadar**, razdoblje 1961. – 2020.



Slika 4.3.4. Procjene maksimalnih godišnjih količina oborina (Rx) za povratna razdoblja do 2 do 100 godina (krivulje) i odgovarajući donji i gornji 95 %-tni intervali pouzdanosti (trokutići) za različita trajanja izračunate poću opće razdiobe ekstremnih vrijednosti. **Split-Marjan**, razdoblje 1961. – 2020.



Slika 4.3.5. Procjene maksimalnih godišnjih količina oborina (Rx) za povratna razdoblja do 2 do 100 godina (krivulje) i odgovarajući donji i gornji 95 %-tni intervali pouzdanosti (trokutići) za različita trajanja izračunate počeu opće razdiobe ekstremnih vrijednosti. **Ploče**, razdoblje 1969. – 2020.

4.4 HTP i ITP krivulje

4.4.1 HTP krivulje kratkotrajnih oborina

Na temelju provedenih analiza u točkama 4.1.-4.3., a koristeći metodologiju sadržanu u točki 3.4, definirane su i HTP krivulje za analizirane odabrane ombrografske postaje priobalnog područja Hrvatske. Izjednačenje odabranih funkcija HTP krivulja na proračunate vrijednosti maksimalnih visina oborina određenog trajanja i povratnog perioda, s obzirom da nije bilo moguće sa zadovoljavajućom točnošću biti provedeno unutar cjelokupnog raspona trajanja 10 minuta - 24 sata, provedeno je vodeći računa o značajkama pojave intenzivnih oborina za dva karakteristična trajanja – do i nakon reda veličine 1-3 sata, odnosno vremenske intervale kraćih i duljih trajanja oborina, s određivanjem njihovog presjecišnog vremena t_p .

Analitički prikazi rezultirajućih HTP krivulja za odabrana pilot područja dani su u tablici 4.4.1 karakteristične vrijednosti odabranih trajanja i povratnih perioda u tablicama 4.4.2 – 4.4.6, a njihov grafički prikaz na slikama 4.4.1 do 4.4.5. Za napomenuti je da su u spomenutim tabličnim i grafičkim

prikazima karakterističnih vrijednosti sadržani i prikazi najvećih do sada zabilježenih vrijednosti, odnosno njihova anvelopa.

Kod postaja Poreč, Gospić i Split anvelopa maksimalnih zabilježenih vrijednosti ima karakter 50-100-godišnjeg povratnog perioda, kod Ploča donekle slično ali s naglašenijim premašivanjem 100-godišnjeg povratnog perioda za trajanja 240-360 minuta, odnosno 4-6 sati, dok su kod postaje Zadar zabilježeni ekstremi vrlo značajno premašuju 100-godišnji povratni period za sva trajanja dulja od 120 minuta/2 sata.

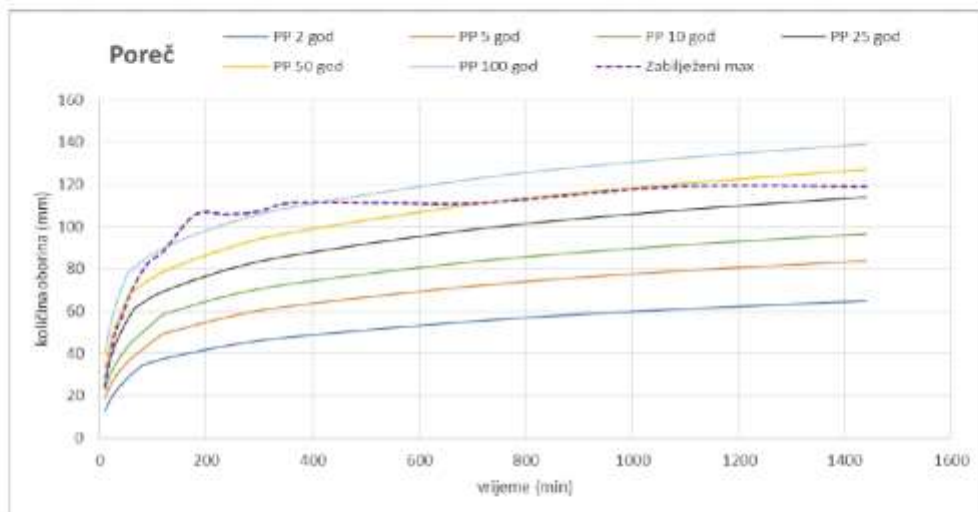
Tablica 4.4.1. Analitički prikaz HTP – krivulja za odabrane postaje na priobalnom području Hrvatske

Povratni period	HTP krivulja	tp	HTP krivulja
	(10 min < t < tp)	(sati)	(tp < t < 24 sata)
POREČ			
2-god	4,5962 · t ^{0,46}	1,32	13,149 · t ^{0,2195}
5-god	7,8457 · t ^{0,3854}	1,97	17,905 · t ^{0,2125}
10-god	9,8459 · t ^{0,3733}	1,96	22,381 · t ^{0,2011}
25-god	10,811 · t ^{0,4156}	1,10	26,705 · t ^{0,1997}
50-god	13,175 · t ^{0,4077}	0,94	31,348 · t ^{0,1925}
100-god	15,976 · t ^{0,4006}	0,87	38,949 · t ^{0,1752}
GOSPIĆ			
2-god	5,0253 · t ^{0,4023}	1,57	7,517 · t ^{0,3137}
5-god	6,8338 · t ^{0,3985}	1,30	9,8741 · t ^{0,314}
10-god	6,7452 · t ^{0,4495}	0,84	11,292 · t ^{0,3179}
25-god	7,5661 · t ^{0,4652}	1,33	16,285 · t ^{0,29}
50-god	8,0563 · t ^{0,4788}	0,90	15,126 · t ^{0,3207}
100-god	8,4558 · t ^{0,4935}	1,00	17,359 · t ^{0,3177}
ZADAR			
2-god	6,5368 · t ^{0,408}	1,95	20,072 · t ^{0,1723}
5-god	8,1642 · t ^{0,4388}	2,22	32,255 · t ^{0,1579}

10-god	7,657 · t ^{0,5123}	1,45	30,521 · t ^{0,2027}
25-god	8,8261 · t ^{0,5308}	1,45	33,432 · t ^{0,2328}
50-god	11,124 · t ^{0,4999}	1,22	25,452 · t ^{0,307}
100-god	14,042 · t ^{0,4654}	2,12	28,1 · t ^{0,3223}
SPLIT			
2-god	4,082 · t ^{0,4616}	1,04	10,465 · t ^{0,2336}
5-god	5,3515 · t ^{0,4681}	1,31	16,096 · t ^{0,2158}
10-god	6,0493 · t ^{0,4761}	1,73	21,705 · t ^{0,2009}
25-god	7,4805 · t ^{0,4591}	2,96	31,033 · t ^{0,1844}
50-god	8,963 · t ^{0,4377}	4,78	40,018 · t ^{0,1733}
PLOČE			
2-god	5,5415 · t ^{0,4692}	1,28	15,494 · t ^{0,2322}
5-god	6,8084 · t ^{0,4903}	1,29	22,128 · t ^{0,2191}
10-god	7,5291 · t ^{0,5031}	1,34	27,142 · t ^{0,211}
25-god	8,3176 · t ^{0,5185}	1,28	30,548 · t ^{0,2188}
50-god	8,8233 · t ^{0,5295}	1,31	34,436 · t ^{0,2177}
100-god	9,2649 · t ^{0,5402}	1,25	35,424 · t ^{0,2294}

Tablica 4.4.2. Tablični prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Poreč

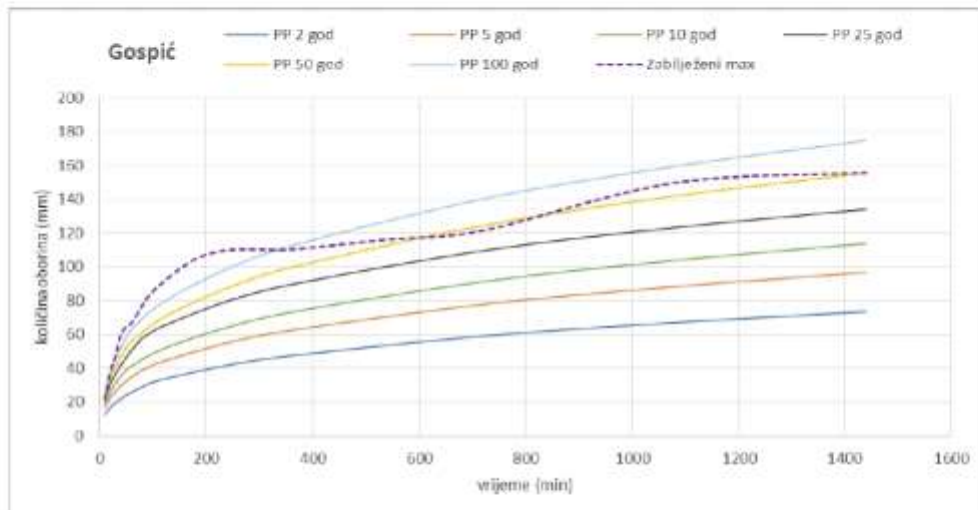
Trajanje (min)	50%	20%	10%	4%	2%	1%	Zabilježeni max
	PP 2 god	PP 5 god	PP 10 god	PP 25 god	PP 50 god	PP 100 god	
10	13,3	19,1	23,3	28,1	33,7	40,2	24,2
20	18,2	24,9	30,1	37,5	44,7	53,0	38,8
30	22,0	29,1	35,0	44,4	52,7	62,4	50,4
40	25,1	32,5	39,0	50,1	59,3	70,0	56,2
50	27,8	35,4	42,4	54,9	64,9	76,6	63,3
60	30,2	38,0	45,4	59,3	68,9	79,8	70,0
120	37,6	49,5	58,6	69,5	78,8	90,1	88,6
240	43,8	57,4	67,4	79,8	90,0	101,7	105,9
360	47,9	62,5	73,1	86,5	97,3	109,2	111,4
720	55,7	72,5	84,0	99,4	111,2	123,3	111,4
1080	60,9	79,0	91,2	107,7	120,3	132,4	119,1
1440	64,9	84,0	96,6	114,1	127,1	139,3	119,1



Slika 4.4.1. Grafički prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Poreč

Tablica 4.4.3. Tablični prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Gospić

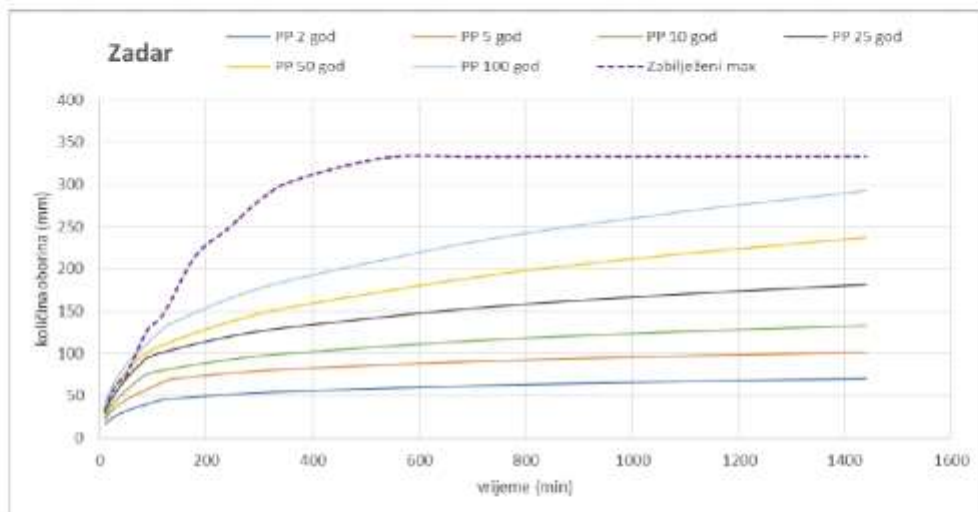
Trajanje (min)	50%	20%	10%	4%	2%	1%	Zabilježeni max
	PP 2 god	PP 5 god	PP 10 god	PP 25 god	PP 50 god	PP 100 god	
10	12,7	17,1	19,0	22,1	24,3	26,3	21,9
20	16,8	22,5	25,9	30,5	33,8	37,1	37,8
30	19,7	26,5	31,1	36,8	41,1	45,3	47,6
40	22,2	29,7	35,4	42,1	47,1	52,2	59,9
50	24,2	32,5	39,1	46,7	52,4	58,3	64,7
60	26,1	34,9	41,5	50,8	56,2	63,7	67,1
120	33,8	44,4	51,7	65,3	70,2	79,4	91,3
240	41,9	55,2	64,5	79,8	87,7	99,0	110,1
360	47,6	62,7	73,4	89,8	99,9	112,6	110,5
720	59,2	77,9	91,4	109,8	124,8	140,4	121,8
1080	67,2	88,5	104,0	123,4	142,1	159,7	150,0
1440	73,6	96,9	114,0	134,2	155,8	175,0	155,7



Slika 4.4.2. Grafički prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Gospić

Tablica 4.4.4. Tablični prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Zadar

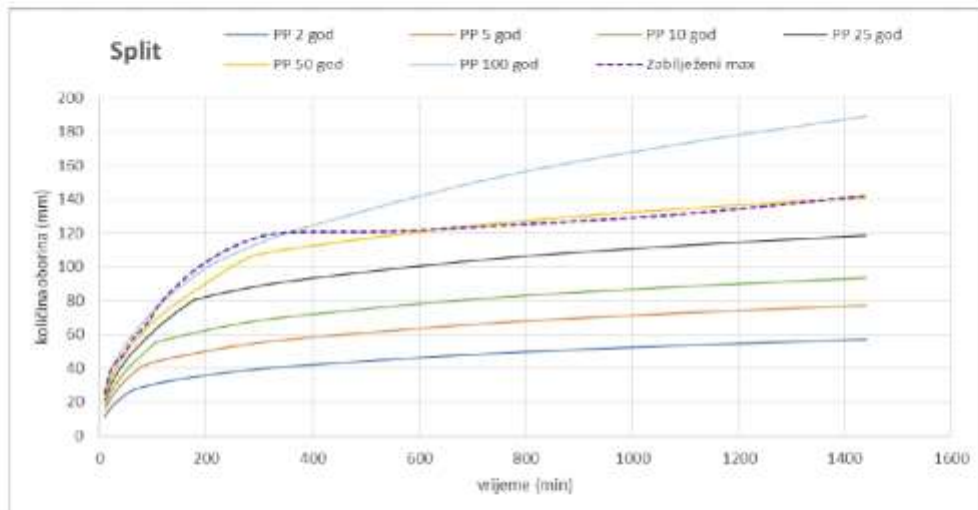
Trajanje (min)	50%	20%	10%	4%	2%	1%	Zabilježeni max
	PP 2 god	PP 5 god	PP 10 god	PP 25 god	PP 50 god	PP 100 god	
10	16,7	22,4	24,9	30,0	35,2	41,0	33,2
20	22,2	30,4	35,5	43,3	49,7	56,6	49,3
30	26,2	36,3	43,7	53,7	60,9	68,4	61,8
40	29,4	41,2	50,7	62,5	70,3	78,2	68,3
50	32,3	45,4	56,8	70,4	78,6	86,7	73,3
60	34,7	49,2	62,4	77,6	86,1	94,4	88,3
120	45,8	66,7	80,5	101,9	110,7	130,3	147,3
240	51,6	76,6	92,7	119,8	136,9	164,4	247,3
360	55,3	81,7	100,6	131,6	155,1	187,3	303,9
720	62,4	91,2	115,8	154,6	191,8	234,2	333,1
1080	66,9	97,2	125,7	170,0	217,3	266,9	333,4
1440	70,3	101,7	133,3	181,7	237,3	292,9	333,4



Slika 4.4.3. Grafički prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Zadar

Tablica 4.4.5. Tablični prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Split

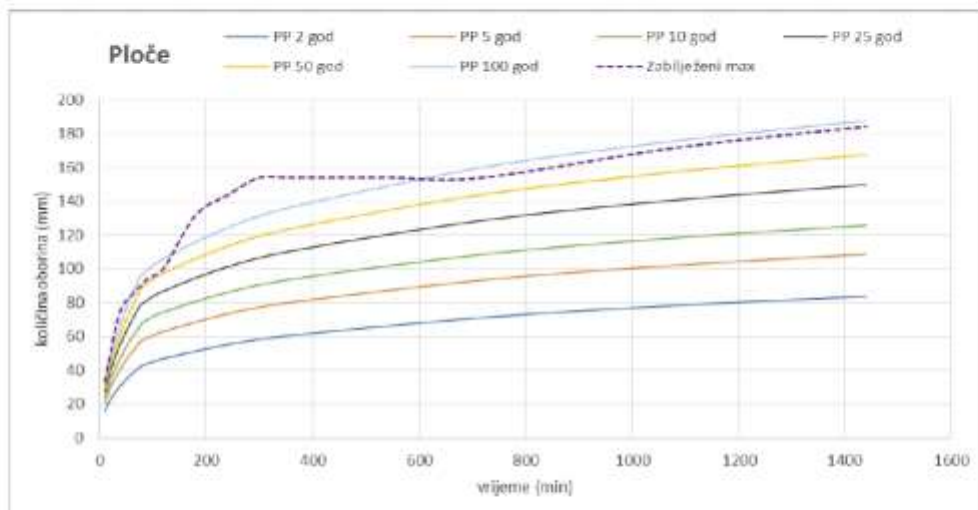
Trajanje (min)	50%	20%	10%	4%	2%	1%	Zabilježeni max
	PP 2 god	PP 5 god	PP 10 god	PP 25 god	PP 50 god	PP 100 god	
10	11,8	15,7	18,1	21,5	24,6	27,4	25,5
20	16,3	21,8	25,2	29,6	33,3	37,0	38,2
30	19,6	26,3	30,5	35,7	39,7	44,1	43,4
40	22,4	30,1	35,0	40,7	45,0	49,9	46,5
50	24,8	33,4	39,0	45,1	49,7	54,9	50,6
60	27,0	36,4	42,5	49,0	53,8	59,4	56,6
120	32,0	45,2	56,8	67,4	72,9	80,1	81,0
240	37,6	52,5	65,3	85,3	98,7	106,1	110,4
360	41,4	57,3	70,8	91,9	111,0	121,0	120,6
720	48,7	66,6	81,4	104,4	125,2	151,3	124,1
1080	53,5	72,7	88,3	112,5	134,3	172,4	131,1
1440	57,2	77,3	93,6	118,6	141,1	189,2	142,2



Slika 4.4.4. Grafički prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Split

Tablica 4.4.6. Tablični prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Ploče

Trajanje (min)	50%	20%	10%	4%	2%	1%	Zabilježeni max
	PP 2 god	PP 5 god	PP 10 god	PP 25 god	PP 50 god	PP 100 god	
10	16,3	21,1	24,0	27,4	29,9	32,1	33,6
20	22,6	29,6	34,0	39,3	43,1	46,7	49,3
30	27,3	36,1	41,7	48,5	53,4	58,2	65,4
40	31,3	41,5	48,2	56,3	62,2	68,0	75,8
50	34,7	46,4	53,9	63,2	70,0	76,7	81,5
60	37,8	50,7	59,1	69,5	77,1	84,6	84,6
120	47,1	63,2	74,5	87,1	97,6	106,2	100,4
240	55,3	73,5	86,3	101,3	113,5	124,5	143,8
360	60,8	80,4	94,0	110,7	124,0	136,7	154,2
720	71,4	93,5	108,8	128,9	144,2	160,2	154,2
1080	78,4	102,2	118,5	140,8	157,5	175,9	171,8
1440	83,9	108,9	125,9	150,0	167,7	187,9	184,4



Slika 4.4.5. Grafički prikaz HTP krivulja trajanja do 24 sata za postaju Ploče

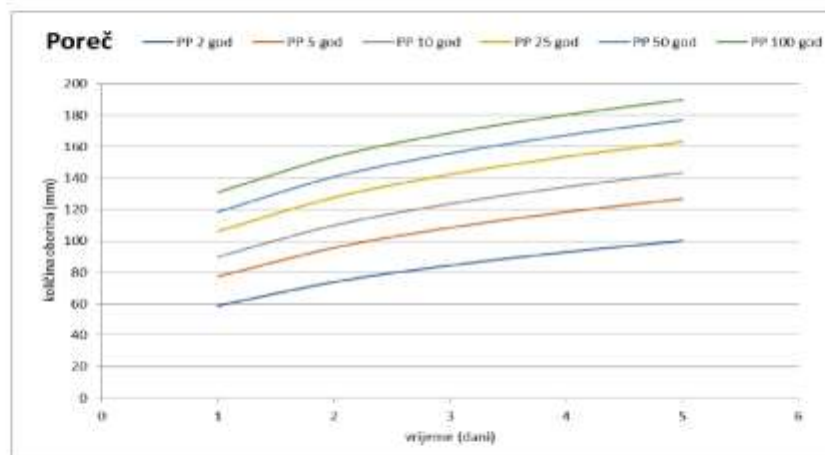
4.4.2 HTP krivulje višednevnih oborina

Analizirane su i HTP krivulje višednevnih oborina (trajanja 1-5 dana), temeljene na kišomjernim podacima dnevnih očitavanja maksimalnih godišnjih oborina istih trajanja. Na temelju proračunatih vjerojatnosti maksimalnih višednevnih oborina (poglavlje 4.3) provedeno je izjednačenje te su generirane jednadžbe HTP krivulja za trajanja 1-5 dana (tablica 4.4.7) te slike 4.4.6 – 4.4.10.

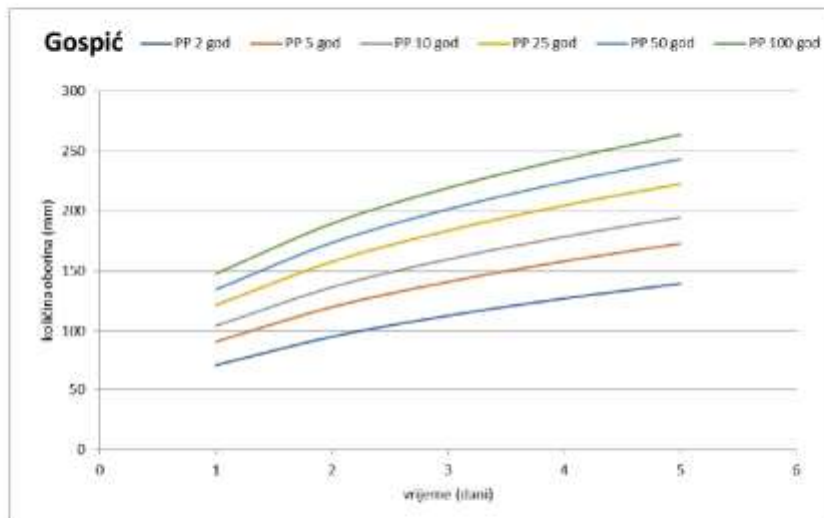
Tablica 4.4.7. HTP krivulje višednevnih oborina po povratnim periodima

Povratni period	HTP krivulja
POREČ	
2-god	5,2892 · t ^{0,331}
5-god	8,2632 · t ^{0,3075}
10-god	10,914 · t ^{0,29}
25-god	15,275 · t ^{0,2666}
50-god	19,425 · t ^{0,2487}
100-god	24,503 · t ^{0,2305}
GOSPIĆ	
2-god	3,4863 · t ^{0,4154}
5-god	5,034 · t ^{0,3982}
10-god	6,2118 · t ^{0,388}
25-god	7,8965 · t ^{0,376}
50-god	9,3028 · t ^{0,3675}
100-god	10,844 · t ^{0,3593}
ZADAR	
2-god	10,101 · t ^{0,2599}
5-god	18,561 · t ^{0,2277}
10-god	28,264 · t ^{0,2024}
25-god	48,819 · t ^{0,1671}
50-god	73,907 · t ^{0,1389}

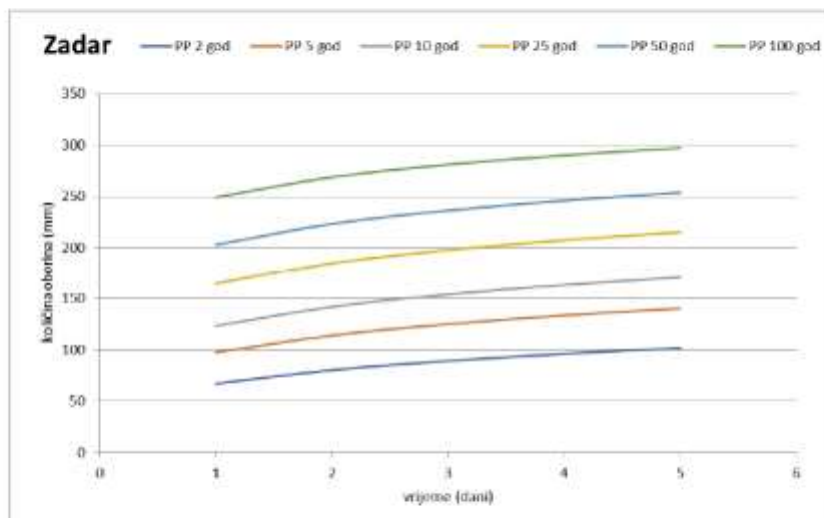
100-god	112,31 t ^{0,1096}
SPLIT	
2-god	48,216 t ^{0,1527}
5-god	36,452 t ^{0,1727}
10-god	27,294 t ^{0,1931}
25-god	18,179 t ^{0,2212}
50-god	12,942 t ^{0,2442}
100-god	7,3959 t ^{0,2813}
PLOČE	
2-god	7,0784 t ^{0,3341}
5-god	12,663 t ^{0,291}
10-god	17,243 t ^{0,2678}
25-god	24,121 t ^{0,247}
50-god	30,075 t ^{0,2246}
100-god	36,762 t ^{0,2084}



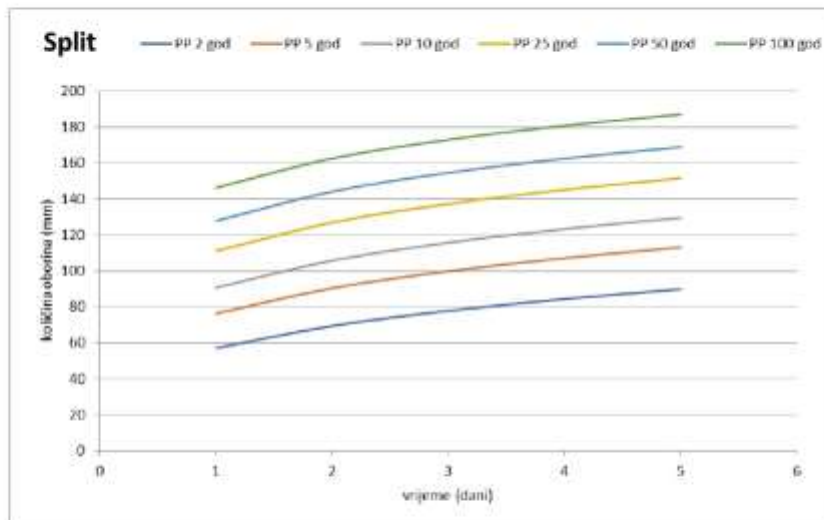
Slika 4.4.6. HTP krivulje višednevnih oborina za postaju Poreč



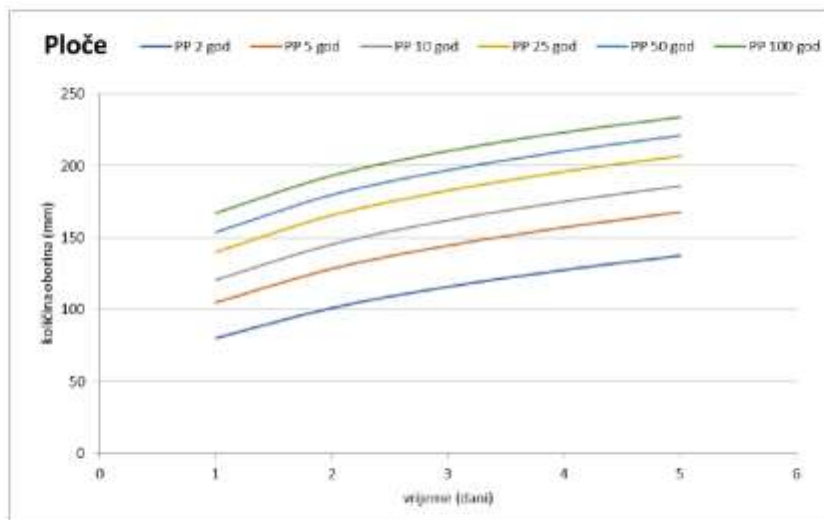
Slika 4.4.7. HTP krivulje višednevnih oborina za postaju Gospić



Slika 4.4.8. HTP krivulje višednevnih oborina za postaju Zadar



Slika 4.4.9. HTP krivulje višednevnih oborina za postaju Split



Slika 4.4.10. HTP krivulje višednevnih oborina za postaju Ploče

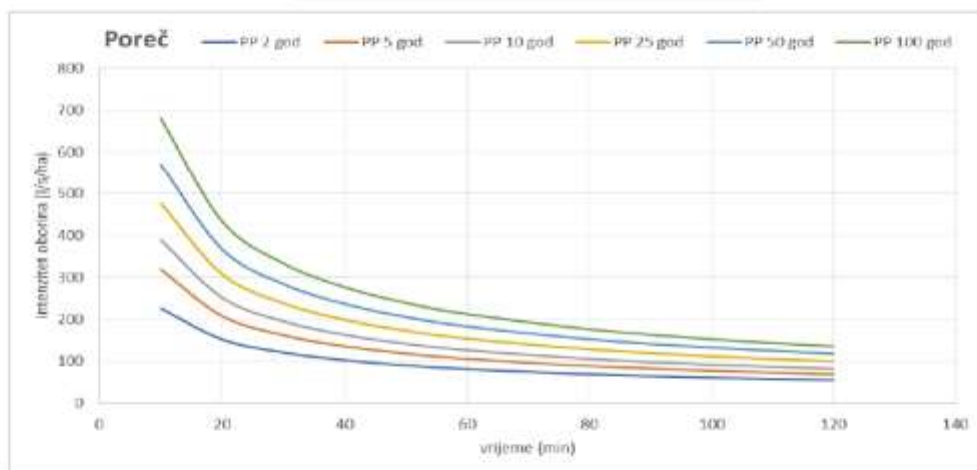
4.4.3 ITP krivulje kratkotrajnih oborina

ITP krivulje definirane su iz rezultirajućih vrijednosti HTP krivulja trajanja 10 minuta do 2 sata, koristeći jedinstvenu krivulju. Njihov su oblik i jednadžbe prikazani u tablici 4.4.8, kao i na slikama 4.4.11 – 4.4.15.

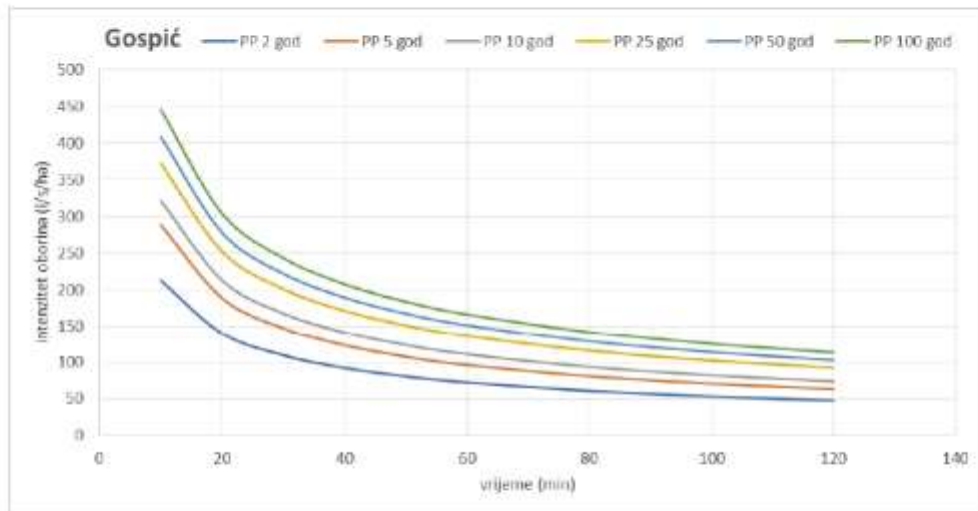
Tablica 4.4.8. ITP krivulje po povratnim periodima

Povratni period	ITP krivulja
POREČ	
2-god	$837,63 \cdot t^{-0,57}$
5-god	$1309,8 \cdot t^{-0,615}$
10-god	$1644,3 \cdot t^{-0,627}$
25-god	$2027,4 \cdot t^{-0,63}$
50-god	$2449 \cdot t^{-0,634}$
100-god	$3035,1 \cdot t^{-0,65}$
GOSPIĆ	
2-god	$851,06 \cdot t^{-0,603}$
5-god	$1178,1 \cdot t^{-0,612}$
10-god	$1257 \cdot t^{-0,593}$
25-god	$1353,1 \cdot t^{-0,561}$
50-god	$1464,7 \cdot t^{-0,555}$
100-god	$1582,9 \cdot t^{-0,551}$
ZADAR	
2-god	$1093,9 \cdot t^{-0,593}$
5-god	$1360,7 \cdot t^{-0,561}$
10-god	$1391,7 \cdot t^{-0,52}$
25-god	$1613 \cdot t^{-0,502}$
50-god	$1955,2 \cdot t^{-0,52}$

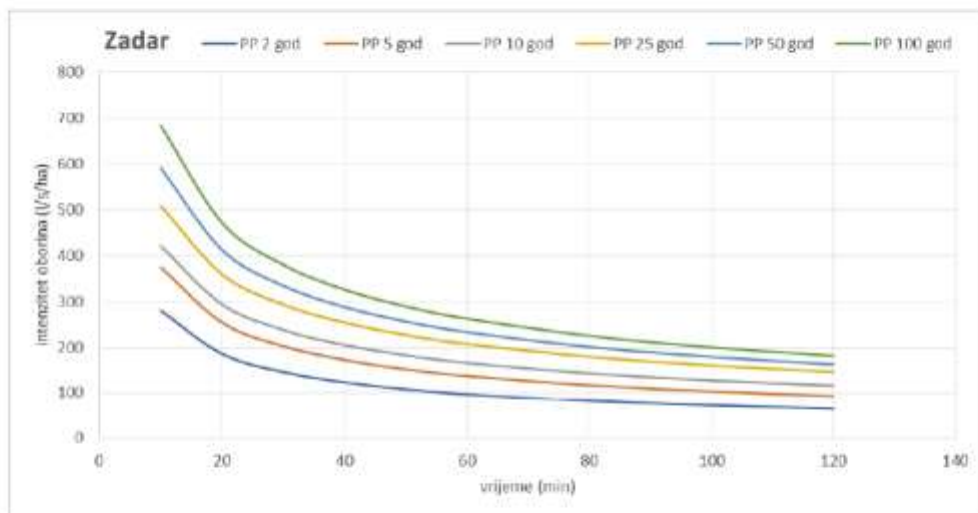
100-god	2340,3 · t ^{-0,535}
SPLIT	
2-god	777,17 · t ^{-0,59}
5-god	977,76 · t ^{-0,567}
10-god	1033,6 · t ^{-0,532}
25-god	1246,7 · t ^{0,541}
50-god	1493,8 · t ^{-0,562}
100-god	1696,2 · t ^{0,569}
PLOČE	
2-god	1016,6 · t ^{-0,567}
5-god	1265,7 · t ^{-0,552}
10-god	1390,8 · t ^{-0,535}
25-god	1558,7 · t ^{-0,527}
50-god	1651,7 · t ^{-0,516}
100-god	1768,1 · t ^{-0,512}



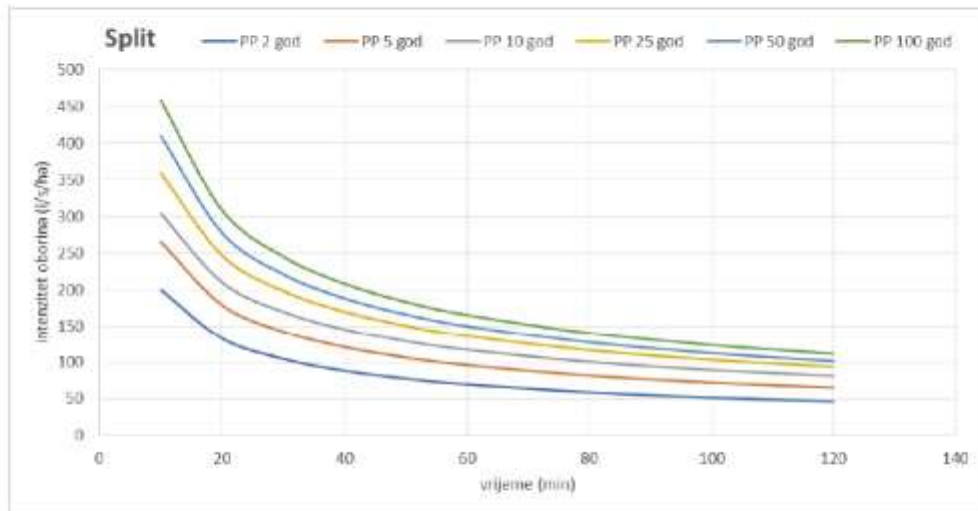
Slika 4.4.11. ITP krivulje za postaju Poreč



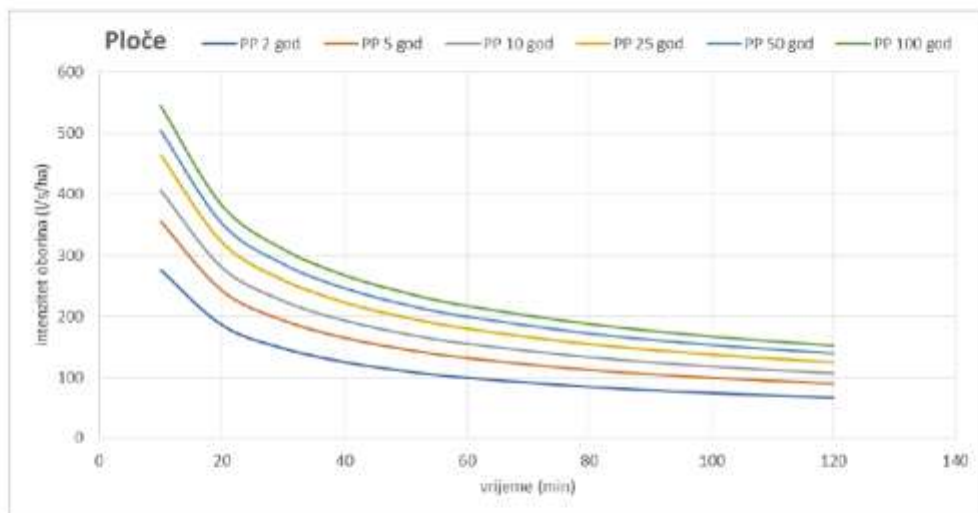
Slika 4.4.12. ITP krivulje za postaju Gospić



Slika 4.4.13. ITP krivulje za postaju Zadar



Slika 4.4.14. ITP krivulje za postaju Split

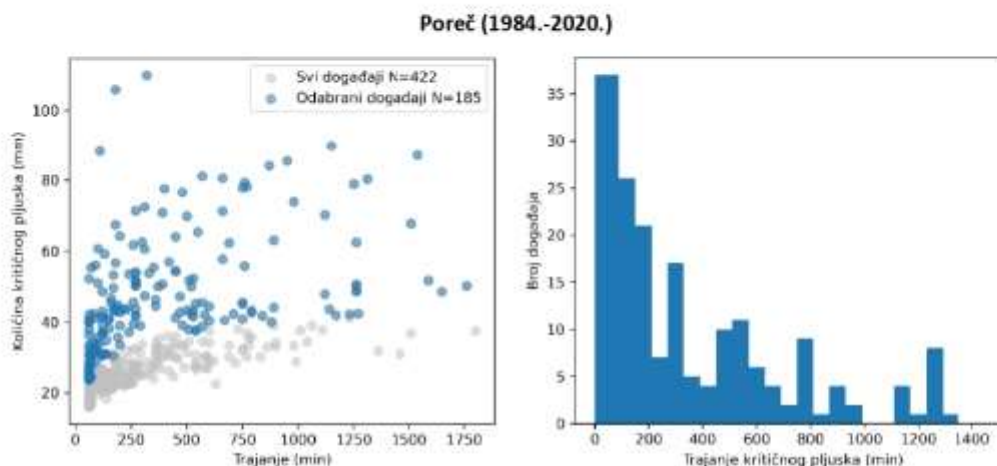


Slika 4.4.15. ITP krivulje za postaju Ploče

4.5 Oblici projektnog pljuska

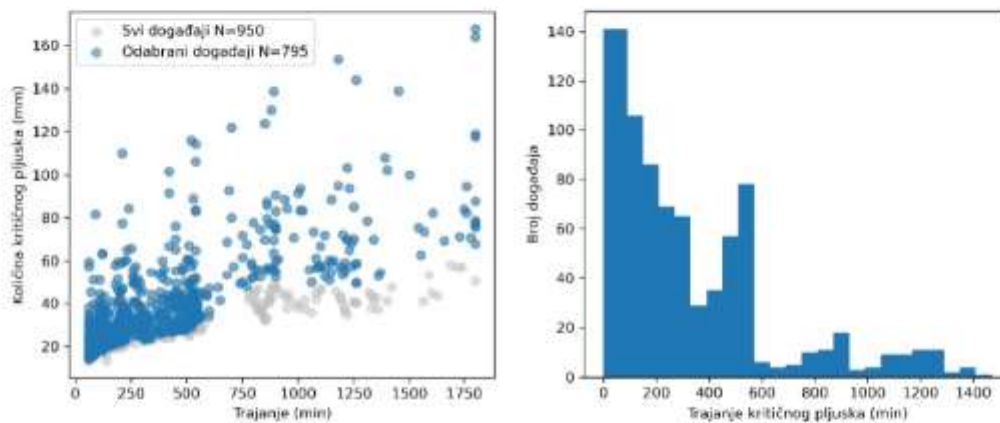
Na temelju prethodno definiranih HTP krivulja te koristeći metodologiju obrazloženu u poglavlju 3.5, provedena je procjena oblika projektnog pljuska za različita trajanja i vjerojatnost pojavljivanja za odabrane ombrografske postaje. U prvom koraku predmetne analize definirani su bezdimenzionalni oblici projektnog pljuska iz statističke obrade povijesnih zabilježenih pljuskova, a potom su bezdimenzionalnim oblicima pljuska pridodane vrijednosti iz HTP krivulja kako bi se definirano konačni vremenski zapis projektnog pljuska za svaki povratni period, odnosno vjerojatnost pojavljivanja.

Na slikama 4.5.1 – 4.5.5 prikazani su svi identificirani kišni događaji te odabrani kritični pljuskovi na ombrografskim postajama Poreč, Gospić, Zadar, Split-Marjan i Ploče, s podacima o trajanju i količini pljuska te uz prikaz histograma trajanja pljuska. Na svim postaja najveći broj evidentiranih pljuskova kratkog je trajanja (do 3h), a pojedinačni događaju rijetko premašuju trajanje 24h.



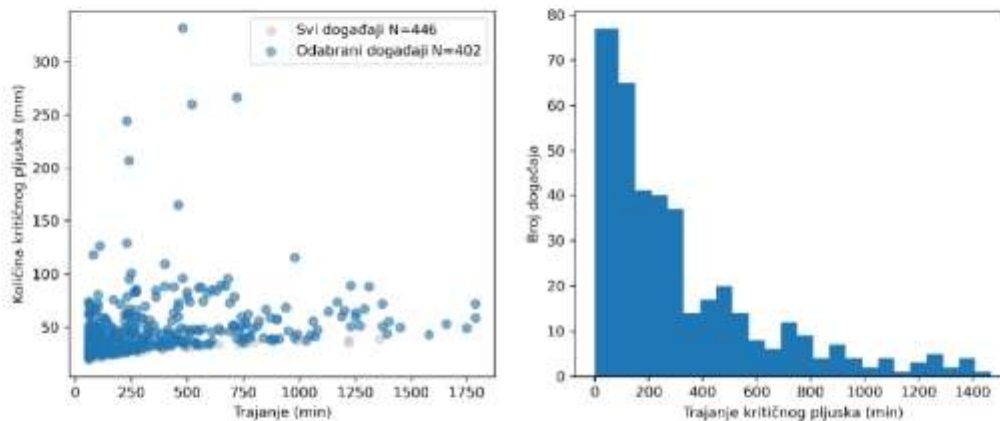
Slika 4.5.1. Identificirani kišni događaji i odabrani kritični pljuskovi te histogram trajanja odabranih pljuskova na ombrografskoj postaji Poreč.

Gospić (1961.-2020.)



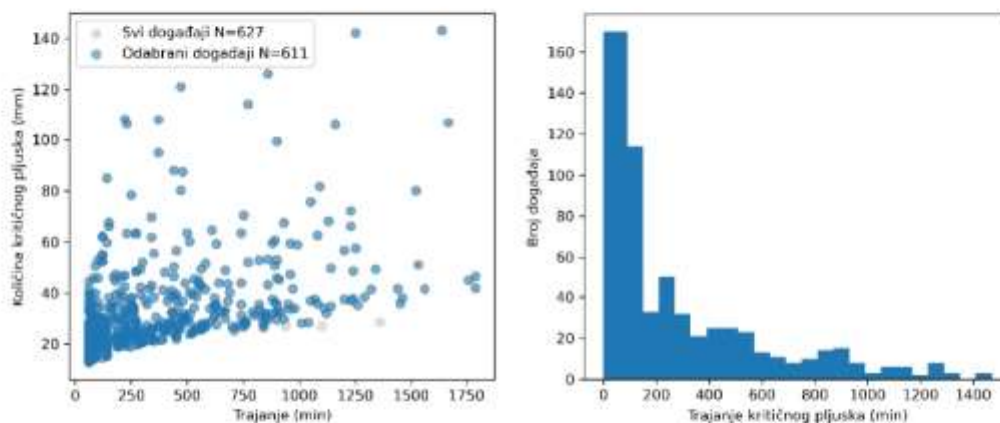
Slika 4.5.2. Identificirani kišni događaji i odabrani kritični pljuskovi te histogram trajanja odabranih pljuskova na ombrografskoj postaji Gospić.

Zadar (1961.-2020.)



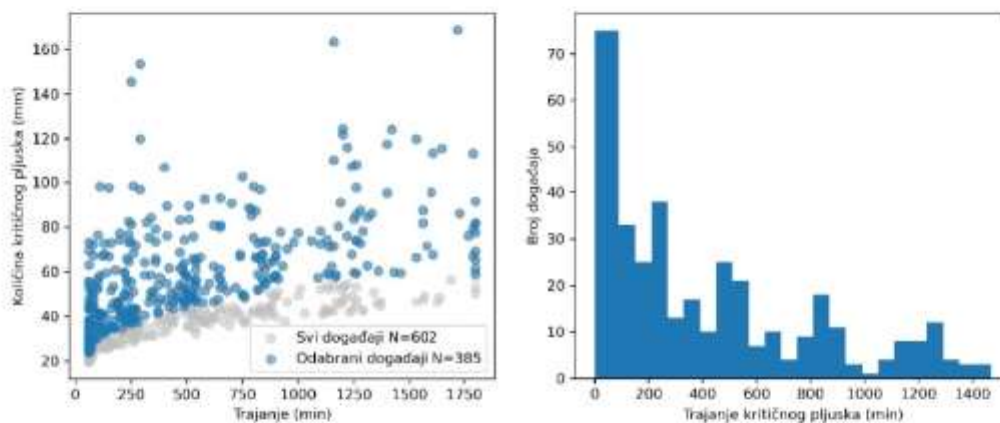
Slika 4.5.3. Identificirani kišni događaji i odabrani kritični pljuskovi te histogram trajanja odabranih pljuskova na ombrografskoj postaji Zadar.

Split-Marjan (1961.-2020.)



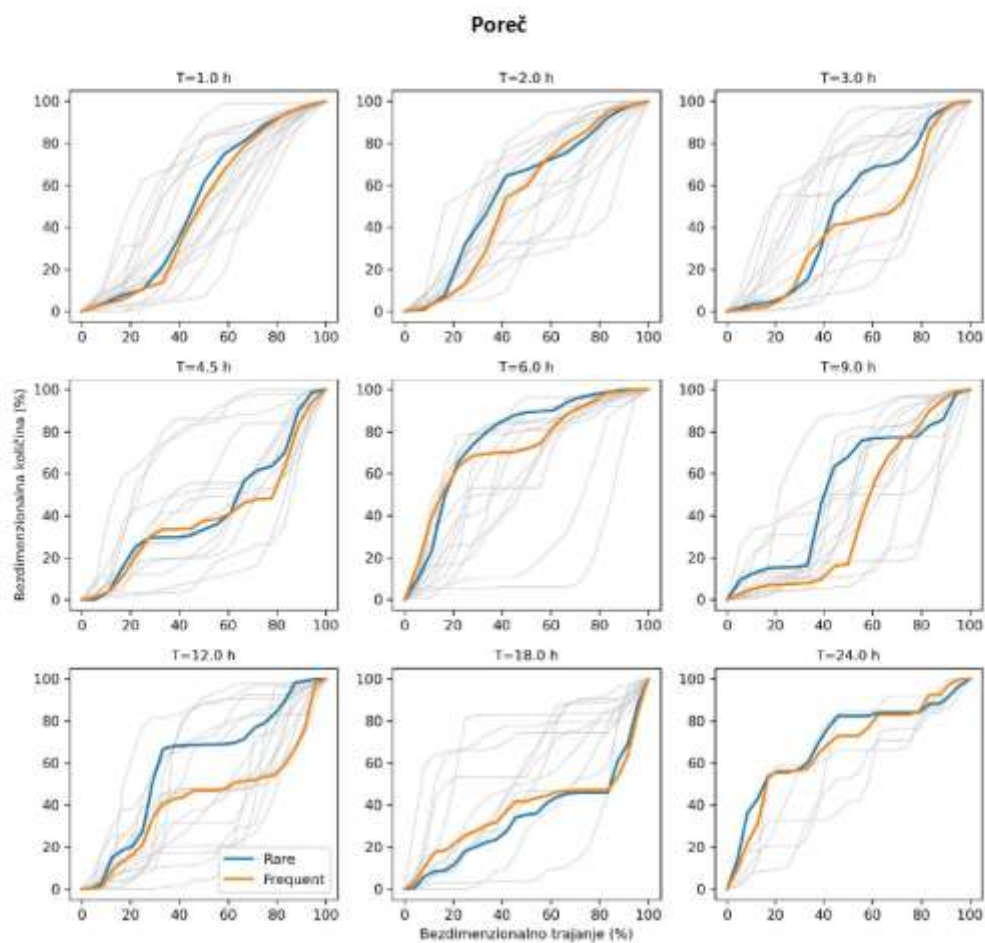
Slika 4.5.4. Identificirani kišni događaji i odabrani kritični pljuskovi te histogram trajanja odabranih pljuskova na ombrografskoj postaji Split-Marjan.

Ploče (1968.-2020.)

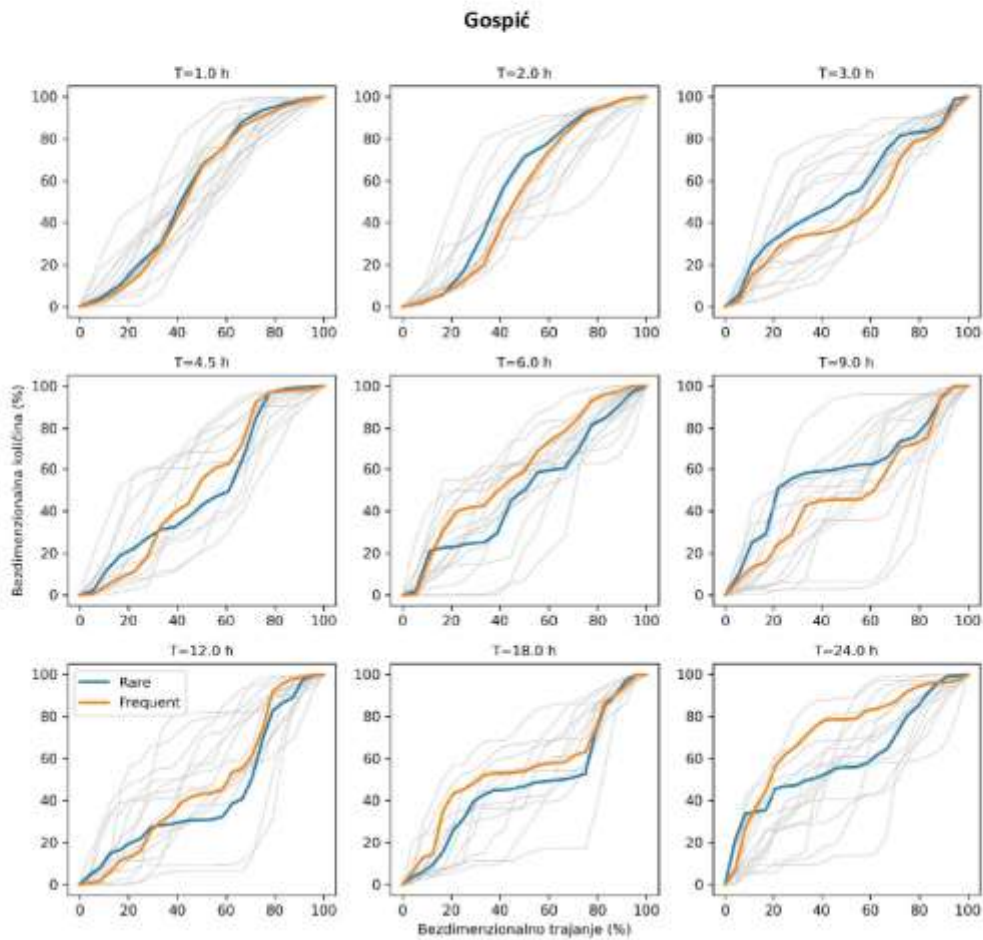


Slika 4.5.5. Identificirani kišni događaji i odabrani kritični pljuskovi te histogram trajanja odabranih pljuskova na ombrografskoj postaji Ploče.

Nakon odabira kritičnih pljuskova, provedena je analiza oblika projektnog pljuskova za sve odabrane ombrografske postaje metodom prosječne varijabilnosti. Na slikama 4.5.6 – 4.5.10 prikazani su bezdimenzionalni oblici projektnog pljuskova za rijetke (eng. *rare*) i česte (eng. *frequent*) događaje te za trajanja 1, 2, 3, 4.5, 6, 9, 12, 18 i 24 sata.

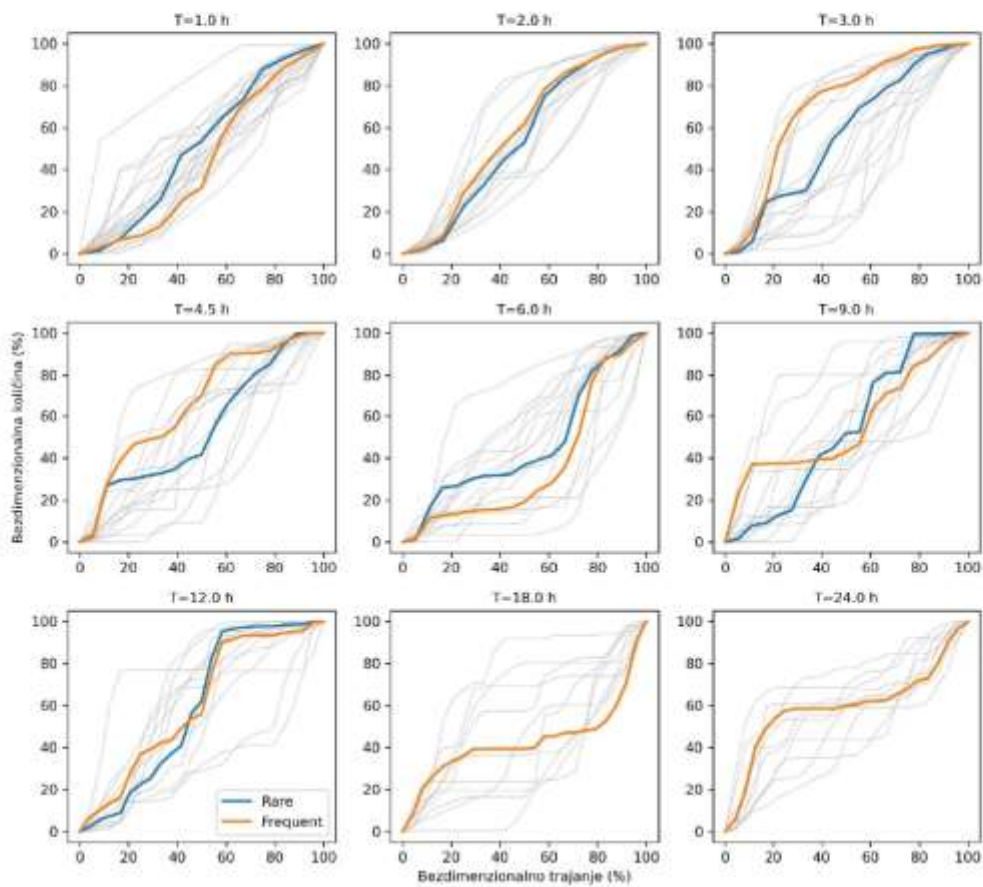


Slika 4.5.6. Bezdimezionalni oblik projektnog pljuskova za česte (eng. *frequent*) i rijetke (eng. *rare*) događaje te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Poreč.



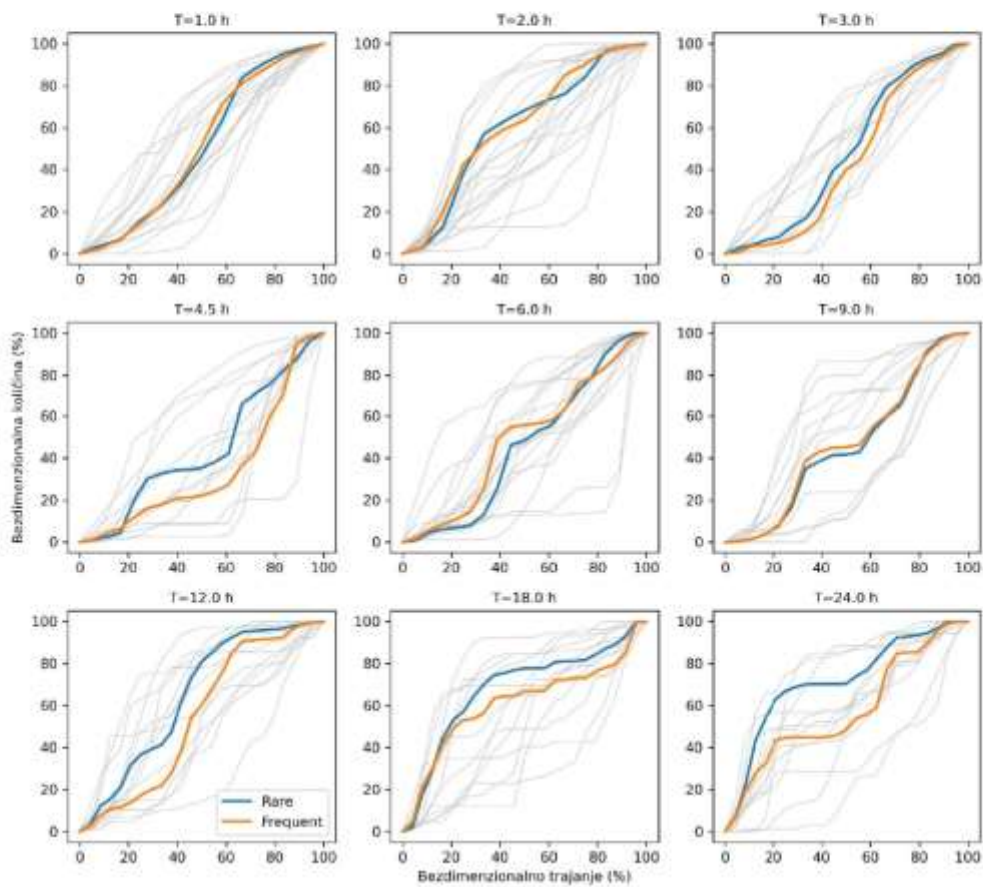
Slika 4.5.7. Bezdimeziionalni oblik projektnog pljuska za česte (eng. *frequent*) i rijetke (eng. *rare*) događaje te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Gospić.

Zadar

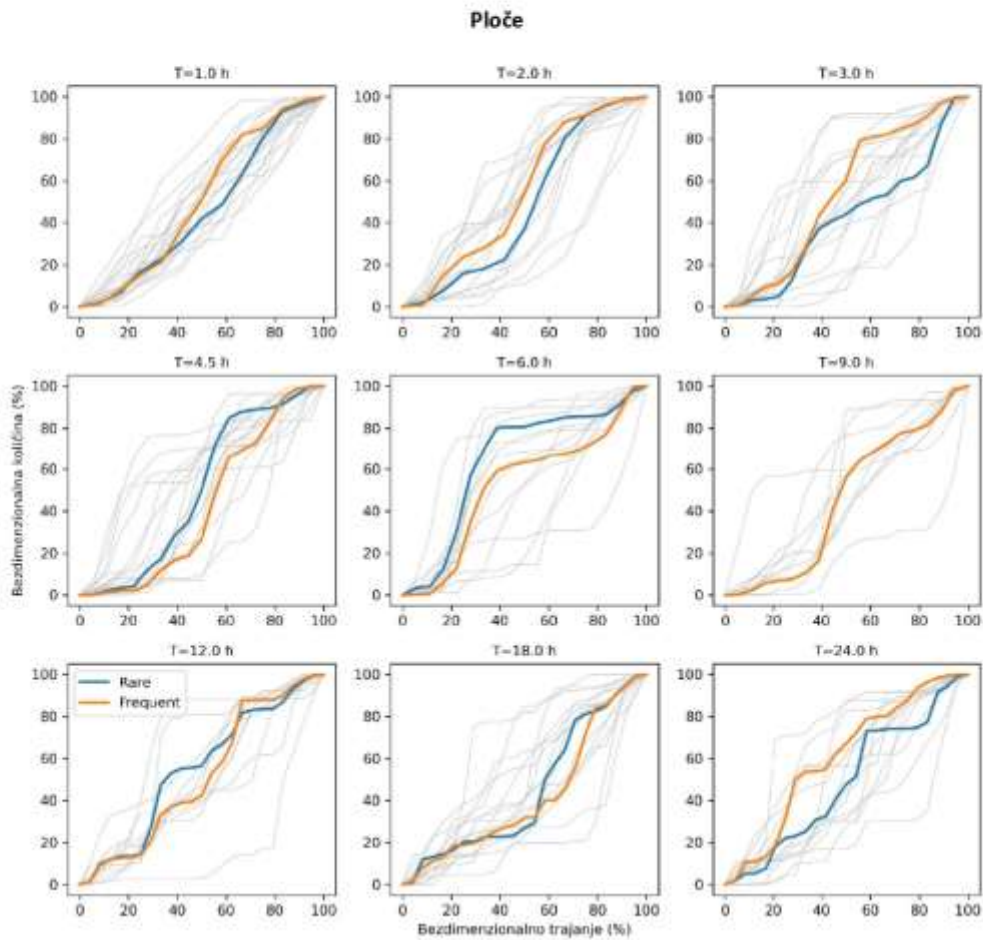


Slika 4.5.8. Bezdimezijsni oblik projektnog pljuskaja za česte (eng. *frequent*) i rijetke (eng. *rare*) događaje te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Zadar.

Split-Marjan

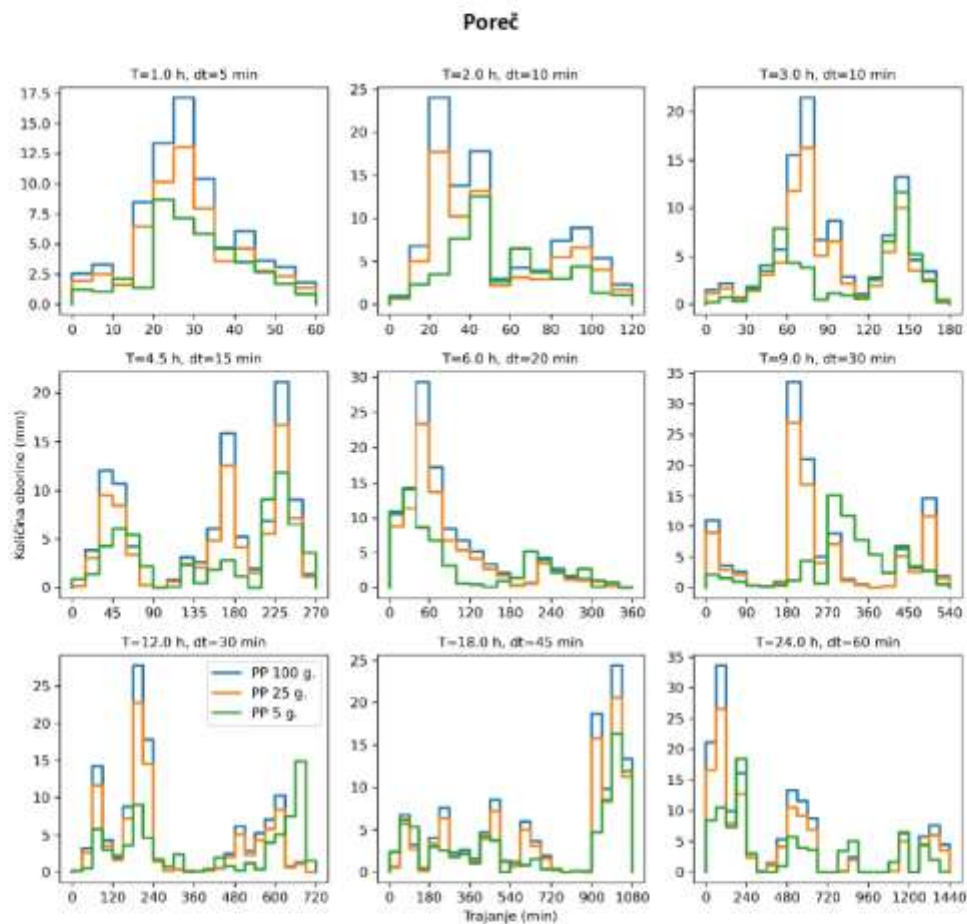


Slika 4.5.9. Bezdimezionalni oblik projektnog pljuskaja za česte (eng. *frequent*) i rijetke (eng. *rare*) događaje te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Split-Marjan.

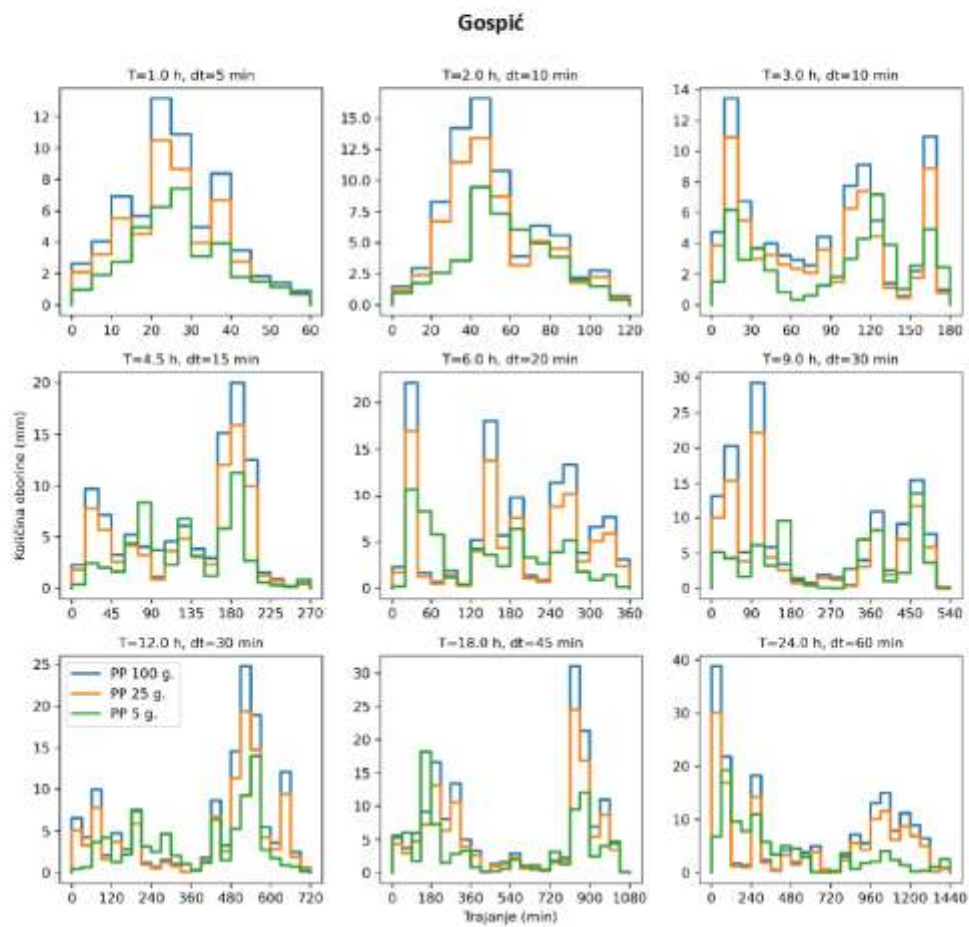


Slika 4.5.10. Bezdimezionalni oblik projektnog pljuskaja za česte (eng. *frequent*) i rijetke (eng. *rare*) događaje te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Ploče.

Konačan oblik projektnog pljuska određen je pridruživanjem vrijednosti HTP krivulja te je prikazan kao pluviogram određenog trajanja. Na slikama 4.5.11 – 4.5.15 prikazani su projektni pljusкови za povratne periode 5, 25 i 100 godina te za trajanja 1, 2, 3, 4.5, 6, 9, 12, 18 i 24 sata. Tablični zapis svih vrijednosti dan je u Prilogu A ovog dokumenta te se kao takav može direktno primijeniti za proračun poplava oborinskih voda na odabranim pilot područjima.

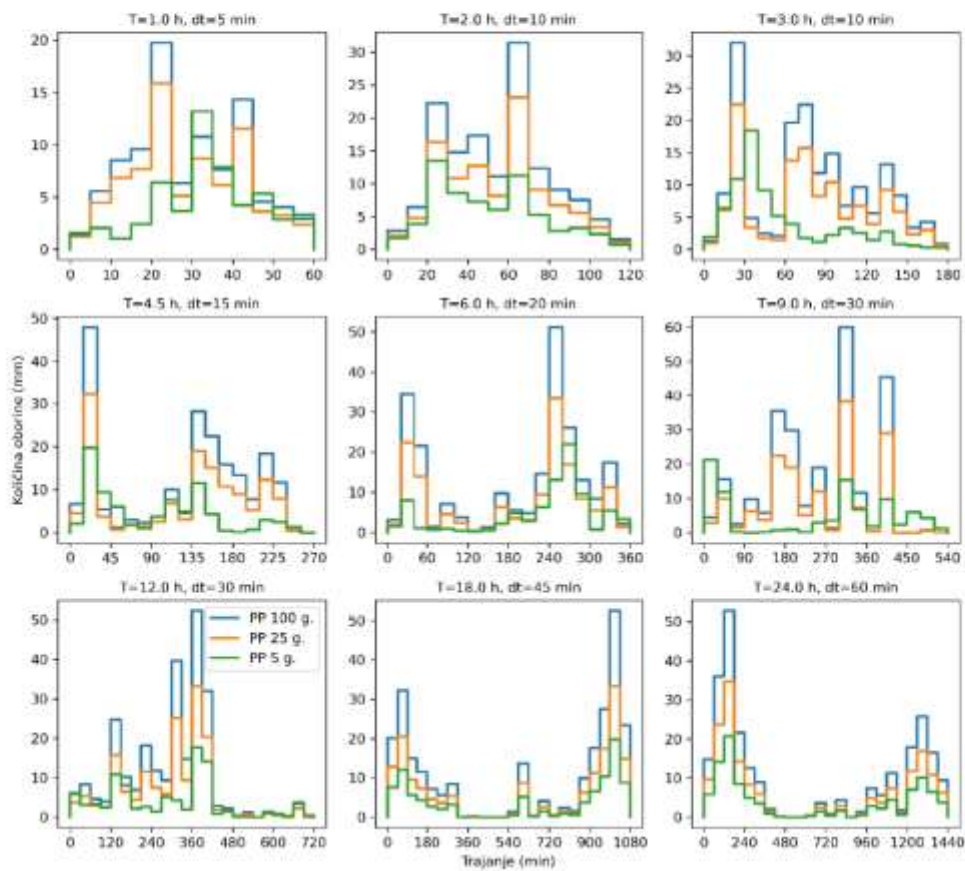


Slika 4.5.11. Projektni pljusak za povratne periode 5, 25, i 100 godina (VGP 20, 4, i 1 %) te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Poreč.



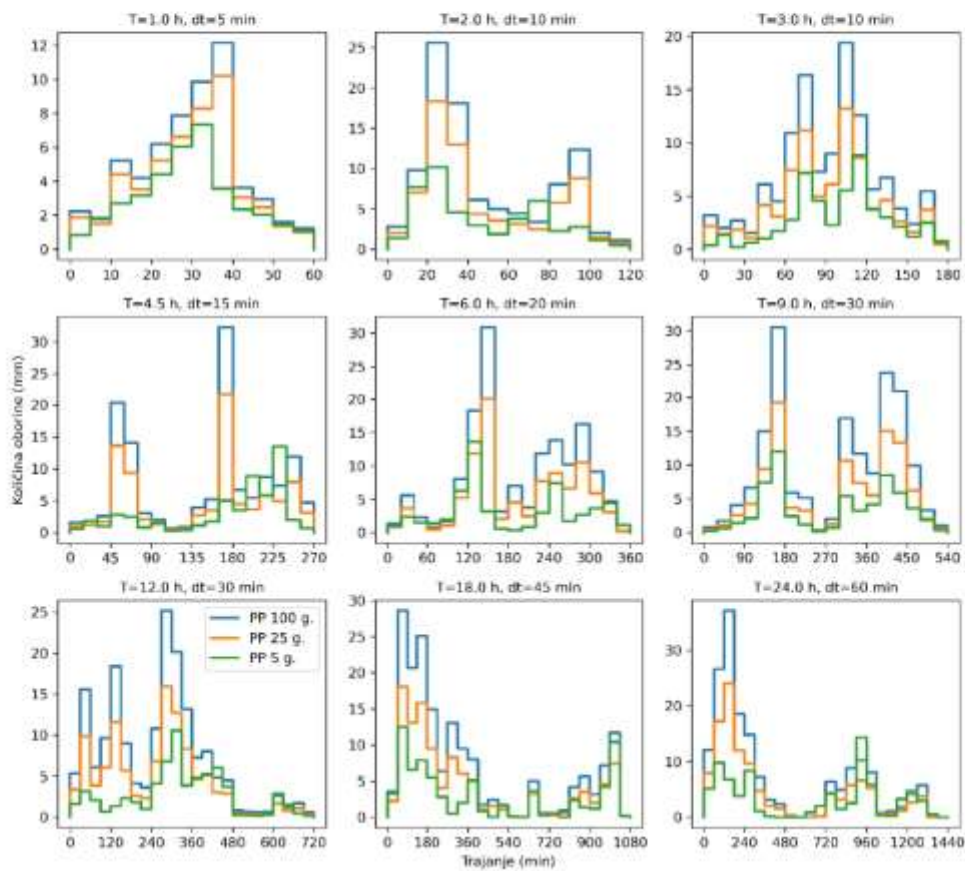
Slika 4.5.12. Projektni pljusak za povratne periode 5, 25, i 100 godina (VGP 20, 4, i 1 %) te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Gospić.

Zadar



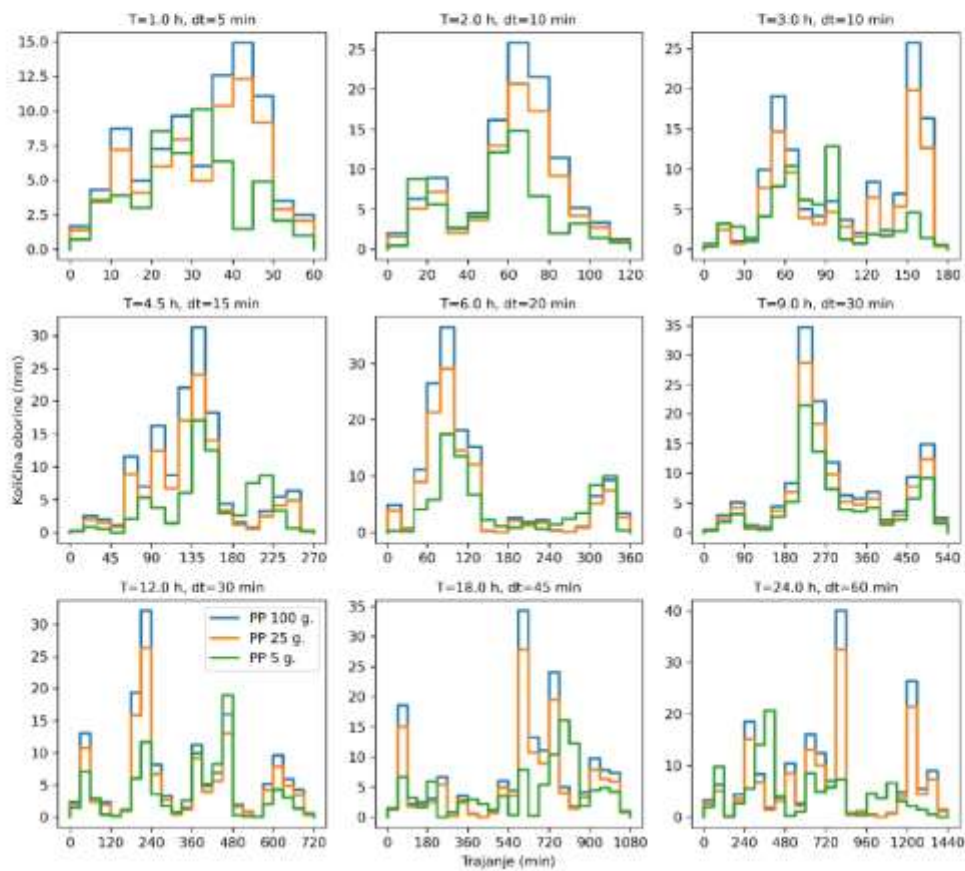
Slika 4.5.13. Projektni pljusak za povratne periode 5, 25, i 100 godina (VGP 20, 4, i 1 %) te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Zadar.

Split-Marjan



Slika 4.5.14. Projektni pljusak za povratne periode 5, 25, i 100 godina (VGP 20, 4, i 1 %) te za trajanja od 1 do 24 h za ombrografsku postaju Split-Marjan.

Ploče

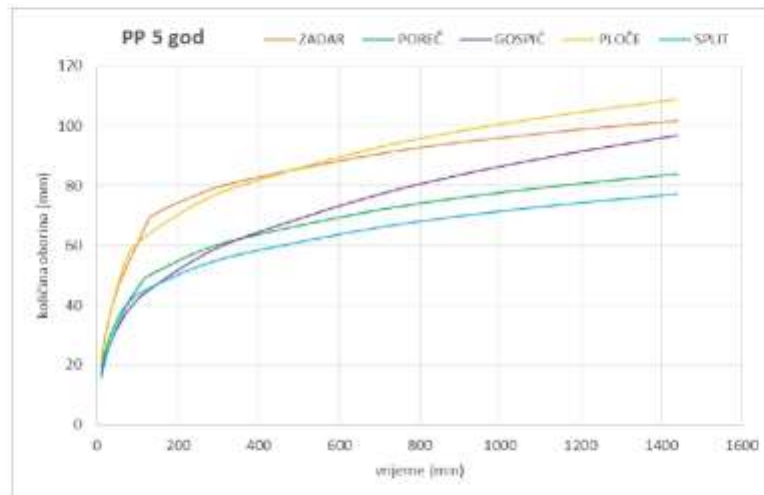


Slika 4.5.15. Projektni pljusak za povratne periode 5, 25, i 100 godina (VGP 20, 4, i 1 %) te za trajanja od 1 do 24 h za omrografsku postaju Ploče.

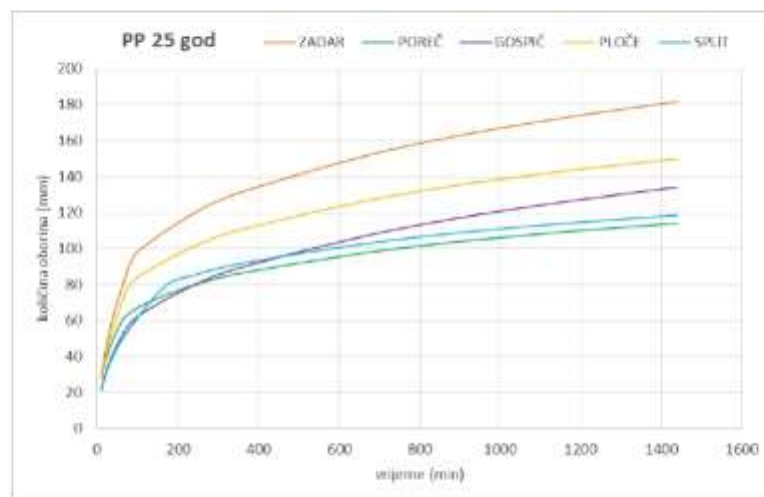
4.6 Prostorna varijabilnost ekstrema količine oborina između pilot područja

U ovom poglavlju provedena je usporedba prostorne varijabilnosti maksimalnih vrijednosti kratkotrajnih jakih oborina (Slike 4.6.1 - 4.6.3) kao i višednevnih oborina po pojedinim povratnim periodima (Slike 4.6.4 - 4.6.6). Vidljivo je da se vrijednosti dobivene po pojedinom povratnom periodu (vjerojatnostima pojave) imaju dosta široki raspon odstupanja, koji se povećava s povećanjem povratnog perioda njihova javljanja, odnosno sa sniženjem vjerojatnosti njihove pojave. Vidljivo je da kod svih analiziranih postaja koje svoj položaj imaju u relativno maloj odaljenosti od mora vrijednosti dobivene prema spomenutim krivuljama imaju vrlo sličan hod, dok bitno odstupa značajka HTP krivulje za postaju Gospić koja ima u odnosu na kraća trajanja, naglašenije oborinske intenzitete duljih trajanja. Također odstupaju i vrijednosti HTP krivulja za postaje Ploče te naročito Zadar čije vrijednosti svih trajanja rjeđih od 10-godišnjeg povratnog perioda imaju daleko naglašenije vrijednosti. Razlog tome je okolnost da su na postaji Zadar zabilježeni ekstremi čije je karakter pojave puno rjeđi od duljine analiziranog razdoblja. Zbog takve povijesno zabilježene dvije pojave „outliera“ i raspodjela vjerojatnosti pojave karakterističnih godišnjih vrijednosti za tu postaju uzimajući ih u analize na standardan način vjerojatno je naglašenija, posebno za pojave rijetkih događanja. Naime, 1986. na postaji Zadar zabilježen je 24 satni maksimum od 333,4 mm, a 2016. zabilježena je bliska dnevna količina oborina od 281,8 mm. S druge strane, slijedeći po veličini zabilježeni 24 satni ekstrem iznosio je svega 165,3 mm (1966.), dakle reda veličine dvostruko manje nego li spomenuti apsolutni maksimum. Pojave takvih dvaju najizraženijih ekstrema imale su za posljedicu relativno povećanje vrijednosti HTP krivulja (do 24 sata, te 1-5 dana), pa čak i ITP krivulja (do 2 sata).

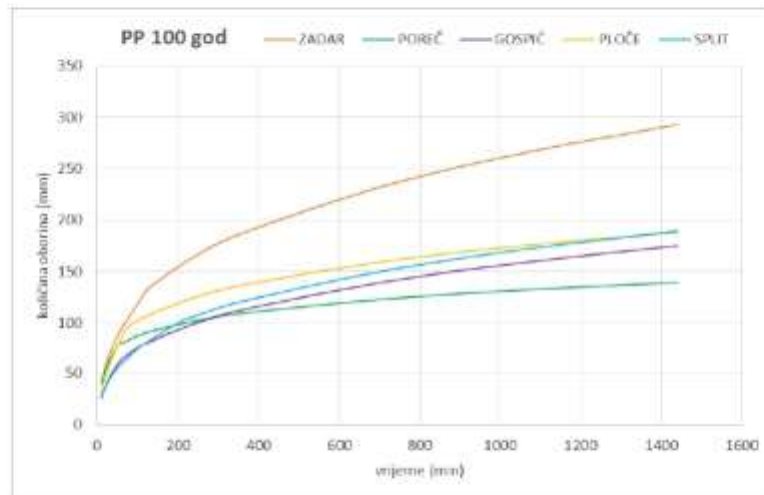
Provedene su i regionalne usporedbe HTP krivulja višednevnih oborina (1-5 dana) za trajanja dulja od 1 dana (Slike 4.6.4 – 4.6.6). Iz njih je također vidljivo da kod svih analiziranih postaja koje svoj položaj imaju u relativno maloj odaljenosti od mora vrijednosti dobivene prema spomenutim krivuljama imaju sličan hod. Najbliži hod imaju HTP krivulja na lokacijama Poreč i Split, dok je donekle različit hod značajki HTP krivulje za postaju Gospić koja ima u odnosu na kraća trajanja, naglašenije oborinske intenzitete duljih trajanja kod rjeđih povratnih perioda. Također, kao i kod provedenih usporedbi HTP krivulja trajanja do 24 sata, odstupaju i vrijednosti HTP krivulja za postaje Ploče te naročito Zadar čije vrijednosti svih trajanja rjeđih od 5-godišnjeg povratnog perioda imaju daleko naglašenije vrijednosti.



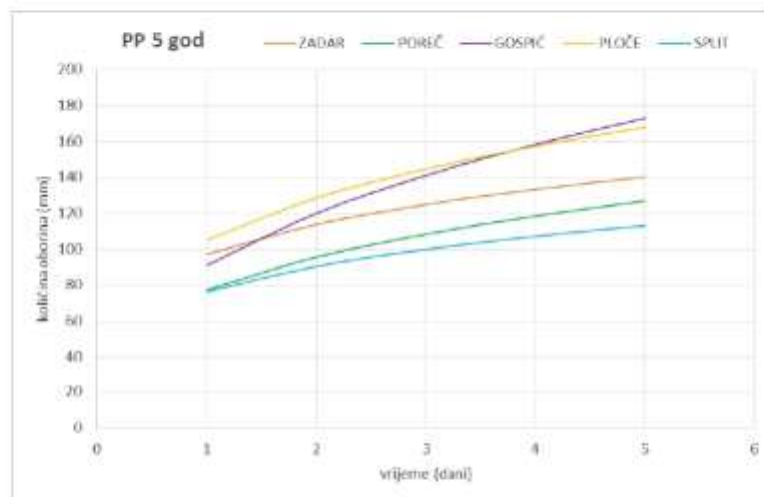
Slika 4.6.1. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja za povratni period od 5 godina



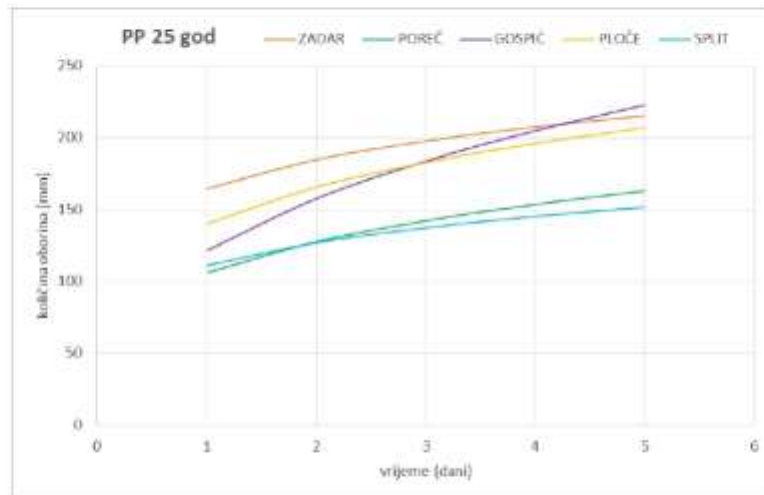
Slika 4.6.2. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja za povratni period od 25 godina



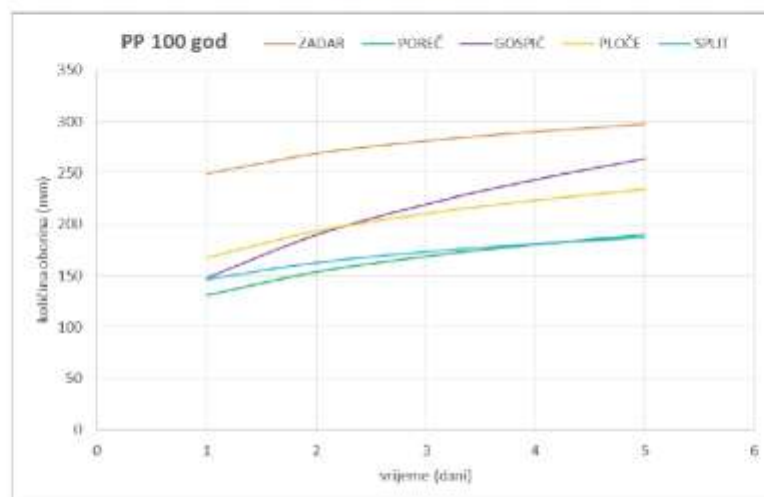
Slika 4.6.3. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja za povratni period od 100 godina



Slika 4.6.4. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja višednevnih oborina za povratni period od 5 godina



Slika 4.6.5. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja višednevnih oborina za povratni period od 25 godina



Slika 4.6.6. Usporedni prikaz proračunatih vrijednosti HTP krivulja višednevnih oborina za povratni period od 100 godina

5 Trenutna saznanja o utjecaju klimatskih promjena na značajke pojave kratkotrajnih jakih oborina

Usljed opaženih klimatskih promjena i globalnog zagrijavanja znanstvena zajednica je prepoznala mogućnost jačanja utjecaja kratkotrajnih jakih oborina na pojavu poplava.

Čest koncept kojim se povezuje utjecaj porasta temperature na intenzitet oborine uključuje primjenu Clausius-Clapeyronove jednadžbe koja povezuje promjenu ravnotežnog tlaka vodene pare pri zasićenju s promjenom temperature zraka. Pretpostavka je da će veza između intenziteta oborine i temperature zraka biti bliska vezi ravnotežnog tlaka vodene pare pri zasićenju i temperature zraka jer dostupna vodena para utječe na mogućnost kondenzacije te formiranja oblačnih sustava iz kojih će se razviti intenzivni oborinski događaji. Naravno, osnovna svrha primjene ovog koncepta je omogućiti sažimanje velikog broja raznovrsnih vremenskih situacija koje će ovisiti i o svim drugim faktorima i procesima koji se javljaju u formiranju oblaka iz vodene pare a zatim i oborine iz oblaka i oblačnih sustava. Lokalni procesi kod kojih postoji značajno razumijevanje dodatnog pojačanja početnog utjecaja porasta temperature na porast intenziteta oborine uključuju oslobađanje latentne topline i prateći razvoj konvektivnih sustava, utjecaj topografije na jačanje konvektivne nestabilnosti te utjecaj konvergencije u atmosferskom strujanju a koja omogućava dodatan izvor vodene pare za razvoj oblačnih i oborinskih sustava.

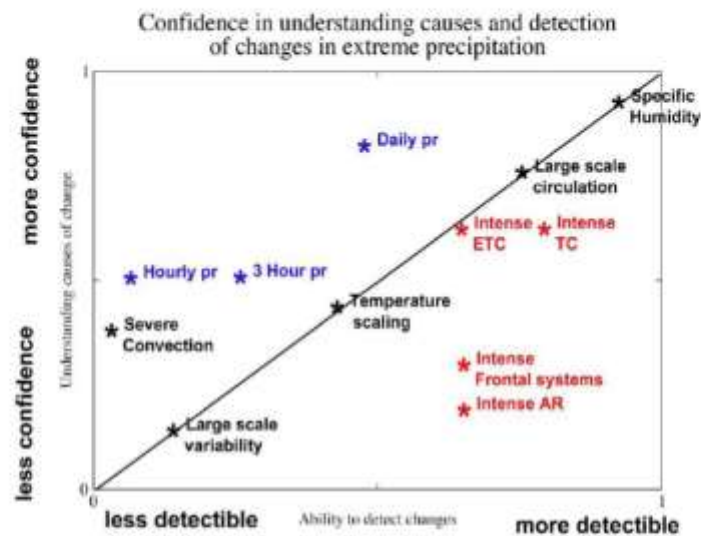
Navedeni tip analiza u smislu skaliranja u ovisnosti o promjeni temperature općenito upućuje na zaključak u kojem intenzivne količine oborine s dužim vremenskim trajanjem (reda veličine jednog dana i dulje) prate skaliranje koje proizlazi iz Clausius-Clapeyronove jednadžbe te iznosi između 6 % i 7 % porasta u intenzitetu takvih oborinskih događaja za svaki porast temperature od 1 °C. Ovaj općeniti rezultat može dodatno ovisiti o utjecaju atmosferskog strujanja i specifičnostima pojedine geografske regije te je prisutna značajna promjenjivost ovisno o lokaciji i tipu mjerenja odnosno tipu korištenih modela. Ipak, intenziteti vrlo rijetkih dnevnih količina oborine a posebno intenziteti kratkotrajnih (satni i minutni intenziteti) jakih oborina mogu biti i dvostruko osjetljiviji na porast temperature zraka te dosežati između 12 % i 14 % porasta u intenzitetu za svaki porast temperature od 1 °C. Uzevši u obzir mogućnost porasta globalne temperature zraka do kraja 21. stoljeća preko 2 °C, porast u intenzitetu dnevnih, satnih i minutnih oborinskih intenziteta ima potencijal vrlo značajnog porasta. Ovdje je potrebno razlikovati promjenu temperature vezanu uz globalno zagrijavanje, u odnosu na promjene temperature koje se događaju na nekoj lokaciji unutar dana ili

godine no za očekivati je da će skaliranje koje dovodi do porasta u intenzitetu jakih oborina biti blisko u oba slučaja.

Utjecaj globalnog zagrijavanja na intenzivne oborinske događaje moguće je istražiti za razdoblja povijesne i sadašnje klime (koristeći dostupna mjerenja i klimatske modele) te buduće klime (koristeći klimatske modele u idealiziranim simulacijama ili projekcijama uz pretpostavke različitih scenarija emisija i koncentracija stakleničkih plinova). U smislu korištenja radarskih i staničnih mjerenja potrebno je osigurati dovoljno duge i homogene nizove i polja koji omogućavaju razdvajanje dugotrajnih klimatskih promjena od prirodne promjenjivosti. U smislu korištenja klimatskih modela visoke rezolucije, rana istraživanja su bila opterećena korištenjem jednog ili manjeg broja klimatskih modela (što dovodi do ovisnosti rezultata o postavljenim pretpostavkama u istim modelima) te relativno kraćih razdoblja simulacija od 10-ak godina. Razvojem regionalnih klimatskih modela, a kasnije i klimatskih modela visoke rezolucije te jačanjem potrebnih računalnih kapaciteta novije generacije klimatskih simulacija i projekcija uključuju veći broj korištenih klimatskih modela (tzv. ansambli simulacija od kojih je za izdvojiti [CORDEX Flagship Pilot Study Convection](#); Coppola i sur. 2020) i dulja trajanja simuliranih povijesnih, sadašnjih i budućih razdoblja. S obzirom na rastući broj radova koji koriste rezultate klimatskih modela, potrebno je naglasiti razliku između tzv. regionalnih klimatskih modela (eng. Regional Climate Models) i klimatskih modela visoke rezolucije (eng. Convection-Permitting Climate Models). Tipični regionalni klimatski modeli koriste prostornu mrežu modela na rezoluciji između 10 km i 50 km te parametriziraju procese vezane za duboku konvekciju (u praksi, koriste poluempirijske izraze koji povezuju neka svojstva oblačnih sustava koji se javljaju pri dubokoj konvekciji s atmosferskim varijablama koje su direktno simulirane a na temelju statističkih veza proizašlih iz analiza motrenja istih veličina). S druge strane, nove generacije klimatskih modela visoke rezolucije koriste prostorne rezolucije između 1 km i 4 km te izravno simuliraju procese vezane za duboku konvekciju tj. ne koriste parametrizacije za ovaj tip procesa. U dugoročnom razvoju klimatskih modela potrebno je adresirati i sve ostale procese koji se zbog malih prostornih dimenzija moraju i dalje parametrizirati (plitka konvekcija, turbulentno miješanje itd).

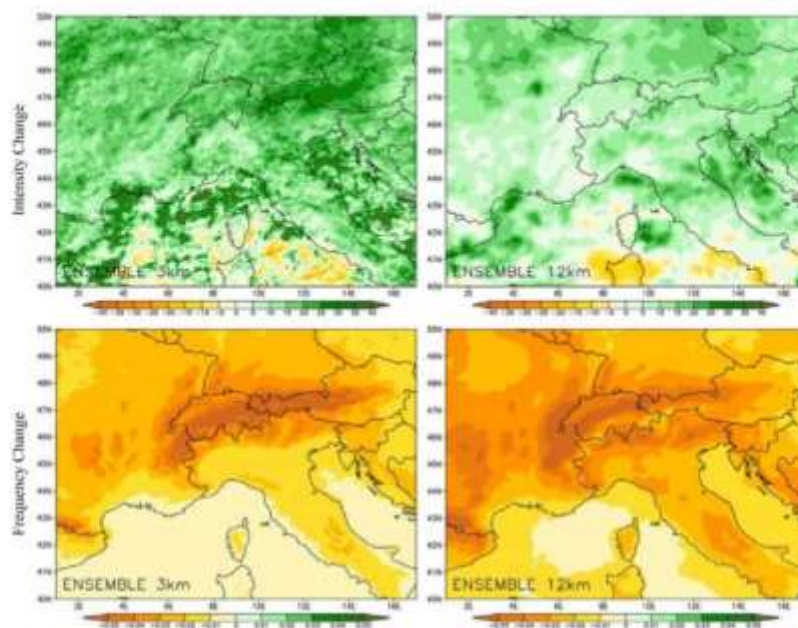
Objedinjujući različite izvore informacija i mogućnosti analiza moguće je ugrubo sažeti koliko kvalitetno možemo detektirati pojedinačne vremenske pojave koje dovode do intenzivnih oborina i s njima povezane varijable u odnosu na trenutčan nivo razumijevanja izvora i mehanizama tih istih promjena (Slika 5.1.1). Na primjer, u slučaju analiza satnih intenziteta jakih oborina imamo trenutno ograničene mogućnosti detekcije promjena no nešto veći stupanj pouzdanosti u razumijevanju

procesa koji dovode do promjena kada je ona detektirana. Ranije navedeni primjer primjenjivosti Clausius-Clapeyronovog skaliranja je u središtu ovakvog prikaza, s osrednjim mogućnostima u oba aspekta (detekcija promjene i razumijevanje promjene). Određena ograničenja u primjeni Clausius-Clapeyronovog skaliranja dokumentirana su u npr. Drobinski i sur. (2018) u kojem je analizirana izmjerena i modelirana veza između dnevne temperatura zraka i satnih količina oborine na području Sredozemlja, uključujući i mjerenja na lokaciji Split-Marjan. Konkretna odstupanja od uobičajenog skaliranja su detektirana za visoke temperature zraka u smislu negativne promjene u intenzitetu. Ova zamjena i iznosa i predznaka se često objašnjava kao posljedica ograničene dostupne količine vlage što može biti relativno čest slučaj na području Sredozemlja u razdoblju dugih toplinskih valova i suša. Kao zadnji primjer, promjene specifične vlažnosti zraka današnji sustavi za motrenja i modeliranja mogu izvrsno detektirati, a postoji i jasan fizikalni i analitički okvir koji ovakav tip promjena može uspješno interpretirati.



Slika5.1.1. Mogućnost detekcije promjena (x-os) i stupanj pouzdanosti u razumijevanju mehanizma promjena (y-os) za različite procese koji dovode do utjecaja klimatskih promjena na značajke pojave jakih oborina, uključujući i kratkotrajne. Slika preuzeta za potrebe ovog izvješća iz Fowler i sur. (2021a).

Slika 5.1.2 prikazuje rezultate projekcija za klimatske simulacije iz Pichelli i sur. (2021) za alpsko područje te sadržava veći dio Hrvatske u domeni simulacija i analiza. Za uočiti je povećanje intenziteta satnih količina oborine i smanjenje učestalosti takvih događaja u razdoblju do kraja 21. stoljeća u odnosu na sadašnju klimu. Osim određenih prostornih varijacija u amplitudi relativnih promjena, za uočiti su intenzivnije promjene u klimatskim modelima visoke rezolucije što dodatno ukazuje na važnost njihovog daljnjeg razvoja s velikim potencijalom primjene. Određeno ograničenje metodologije u Pichelli i sur. (2021) je primjena scenarija značajnog povećanja emisija i koncentracija stakleničkih plinova RCP8.5, s obzirom da je trenutna putanja stvarnih emisija ipak bliža nešto umjerenijem scenariju RCP4.5. Također, prikazane rezultate je potrebno pažljivo interpretirati zbog izražene prostorne varijabilnosti te je prikladno dovoditi zaključke samo za čitavu prikazanu domenu ili određene veće pod domene.



Slika 5.1.2. Relativna promjena u srednjaku ansambla modela u razdoblju 2090.-2099. u odnosu na razdoblje 1996.-2005. za ljetne indekse satne oborine i scenarij RCP8.5. Prvi red: promjena intenziteta, drugi red: promjena učestalosti. Prvi stupac: klimatski modeli visoke rezolucije, desni stupac: regionalni klimatski modeli koji su izvor rubnih uvjeta za klimatske modele visoke rezolucije. Slika preuzeta i modificirana (zadržana 4 panela od ukupno 6) za potrebe ovog izvješća iz Pichelli i sur. (2021).

Preporuke za jačanje postojećih i razvoj budućih smjerova istraživanja uključuju daljnje korištenje i razvoj klimatskih modela na rezolucijama koje direktno simuliraju duboku konvekciju (tipičnih prostornih rezolucija u modelima od 1 km do 4 km) i jačanje metoda za detekciju i atribuciju utjecaja klimatskih promjena na vremenske pojave kratkotrajnih jakih oborina. Također, potrebno je uložiti značajne napore u detaljnijem razumijevanju na koji način globalno zagrijavanje utječe na atmosfersku cirkulaciju na sinoptičkoj skali, dinamiku konvektivnih oluja te stabilnost atmosfere, tj. atmosferske procese koji mogu modificirati osnovnu termodinamičku vezu između promjena u temperaturi zraka i promjena u intenzitetu kratkotrajnih jakih oborina. U smislu analiza mjerenih kratkotrajnih jakih oborina, usporedba različitih studija je otežana različitim metodologijama koje sadrže varijacije u pristupima kontroli kvalitete podataka, duljini dostupnih mjerenja, fizikalnim veličinama koje su analizirane, različitostima u primijenjenim statističkim metodama itd., a koje je potrebno i moguće uskladiti kako bi se dobila jasnija regionalna i globalna slika. Konačno, utjecaj klimatskih promjena na značajke pojave kratkotrajnih jakih oborina je potrebno usporedno analizirati i u odnosu na druge procese koji mogu utjecati na iste proces (npr. urbanizacija koja mijenja tip podloge i može lokalno pojačati intenzitet oluja, površinsko otjecanje i povećati vjerojatnost poplave; Fowler i sur., 2021b).

6 Zaključak i preporuke

U predmetnoj su studiji analizirane opće klimatske prilike na pet pilot područja projekta STREAM: Poreč, Gospić, Zadar, Biograd na Moru, Split i Metković. Provedena je prostorna i vremenska analiza osnovnih klimatoloških parametara, temperature zraka i količine oborine na mjesečnoj i godišnjoj skali. Potom su analizirane maksimalne godišnje količine oborine kraćih trajanja (od 10 min do 5 dana) primjenom opće teorije ekstrema. Za analizu su korišteni podaci s pet meteoroloških postaja najbližih predmetnim lokacijama iz najduljeg raspoloživog niza mjerenja.

Rezultati trenda na pet pilot područja pokazuju značajno povećanje kratkotrajnih količina oborine samo na postaji Ploče (pilot područje Metkovića) i to za 12-, 18- i 24-satna trajanja. Na svim pilot područjima, osim Poreča, prevladava negativan trend za najkraća trajanja (do 60 minuta) dok je za dulja trajanja predznak trenda uglavnom pozitivan. Samo je na području Zadra uočeno konzistentno smanjenje godišnjih maksimalnih vrijednosti za sva trajanja. Treba imati na umu da su za analizu ombrografskih podataka, usporedbom s kišomjernim postajama (poglavlje 4.1.) na gotovo svakoj analiziranoj postaji uklonjeni maksimumi u pojedinim godinama koji se ne mogu jednostavno popuniti radi lokalnih karakteristika oborine i rijetke mreže ombrografskih mjerenja u Hrvatskoj. Stoga rezultate trenda kratkotrajnih količina oborine (do 24 h) treba koristiti s dodatnim oprezom.

Predmetni dokument rezultirao je i noveliranim podlogama o značajkama HTP i ITP krivulja odabranih lokaliteta na pilot područjima priobalnog dijela Hrvatske – počev od Poreča na sjeveru pa do Ploča na jugu. Uz to, definirao je i do sada neobrađivane oblike tzv. „projektnog pljuskas“ na analiziranim lokalitetima kao nužne podloge za primjenu novijih pristupa u oborinskoj odvodnji, procjeni opasnosti od pluvijalnih poplava te dimenzioniranju objekata i sustava oborinske odvodnje koji vode računa o cjelokupnom volumenu oborinskog otjecanja i njegovoj raspodjeli tijekom vremena.

Provedene regionalne analize pokazale su da ne postoji izražena prostorna izdiferenciranost značajki kratkotrajnih jakih oborina unutar koje bi se mogle povezati sa značajkama pojedinih pilot područja. Jedina iznimka je područje Gospića kod koga su relativno naglašenije oborine duljih trajanja u odnosu na one kraćih trajanja. Utvrđeno je i da također odstupaju i vrijednosti HTP krivulja za postaje Ploče te naročito Zadar čije vrijednosti svih trajanja rjeđih od 10-godišnjeg povratnog perioda imaju daleko naglašenije vrijednosti. Razlog tome je okolnost da su na postaji Zadar zabilježeni ekstremi (tzv. „outlieri“) čiji je karakter pojave puno rjeđi od duljine analiziranog

razdoblja. Pojave takvih dvaju najizraženijih ekstrema imale su za posljedicu relativno povećanje vrijednosti HTP krivulja (do 24 sata, te 1-5 dana), pa čak i ITP krivulja (do 2 sata). Stoga, prikazani rezultati za postaju Zadar imaju nižu razinu pouzdanosti od ostalih postaja.

Zaključno treba naglasiti nužnost provedbe sveobuhvatnije analize kratkotrajnih jakih oborina u Hrvatskoj, kako bi se osigurala primjerena inženjerska oborinska podloga za procjene poplava i planiranje mjera za ublažavanje istih. Pri tome je takvu obradu nužno provesti na njenom cjelokupnom prostoru, uzimajući u obzir sve ombrografske postaje za koje postoje na raspolaganju raspoloživi nizovi ombrografskih podataka respektabilne duljine od najmanje 30 godina. Kao početni korak predlaže se analiza oborinskog režima za priobalni dio Hrvatske i njegovo gorsko kopneno zaleđe, na način da se u obradu uključe rezultati s ombrografskih postaja obrađeni u ovom projektu, u okviru prethodnog dokumenta RAINMAN (Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ, 2019) te podaci s postaja koje su bile izuzete iz tih obrada, a imaju raspoložive nizove podataka duljine barem 30 godina.

Popis literature

- Ball J, Babister M, Nathan R, Weeks W, Weinmann E, Retallick M, Testoni I, (Editors) Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, Commonwealth of Australia (Geoscience Australia), 2019.
- Bonacci, O. (1994): Oborine - glavna ulazna veličina u hidrološki ciklus. Geing, Split, 341str.
- Cindrić, K., Nirnac, I., Gajić-Čapka, M., Rubinić, J. (2014): Vremenske promjene kratkotrajnih jakih oborina u razdoblju 1955.-2010. za Split i Varaždin, Hrvatske vode 22/89, 239-250.
- Coles, S. (2001): An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer, 208 str.
- Coppola E. i sur. (2020): A First-of-Its-Kind Multi-Model Convection Permitting Ensemble for Investigating Convective Phenomena over Europe and the Mediterranean. *Climate Dynamics* 55, no. 1: 3–34, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4521-8>
- Drobinski P. i sur. (2018): Scaling Precipitation Extremes with Temperature in the Mediterranean: Past Climate Assessment and Projection in Anthropogenic Scenarios. *Climate Dynamics* 51, no. 3: 1237–57, <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3083-x>
- Gajić-Čapka, M., Cindrić K., Pasarić Z. (2014): Trends in precipitation indices in Croatia, 1961–2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 121 (1-2). doi: 10.1007/s00704-014-1217-9
- Građevinski fakultet u Rijeci I DHMZ (2019): Analiza oborina na pilot područjima u Istri i Zagrebu (projekt RAINMAN). Studija. Rijeka, Zagreb.
- Fowler H. J. i sur. (2021a): Towards Advancing Scientific Knowledge of Climate Change Impacts on Short-Duration Rainfall Extremes. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 379, 2195: 20190542, <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0542>
- Fowler H. J. i sur. (2021b): Anthropogenic Intensification of Short-Duration Rainfall Extremes. *Nature Reviews Earth & Environment* 2, 107–22, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>
- Helsel, D. R., Hirsch, R. M. (2002): *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations*, U.S. Geological Survey.
- IPCC (2022): IPCC Sixth Assessment Report (AR6): Climate Change 2022 - Impacts, Adaptation and Vulnerability: Technical Summary.
- Klein Tank, A. M. G., Zwiers, F. W., Zhang, X. (2009): Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organisation, WMO-TD No. 1500, WCDMP-No. 72, 52 pp.

- Krvavica, N., Jaredić, K., Rubinić, J. (2018): Metodologija definiranja mjerodavne oborine za dimenzioniranje infiltracijskih sustava. *Građevinar*, 70(8), 657-669.
- Krvavica, N., i Rubinić, J. (2020). Evaluation of design storms and critical rainfall durations for flood prediction in partially urbanized catchments. *Water*, 12(7), 2044.
- Perčec Tadić, M. (2010). Gridded Croatian climatology for 1961-1990. *Theoretical and applied climatology*, 102 (1-2), 87-103 doi:10.1007/s00704-009-0237-3.
- Perčec Tadić Melita, Pasarić Zoran, Guijarro Jose A. Croatian High-Resolution Monthly Gridded Data Set of Homogenised Surface Air Temperature, poslano u *Theor Appl Climatol* 8.3.2022.
- Pilgrim, D.H. (1987): Australian rainfall and runoff, a guide to flood estimation. The Institution of Engineers, ACT, Australia, 1987.
- Pichelli E. i sur. (2021): The First Multi-Model Ensemble of Regional Climate Simulations at Kilometer-Scale Resolution Part 2: Historical and Future Simulations of Precipitation. *Climate Dynamics* 56, 11: 3581–3602, <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05657-4>
- Ivančan-Picek, B., Horvath, K., Strelec Mahović, N., Gajić-Čapka, M. (2014): Forcing mechanisms of a heavy precipitation event in the southern Adriatic area, *Natural hazards*, 72, 2: 1231-1252. UCAR, 2010
- Pandžić, K. i suradnici, 2008: Naputak za opažanja i mjerenja na glavnim meteorološkim postajama, DHMZ, Zagreb, 342 str.
- Sen, P. K. (1968): Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.* 63, 1379–1389.
- Slater, L., Villarini, G. (2017): On the impact of gaps on trend detection in extreme streamflow time series. *International Journal of Climatology*, 37, 3976-3983
- Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu (NN 46/2020).

Prilog A: Tablice projektnih pljusкова

Tablica A.1. Projektni pljusak povratnog perioda **5 godina** (VGP 20%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Poreč**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	53.93	66.35	73	80.23	84.58	89.44	91.86	95.95	100.14
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.6	1.71	2	2.07	1.55	21.2	6.16	7.55	5.79
2	2.05	3.9	6.39	19.76	8	11.89	3.09	12.13	14.15
3	1.01	13.46	10.91	9.41	1.19	0.2	3.37	5.65	20.74
4	2.41	8.53	18.42	6.04	0.74	0.06	2.36	4.34	8.46
5	6.39	7.22	9.15	1.76	1.02	0.2	10.81	2.71	4.96
6	3.66	6.04	5.14	1.05	0.51	0.77	8.09	2.1	3.49
7	13.19	11.22	3.98	3.73	0.27	0.99	2.11	3.17	0.82
8	7.88	5.23	1.71	7.6	0.62	0.2	2.63	0	0.07
9	4.2	2.8	1.14	4.94	2.24	2.93	1.39	0.08	0
10	5.34	3.23	2.23	11.47	4.72	3.54	5.11	0	0
11	2.86	2.32	3.28	4.28	2.87	15.28	4.2	0	0.19
12	3.33	0.7	2.52	0.45	6.38	6.76	1.89	0	1.39
13	0	0	1.44	0.19	13.17	1.86	17.75	0.5	0.33
14			2.76	0.74	21.89	9.71	14.12	5.13	1.72
15			0.79	2.94	9.62	2.32	0.8	0.16	0
16			0.6	2.47	0.81	5.96	1.68	1.52	0.52
17			0.3	1.31	5.48	4.29	0.03	0.23	2.88
18			0.26	0.02	3.48	1.28	0.03	0.87	2.21
19			0	0	0	0	0	0.58	4.43
20							1.11	3.74	0.67
21							0.63	6.61	7.03
22							0.3	10.34	10.08
23							3.73	19.75	6.47
24							0.46	8.8	3.74
25							0	0	0

Tablica A.2. Projektni pljusak povratnog perioda **25 godina** (VGP 4%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Poreč**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	76.77	103.88	120.51	136.44	147.15	158.75	162.05	162.05	167.66
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.19	2.1	0.96	4.5	2.03	2.84	3.7	12.75	9.69
2	4.47	4.74	6.06	32.23	22.35	9.83	5.31	20.48	23.69
3	6.85	16.36	22.41	3.65	13.98	1.6	2.89	9.54	34.73
4	7.7	10.86	3.38	0.76	0.95	6.23	2.54	7.33	14.17
5	15.88	12.73	1.71	1.95	4.61	3.69	15.72	4.57	8.3
6	5.11	8.16	1.47	1.54	2.48	22.44	6.52	3.55	5.85
7	8.66	23.14	13.75	2.52	0.33	18.9	4.39	5.35	1.38
8	6.15	9.1	15.69	6.73	0.85	4.97	11.56	0	0.11
9	11.52	6.7	8.27	3.05	6.36	11.95	7.48	0.14	0
10	3.65	5.54	10.38	18.96	3.61	0.84	5.92	0	0
11	3.26	3.36	4.74	15.03	3.12	38.13	25.2	0	0.32
12	2.34	1.09	6.75	10.67	9.49	7.39	9.38	0	2.34
13	0	0	3.92	8.97	33.28	0.4	33.28	0.85	0.56
14			9.22	5.26	16.96	28.91	20.32	8.66	2.88
15			5.83	12.31	8.52	0	1.86	0.27	0
16			2.36	7.86	5.53	0.04	1.36	2.57	0.87
17			3	0.41	11.28	0.5	0.31	0.38	4.83
18			0.6	0.03	1.44	0.09	0.72	1.47	3.69
19			0	0	0	0	0	0.97	7.41
20							0.83	6.32	1.12
21							0.52	11.16	11.77
22							0	17.46	16.87
23							2.23	33.36	10.84
24							0	14.86	6.25
25							0	0	0

Tablica A.3. Projektni pljusak povratnog perioda **100 godina** (VGP 1%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Poreč**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljaska (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	95.47	141.03	172.21	202.87	226.2	250.09	255.25	255.25	255.25
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.48	2.85	1.37	6.69	3.12	4.47	5.83	20.09	14.75
2	5.56	6.44	8.65	47.93	34.35	15.49	8.36	32.26	36.06
3	8.52	22.21	32.02	5.42	21.48	2.52	4.55	15.03	52.87
4	9.57	14.74	4.84	1.14	1.46	9.81	4.01	11.55	21.57
5	19.75	17.28	2.45	2.91	7.09	5.81	24.77	7.21	12.63
6	6.35	11.08	2.1	2.29	3.8	35.36	10.27	5.58	8.91
7	10.77	31.41	19.65	3.75	0.51	29.78	6.91	8.42	2.1
8	7.64	12.36	22.42	10	1.31	7.83	18.2	0	0.17
9	14.32	9.1	11.82	4.53	9.78	18.83	11.77	0.21	0
10	4.54	7.52	14.83	28.2	5.55	1.33	9.33	0	0
11	4.06	4.56	6.78	22.35	4.8	60.06	39.69	0	0.49
12	2.91	1.48	9.65	15.87	14.58	11.64	14.77	0	3.56
13	0	0	5.61	13.34	51.16	0.63	52.43	1.34	0.85
14			13.17	7.81	26.08	45.54	32.01	13.64	4.39
15			8.33	18.3	13.09	0	2.93	0.43	0
16			3.38	11.69	8.49	0.06	2.14	4.05	1.32
17			4.28	0.6	17.34	0.79	0.5	0.6	7.35
18			0.85	0.05	2.21	0.15	1.14	2.32	5.62
19			0	0	0	0	0	1.53	11.28
20							1.3	9.95	1.71
21							0.82	17.58	17.92
22							0	27.5	25.69
23							3.52	52.55	16.5
24							0	23.4	9.52
25							0	0	0

Tablica A.4. Projektni pljusak povratnog perioda 5 godina (VGP 20%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju Gospić, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	36.36	44.41	50.75	57.64	62.18	70.01	77.14	88.93	97.26
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.96	0.97	1.52	0.37	0.19	5.11	0.46	5.28	6.84
2	1.92	1.75	6.17	2.41	10.67	4.26	0.65	6.01	19.24
3	2.74	2.59	2.92	1.98	8.24	1.66	3.64	1.74	9.62
4	4.94	3.55	3.66	1.61	5.74	6.09	4.22	18.18	7.74
5	6.25	9.47	2.24	4.35	1.16	3.24	1.3	7.3	10.97
6	7.42	7.33	0.82	8.28	0.45	9.55	2.19	1.52	5.79
7	3.12	6.04	0.33	3.71	4.23	1.39	7.41	2.82	3.41
8	3.91	4.96	0.62	2.28	3.58	0.48	3.15	3.3	5.08
9	1.78	3.85	1.26	6.73	2.36	0.06	2.49	0.85	4.56
10	1.51	2	1.81	3.12	6.39	0	4.64	0.1	3.02
11	1.14	1.49	3.01	1.19	3.29	2.7	2.03	0.21	0.1
12	0.67	0.41	4.32	5.81	2.64	6.89	1.03	0.61	0.04
13	0	0	7.18	11.3	3.9	8.15	0.27	2	0.33
14			3.92	2.67	5.15	1.01	1.16	1.03	3.72
15			1.05	0.55	1.77	2.18	6.33	0.5	0.72
16			2.57	0.29	0.88	13.58	1.5	0.32	1.8
17			4.91	0.13	1.43	3.65	5.22	3.12	2.1
18			2.45	0.83	0.1	0	9.27	1.26	4.07
19			0	0	0	0	13.98	9.55	2.37
20							2.74	12.03	1.41
21							1.73	2.44	0.23
22							0.84	4.06	0.41
23							0.73	4.67	1.09
24							0.13	0.07	2.58
25							0	0	0

Tablica A.5. Projektni pljusak povratnog perioda **25 godina** (VGP 4%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Gospić**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	51.22	61.34	69.82	80.13	88.65	100.43	108.46	124.56	139.53
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.09	1.19	3.86	1.82	1.73	10.01	5.09	4.35	30.07
2	3.22	2.39	10.9	7.73	16.94	15.37	3.31	2.96	16.94
3	5.52	6.7	5.49	5.65	1.25	3.84	7.79	4.71	1.29
4	4.53	11.49	3.01	2.56	0.52	22.14	1.62	7.24	1.05
5	10.49	13.42	3.24	4.1	1.44	4.4	3.7	13.09	14.17
6	8.66	8.71	2.62	3.19	0.28	2.58	2.17	6.35	1.87
7	3.95	3.19	2.35	0.87	3.98	0.77	5.91	10.56	0.36
8	6.68	5.13	2.09	3.61	13.8	0.57	0.96	3.91	3.31
9	2.77	4.52	3.58	4.82	4.31	1.47	0.56	2.61	1.51
10	1.48	1.77	1.49	3.04	7.54	1.16	1.21	0.14	2.89
11	1.12	2.25	6.29	2.31	1.02	0.34	0.79	1.02	3.86
12	0.71	0.58	7.4	12.04	0.67	3.02	0.07	1.28	0.48
13	0	0	4.46	15.91	8.75	8.23	0.26	2.24	0.05
14			1.13	9.97	10.23	1.94	1.4	0.62	2.36
15			0.47	1.23	2.91	6.89	6.77	0.84	5.57
16			1.78	0.7	5.06	11.7	2.54	0.42	4.31
17			8.87	0.18	5.86	5.83	11.36	1.45	10.14
18			0.78	0.39	2.36	0.16	19.34	1.8	11.62
19			0	0	0	0	14.73	24.49	6.14
20							4.26	16.83	8.68
21							2.8	5.44	6.92
22							9.42	8.67	5.03
23							1.92	3.46	0.2
24							0.46	0.1	0.73
25							0	0	0

Tablica A.6. Projektni pljusak povratnog perioda **100 godina** (VGP 1%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Gospić**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	64.3	75.81	86.05	100.65	115.86	132.57	139.02	158	180.17
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.63	1.48	4.75	2.28	2.27	13.21	6.52	5.52	38.83
2	4.05	2.95	13.43	9.71	22.13	20.29	4.25	3.76	21.88
3	6.93	8.28	6.76	7.09	1.63	5.07	9.98	5.98	1.67
4	5.68	14.2	3.71	3.21	0.68	29.22	2.08	9.18	1.35
5	13.17	16.59	3.99	5.16	1.88	5.81	4.74	16.61	18.29
6	10.88	10.77	3.23	4	0.37	3.41	2.78	8.06	2.41
7	4.96	3.94	2.9	1.1	5.2	1.02	7.57	13.39	0.47
8	8.39	6.34	2.58	4.54	18.04	0.75	1.23	4.96	4.27
9	3.48	5.59	4.42	6.06	5.64	1.93	0.72	3.31	1.95
10	1.85	2.19	1.83	3.82	9.85	1.53	1.55	0.18	3.74
11	1.4	2.78	7.76	2.9	1.34	0.45	1.01	1.29	4.98
12	0.89	0.71	9.13	15.12	0.87	3.98	0.1	1.62	0.62
13	0	0	5.49	19.98	11.43	10.87	0.34	2.84	0.07
14			1.4	12.53	13.37	2.56	1.8	0.78	3.05
15			0.58	1.55	3.8	9.1	8.68	1.06	7.19
16			2.19	0.88	6.61	15.44	3.26	0.53	5.56
17			10.93	0.23	7.66	7.69	14.56	1.84	13.1
18			0.97	0.49	3.09	0.21	24.79	2.28	15
19			0	0	0	0	18.88	31.07	7.92
20							5.46	21.35	11.2
21							3.59	6.91	8.93
22							12.07	11	6.49
23							2.46	4.39	0.26
24							0.59	0.12	0.94
25							0	0	0

Tablica A.7. Projektni pljusak povratnog perioda **5 godina** (VGP 20%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Zadar**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	53.93	66.35	73	80.23	84.58	89.44	91.86	95.95	100.14
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.6	1.71	2	2.07	1.55	21.2	6.16	7.55	5.79
2	2.05	3.9	6.39	19.76	8	11.89	3.09	12.13	14.15
3	1.01	13.46	10.91	9.41	1.19	0.2	3.37	5.65	20.74
4	2.41	8.53	18.42	6.04	0.74	0.06	2.36	4.34	8.46
5	6.39	7.22	9.15	1.76	1.02	0.2	10.81	2.71	4.96
6	3.66	6.04	5.14	1.05	0.51	0.77	8.09	2.1	3.49
7	13.19	11.22	3.98	3.73	0.27	0.99	2.11	3.17	0.82
8	7.88	5.23	1.71	7.6	0.62	0.2	2.63	0	0.07
9	4.2	2.8	1.14	4.94	2.24	2.93	1.39	0.08	0
10	5.34	3.23	2.23	11.47	4.72	3.54	5.11	0	0
11	2.86	2.32	3.28	4.28	2.87	15.28	4.2	0	0.19
12	3.33	0.7	2.52	0.45	6.38	6.76	1.89	0	1.39
13	0	0	1.44	0.19	13.17	1.86	17.75	0.5	0.33
14			2.76	0.74	21.89	9.71	14.12	5.13	1.72
15			0.79	2.94	9.62	2.32	0.8	0.16	0
16			0.6	2.47	0.81	5.96	1.68	1.52	0.52
17			0.3	1.31	5.48	4.29	0.03	0.23	2.88
18			0.26	0.02	3.48	1.28	0.03	0.87	2.21
19			0	0	0	0	0	0.58	4.43
20							1.11	3.74	0.67
21							0.63	6.61	7.03
22							0.3	10.34	10.08
23							3.73	19.75	6.47
24							0.46	8.8	3.74
25							0	0	0

Tablica A.8. Projektni pljusak povratnog perioda 25 godina (VGP 4%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju Zadar, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	76.77	103.88	120.51	136.44	147.15	158.75	162.05	162.05	167.66
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.19	2.1	0.96	4.5	2.03	2.84	3.7	12.75	9.69
2	4.47	4.74	6.06	32.23	22.35	9.83	5.31	20.48	23.69
3	6.85	16.36	22.41	3.65	13.98	1.6	2.89	9.54	34.73
4	7.7	10.86	3.38	0.76	0.95	6.23	2.54	7.33	14.17
5	15.88	12.73	1.71	1.95	4.61	3.69	15.72	4.57	8.3
6	5.11	8.16	1.47	1.54	2.48	22.44	6.52	3.55	5.85
7	8.66	23.14	13.75	2.52	0.33	18.9	4.39	5.35	1.38
8	6.15	9.1	15.69	6.73	0.85	4.97	11.56	0	0.11
9	11.52	6.7	8.27	3.05	6.36	11.95	7.48	0.14	0
10	3.65	5.54	10.38	18.96	3.61	0.84	5.92	0	0
11	3.26	3.36	4.74	15.03	3.12	38.13	25.2	0	0.32
12	2.34	1.09	6.75	10.67	9.49	7.39	9.38	0	2.34
13	0	0	3.92	8.97	33.28	0.4	33.28	0.85	0.56
14			9.22	5.26	16.96	28.91	20.32	8.66	2.88
15			5.83	12.31	8.52	0	1.86	0.27	0
16			2.36	7.86	5.53	0.04	1.36	2.57	0.87
17			3	0.41	11.28	0.5	0.31	0.38	4.83
18			0.6	0.03	1.44	0.09	0.72	1.47	3.69
19			0	0	0	0	0	0.97	7.41
20							0.83	6.32	1.12
21							0.52	11.16	11.77
22							0	17.46	16.87
23							2.23	33.36	10.84
24							0	14.86	6.25
25							0	0	0

Tablica A.9. Projektni pljusak povratnog perioda **100 godina** (VGP 1%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Zadar**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	95.47	141.03	172.21	202.87	226.2	250.09	255.25	255.25	255.25
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.48	2.85	1.37	6.69	3.12	4.47	5.83	20.09	14.75
2	5.56	6.44	8.65	47.93	34.35	15.49	8.36	32.26	36.06
3	8.52	22.21	32.02	5.42	21.48	2.52	4.55	15.03	52.87
4	9.57	14.74	4.84	1.14	1.46	9.81	4.01	11.55	21.57
5	19.75	17.28	2.45	2.91	7.09	5.81	24.77	7.21	12.63
6	6.35	11.08	2.1	2.29	3.8	35.36	10.27	5.58	8.91
7	10.77	31.41	19.65	3.75	0.51	29.78	6.91	8.42	2.1
8	7.64	12.36	22.42	10	1.31	7.83	18.2	0	0.17
9	14.32	9.1	11.82	4.53	9.78	18.83	11.77	0.21	0
10	4.54	7.52	14.83	28.2	5.55	1.33	9.33	0	0
11	4.06	4.56	6.78	22.35	4.8	60.06	39.69	0	0.49
12	2.91	1.48	9.65	15.87	14.58	11.64	14.77	0	3.56
13	0	0	5.61	13.34	51.16	0.63	52.43	1.34	0.85
14			13.17	7.81	26.08	45.54	32.01	13.64	4.39
15			8.33	18.3	13.09	0	2.93	0.43	0
16			3.38	11.69	8.49	0.06	2.14	4.05	1.32
17			4.28	0.6	17.34	0.79	0.5	0.6	7.35
18			0.85	0.05	2.21	0.15	1.14	2.32	5.62
19			0	0	0	0	0	1.53	11.28
20							1.3	9.95	1.71
21							0.82	17.58	17.92
22							0	27.5	25.69
23							3.52	52.55	16.5
24							0	23.4	9.52
25							0	0	0

Tablica A.10. Projektni pljusak povratnog perioda **5 godina** (VGP 20%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Split-Marjan**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	36.91	45.23	49.99	54.26	57.22	61.61	65.22	72.64	78.41
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.85	1.36	0.39	0.65	1	0.28	1.65	3.22	5.14
2	1.83	7.7	1.43	1.87	2.36	0.64	3.15	12.53	9.82
3	2.71	10.19	0.2	1	1.5	1.44	2.07	6.57	6.79
4	3.18	4.59	0.62	2.83	1.37	2.17	0.69	7.85	3.77
5	4.4	2.97	1.02	2.46	1.99	7.43	1.35	5.5	8.33
6	6.05	1.92	1.73	0.82	6.24	12.03	2.31	2.76	1.12
7	7.34	3.77	2.77	1.51	13.65	2.45	1.84	0.5	0.12
8	3.57	6.03	7.19	0.34	3.17	1.2	0.99	1.97	0
9	2.36	2.27	4.6	0.45	0.61	0.15	4.13	5.1	0
10	2.05	2.75	2.29	1.17	0.39	0.72	6.76	0.8	0
11	1.46	1.14	5.54	1.77	0.84	5.45	10.55	0.02	0.83
12	1.1	0.54	8.86	4.99	2.98	3.21	3.82	1.66	1.97
13	0	0	3.77	3.52	7.46	4.17	4.8	0.1	4.33
14			2.98	8.84	1.74	8.5	5.25	0.04	1.49
15			2.12	5.84	2.69	5.91	6.05	3.61	2.51
16			1.21	13.48	3.65	3.63	3.67	0.25	14.35
17			2.48	1.98	4.42	1.85	0.28	0.56	5.85
18			0.77	0.72	1.15	0.38	0.28	0	0.35
19			0	0	0	0	0.2	2.29	0.2
20							0.33	1.37	3.24
21							2.85	1.18	4.73
22							1.53	4.19	2.95
23							0.48	10.43	0.52
24							0.2	0.14	0
25							0	0	0

Tablica A.11. Projektni pljusak povratnog perioda **25 godina** (VGP 4%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Split-Marjan**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	49.6	70.85	82.03	89.43	96.74	106.46	110.19	110.19	112.87
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.88	2.01	2.19	1.03	0.86	0.49	3.35	2.23	7.82
2	1.5	7.02	1.36	1.21	3.63	1.1	9.84	18.08	17.24
3	4.4	18.33	1.85	1.73	1.49	2.59	3.84	13.06	24.05
4	3.54	12.96	1.06	13.66	0.5	4.22	6.09	15.85	12.01
5	5.22	4.39	4.16	9.4	1.11	9.45	11.62	9.44	9.6
6	6.62	3.59	3.06	2.05	5.21	19.27	5.66	4.02	4.7
7	8.29	3.18	7.44	1.36	11.85	3.71	2.6	8.26	2.02
8	10.22	2.46	11.17	0.47	20.04	3.25	2.26	6	1.52
9	3.05	5.78	4.96	0.61	2.06	0.25	6.82	5.05	0.21
10	2.48	8.84	6.11	2.67	4.54	1.3	15.92	1.09	0
11	1.37	1.48	13.22	3.53	2.46	10.67	12.73	1.53	0
12	1.03	0.82	8.59	21.65	7.68	7.36	8.32	0.97	0.09
13	0	0	3.86	4.49	8.98	5.55	4.61	0.04	4.13
14			4.61	3.67	6.63	15.01	5.07	0	3.16
15			2.61	5.84	10.52	13.25	3.05	3.16	5.74
16			1.61	4.93	5.94	6.23	2.83	0.36	6.61
17			3.72	7.98	3.08	2.1	0.51	0.25	5.25
18			0.45	3.15	0.17	0.65	0.42	0.56	0.48
19			0	0	0	0	0.35	2.62	0.71
20							0.42	3.56	1.15
21							1.67	1.99	2.66
22							0.78	4.55	3.72
23							1.09	7.39	0
24							0.35	0.11	0
25							0	0	0

Tablica A.12. Projektni pljusak povratnog perioda **100 godina** (VGP 1%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Split-Marjan**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	59.01	98.88	120.28	133.51	149.24	168.61	174.31	174.31	174.31
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2.24	2.8	3.21	1.54	1.32	0.78	5.3	3.52	12.08
2	1.78	9.8	2	1.81	5.6	1.74	15.57	28.61	26.62
3	5.23	25.58	2.71	2.59	2.29	4.1	6.08	20.65	37.14
4	4.21	18.09	1.56	20.4	0.77	6.69	9.63	25.08	18.54
5	6.21	6.13	6.1	14.03	1.72	14.97	18.38	14.93	14.82
6	7.88	5.01	4.49	3.07	8.04	30.52	8.96	6.37	7.26
7	9.87	4.44	10.91	2.03	18.27	5.88	4.11	13.07	3.12
8	12.16	3.43	16.38	0.7	30.91	5.15	3.58	9.49	2.35
9	3.63	8.07	7.28	0.91	3.17	0.4	10.79	8	0.32
10	2.95	12.34	8.96	3.99	7	2.05	25.18	1.73	0
11	1.62	2.07	19.39	5.27	3.79	16.91	20.14	2.42	0
12	1.23	1.14	12.59	32.32	11.85	11.66	13.16	1.54	0.14
13	0	0	5.65	6.7	13.86	8.79	7.29	0.06	6.38
14			6.76	5.48	10.23	23.77	8.02	0	4.88
15			3.83	8.72	16.23	20.98	4.83	5	8.87
16			2.36	7.36	9.17	9.87	4.48	0.57	10.21
17			5.45	11.91	4.75	3.33	0.81	0.4	8.11
18			0.66	4.71	0.26	1.03	0.67	0.88	0.74
19			0	0	0	0	0.55	4.14	1.09
20							0.67	5.63	1.77
21							2.64	3.16	4.11
22							1.23	7.2	5.74
23							1.72	11.69	0
24							0.55	0.17	0
25							0	0	0

Tablica A.13. Projektni pljusak povratnog perioda **5 godina** (VGP 20%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju
Ploče, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	52.49	62.78	68.69	75.94	81.17	88.45	93.26	100.86	109.76
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.72	0.5	0.38	0.14	0.29	0.34	1.41	1.47	1.94
2	3.45	8.8	3.27	0.88	0.22	1.8	7.11	6.66	9.8
3	3.89	5.57	2.8	0.55	4.16	3.14	2.87	3.2	0.04
4	3.01	2.67	0.98	0	5.76	0.75	0.41	1.62	2.74
5	8.54	4.12	4.08	2.11	17.4	0.59	0.24	5.96	5.54
6	6.96	12.09	7.85	5.28	13.49	2.73	1.11	0	14.04
7	10.13	14.83	10.4	3.82	6.72	5.13	6.01	0.79	20.7
8	6.35	6.66	6.17	1.42	2.21	21.41	11.69	2.48	4.03
9	1.47	2.01	5.56	6.06	1.15	13.62	3.57	2.93	0.25
10	4.88	3.25	12.83	17	0.89	7.31	1.7	2.24	1.09
11	2.09	1.42	1.23	12.5	1.95	3.89	0.74	1.18	8.44
12	1	0.87	0.75	2.97	0.63	3.54	2.57	3.48	4.9
13	0	0	1.88	2.59	1.46	4.24	9.88	0.38	5.88
14			1.64	7.53	2.53	1.32	5.13	7.89	7.26
15			2.26	8.7	3.43	2.18	8.21	0.19	0.82
16			4.61	3.37	8.43	5.76	18.94	5.35	0.34
17			1.43	0.72	10.01	9.18	0.29	10.4	4.48
18			0.58	0.29	0.44	1.54	0.08	16.09	3.66
19			0	0	0	0	0.02	12.24	6.59
20							2.01	1.85	3.09
21							4.26	4.45	2.13
22							3.07	4.82	1.43
23							1.37	4.21	0.56
24							0.59	0.96	0
25							0	0	0

Tablica A.14. Projektni pljusak povratnog perioda **25 godina** (VGP 4%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju
Ploče, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	71.98	87.61	99.27	109.77	112.73	118.72	126.05	137.34	150.38
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.39	1.6	0.54	0.23	3.92	0.45	1.96	1.17	2.66
2	3.57	5.07	2.45	1.97	0.6	2.41	10.7	15.04	5.07
3	7.19	7.17	0.74	1.53	8.93	4.21	2.36	1.79	0.19
4	4.09	2.06	1.11	0.86	21.24	1.01	1.91	2.03	3.54
5	6	3.66	7.64	8.83	29.16	0.79	0.11	2.47	15.06
6	7.96	12.98	14.69	5.38	14.5	3.66	0.95	5.37	6.74
7	4.97	20.71	9.57	12.44	12.1	6.88	15.84	0.13	1.41
8	10.38	17.29	3.87	6.71	0.27	28.74	26.29	2.88	3.15
9	12.31	9.18	3.18	17	0.07	18.28	6.68	0.46	8.46
10	9.16	4.2	4.65	24.05	2.1	9.81	2.66	0	2.18
11	2.91	2.71	2.83	13.98	1.29	5.22	0.47	0.67	13.03
12	2.06	0.98	1.59	3.36	1.78	4.75	1.16	4.9	10.08
13	0	0	6.45	1.21	0.39	5.69	9.21	3.58	5.73
14			1.81	0.57	0.11	1.77	3.96	27.83	32.51
15			5.33	2.51	0.87	2.93	5.64	10.74	0.45
16			19.83	4.16	5.21	7.73	13.09	8.95	0.92
17			12.59	4.85	7.42	12.32	1.6	19.5	0.38
18			0.38	0.09	2.75	2.07	0.7	4.01	0.04
19			0	0	0	0	0.03	1.47	0.64
20							4.21	3.33	3.91
21							7.84	7.9	21.41
22							4.86	6.36	4.42
23							3.45	5.95	7.3
24							0.37	0.82	1.11
25							0	0	0

Tablica A.15. Projektni pljusak povratnog perioda **100 godina** (VGP 1%) za trajanja 60 min do 24 h za postaju **Ploče**, količina oborine u (mm)

Trajanje pljusk (min)	60	120	180	270	360	540	720	1080	1440
Količina oborine (mm)	87.21	109.19	128.79	142.87	140.99	143.41	154.01	169.35	185.29
Vremenski korak (min)	5	10	10	15	20	30	30	45	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1.68	1.99	0.7	0.3	4.91	0.54	2.39	1.44	3.27
2	4.32	6.32	3.18	2.56	0.75	2.92	13.07	18.55	6.25
3	8.72	8.93	0.97	1.99	11.17	5.09	2.89	2.2	0.24
4	4.96	2.57	1.44	1.12	26.57	1.21	2.33	2.5	4.36
5	7.27	4.56	9.91	11.5	36.47	0.95	0.13	3.05	18.55
6	9.64	16.18	19.06	7.01	18.14	4.43	1.17	6.62	8.31
7	6.02	25.81	12.42	16.2	15.14	8.31	19.35	0.16	1.74
8	12.57	21.55	5.02	8.73	0.34	34.72	32.12	3.55	3.88
9	14.92	11.45	4.12	22.13	0.09	22.09	8.16	0.57	10.42
10	11.09	5.23	6.03	31.3	2.63	11.85	3.26	0	2.69
11	3.52	3.38	3.67	18.2	1.61	6.31	0.58	0.83	16.06
12	2.49	1.22	2.06	4.38	2.22	5.74	1.41	6.04	12.42
13	0	0	8.37	1.58	0.48	6.87	11.25	4.41	7.06
14			2.35	0.74	0.14	2.13	4.84	34.31	40.06
15			6.92	3.27	1.09	3.54	6.9	13.24	0.56
16			25.73	5.42	6.52	9.33	15.99	11.04	1.13
17			16.34	6.32	9.28	14.88	1.95	24.04	0.47
18			0.5	0.12	3.44	2.5	0.86	4.94	0.04
19			0	0	0	0	0.03	1.81	0.79
20							5.14	4.11	4.82
21							9.58	9.74	26.38
22							5.93	7.85	5.44
23							4.22	7.34	8.99
24							0.45	1.01	1.36
25							0	0	0

Prilog B: Tablice vjerojatnosti pojave maksimalnih količina oborine

Tablica B.1. Procjene maksimalnih količina oborine za različita povratna razdoblja T (R_T - mm) te odgovarajuće donje (IP95d, u mm) i gornje granice (IP95g, u mm) 95%-tnih intervala pouzdanosti pomoću razdiobe GEV, za trajanja od 10 minuta do 5 dana na postaji Poreč.

Trajanje	IP95d	2	IP95d	IP95d	5	IP95d	IP95d	10	IP95d	IP95d	25	IP95d	IP95d	50	IP95d	IP95d	100	IP95d
10 min	10.8	12.0	13.7	15.6	18.4	19.4	16.6	20.4	26.2	32.6	28.8	41.1	7.6	32.9	58.2	-1.6	40.1	82.1
20 min	16.9	18.3	21.7	23.8	26.0	30.1	24.4	31.3	38.2	25.1	39.2	53.4	23.2	46.1	60.0	18.8	53.9	89.0
30 min	21.1	23.7	26.3	26.7	31.3	36.0	29.7	37.5	45.2	31.5	46.7	62.0	30.8	34.8	79.1	27.8	64.2	100.9
40 min	23.7	26.3	28.0	29.1	34.5	39.3	31.6	42.0	52.3	31.2	54.7	78.3	26.5	67.4	108.3	15.9	83.5	151.0
50 min	26.4	29.4	32.3	32.8	38.0	43.3	36.2	44.9	53.7	38.1	55.4	72.8	27.2	84.5	91.7	33.7	74.9	116.2
60 min	28.1	31.4	34.8	35.4	41.0	46.6	38.3	48.2	57.1	42.1	58.6	75.1	42.0	67.3	92.6	38.8	76.9	114.0
2h	33.0	37.3	41.6	42.1	49.3	56.8	46.7	59.1	71.6	48.3	73.6	99.0	45.4	86.3	127.1	38.2	100.6	163.1
4h	39.2	44.4	49.5	50.5	58.5	66.3	56.6	68.7	80.7	61.0	82.5	104.0	61.4	93.5	125.7	59.1	105.2	151.3
6h	42.7	48.2	53.8	54.9	63.2	71.5	61.5	73.7	85.8	66.5	87.5	108.4	67.4	96.2	129.0	65.9	109.3	152.6
12h	50.3	56.2	62.1	63.4	72.0	80.6	70.4	82.7	95.0	75.7	96.4	117.0	77.0	106.7	136.3	76.1	117.2	158.3
18h	54.5	61.6	68.7	70.0	79.2	88.5	78.1	90.3	102.5	80.2	103.5	122.9	85.7	112.8	139.9	85.1	121.6	158.1
24h	57.5	65.5	73.6	75.5	85.8	97.1	82.8	99.8	116.7	86.6	108.1	149.6	84.3	112.1	180.0	77.7	146.5	213.3
1d	51.1	57.4	63.6	66.5	76.1	85.7	75.2	89.2	103.2	82.7	106.5	130.4	85.5	110.0	154.6	85.8	134.0	182.2
2d	69.3	77.2	85.1	88.4	98.1	107.8	96.3	110.4	127.6	106.4	124.5	142.6	109.4	133.3	158.3	130.4	142.4	174.4
3d	75.6	84.6	93.7	97.3	109.8	122.3	108.9	126.4	143.9	117.6	147.1	176.6	119.9	162.4	204.9	138.8	177.5	236.1
4d	82.5	91.4	100.4	104.1	118.7	129.3	115.7	133.4	151.2	124.7	154.8	185.5	127.2	170.1	213.6	149.2	185.9	255.5
5d	89.5	99.4	109.4	113.5	126.0	138.5	126.1	141.9	157.8	136.3	160.4	184.4	140.2	177.9	205.6	141.4	184.5	227.5

Tablica B.2. Procjene maksimalnih količina oborine za različita povratna razdoblja T (R_i - mm) te odgovarajuće donje (IP95d, u mm) i gornje granice (IP95g, u mm) 95%-tnih intervala pouzdanosti pomoću razdiobe GEV, za trajanja od 10 minuta do 5 dana na postaji Gospić.

Trajanje	IP95d	2	IP95d	IP95d	5	IP95d	IP95d	10	IP95d	IP95d	25	IP95d	IP95d	50	IP95d	IP95d	100	IP95d
10 min	10.8	11.5	12.6	13.7	15.1	16.5	17.2	18.9	17.0	18.5	21.9	17.7	21.0	24.2	18.2	22.1	26.5	
20 min	15.8	17.5	19.2	20.9	23.2	25.6	23.7	26.9	30.1	26.5	31.4	36.4	27.8	34.7	41.5	28.7	37.9	47.0
30 min	19.2	21.2	23.3	25.4	28.5	31.6	29.0	33.4	37.9	32.5	39.9	47.3	34.2	44.8	55.4	35.1	49.8	64.5
40 min	21.8	24.1	26.5	28.9	32.5	36.1	33.0	38.3	43.6	37.2	46.1	55.0	39.3	52.2	65.1	40.6	56.5	76.5
50 min	23.6	26.1	28.5	31.0	34.9	38.7	35.5	41.1	46.7	39.9	48.5	58.1	42.5	56.1	70.0	43.6	63.1	82.5
60 min	25.0	27.5	30.0	32.6	36.5	40.4	37.1	42.9	48.6	41.8	51.5	61.1	44.5	58.2	71.1	45.9	65.1	84.7
2 h	55.2	60.0	64.9	70.0	77.9	85.8	79.0	90.9	102.8	88.4	108.9	129.3	93.6	123.3	153.1	96.9	128.8	180.7
4 h	62.9	68.7	74.5	80.4	89.6	98.9	90.9	104.7	118.6	101.3	125.4	149.4	106.7	141.9	177.2	109.6	150.4	209.2
6 h	31.0	35.9	36.7	39.8	44.1	48.8	45.2	51.7	58.2	50.8	61.5	71.1	54.5	64.2	84.2	54.8	77.2	97.7
12 h	66.0	73.4	80.2	86.8	97.8	108.9	98.7	110.1	133.3	109.5	140.8	174.2	113.7	163.1	212.5	113.9	186.1	258.3
18 h	38.9	42.4	46.0	49.6	55.4	61.1	56.1	65.1	74.0	62.8	78.6	94.5	65.8	80.6	113.5	67.3	101.8	125.9
24 h	44.2	48.0	51.8	55.6	62.4	68.2	62.8	73.8	85.1	69.0	91.0	113.0	71.2	105.9	140.7	70.5	123.0	175.5
1 d	66.2	71.8	77.4	83.5	91.5	99.5	83.4	104.6	115.7	102.8	123.1	139.4	107.3	133.3	159.3	109.9	145.5	181.0
2 d	87.7	94.7	101.6	109.0	119.5	129.9	121.4	136.8	152.1	132.7	159.9	187.1	137.6	177.9	218.2	139.4	196.5	253.6
3 d	105.5	113.2	120.9	129.7	141.0	152.1	143.9	159.6	175.4	158.4	189.5	208.6	166.1	201.4	236.4	171.8	219.3	266.8
4 d	117.8	126.1	134.3	144.1	156.2	168.1	159.8	176.9	193.0	175.7	202.7	227.7	185.0	220.7	258.3	191.9	239.3	282.1
5 d	130.9	140.7	150.5	161.5	175.2	188.9	179.0	197.4	215.8	196.3	224.8	252.2	205.5	244.6	283.6	211.8	263.8	315.8

Tablica B.3. Procjene maksimalnih količina oborine za različitva povratna razdoblja T (R_i - mm) te odgovarajuće donje (IP95d, u mm) i gornje granice (IP95g, u mm) 95%-tnih intervala pouzdanosti pomoću razdiobe GEV, za trajanja od 10 minuta do 5 dana na postaji Zadar.

Trajanje	IP95d	2	IP95g	IP95d	5	IP95g	IP95d	10	IP95g	IP95d	25	IP95g	IP95d	50	IP95g	IP95d	100	IP95g
10 min	12.5	14.0	13.4	16.8	19.3	21.8	19.4	23.5	27.7	21.5	29.8	38.0	22.1	25.1	46.1	23.5	41.2	60.8
20 min	20.0	22.2	24.6	26.7	30.2	33.7	30.5	35.8	41.1	33.8	43.5	52.2	33.0	40.0	64.2	25.1	56.0	77.0
30 min	25.2	28.2	31.2	34.0	38.4	42.7	39.0	45.3	51.6	43.5	54.2	65.0	45.5	61.1	76.7	46.3	68.0	89.7
40 min	29.2	32.9	36.7	40.0	45.1	50.2	45.9	53.1	60.2	51.0	63.0	75.1	53.0	70.4	87.7	53.6	77.6	103.6
50 min	32.1	36.5	40.9	44.4	50.2	56.0	51.1	59.1	67.2	56.5	70.2	83.9	58.4	78.2	98.0	58.6	86.1	113.5
60 min	34.3	39.1	43.9	47.8	54.4	60.8	55.4	64.3	73.2	61.6	75.6	91.5	63.9	85.0	107.2	64.4	94.3	124.2
2 h	39.9	45.8	51.7	57.5	67.0	76.5	66.1	82.4	96.8	78.5	103.8	119.1	83.5	111.1	158.7	83.8	130.5	193.2
4 h	46.0	52.7	59.3	66.5	78.9	91.2	79.9	99.9	119.9	98.9	131.7	148.5	103.6	130.6	215.7	109.1	191.7	274.2
6 h	50.6	57.3	64.0	71.6	85.7	98.8	85.6	108.9	132.0	102.4	140.7	161.1	112.2	141.8	251.4	138.4	223.9	329.4
12 h	54.9	62.0	69.1	76.4	91.7	107.1	90.7	119.2	147.7	104.6	140.3	177.9	108.5	211.1	317.6	152.8	272.7	442.7
18 h	59.7	66.5	73.3	80.5	94.9	109.3	94.6	120.4	146.1	109.6	142.9	176.1	110.2	204.0	301.8	156.4	255.4	394.4
24 h	63.1	70.2	77.3	84.8	99.8	114.8	99.5	126.4	152.3	115.0	150.7	176.5	121.8	212.7	305.6	172.6	267.3	412.9
1 d	59.6	67.0	74.5	81.6	98.0	112.4	90.5	124.0	148.5	116.9	164.9	212.8	126.2	202.3	278.4	130.4	246.6	362.9
2 d	72.5	80.4	88.3	96.0	117.6	129.2	115.1	141.8	168.6	133.9	186.7	239.6	149.6	228.3	312.7	149.2	278.0	407.6
3 d	79.5	88.0	96.9	107.1	123.0	138.9	125.2	151.3	177.4	145.4	194.3	243.3	156.8	232.5	308.2	163.7	276.5	389.4
4 d	86.1	95.1	104.1	115.7	131.5	147.8	134.3	160.3	186.4	155.4	203.1	250.7	167.8	240.1	312.6	176.1	282.0	388.0
5 d	91.6	102.9	112.2	125.5	143.5	161.4	146.6	174.9	203.3	169.2	220.8	272.3	181.8	258.8	327.8	189.6	303.4	417.3

Tablica B.4. Procjene maksimalnih količina oborine za različita povratna razdoblja T (R_i - mm) te odgovarajuće donje (IP95d, u mm) i gornje granice (IP95g, u mm) 95%-tnih intervala pouzdanosti pomoću razdiobe GEV, za trajanja od 10 minuta do 5 dana na postaji Split-Marjan.

Trajanje	IP95d	3	IP95g	IP95d	5	IP95g	IP95d	10	IP95g	IP95d	25	IP95g	IP95d	50	IP95g	IP95d	100	IP95g
10 min	9.4	10.5	11.6	12.7	14.4	16.1	17.7	19.5	21.5	23.6	25.6	27.8	29.4	31.4	33.4	35.0	37.1	38.5
20 min	15.6	17.2	18.9	20.5	22.7	24.8	27.3	29.0	31.0	33.0	35.0	37.0	39.1	41.0	42.7	44.0	46.6	48.0
30 min	19.7	21.7	23.8	25.8	28.3	30.7	33.0	35.0	37.1	39.1	41.1	43.1	45.1	47.0	48.7	50.0	52.5	54.0
40 min	22.6	25.0	27.3	29.6	32.4	35.2	38.2	40.5	43.0	45.5	48.0	50.5	53.0	55.0	56.7	58.0	60.5	62.0
50 min	24.1	26.8	29.5	31.9	35.2	38.5	40.1	44.1	47.8	51.5	55.0	58.5	61.0	63.0	64.7	66.0	68.5	70.0
60 min	25.2	28.1	31.0	33.7	37.4	41.1	44.2	48.0	51.7	55.4	59.0	62.7	66.0	68.0	70.0	72.0	74.0	76.0
2 h	29.0	32.4	36.1	39.7	45.9	52.0	58.2	66.1	74.0	81.9	90.0	98.0	106.0	114.0	121.0	128.0	136.0	144.0
4 h	34.0	38.0	42.0	46.2	53.9	61.5	70.0	80.0	91.0	102.0	112.0	122.0	132.0	142.0	150.0	159.0	168.0	177.0
6 h	36.7	41.0	45.4	49.7	58.2	66.7	77.0	88.1	100.0	111.0	121.0	131.0	141.0	150.0	159.0	168.0	177.0	186.0
12 h	43.4	47.9	52.4	56.7	66.0	75.3	85.0	95.0	105.0	115.0	125.0	135.0	145.0	155.0	165.0	175.0	185.0	195.0
18 h	49.8	54.6	59.3	64.1	73.0	82.0	91.0	101.0	111.0	121.0	131.0	141.0	151.0	161.0	171.0	181.0	191.0	201.0
24 h	54.2	59.5	64.7	70.1	78.9	87.7	96.8	105.5	114.2	123.0	131.0	140.0	149.0	158.0	167.0	176.0	185.0	194.0
1 d	51.7	56.5	61.4	67.3	75.4	83.5	91.4	99.4	107.4	115.0	123.0	130.0	138.0	146.0	154.0	162.0	170.0	178.0
2 d	65.2	70.9	76.6	83.2	92.6	102.0	111.2	120.8	129.3	137.5	145.5	153.5	161.5	169.0	177.0	185.0	193.0	201.0
3 d	72.2	77.9	83.7	90.7	100.1	109.5	118.1	126.1	134.1	141.0	148.0	155.0	162.0	169.0	176.0	183.0	190.0	197.0
4 d	78.6	84.4	90.2	97.5	106.8	116.2	124.8	132.8	140.8	147.0	153.0	159.0	165.0	171.0	177.0	183.0	189.0	195.0
5 d	83.2	89.2	95.2	102.8	112.3	121.8	129.8	137.1	144.1	150.0	156.0	162.0	168.0	174.0	180.0	186.0	192.0	198.0

Tablica B.5. Procjene maksimalnih količina oborine za različita povratna razdoblja T (RT - mm) te odgovarajuće donje (IP95d, u mm) i gornje granice (IP95g, u mm) 95%-tnih intervala pouzdanosti pomoću razdiobe GEV, za trajanja od 10 minuta do 5 dana na postaji Ploče.

Trajanje	IP95d	2	IP95d	IP95d	5	IP95d	IP95d	10	IP95d	IP95d	25	IP95d	50	IP95d	IP95d	100	IP95d	
10 min	13.2	16.5	15.9	17.1	18.9	20.8	19.1	21.7	24.2	21.4	25.2	28.9	22.5	27.6	32.7	23.1	30.0	36.8
20 min	21.2	23.3	25.5	27.3	30.1	32.9	30.7	34.2	37.7	36.0	39.0	43.9	35.8	42.2	48.7	37.0	45.2	53.5
30 min	25.8	28.6	31.5	34.0	37.9	41.8	38.6	43.8	49.0	43.0	51.0	58.9	45.9	56.1	66.9	48.8	61.1	75.3
40 min	29.0	32.5	36.1	39.1	43.9	48.8	44.7	51.2	57.8	50.0	60.2	70.4	52.6	66.7	80.8	54.1	73.0	91.8
50 min	31.5	35.6	39.7	43.1	48.7	54.3	49.5	57.2	64.9	55.1	67.7	80.2	57.7	75.3	93.0	58.8	82.8	108.8
60 min	34.0	38.4	42.8	46.3	52.2	58.2	53.1	61.1	69.0	59.0	73.8	84.8	61.5	79.0	97.5	62.5	86.9	113.3
2 h	41.4	46.5	51.6	55.3	62.5	69.6	62.9	73.3	83.8	68.5	87.4	106.4	69.7	98.2	126.6	68.6	100.0	143.5
4 h	48.8	54.2	59.6	64.3	73.2	82.2	73.5	87.5	101.4	82.1	107.6	133.1	85.7	124.2	162.8	86.3	142.3	198.4
6 h	55.5	61.1	66.7	71.8	80.6	89.3	81.5	94.2	106.9	91.4	112.5	133.6	96.6	136.7	176.9	98.9	141.5	183.2
12 h	63.3	71.5	77.8	83.3	92.6	102.0	93.8	107.0	120.2	104.1	125.7	147.3	109.2	139.9	170.6	112.2	154.3	196.5
18 h	70.8	77.4	84.2	90.0	100.2	110.4	101.3	116.1	130.8	112.0	137.0	161.9	117.0	151.1	189.1	119.3	169.7	220.2
24 h	75.1	83.0	90.8	97.4	109.0	120.6	110.1	126.8	142.6	121.8	150.2	178.8	126.6	168.1	209.7	128.3	186.4	244.5
1 d	71.0	80.3	89.2	96.7	106.0	116.3	105.9	122.7	138.5	115.6	143.4	171.2	118.8	158.4	188.1	138.7	173.1	227.5
2 d	93.3	102.7	111.0	116.7	127.8	139.4	128.6	143.3	158.1	140.0	163.6	183.2	145.8	174.1	202.8	148.6	185.8	273.0
3 d	109.4	115.8	123.2	130.9	143.0	155.2	144.2	159.4	174.5	156.9	178.2	199.4	163.5	191.0	218.4	167.9	202.7	237.6
4 d	117.7	127.8	137.8	143.8	156.8	170.1	157.6	174.7	191.7	170.4	195.7	221.1	176.8	210.4	265.6	179.7	228.1	268.6
5 d	125.2	137.4	149.6	155.3	170.3	185.7	170.7	190.1	209.6	181.9	213.1	244.3	185.0	228.9	272.7	184.5	243.4	302.1

1.2. Assessment of the hazard and risk of flooding due to heavy precipitation in the pilot areas

Hydrological-hydraulic analyzes of floods due to short-term heavy rainfall for three different probabilities of occurrence were carried out in all six pilot areas (Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić and Biograd na Moru).

The aforementioned analyzes carried out by the Executor include the following:

- Analysis of pilot areas and historical recorded floods caused by heavy rainfall
- Elaboration of the methodology for the assessment of heavy precipitation runoff in urban areas
- Analysis and treatment of foundations for the implementation of hydrological-hydraulic analyzes (topographical, hydrological, geological, land cover, infrastructure)
- Creation of a mathematical model of precipitation runoff in a suitable computer program
- Implementation of simulations for all precipitation durations from 1 to 24 h and for three different probabilities

occurrence of precipitation in each pilot area

- Implementation of simulations for three selected historical events in each pilot area
- Proposed methodology and approach for the creation of flood hazard and risk maps due to heavy rainfall
- Collection of data from the local self-government on the recorded consequences of floods in the selected six pilot areas for the purpose of validating the model results
- Creation of flood hazard maps for three probabilities of heavy precipitation in the six selected pilot areas
- Defining the vulnerability of selected pilot areas
- Assessment of the risk of flooding in six selected pilot areas and determination of areas with a potentially significant risk of flooding
- Creation of flood risk maps due to heavy rainfall in six selected pilot areas
- Determination of critical points (so-called Hot-spots) with an unacceptably high risk of flooding due to heavy rainfall
- Defining possible locations for the implementation of blue-green infrastructure to mitigate the consequences of pluvial floods and hydraulic analysis of the effectiveness of the proposed solutions.

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 Universitarni 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 Kravica	
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 Kravica, 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 **VODOPRIVREDNO-PROJEKTI BIRO d.d.**
subjekata) **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 Bullć

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
Izvođače izradili:	SVEUČILIŠTE U RIJECI, GRAĐEVINSKI FAKULTET DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
Voditelj studije:	dr. sc. Nino Krvavica, dipl. ing. građ.
Suradnici:	
Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet (vodeći član)	dr. sc. Bojana Horvat, dipl. ing. građ. dr. sc. Nevenka Ožanić, dipl. ing. građ. dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ. Andrea Tadić, dipl. ing. građ. Tatjana Uzelac, dipl. ing. građ. (Starum d.o.o.)
Centar Građevinskog fakulteta d.o.o. (podizvoditelj)	dr. sc. Damir Bekić, dipl. ing. građ.
Državni hidrometeorološki zavod (član)	dr. sc. Ksenija Cindrić Kalin, dipl. ing. fiz. 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	Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Biograd na Moru	132
4.5	Pilot područje Split	134
4.5.1	Povijesne poplave na pilot području Split	134
4.5.2	Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Split.....	138
4.5.3	Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Split	142
4.5.4	Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Split	144
4.5.5	Kritični podslivovi na pilot području Split	150
4.5.6	Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Split.....	151
4.6	Pilot područje Metković	153
4.6.1	Povijesne poplave na pilot području Metković.....	153
4.6.2	Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Metković.....	158
4.6.3	Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Metković	165
4.6.4	Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Metković.....	167
4.6.5	Kritični podslivovi na pilot području Metković	169
4.6.6	Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Metković.....	169
4.7	Karte pluvijalnih poplava na pilot područjima	176
4.8	Hidraulička analiza učinkovitosti zelene infrastrukture	181
4.8.1	Ulazni parametri	182
4.8.2	Rezultati otjecanja s prirodnog sliva (prije izgradnje)	184
4.8.3	Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva	185
4.8.4	Rezultati otjecanja s urbaniziranog sliva s NBS sustavom.....	186
4.9	Smjernice za planiranje i projektiranje zelene infrastrukture.....	192
4.9.1	Uvodno o zelenoj infrastrukturi	192
4.9.2	Tipologija zelene infrastrukture	193
4.9.3	NBS sustavi odvodnje površinskih i oborinskih voda kao dio zelene infrastrukture ..	195
4.9.4	Smjernice za prostorne planere	206
4.9.5	Smjernice za projektante.....	207
4.9.6	Čuvanje i korištenje postojećih resursa.....	207

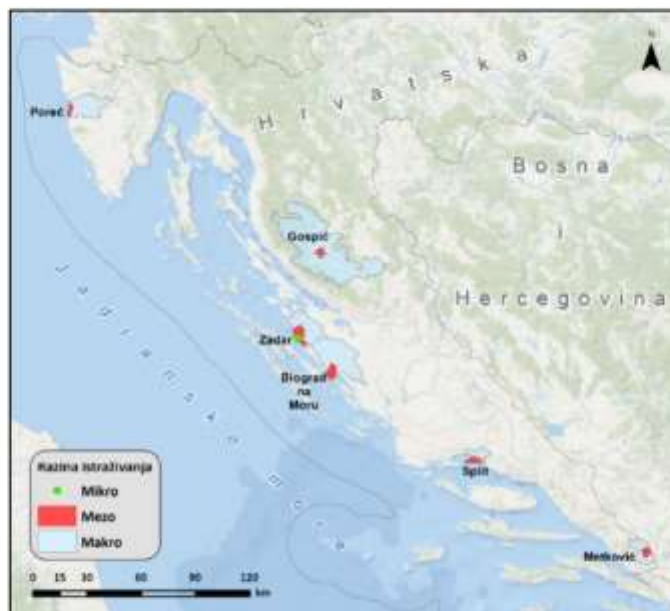
4.9.7	<i>Preporuke za izradu idejnih konceptijskih rješenja NBS sustava</i>	208
4.9.8	<i>Preporuke za proračun i dimenzioniranje NBS sustava</i>	210
4.9.9	<i>Preporuke za upravljanje NBS sustavom</i>	211
4.9.10	<i>Zaključno o zelenoj infrastrukturi i NBS sustavima</i>	211
5	Zaključci i preporuke	212
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 umanjena 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 višemodelnog 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-projektni 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 višemodetskog 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:

- poplava male vjerojatnosti ili scenariji ekstremnih događaja,
- poplave srednje vjerojatnosti te
- poplave velike vjerojatnosti.

Za svaki scenarij, karte opasnosti trebaju prikazati:

- opseg poplava,
- dubinu vode ili vodostaj,
- 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:

- okvirni broj potencijalno pogođenih stanovnika,
- 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 pojmova 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 kanalizacijski 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:

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

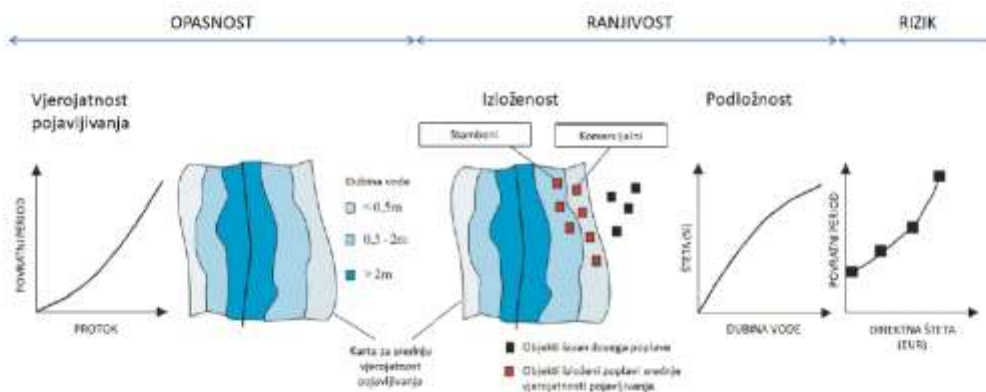
gdje su C potencijalno štetne posljedice, S je podložnost, V je vrijednost receptora, E je izloženost receptora (EXCIMAP, 2007.).

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).

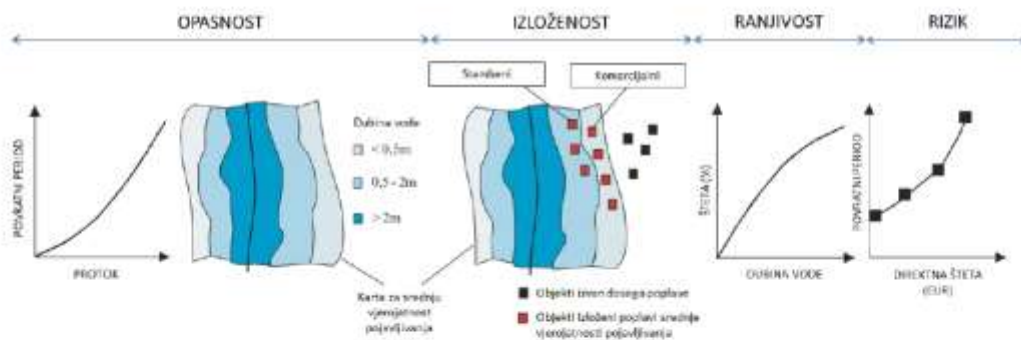
„**Ranjivost** je skup okolnosti određenih fizičkim, društvenim, ekonomskim i okolišnim čimbenicima ili procesima koji povećavaju podložnost pojedinca, zajednice, imovine ili sustava na štetne posljedice opasnosti“ (UNISDR, 2009).

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

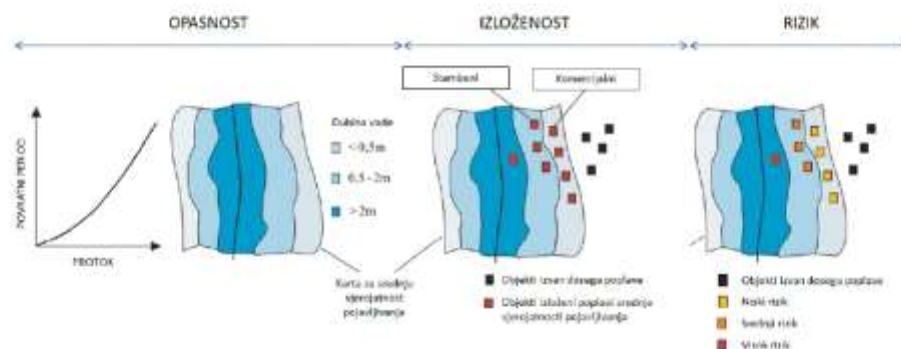


Slika 2.3.1 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti i ranjivosti (izloženost i podložnost), modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.

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.

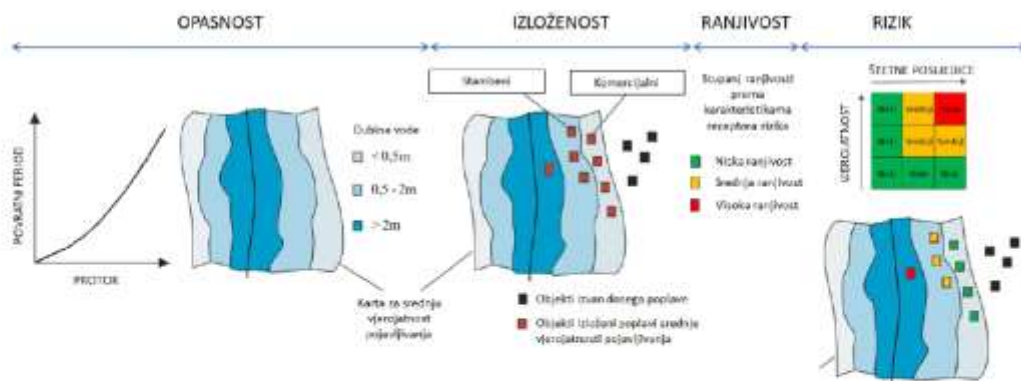


Slika 2.3.2 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti, modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.



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.

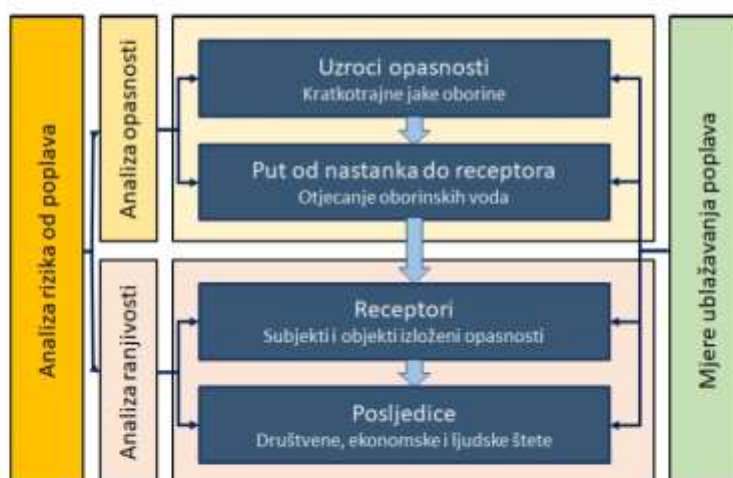


Slika 2.3.4 Koncept rizika od poplava kao kombinacije opasnosti, izloženosti i ranjivosti, uz matricu rizika. Rizik je izražen kvalitativno kao razina rizika.

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 	Identifikacija prioriteta 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.
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 	Procjena rizika primjenom prostornih analiza o smjerovima toka i zadržavanju oborinske vode te procjena šteta na temelju grube procjene po jedinici površine.
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 	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.

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):

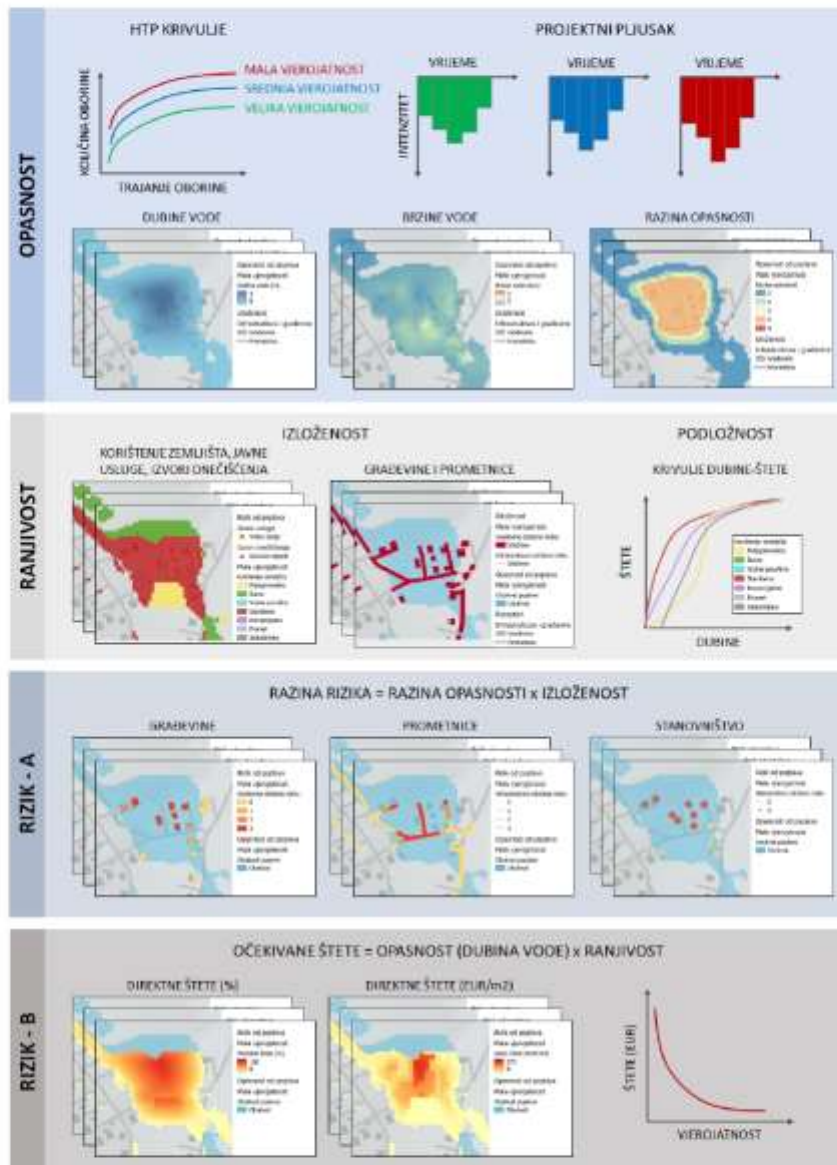
- **Razina 2:** Procjena ranjivosti pomoću GIS prostornih analiza uz identificiranje broja izloženih receptora (stanovništvo, građevine, duljina prometnica) i površine područja (namjena korištenja zemljišta).
- **Razina 3:** Kvantitativna analiza ranjivosti temeljena na monetarnim indikatorima maksimalnih 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.			X
Put	Hidrološko-hidrauličke nestacionarne simulacije površinskog otjecanja oborinskih voda. 2D numerički model (HEC-RAS 6.0) Indikatori: Dubina, brzina, protok.			X
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.		X	
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.			X



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

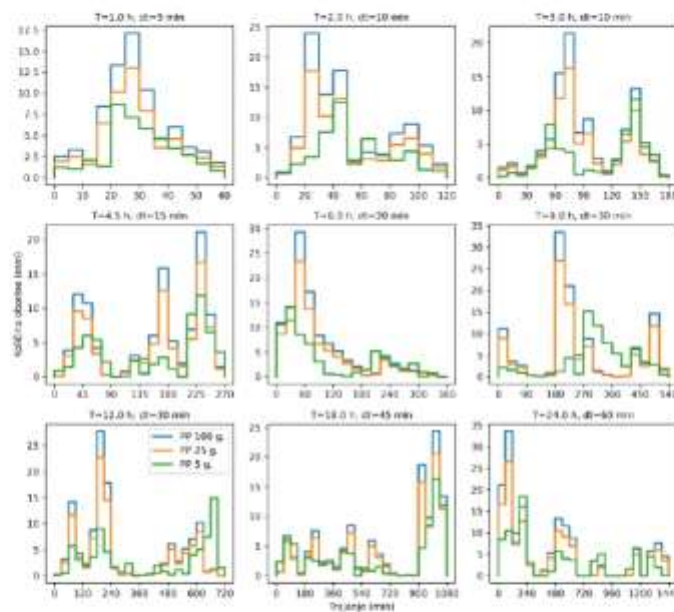
3.2 Analiza opasnosti od pluvijalnih poplava

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

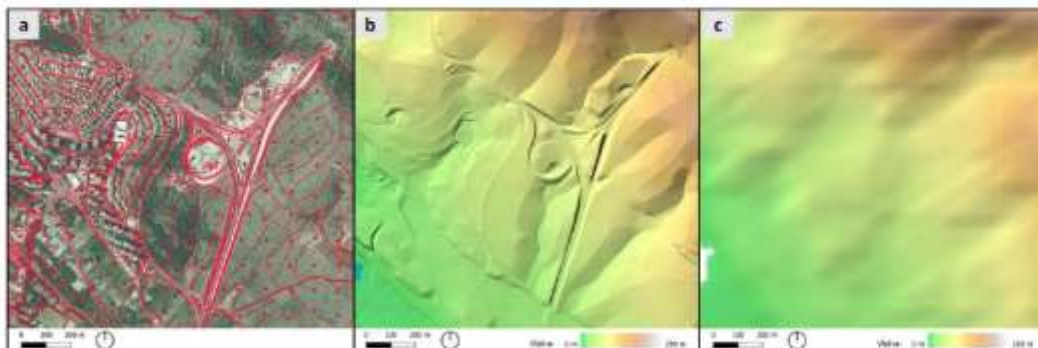
U svrhu provedbe hidrološko-hidrauličke analize otjecanja oborinskih voda, odnosno procjene opasnosti od poplava, Naručitelj je prikupio i pripremio osnovne prostorne podloge. Uz navedeno, prikupljene su i dodatne prostorne podloge te generirane sekundarne podloge. U Tablici 3.2.2. dan je pregled svih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

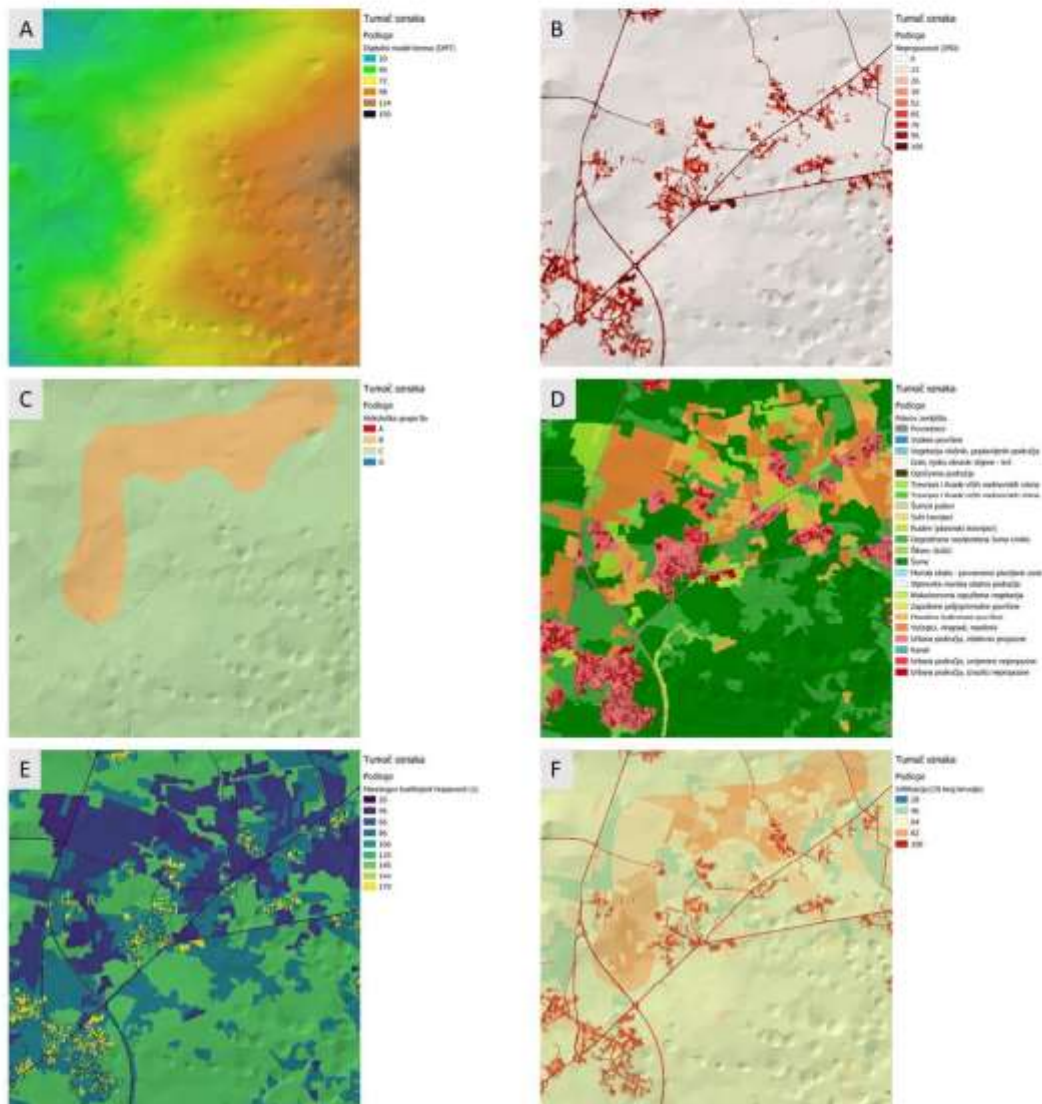
Klase pokrova zemljišta	Burek i sur. (2014)	USACE (2021)	NRCS, (2016)	Babister i Barton (2012)	Usvojeno
	n	n	n	n	n
URBANA PODRUČJA relativno propusne		0.08	0.1	0.13	0.099
URBANA PODRUČJA umjereno nepropusne		0.12	0.12	0.18	0.135
URBANA PODRUČJA izrazito nepropusne		0.15	0.15	0.29	0.179
PROMETNICE	0.02	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
VOCNIJACI, 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 PODRUČJA	0.2	0.045	0.03	0.04	0.047
TRAVNJACI I LIVADE NIZIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUČJA	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 PODRUČJA	0.05	0.03	0.025		0.032
STJENOVITA MORSKA OBALNA PODRUČJA	0.1	0.03	0.025	0.03	0.034
MORSKA OBALA - POVREMENO PLAVLIENE ZONE	0.05	0.03	0.025	0.03	0.032

VEGETACIJA VLAŽNIH, POPLAVLJENIH PODRUČJA	0.2	0.08	0.12	0.06	0.094
VODENE POVRŠINE	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 PODRUČJA relativno propusne	39	59	72	80
URBANA PODRUČJA umjereno nepropusne	68	80	87	90
URBANA PODRUČJA 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 POVRŠINE	67	80	87	91
MOZAIČNE KULTIVIRANE POVRŠINE	52	69	79	84
VOCNJACI, VIENOGRADI MASLINICI	28	52	67	75
SUME	38	62	75	81
TRAVNJACI I LIVADE VISIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUČJA	44	63	75	85
TRAVNJACI I LIVADE NIZIH NADMORSKIH VISINA - VLAZNIJA PODRUČJA	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 PODRUČJA	70	81	88	92
STJENOVITA MORSKA OBALNA PODRUČJA	70	81	88	92
MORSKA OBALA - POVREMENO PLAVLJENE ZONE	80	80	80	80
VEGETACIJA VLAŽNIH, POPLAVLJENIH PODRUČJA	86	86	86	86
VODENE POVRŠINE	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

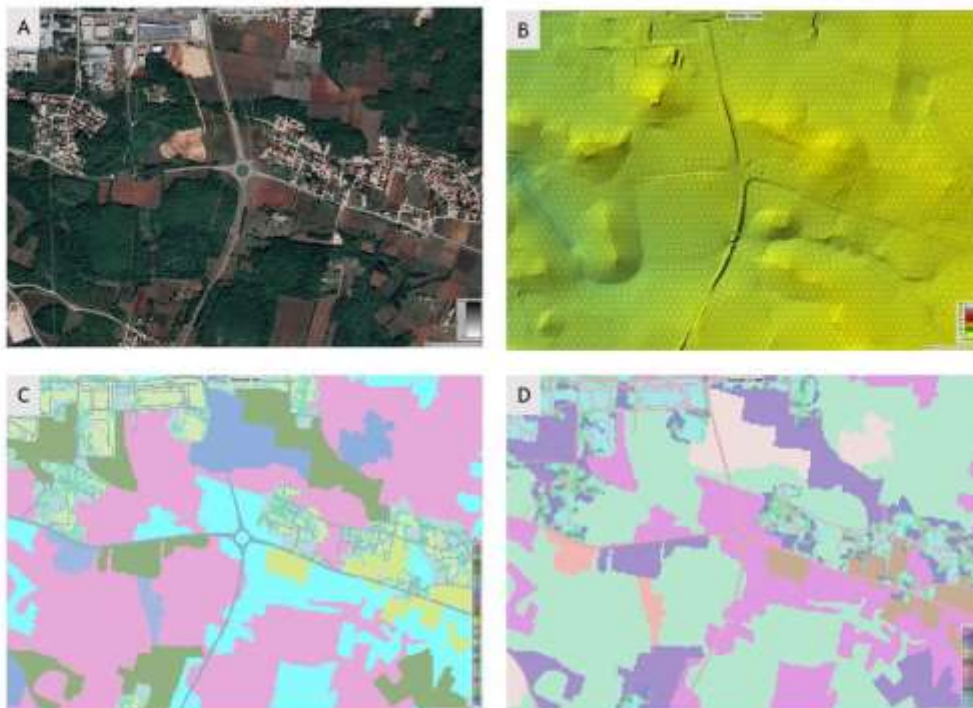
Analiza opasnosti od poplava zasniva se na hidrološko-hidrauličkim simulacijama površinskog otjecanja jakih oborina. U tu svrhu korišten je matematički model HEC-RAS 6.0 (Brunner, 2021), računalni program za hidrauličke proračune koji omogućava proračun jednodimenzijskog (1D) i dvodimenzijskog (2D) stacionarnog 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.

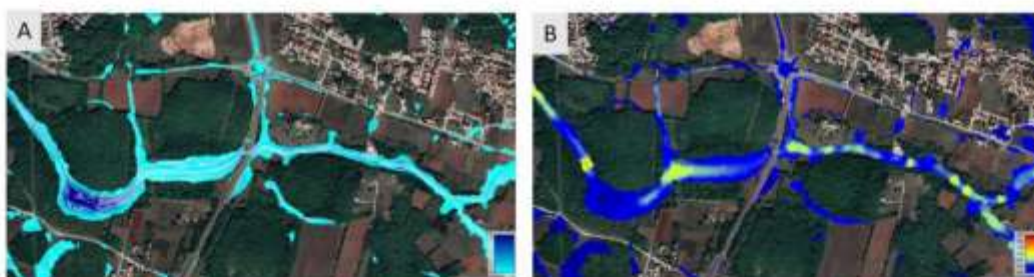
U modelu su definirana tri rubna uvjeta, dva na granicama domene (linijski rubni uvjeti) i jedan po cjelokupnoj površini domene (površinskih rubni uvjet):

- 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 (projektirani 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 dodatni 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.

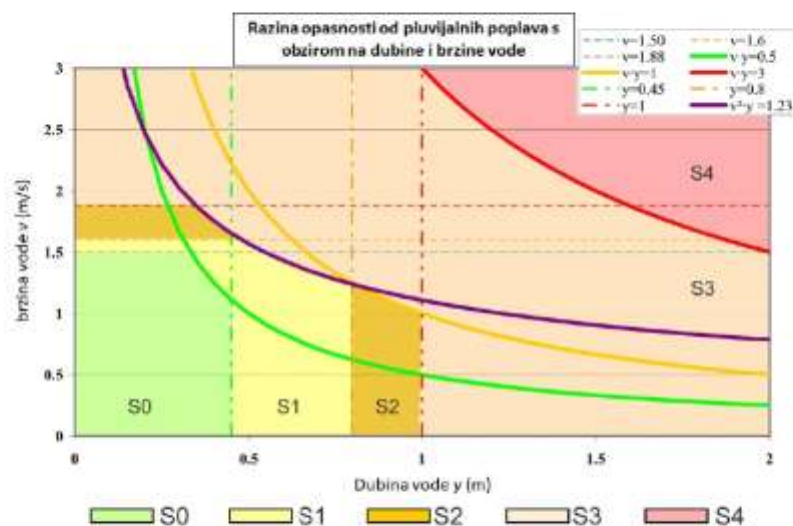
Procjena razine opasnosti u predmetnoj studiji provodi se prema SUFRI metodologiji, koja je proizašla kao rezultat europskog projekta *Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management* (Escuder-Bueno i sur., 2011). U okviru ovog projekta definirane su održive strategije upravljanju poplavnim rizicima, 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 (γv) 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 v_y (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 progarma),
 - 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.

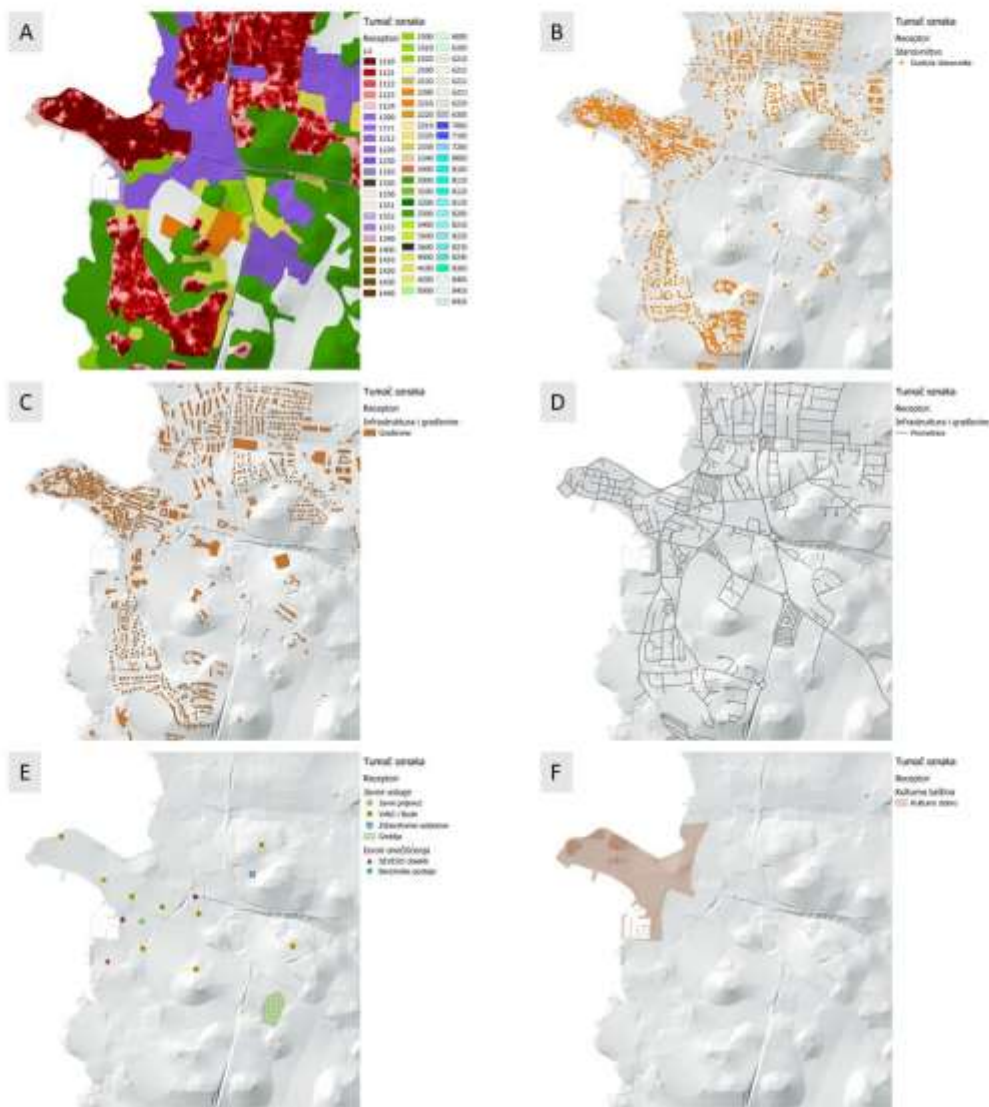
Prostorni podaci o korištenju i namjeni površina preuzeti su iz postojećih podataka dostupnih u okviru Copernicus programa:

- 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).

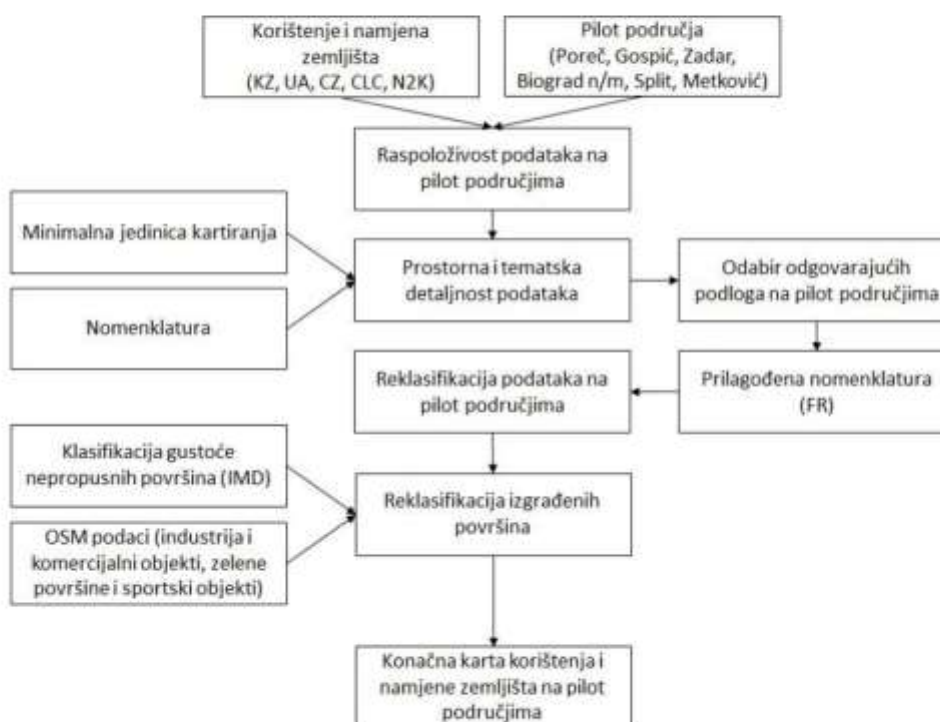
Kao što je ranije napomenuto, osim navedenih baza, analizirani su i korišteni i prostorni podaci o pokrovu i namjeni zemljišta (KZ) pripremljenim na Odjelu za geografiju Sveučilišta u Zadru. Preklapanjem preuzetih podloga s granicama pilot područja za svako je analizirano područje određen raspoloživi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

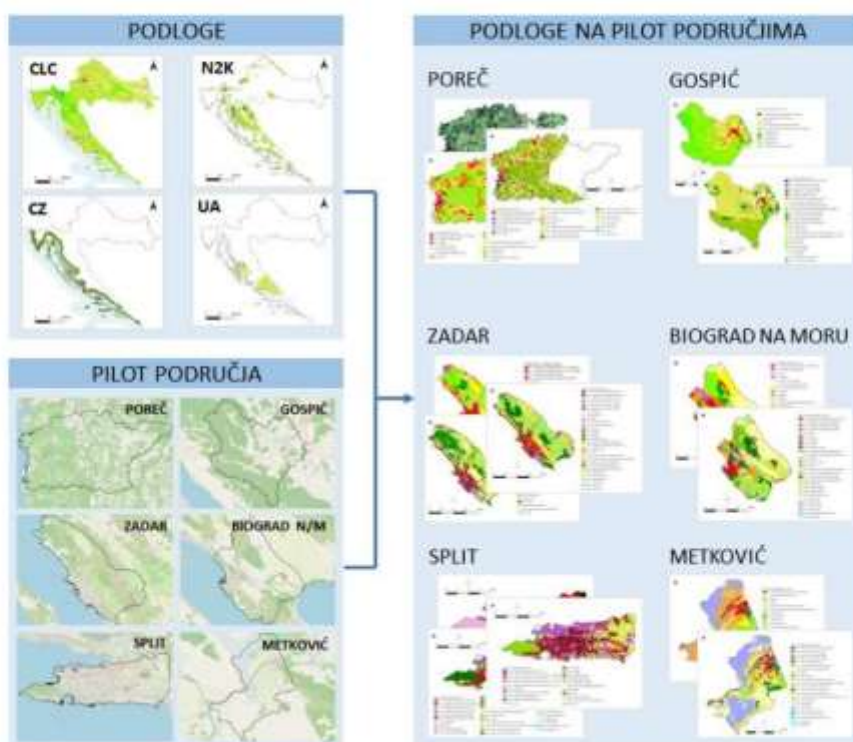


Slika 3.3.2 Metodološki koraci pripreme podataka o korištenju namjeni površina

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 različite 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 tlocrtna 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)

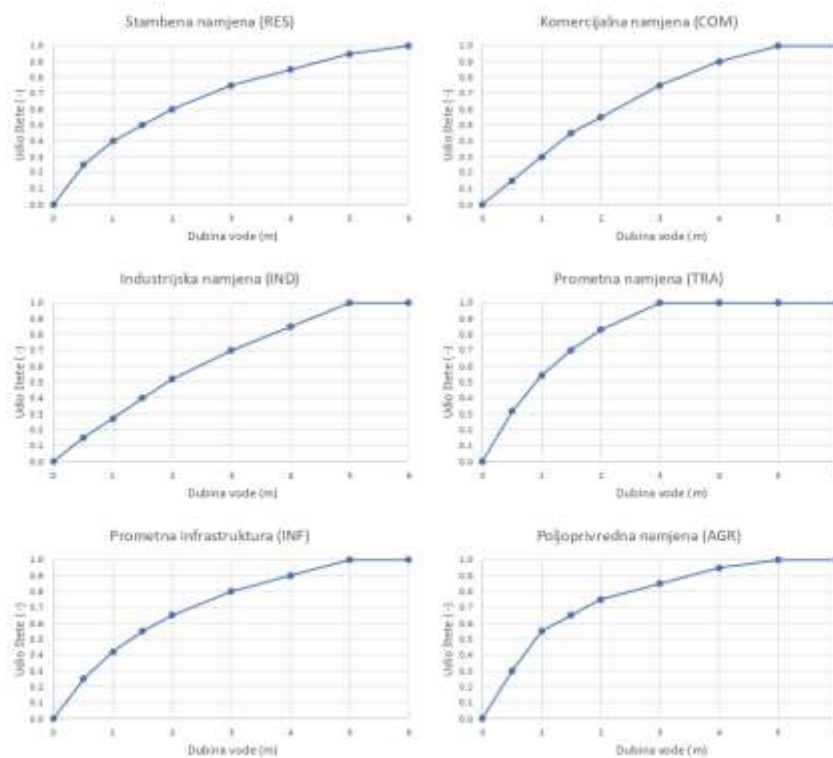
U Tablici 3.3.7 prikazane su maksimalne štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta s obzirom na jedinicu kartiranja. Naime, maksimalne štete se razlikuju ako se procjena šteta radi na razini izgrađenih objekata ili jedinice namjena korištenja zemljišta. U slučaju maksimalnih šteta za 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 jedinici površine.

Tablica 3.3.7 Maksimalne štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta.

Jedinica kartiranja	Izgrađeni objekti			Namjena korištenja zemljišta
	Maks. štete konstrukcije	Maks. štete sadržaja	Ukupna maks. šteta	Maks. šteta
	(EUR/m ²)	(EUR/m ²)	(EUR/m ²)	(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 korištenja 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

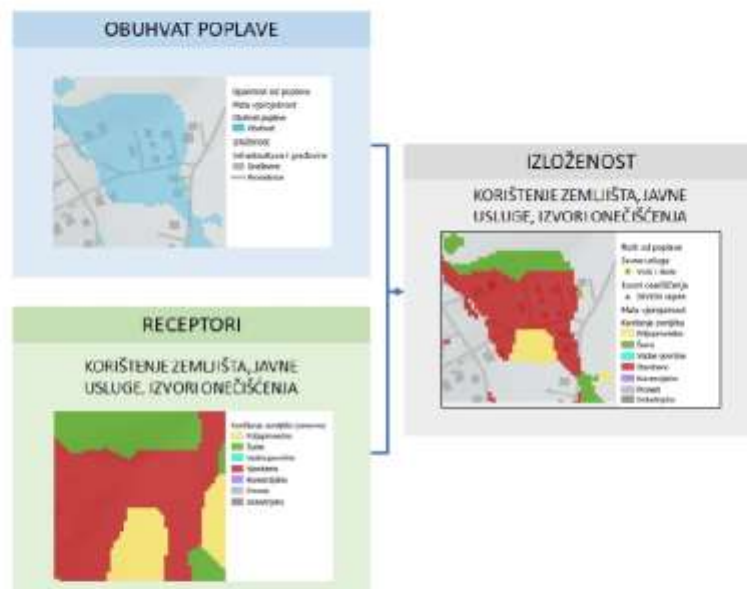
Analiza ranjivosti provedena je prvenstveno u svrhu procjene rizika, što će se detaljnije obrazložiti u sljedeća dva poglavlja. Međutim, u okviru analize ranjivosti provedena je i zasebna analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom je izloženost određena na osnovu prostorne raspodjele receptora i 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.

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

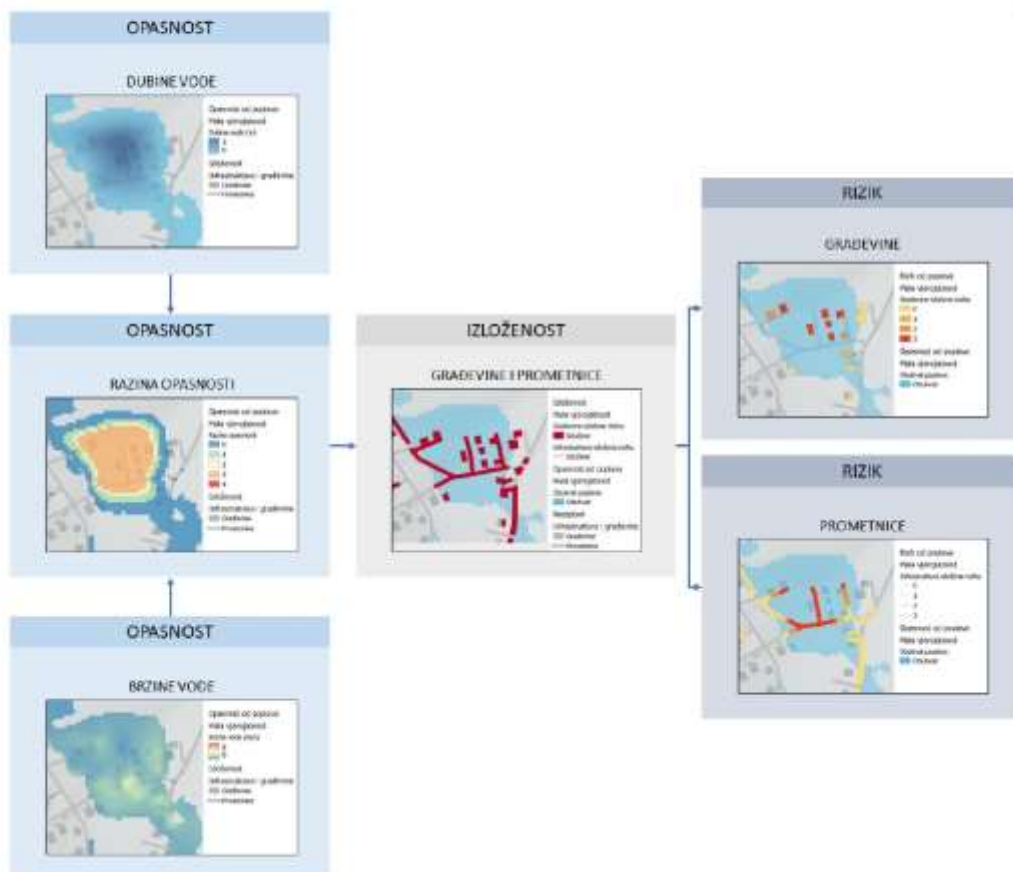
Razina rizika procijenjena je za sljedeće receptore:

- Građevine
- Prometnu infrastrukturu
- Stanovništvo

Razina rizika proizlazi direktno iz razine opasnosti od poplava za receptore koji su izloženi poplavi. Primjerice receptor koji je izložen umjerenom 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.

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

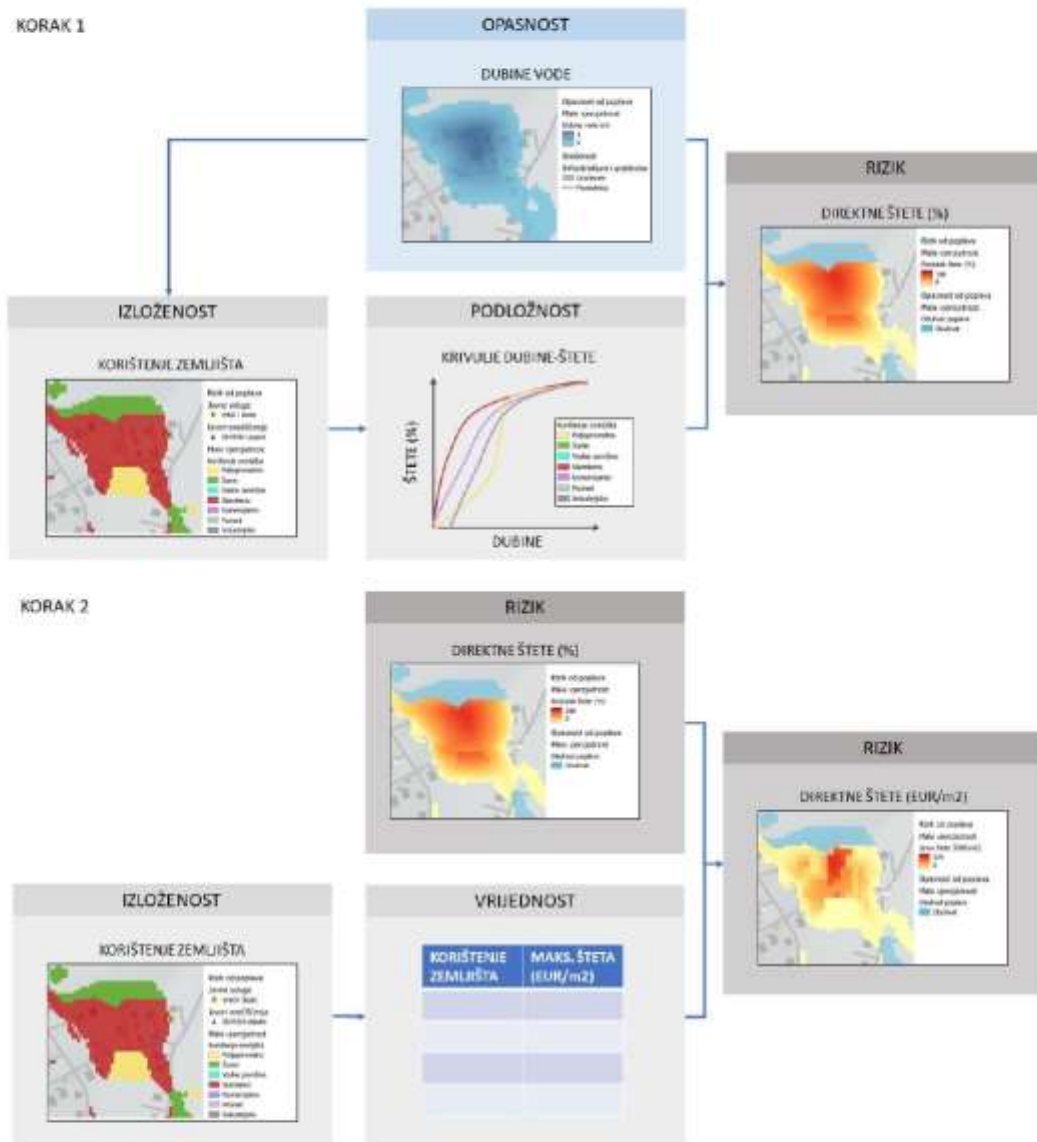
Pri čemu:

- 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.



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:

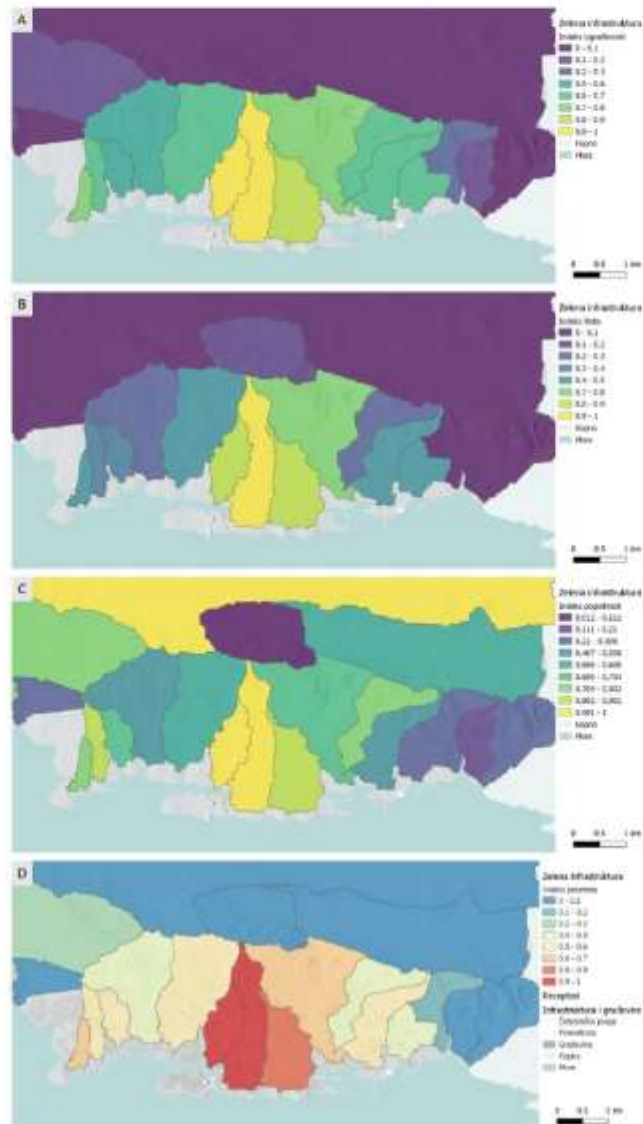
$$I_p = (I_{su} I_{IMD} I_{DMG})^{1/3} \quad (3.4.1)$$

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.

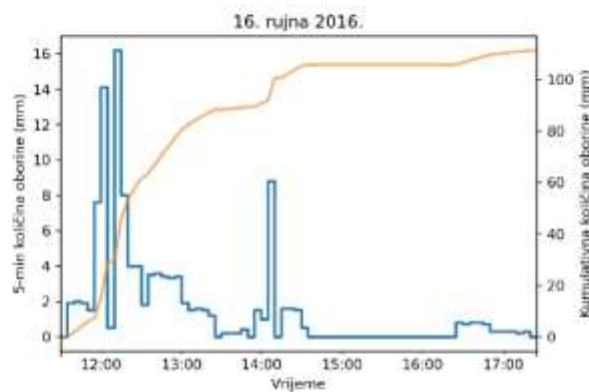
4 Rezultati procjene opasnosti i rizika od poplava na pilot područjima

4.1 Pilot područje Poreč

4.1.1 Povijesne poplave na pilot području Poreč

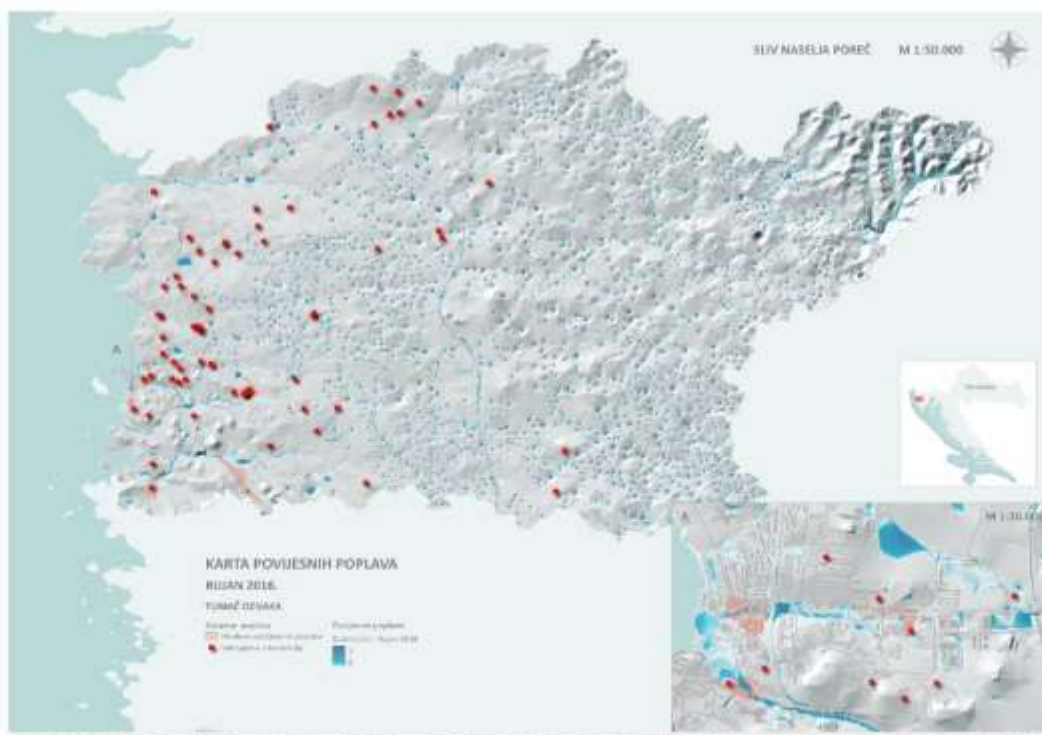
Analiza povijesnih poplava na pilot području Poreč provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnija događaja u razdoblju 1984.-2020., to 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 podrume, 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.



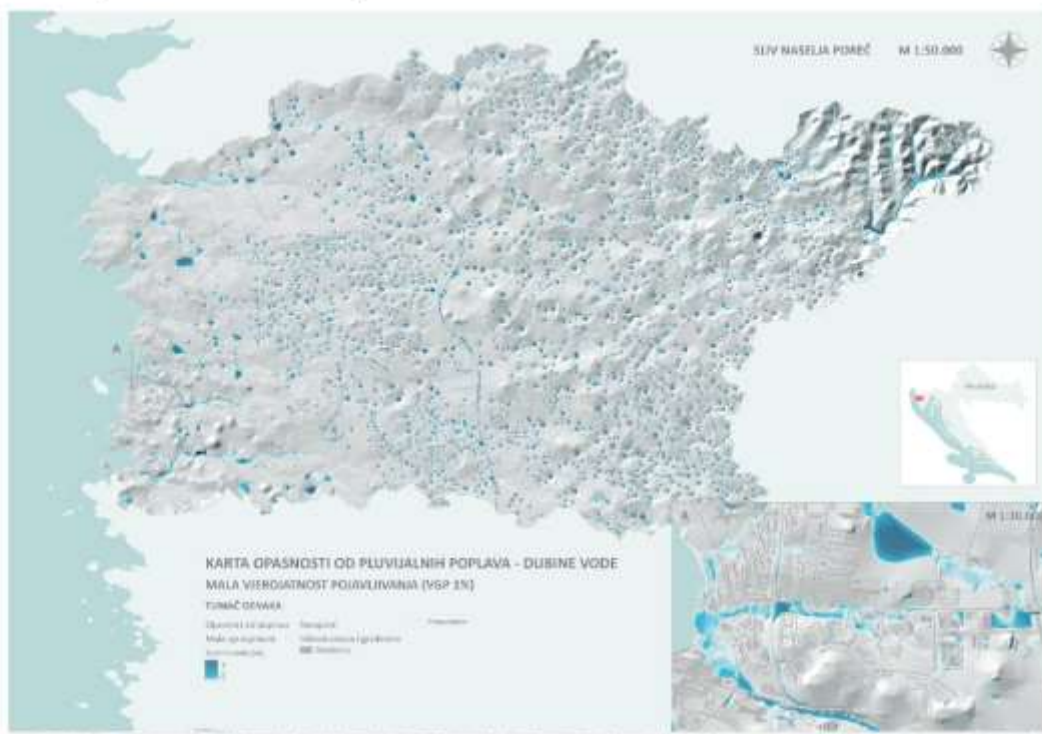
Slika 4.1.4 Zabilježene i modelirane poplave u centru naselja Poreč i komercijalnoj zoni (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

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 premašanja 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).

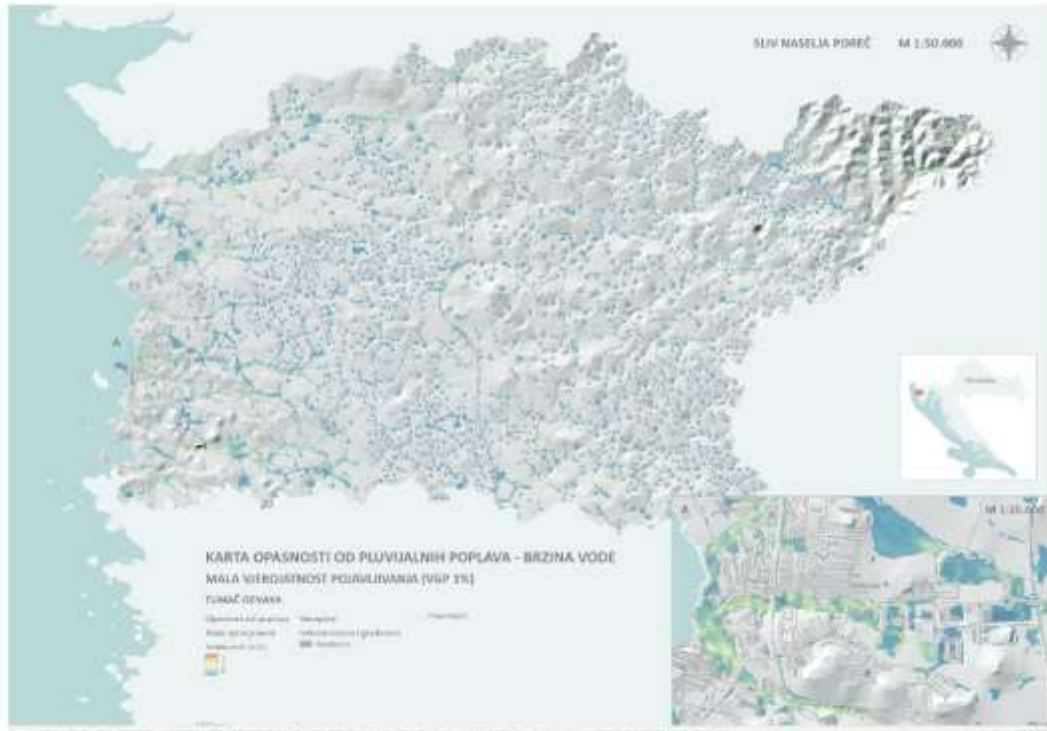


Slika 4.1.5 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

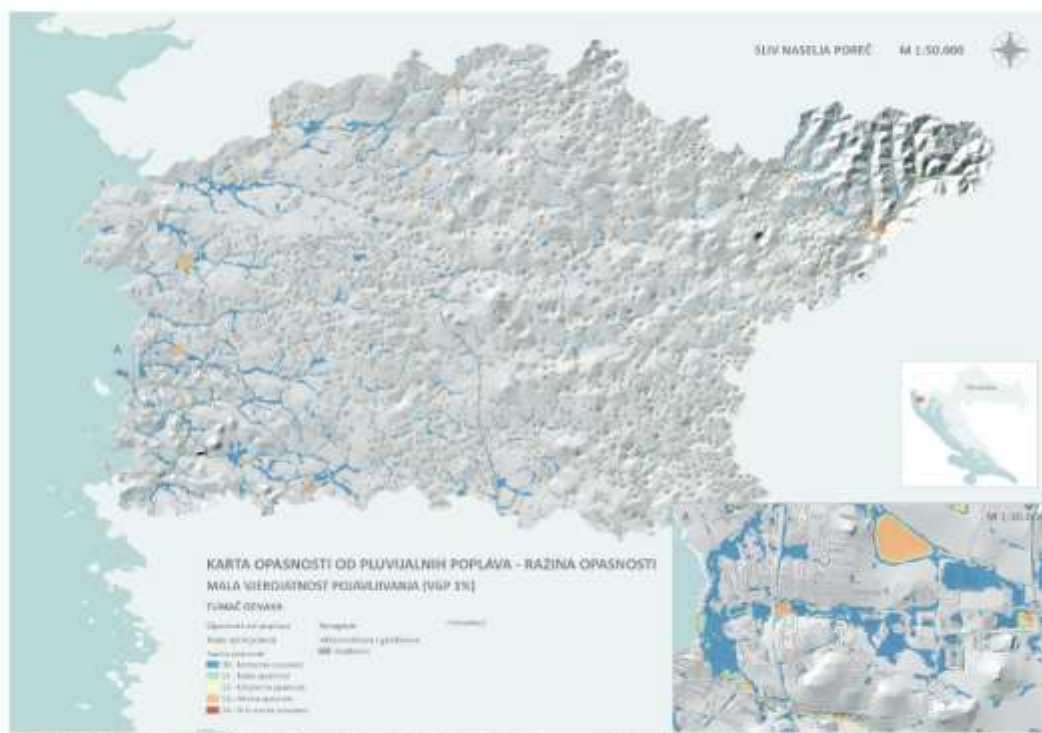
Uzvodno (istočno) od autoceste A9 nema izraženijih pojava plavljenja niti zabilježenih intervencija. Jedina iznimka je brdski predio u krajnjem istočnom rubu sliva, gdje su prisutni bujični tokovi.

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 poplavlivanjem 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.

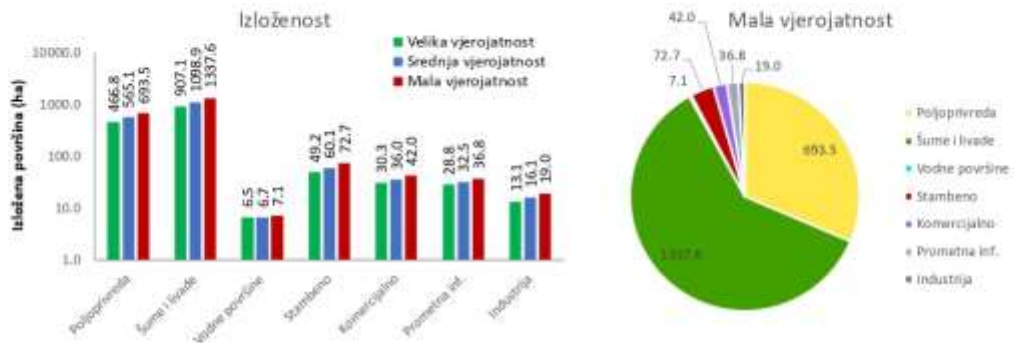


Slika 4.1.7 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

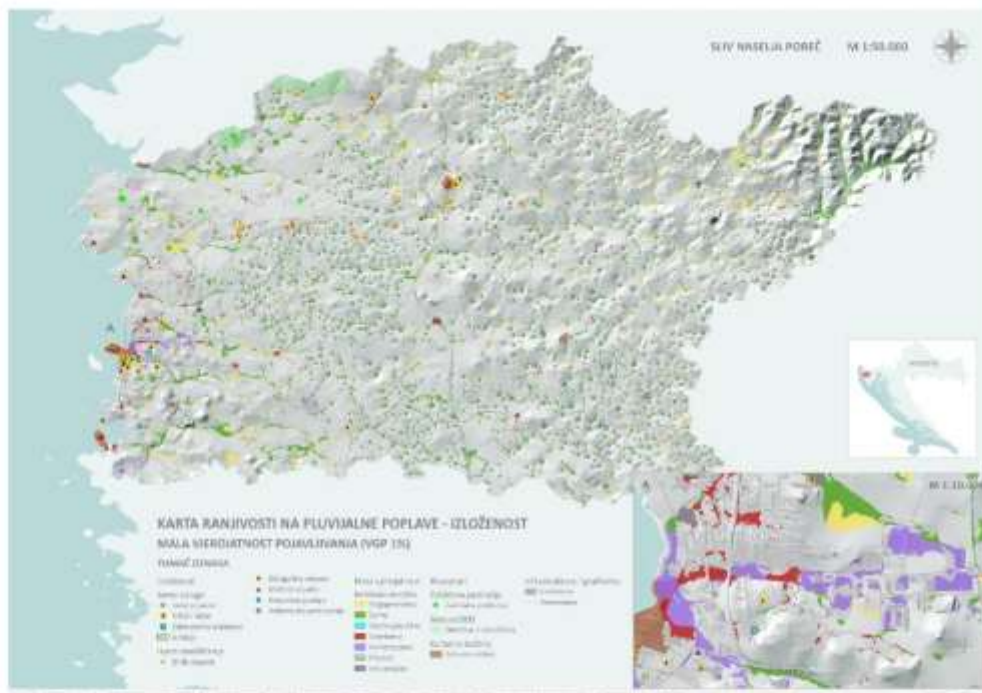
4.1.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Poreč

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 Višnjanu koje su izložene umjerenom 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 umjerenom 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.

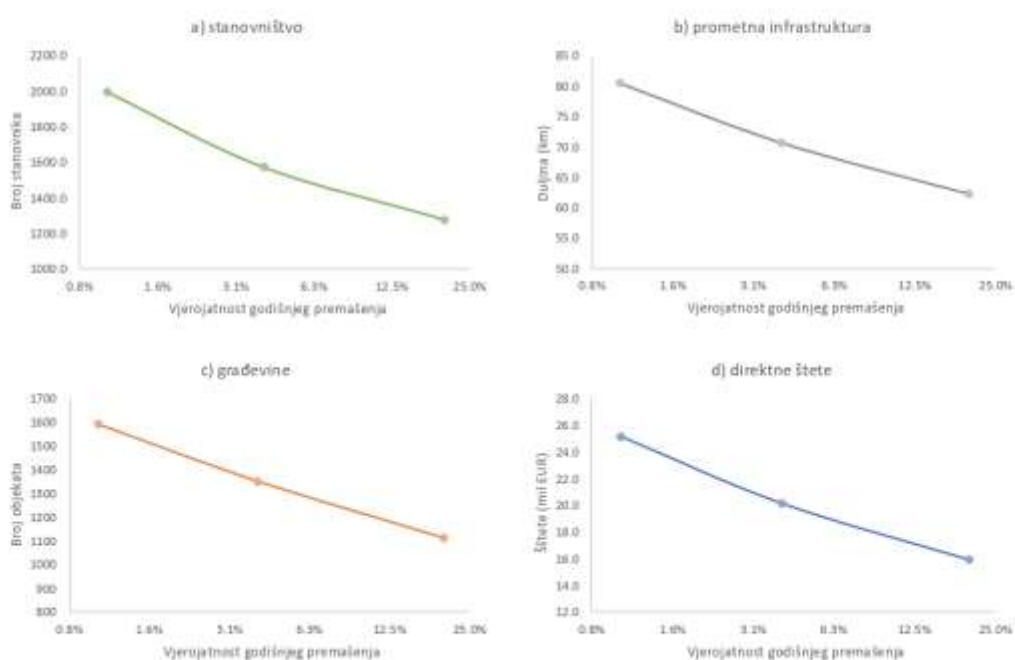
4.1.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Poreč

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%).

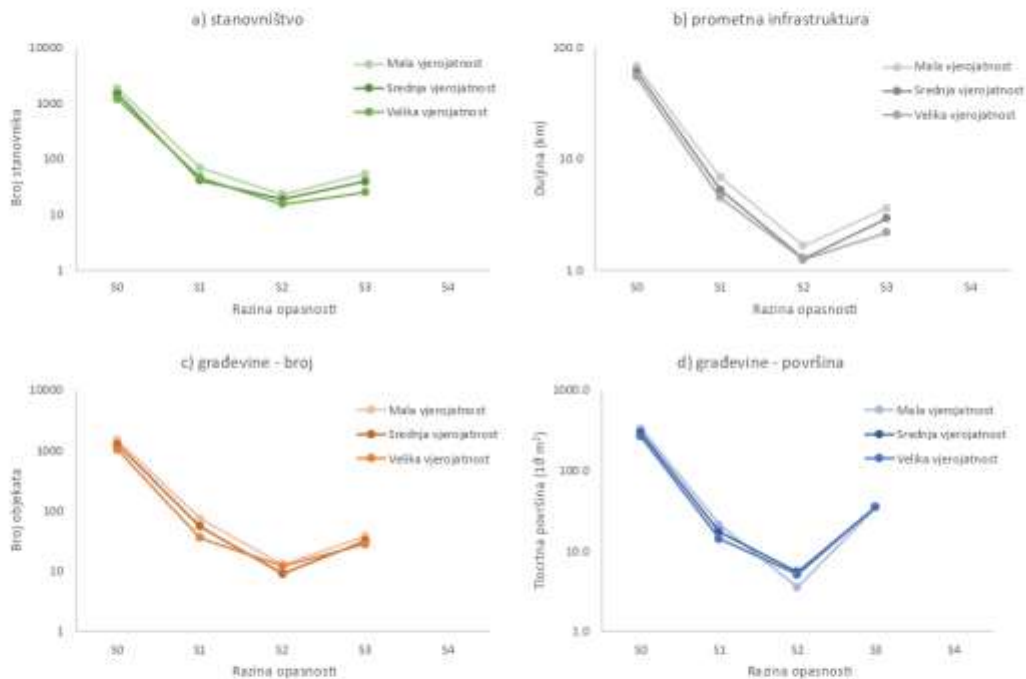
Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih receptora (stanovnika, objekata, duljine prometnice, šteta) s vjerojatnosti pojave pluvijalnih poplava, provedena je i kvalitativna analiza u okviru koje su procijenjene prethodno navedene količine za

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.



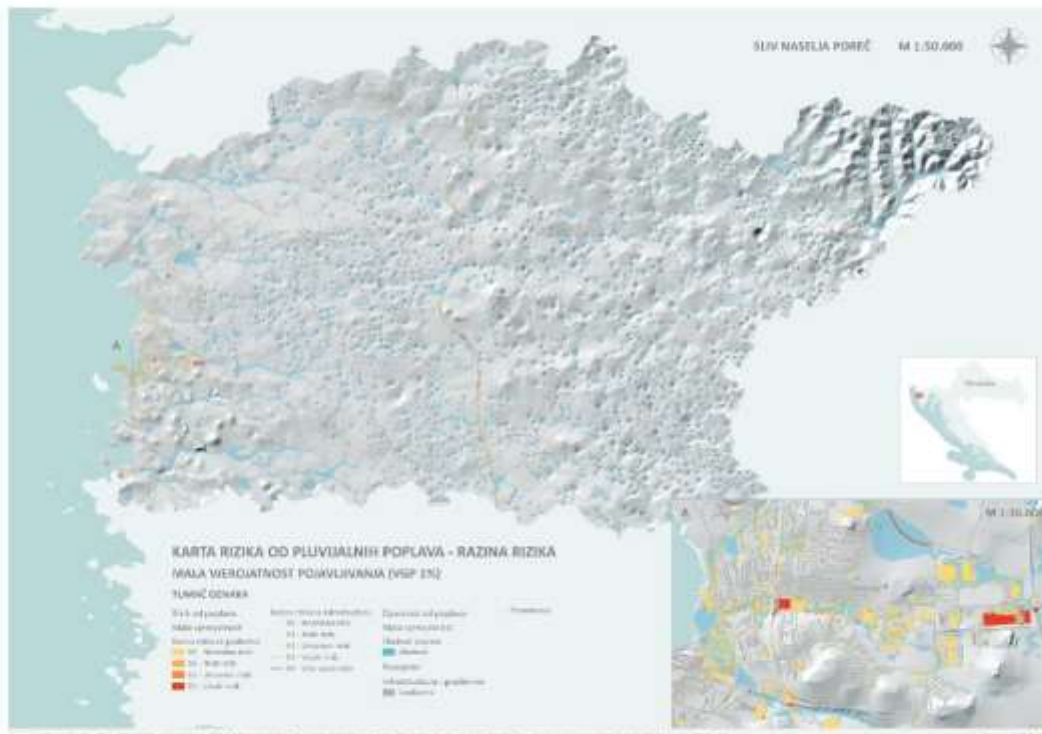
Slika 4.1.10 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Poreč.

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 („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 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.

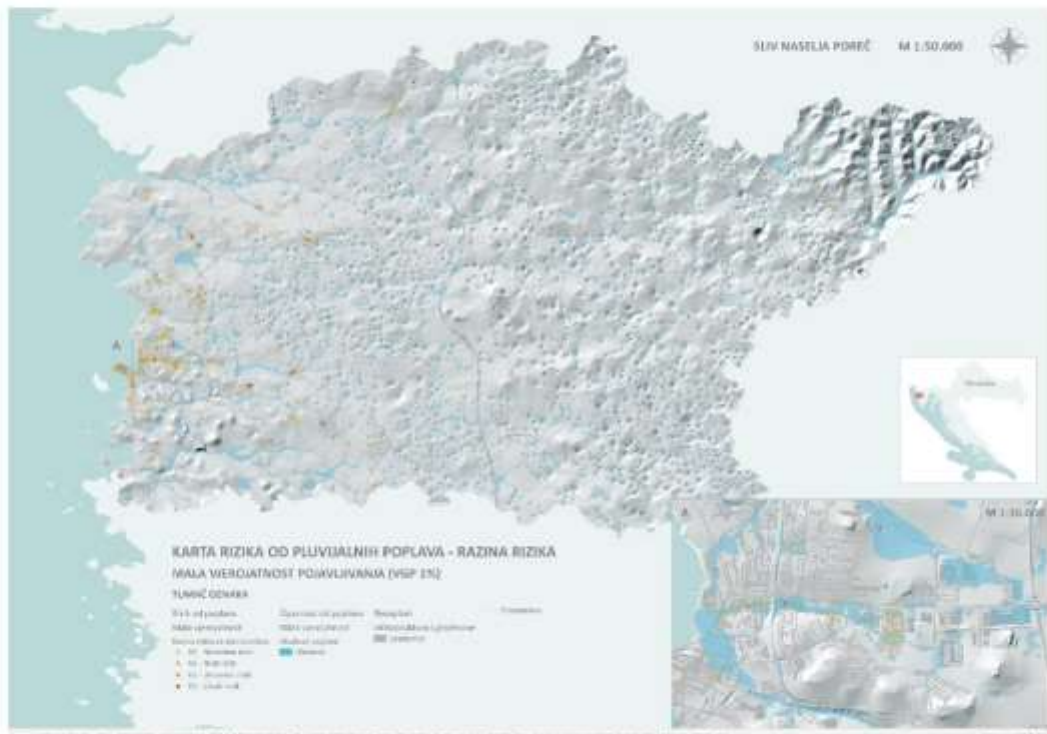


Slika 4.1.11 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnice, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Poreč.

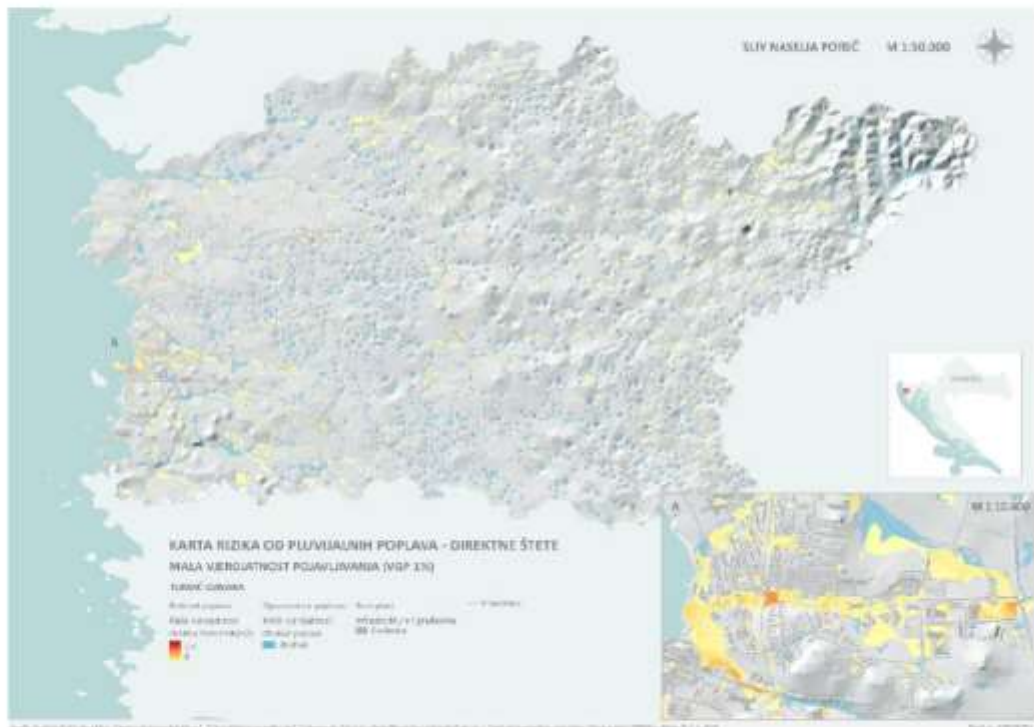
Na Slikama 4.1.12 i 4.1.13 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.1.14 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta 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.

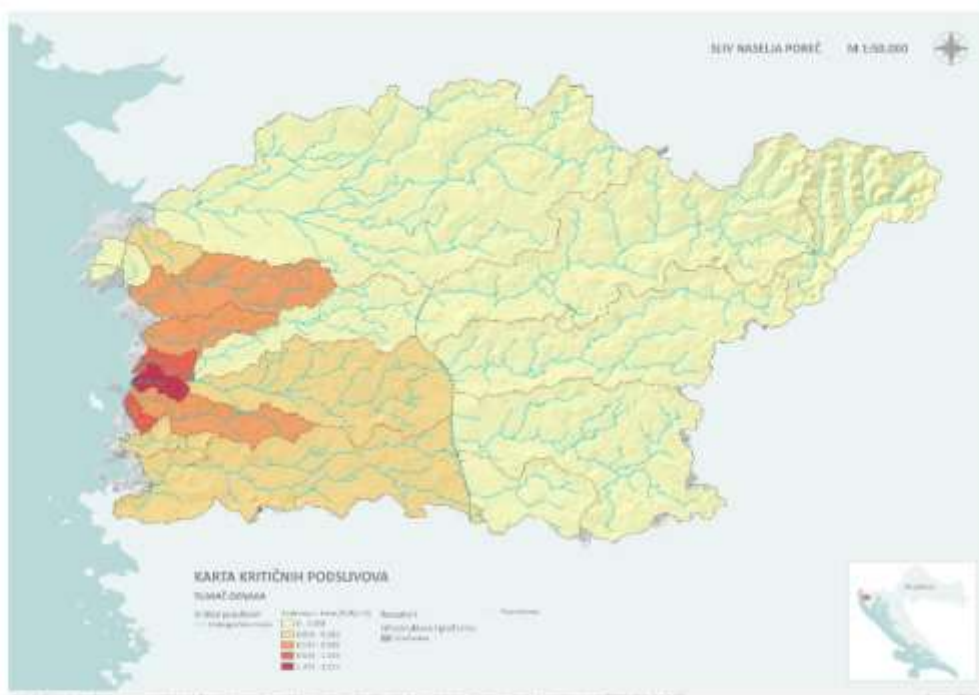


Slika 4.1.14 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Poreč.

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 podslivovi iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

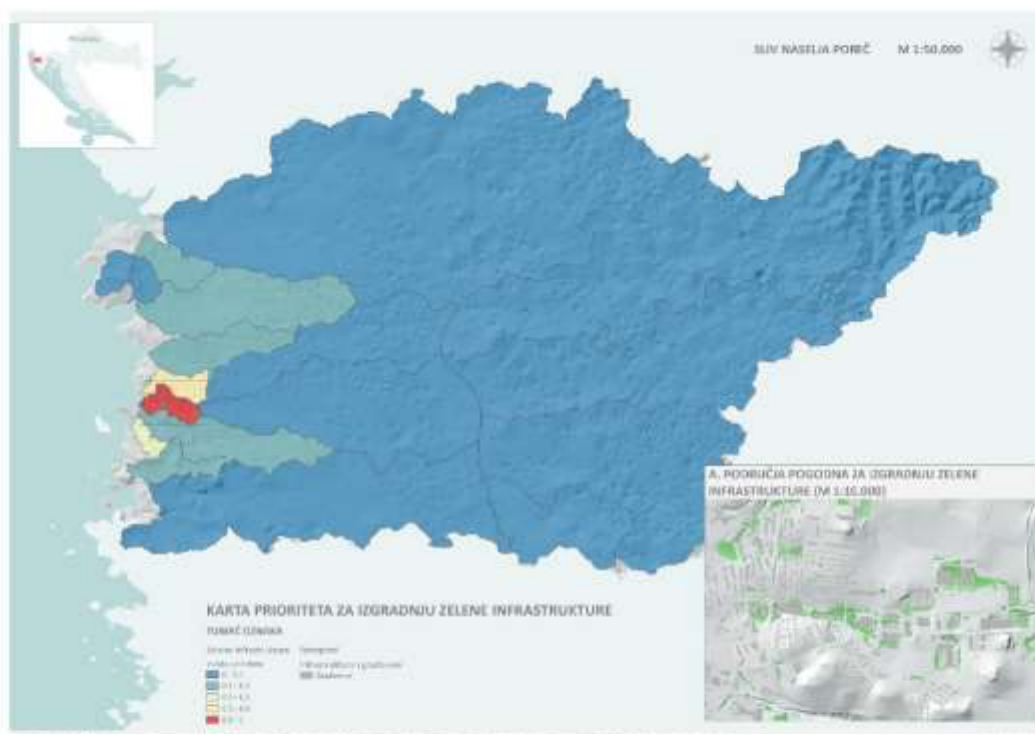
Na pilot području Poreč, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju podslivovi koji gravitiraju naselju Poreč, odnosno podslivovi koji se nalaze zapadno od autoceste A9 (Slika 4.1.15). Najkritičniji podsliv obuhvaća trgovačku zonu uz ulicu Mate Vlašića. Međutim i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

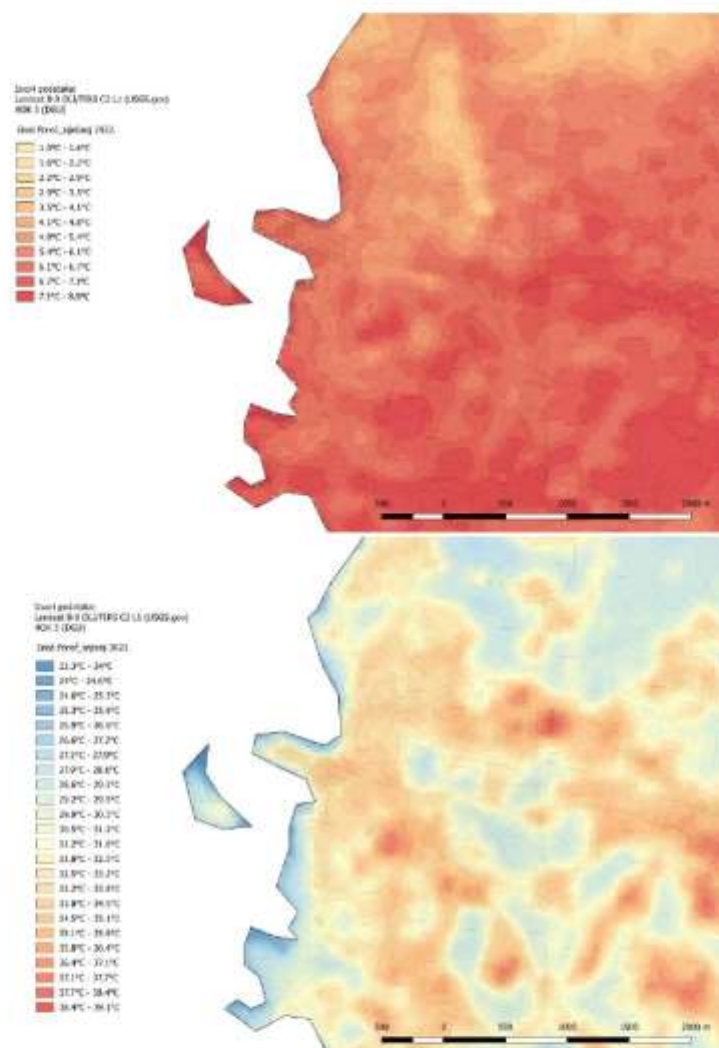
4.1.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Poreč

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.



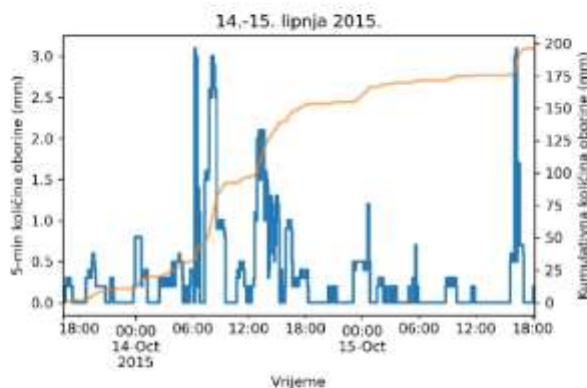
Slika 4.1.17. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Poreča.

4.2 Pilot područje Gospić

4.2.1 Povijesne poplave na pilot području Gospić

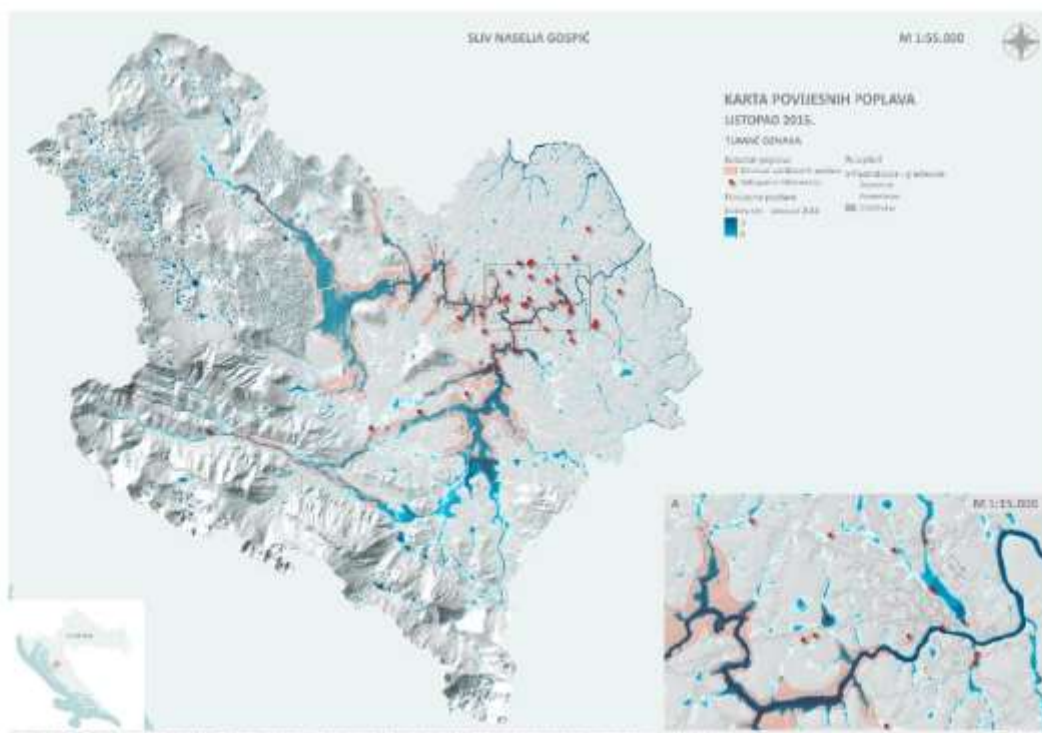
Analiza povijesnih poplava na pilot području Gospić provedena je na osnovu katastra poplava te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Treba napomenuti da su zabilježene poplavne površine na ovom području dostupne iz Registra poplavnih događaja za riječne poplave te prikupljenih podataka o 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.



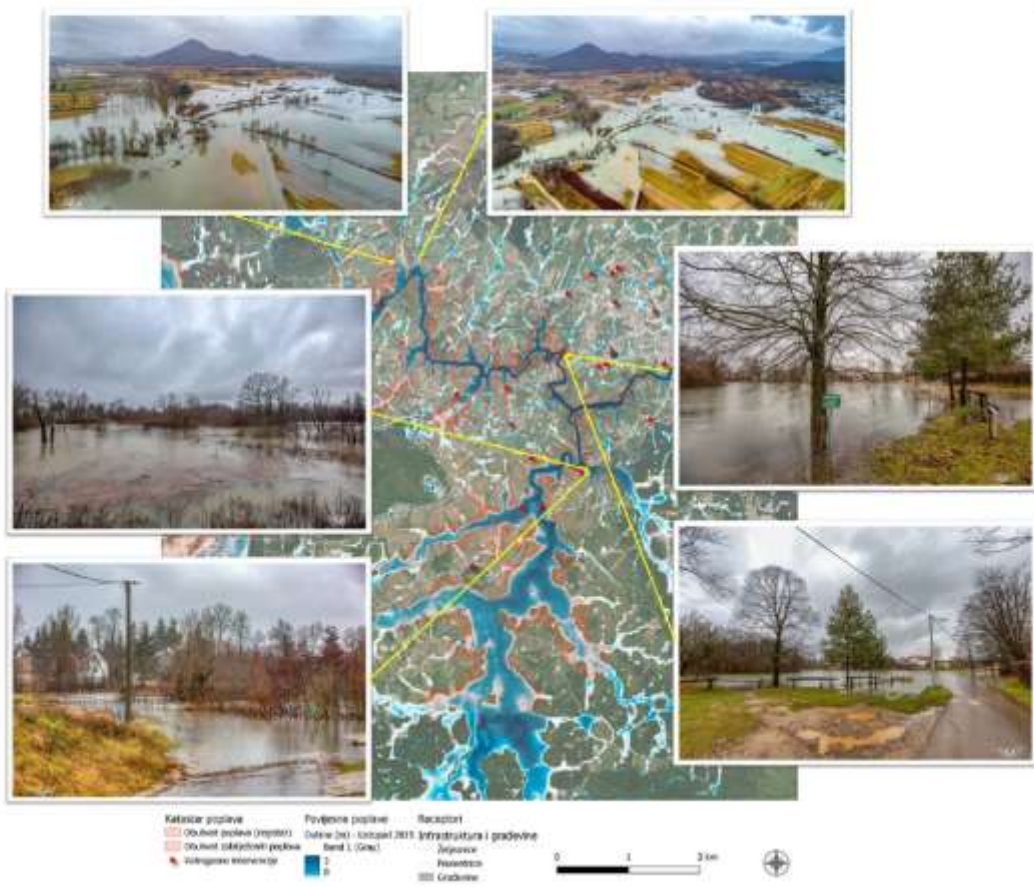
Slika 4.2.2 Karta povijesnih poplava – modelska reanaliza pluvijalne poplave iz listopada 2015. godine te obuhvat zabilježene poplave– na pilot području Gospić,

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).



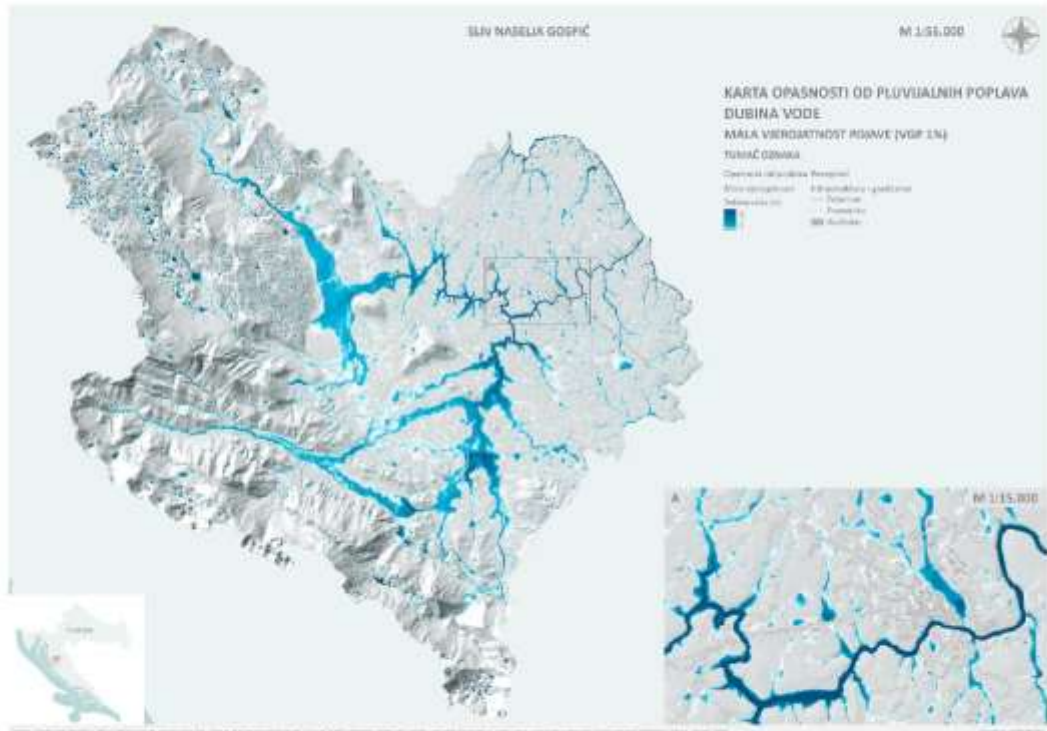
Slika 4.2.4 Zabilježena i modelirana poplava u Gospiću, listopad 2015. Slike prikazuju poplavljena područja uz prometnice i stambene objekte iz prosinca 2021. godine (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora).

4.2.2 Opasnost od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić

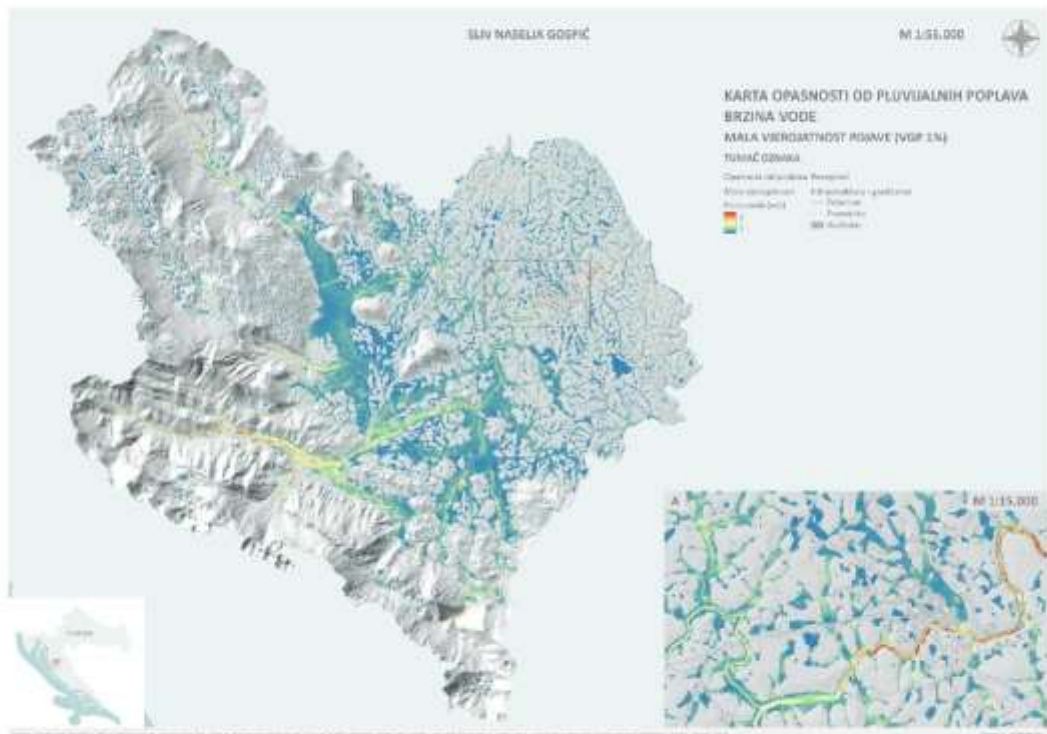
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Gospić provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine 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 Brušnice, 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.

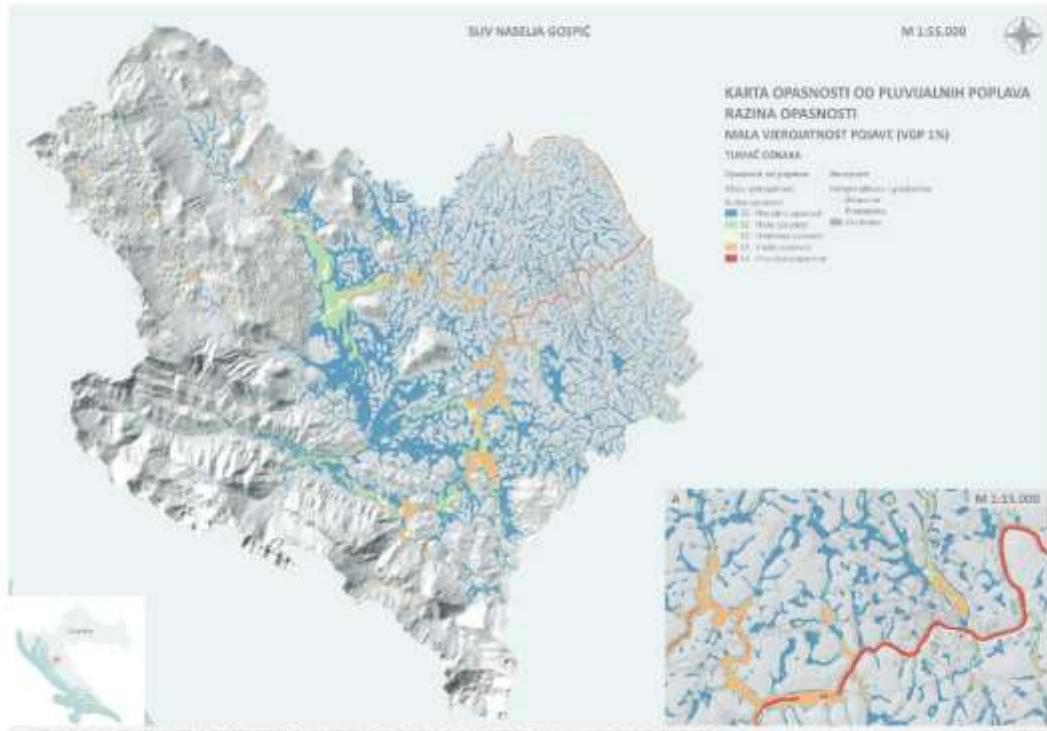
Pluvijalne poplave su sekundarnog karaktera na predmetnom području i ne moguće ih je razdijeliti od riječnih poplava. Karakterizira ih prvenstveno niz manjih bujičnih slivova te otežano otjecanje površinskih voda prema evakuacijskim kanalima i vodotocima zbog njihovog visokog vodostaja. Opasnost od pluvijalnih 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.

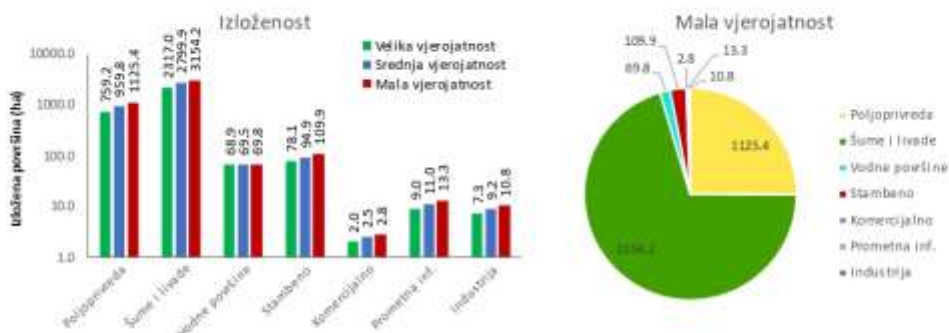
4.2.3 Ranjivost na pluvijalne poplave na pilot području Gospić

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. Znatan 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.

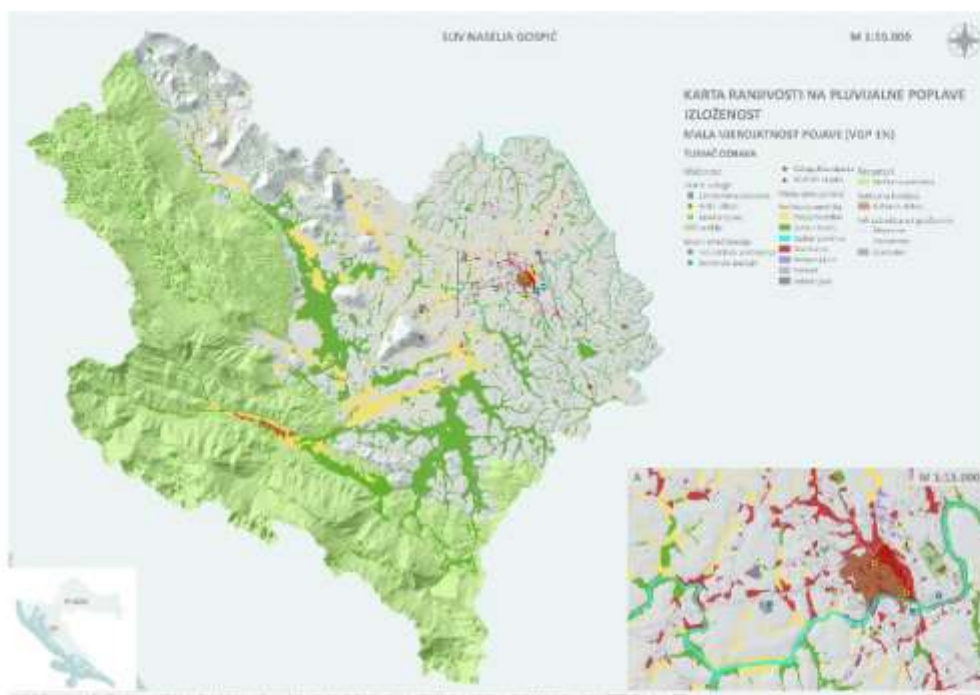
Vežano uz izloženost kritičnih elemenata iz skupine javnih usluga i objekata koji mogu prouzročiti onečišćenje, gotovo svi su izvan dosega poplava ili se nalaze na lokaciji gdje je opasnost od poplava neznatna. Zdravstvene ustanove su izvan dosega poplava, osim opće bolnice koja može biti izložena poplavama,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

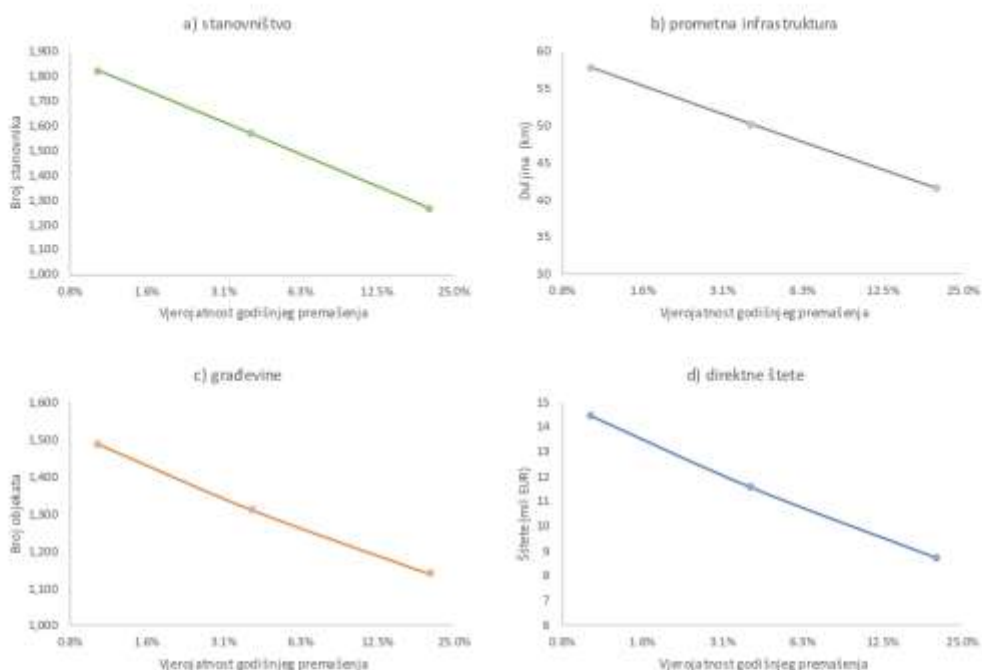


Slika 4.2.9 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

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.

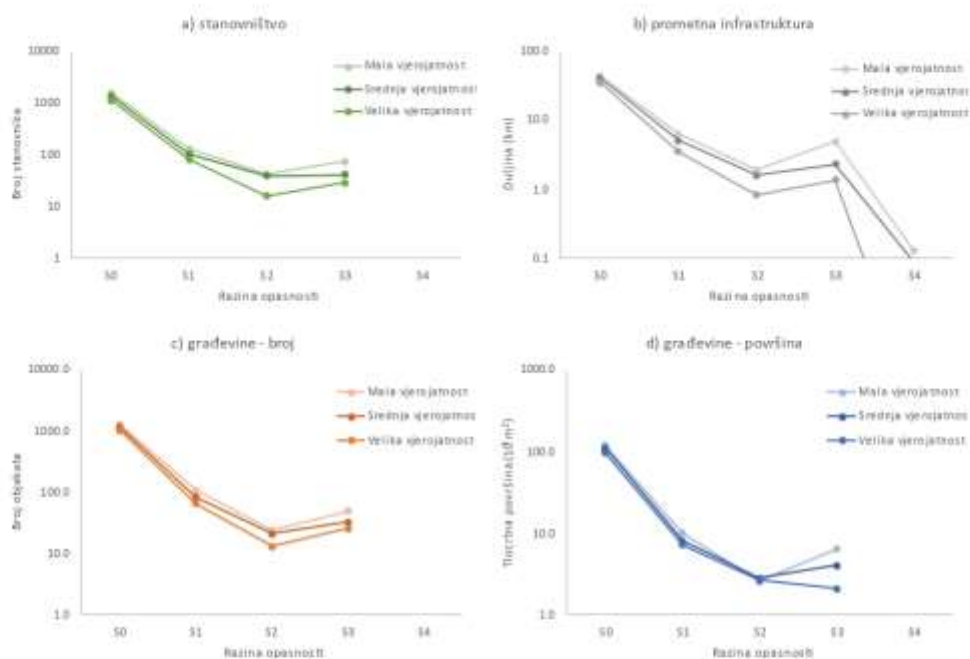
Potencijalni broj stanovnika pogođenih pluvijalnim poplavama procijenjen je u rasponu od 1.269 stanovnika (VGP=20%) do 1.825 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 41 km (VGP=20%) do 58 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata 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 umjerenoj ili visokoj 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.

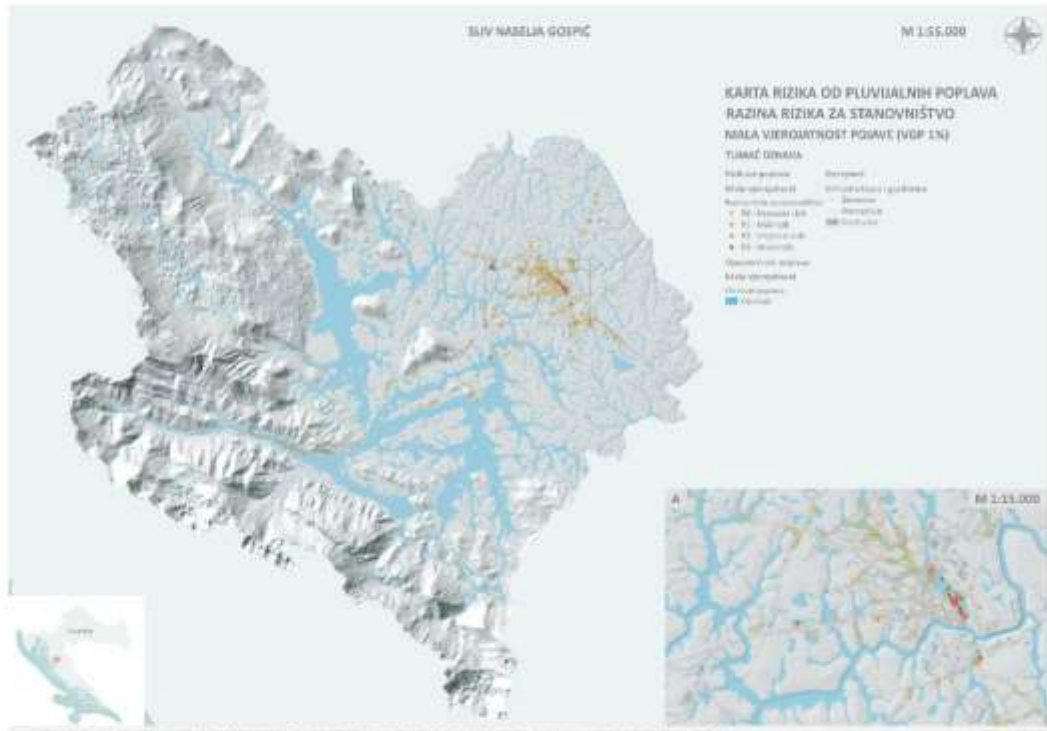


Slika 4.2.11 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Gospić.

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.

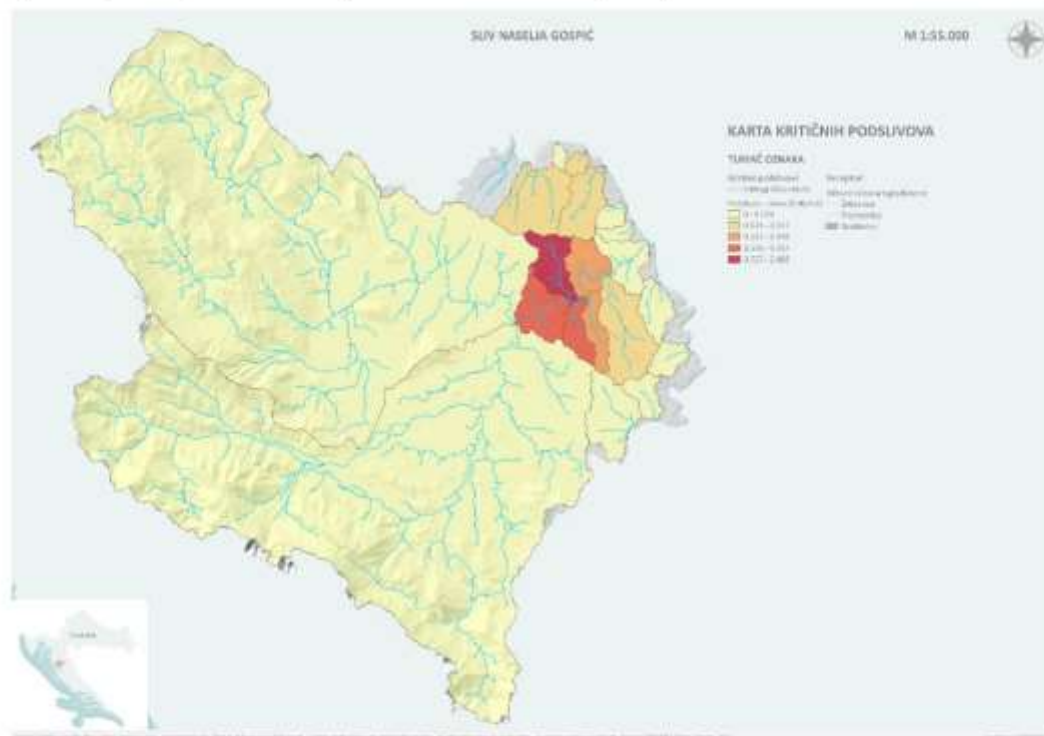


Slika 4.2.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Gospić.

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.

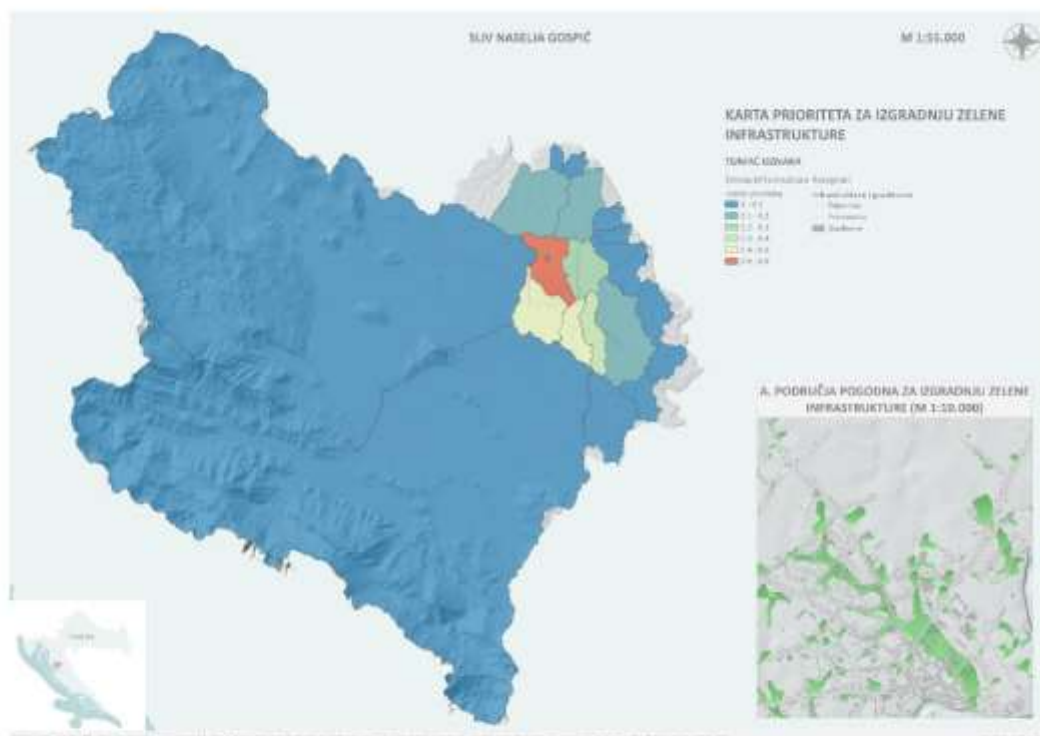
Na pilot području Gospić, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju manji podslivovi koji gravitiraju naselju Gospić (Slika 4.2.15). Najkritičniji je manji podsliv na sjevernoj obali rijeke Novčice koji obuhvaća centar naselja Gospić.



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

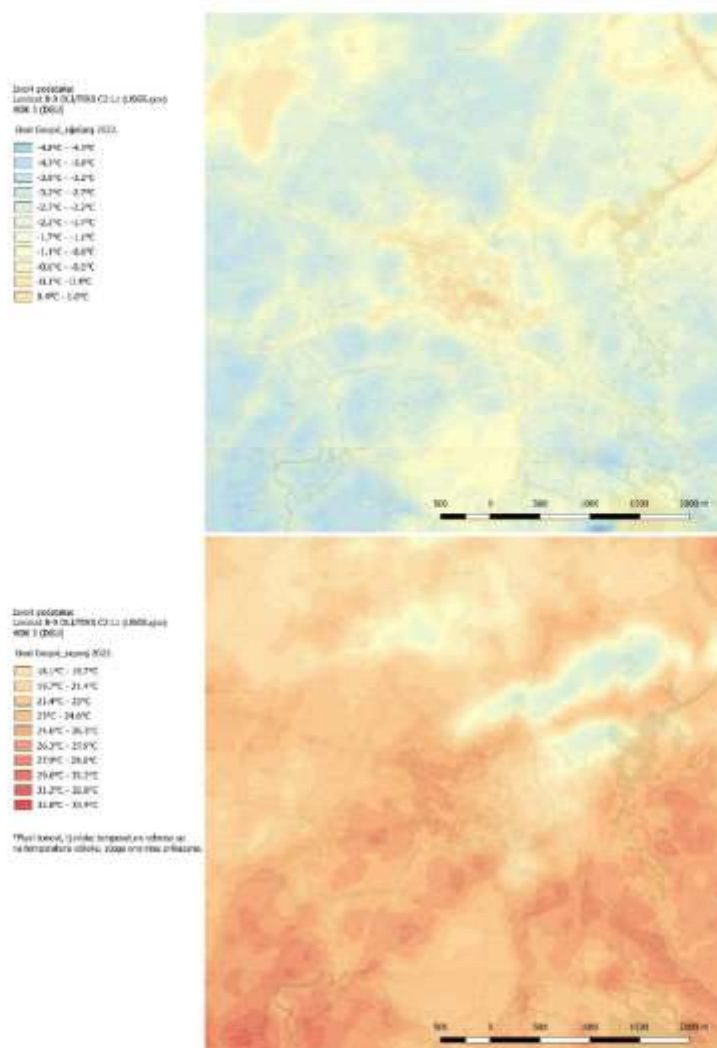
4.2.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Gospić

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 konceptijsko 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 mikroklimе i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.2.17 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



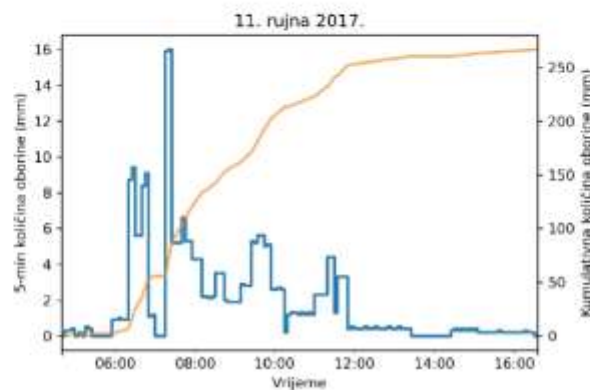
Slika 4.2.17. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Gospića.

4.3 Pilot područje Zadar

4.3.1 Povijesne poplave na pilot području Zadar

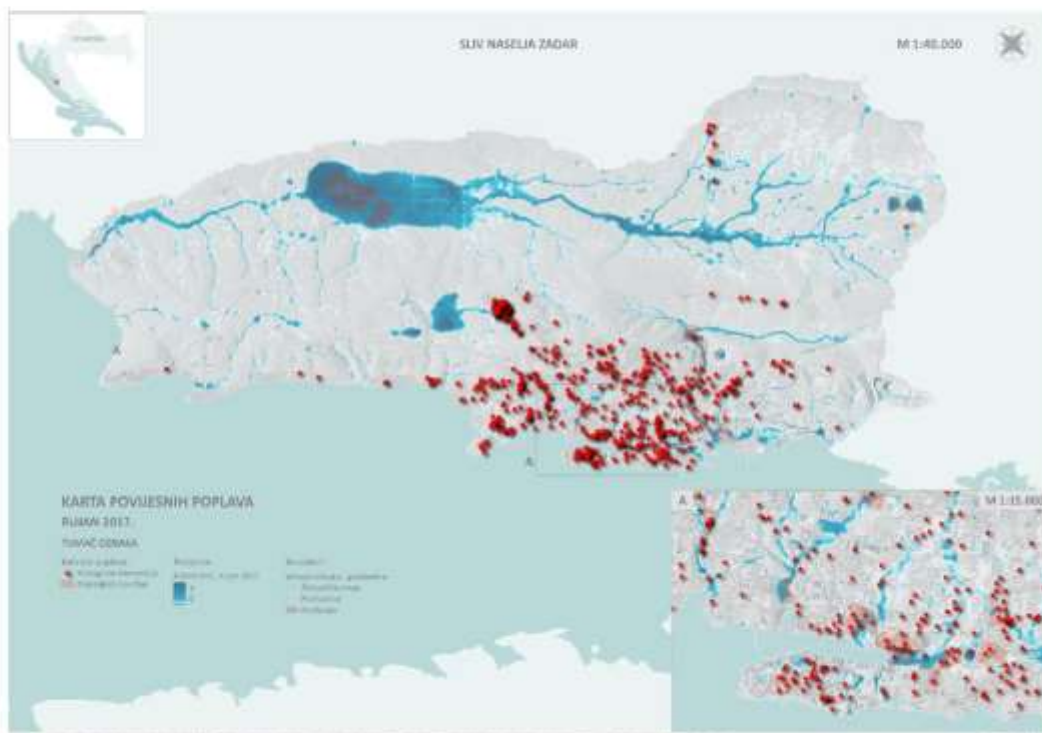
Analiza povijesnih poplava na pilot području Zadar provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina identificirana su tri najekstremnija događaja u razdoblju 1961.-2020., to 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 nevjrijeme 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 oštetiio 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 ruján. 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. Vjeter 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 zabavljalo plivajući po cestama i trgovima. Turisti su fotografirali ovo «čudo neviđeno». Voda je prodrla 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.

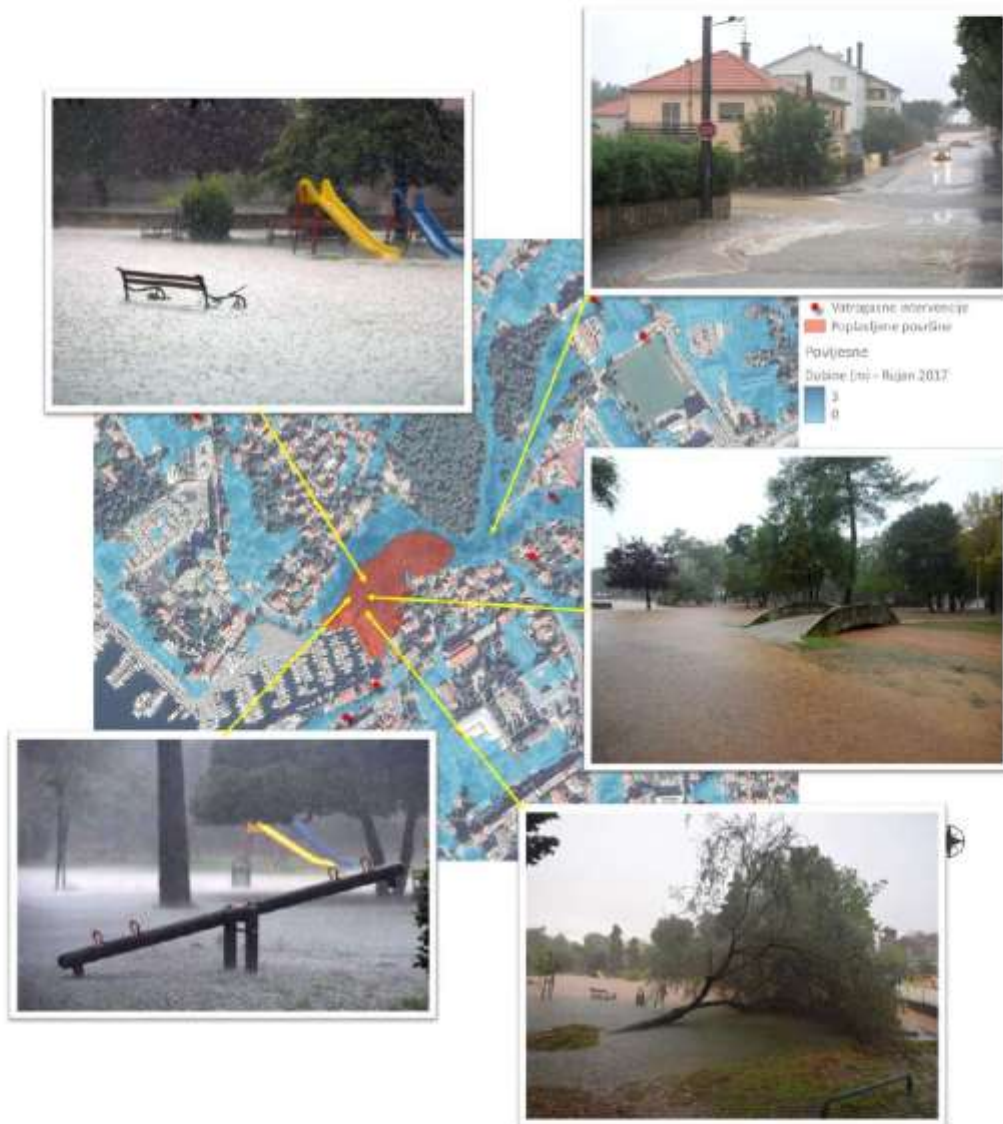


Slika 4.3.3 Zabilježene i modelirane poplave u slivu Ričine u Zadru (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

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.

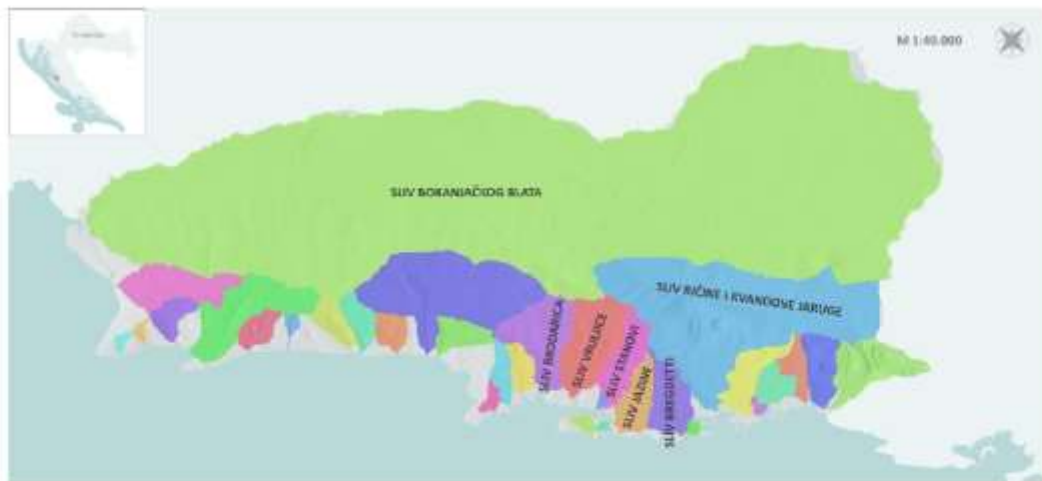


Slika 4.3.6 Zabilježene i modelirane poplave u naselju Novi Bokanjac u Zadru (fotografije su preuzete iz više različitih Internet izvora)

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.

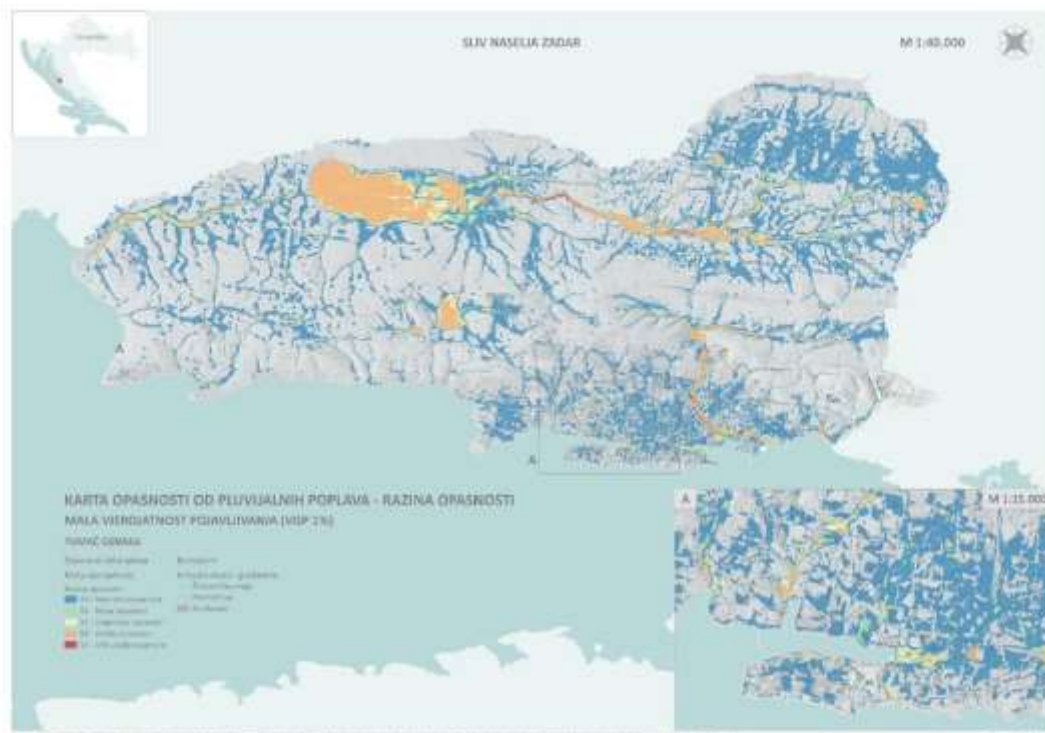


Slika 4.3.9 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

Preostalo područje interesantno s gledišta opasnosti od poplava je **niz manjih podslivova u urbaniziranom priobalnom dijelu grada**, primjer čega su podslivovi Bregdetti, Jazine, Stanovi, Vruljica, Brodarica. Ovdje nema izraženijih vodotoka niti odvodnih kanala (s iznimkom parka Vruljice), a nazivi su proizvoljno pridodani s obzirom na ime uvale 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 dubinama 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

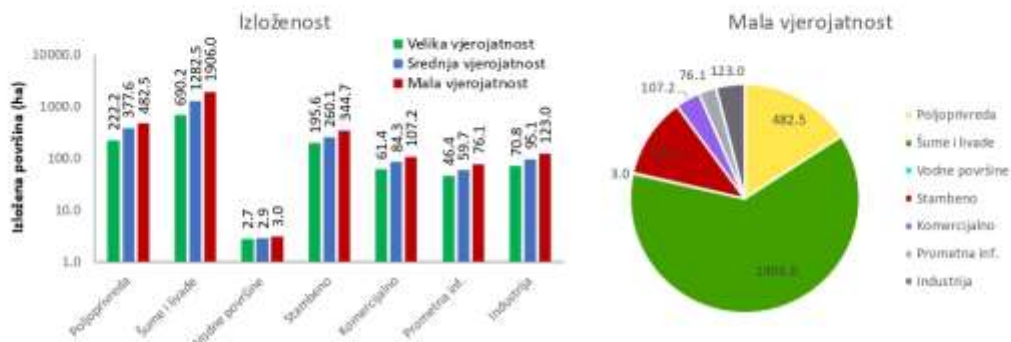
Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost 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.

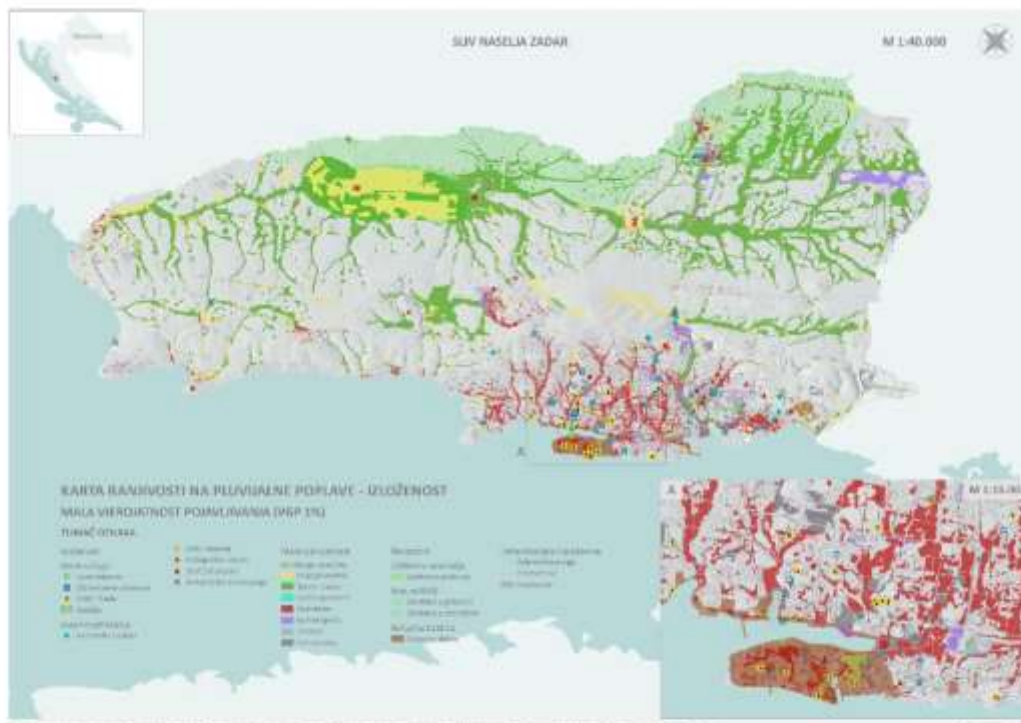
Ukupna promatrana površina sliva na pilot području Zadar iznosi 118 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 12,9 km² (10,9 %) za veliku vjerojatnost, 21,6 km² (18,3 %) za srednju vjerojatnost i 30,4 km² (25,8 %) za malu vjerojatnost. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih 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 izložen 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



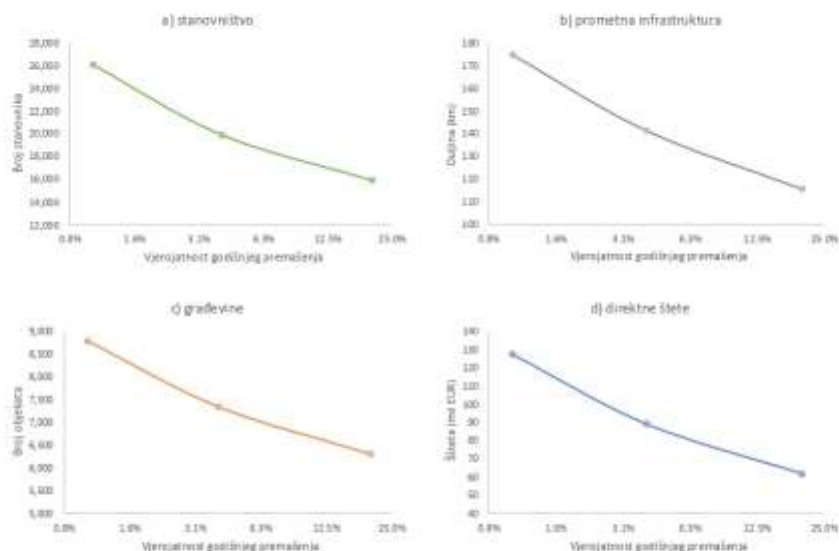
Slika 4.3.12 Karta ranjivosti na poplave – izloženost - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

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

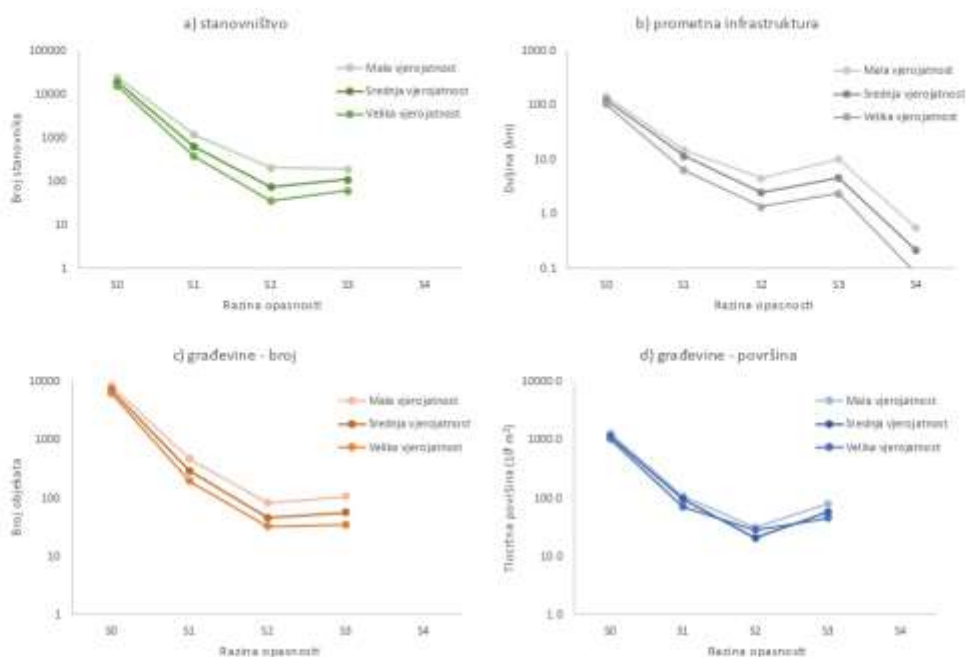
Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Zadar. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 4.3.13 s procjenom vjerojatnosti pogođenog broja stanovnika, poplavljenog duljine prometne infrastrukture, poplavljenog broja građevina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



Slika 4.3.13 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljenog duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broja 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.



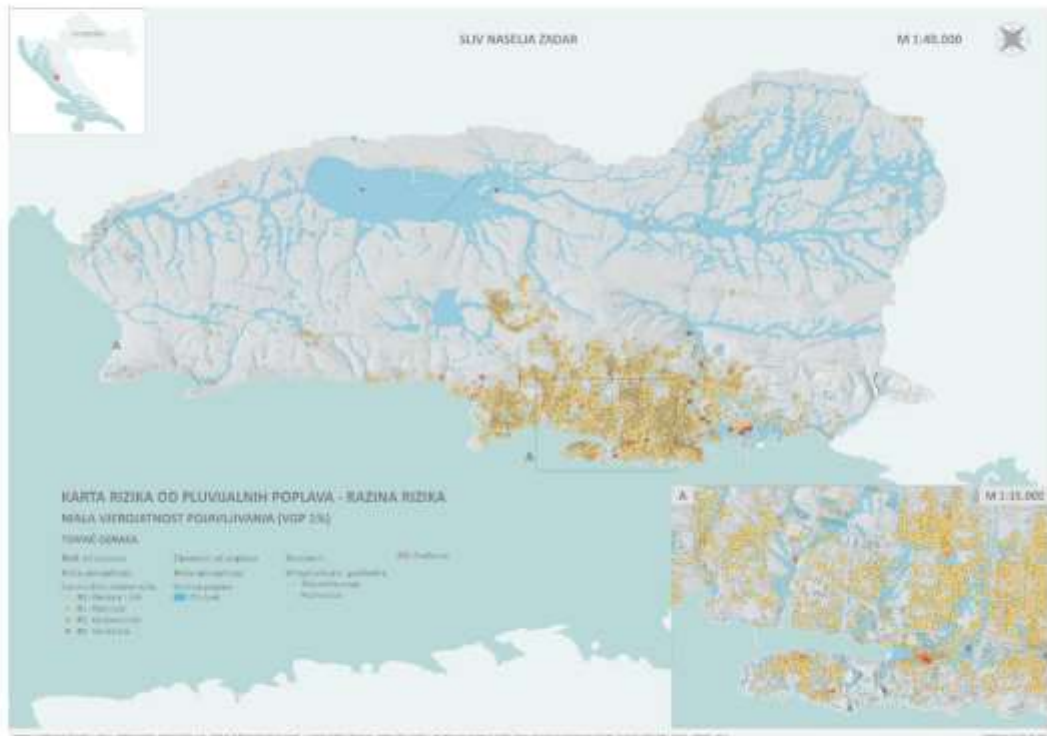
Slika 4.3.14 Rezultati kvalitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju: a) broj stanovnika, b) duljinu prometnica, c) broj građevina, d) tlocrtnu površinu građevina, izloženih različitoj razini opasnosti za malu, srednju i veliku vjerojatnost (1, 4 i 20 % VGP) na pilot području Zadar.

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 („neznatan rizik“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenoj 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.

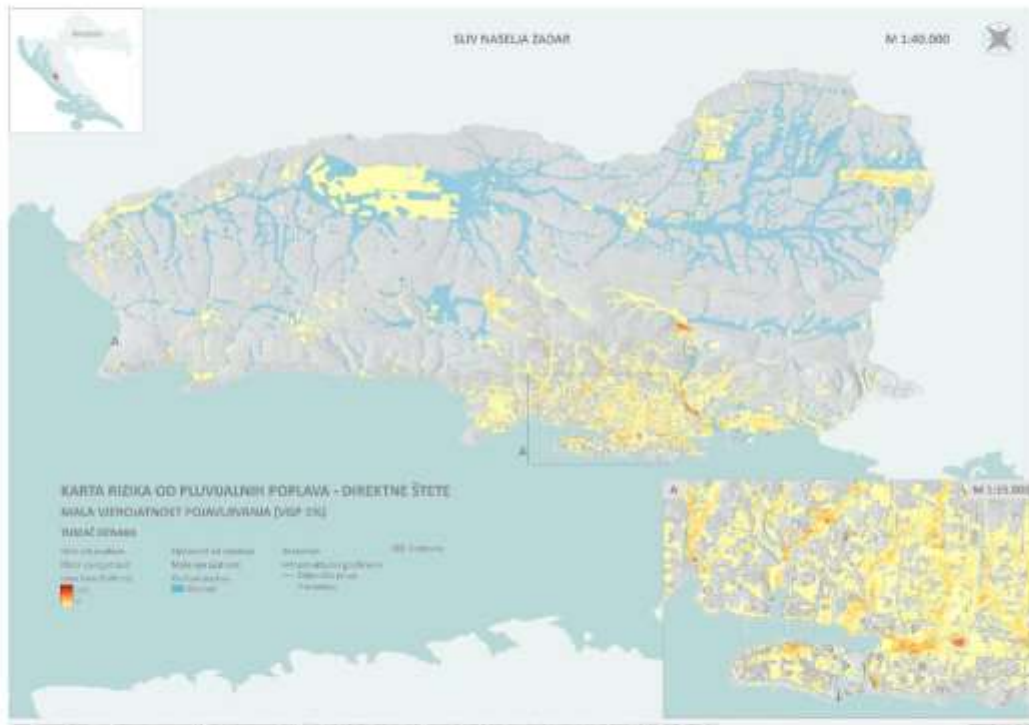
Na Slikama 4.3.15 i 4.3.16 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.3.17. prikazan je primjer karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta po 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.

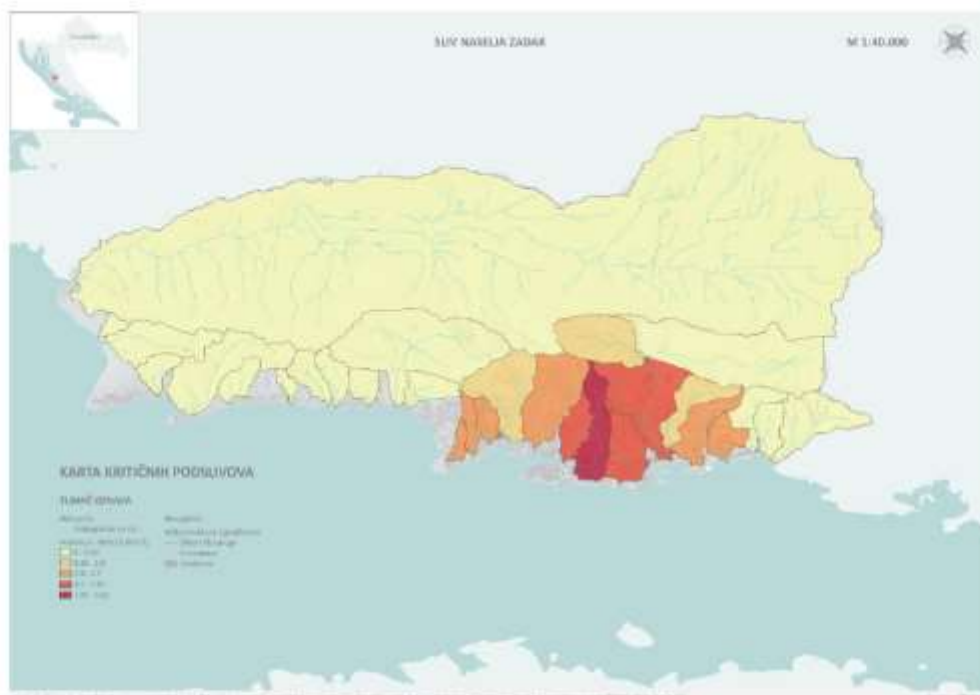


Slika 4.3.17 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Zadar.

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.

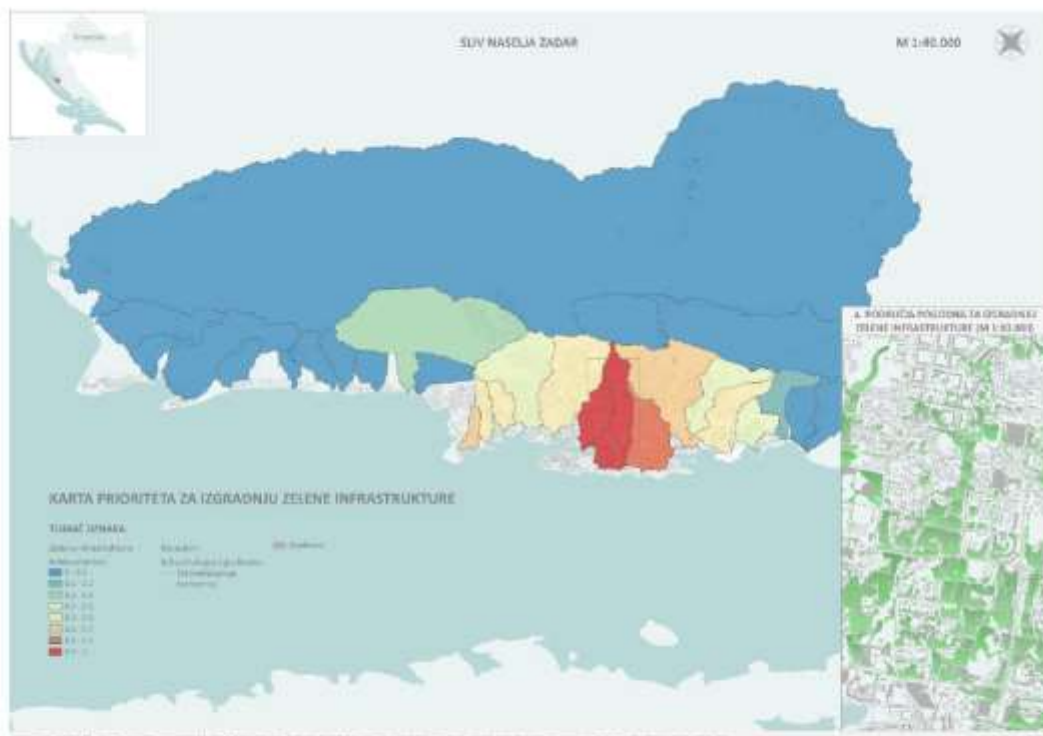
Na pilot području Zadar, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju manji priobalni podslivovi koji gravitiraju naselju Zadar (Slika 4.3.18). Kritični slivovi su stoga slivovi Ričine, Bregdeti, Jazine i Stanovi. Također, kao kritični slivovi se mogu ocijeniti i sliv 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.

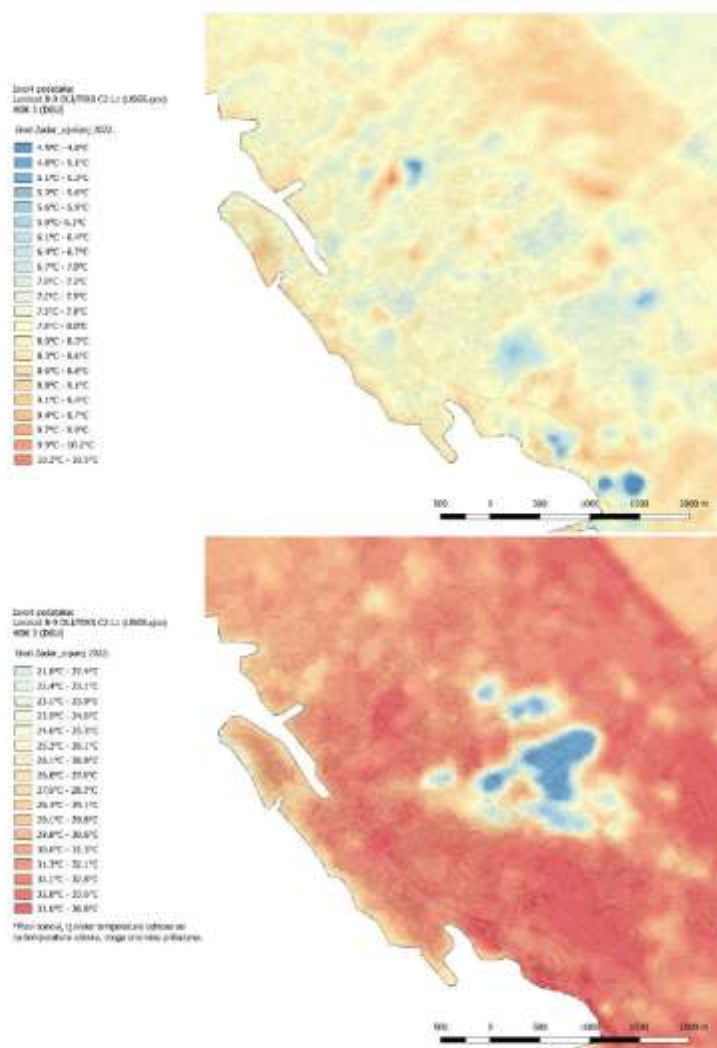
4.3.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Zadar

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 koncepcijsko 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 mikroklimе 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

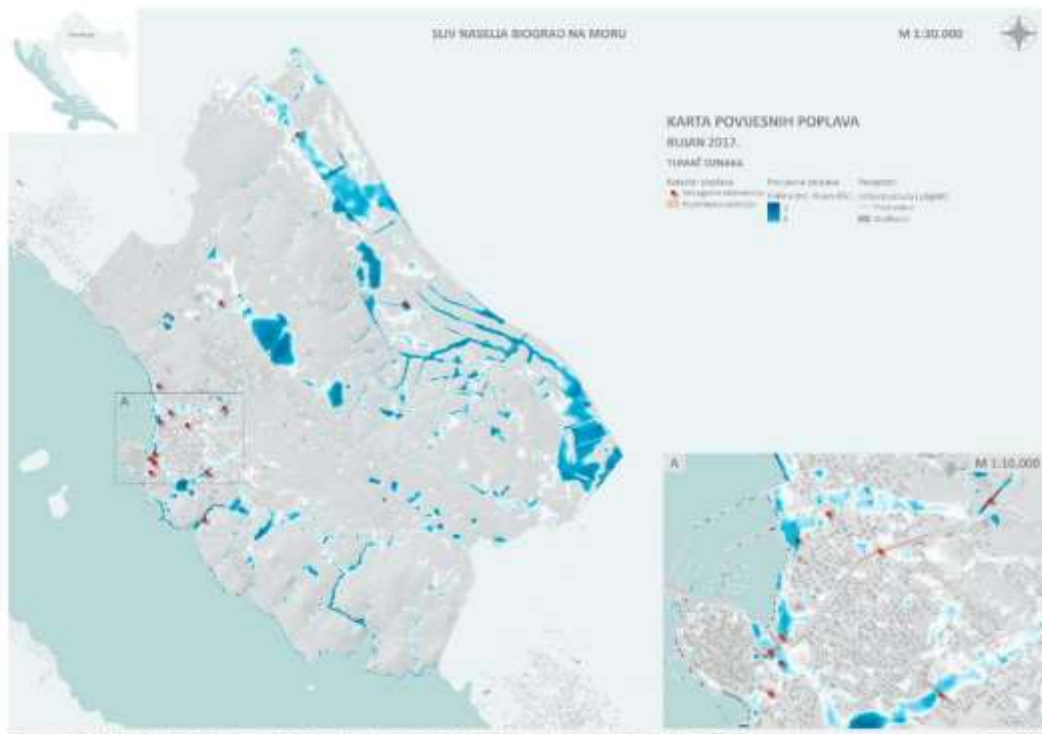
Analiza povijesnih poplava na pilot području Biograd na Moru provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. S obzirom da na području Biograda na Moru ne postoji službeni ombrograf, korišteni 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.



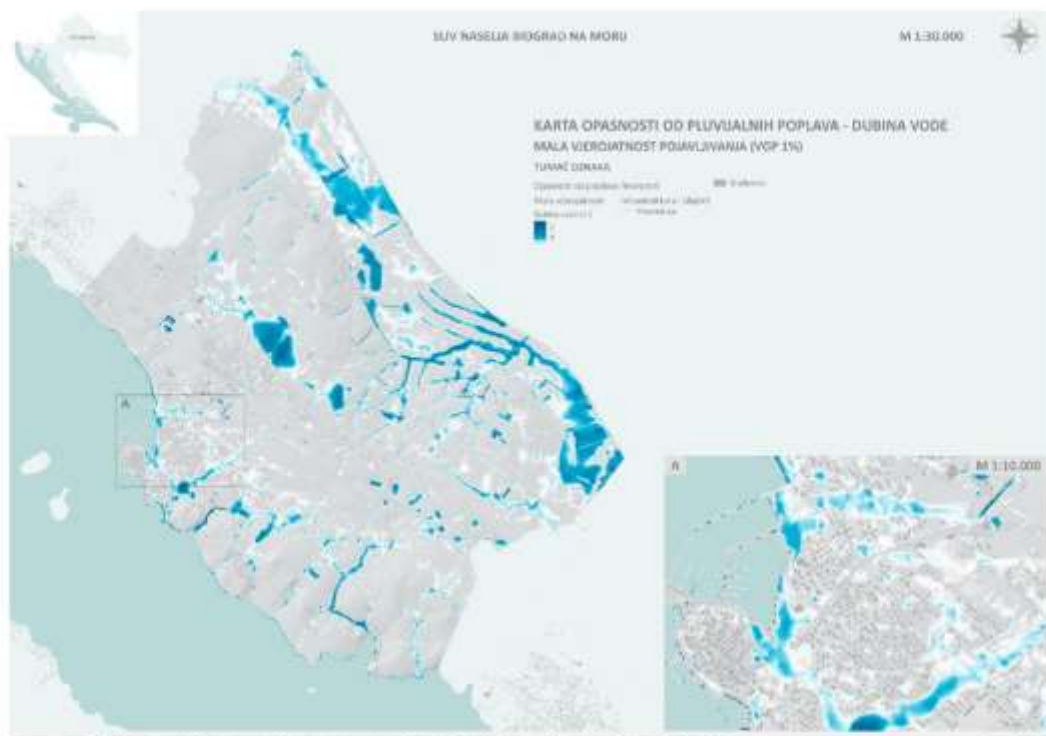
Slika 4.4.1 Karta zabilježenih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz rujna 2017. godine - na pilot području Biograd na Moru.



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

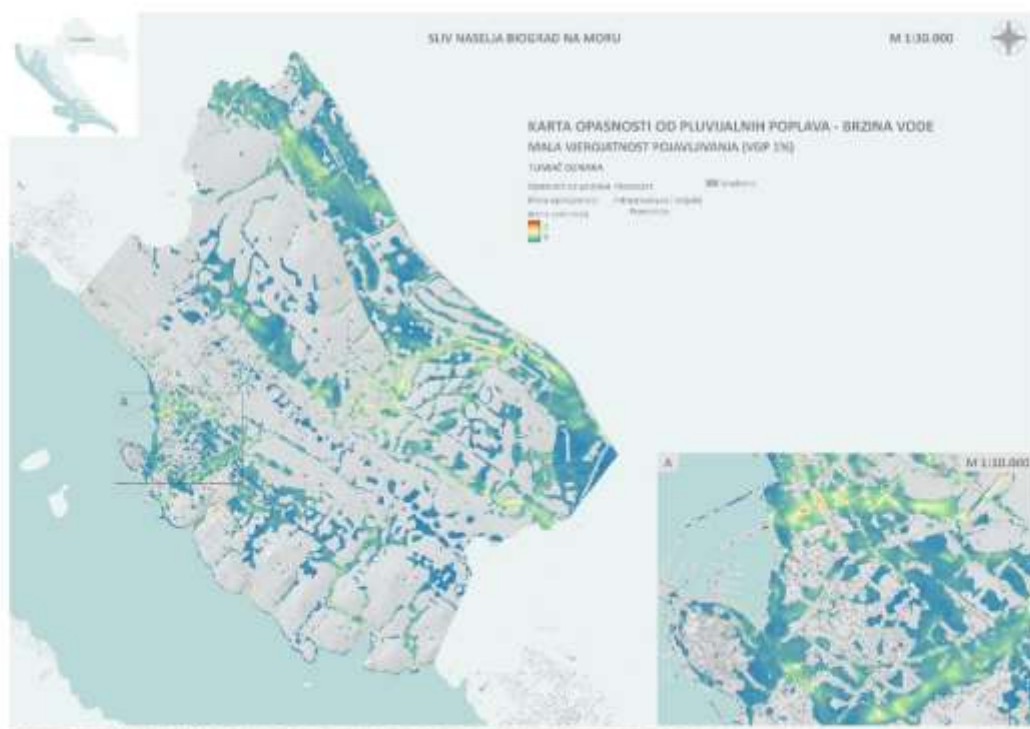
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava na pilot području Biograd na Moru provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina 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

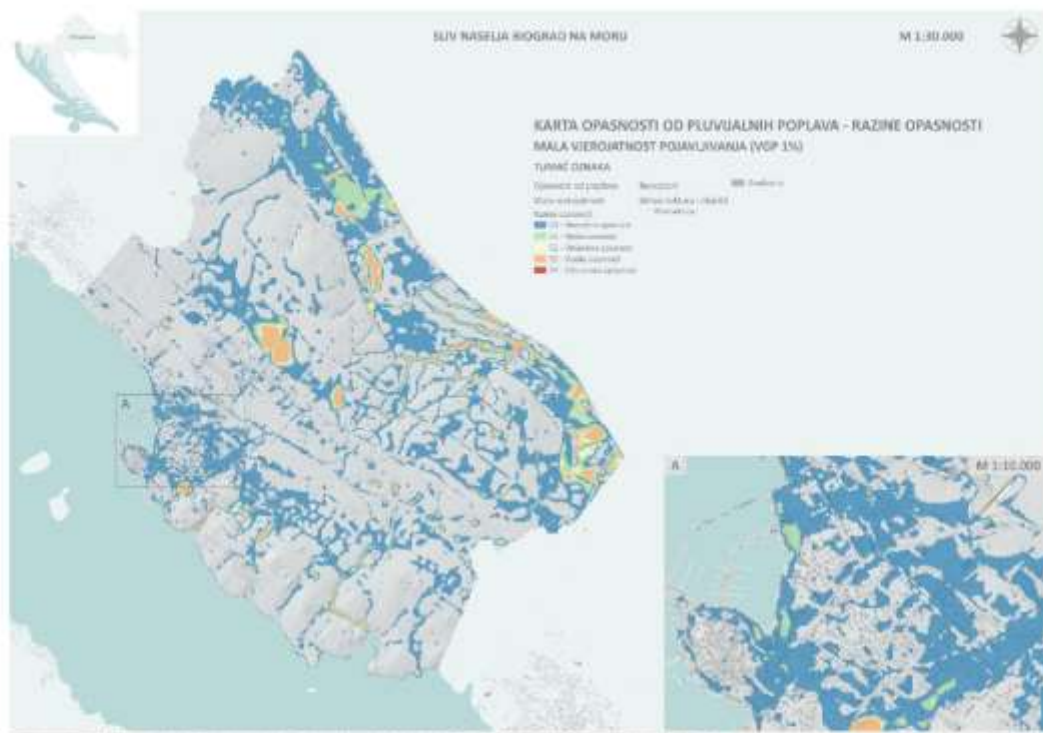
izdvojiti dva podsliva – podsliv Vranskog polja (sjeveroistočno) i priobalni podsliv naselja Biograd na Moru (jugozapadno) – koja približno dijeli Jadranska magistrala.



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 pritek 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 Vranskog 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.

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 do 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.

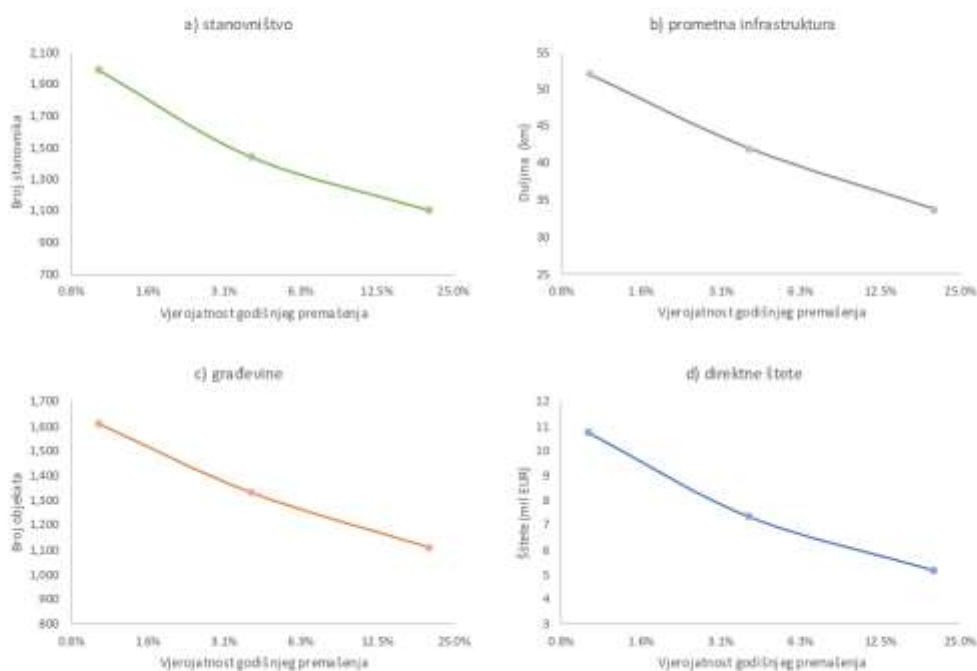
Što se tiče kulturne baštine, poplava djelomično je izložena kulturno-povijesna cjelina grada Biograda na Moru, ali s neznatnom opasnost od poplava.

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%).

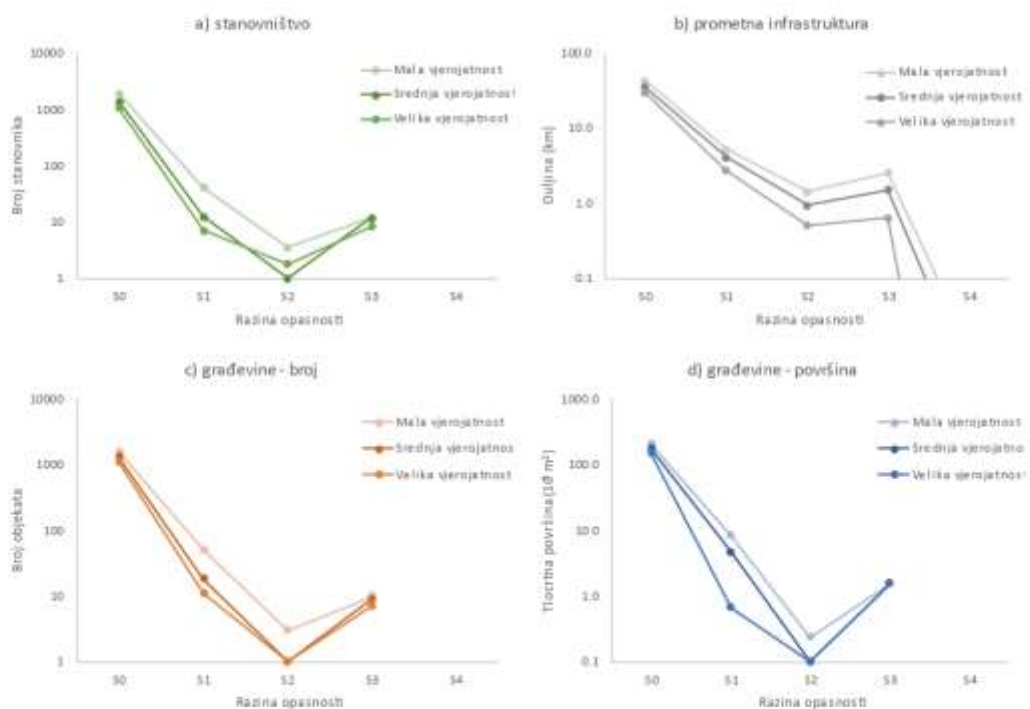


Slika 4.4.8 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broj građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Biograd na Moru.

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.

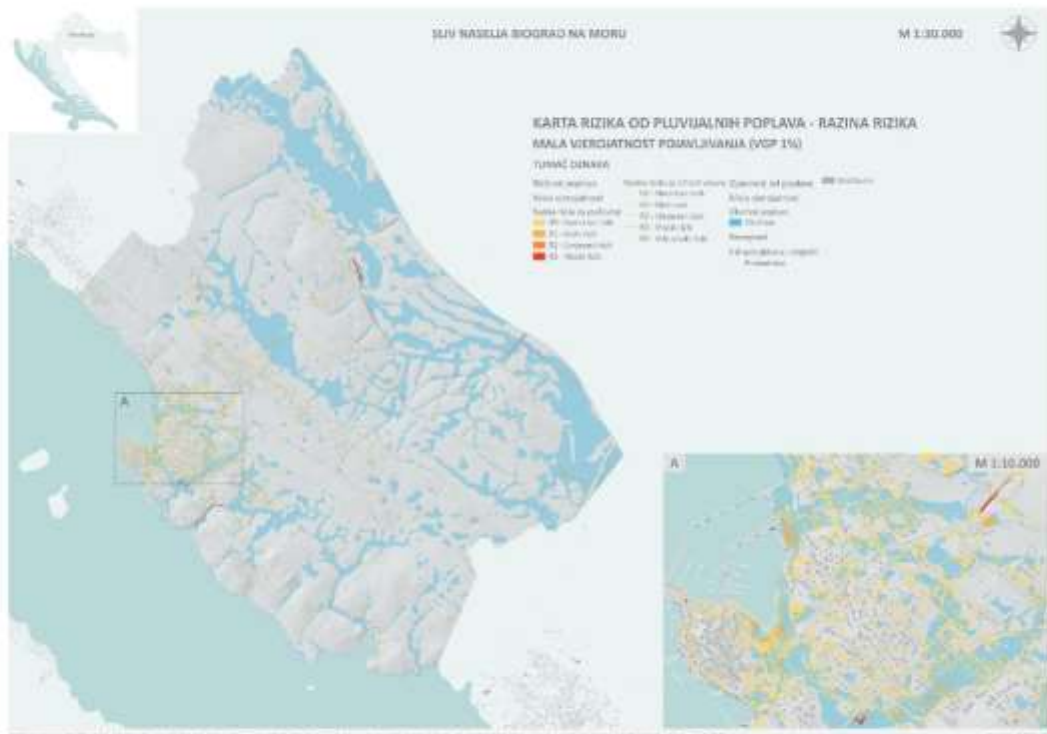
S obzirom da su prikazi dani u logaritamskom mjerilu može se zaključiti kako od ukupnog broja receptora koji su izloženi poplavama najveći broj pripada razini rizika R0 („neznatna razina rizika“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenom ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji.

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.

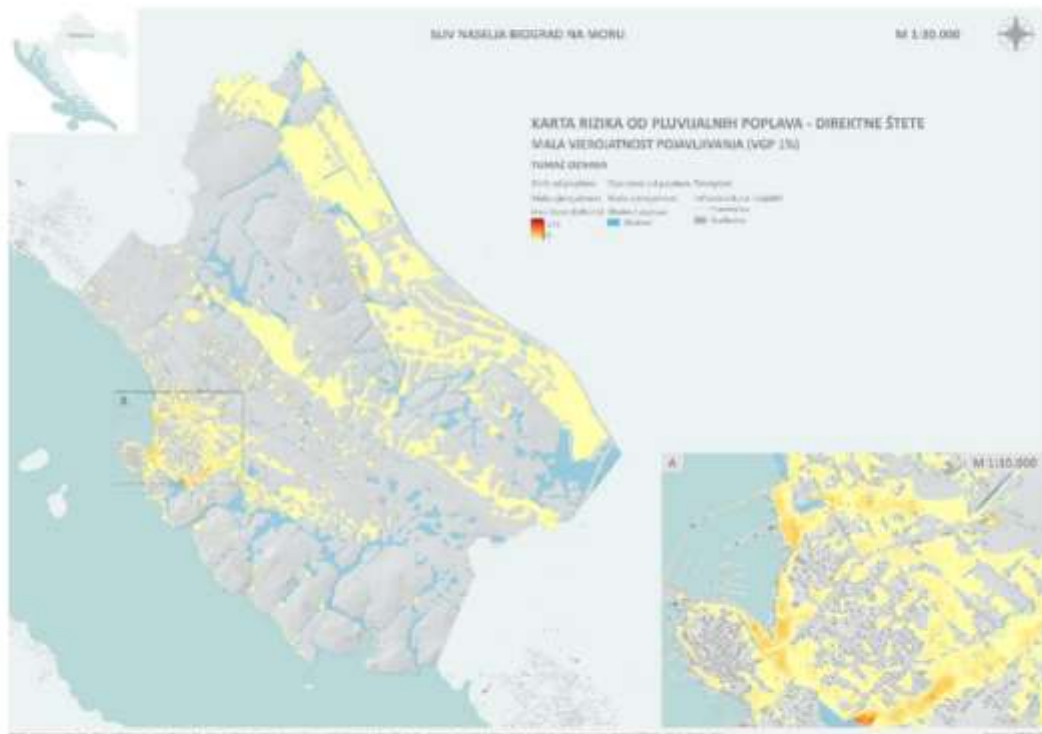
Na Slikama 4.4.10 i 4.4.11 prikazani su primjeri statičkih karata rizika od poplava koje prikazuju razinu rizika za građevine i infrastrukturu te za stanovništvo, za malu vjerojatnost. Na Slici 4.4.12 prikazan je primjer statičke karte rizika od poplava koja prikazuje prostornu raspodjelu direktnih šteta 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.

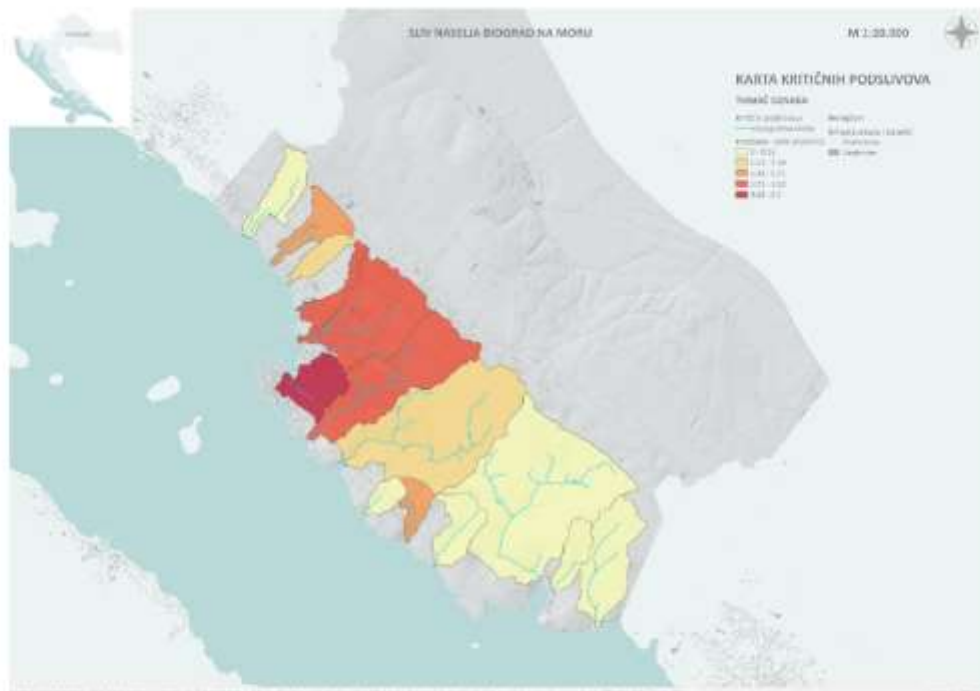


Slika 4.4.12 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Biograd na Moru.

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.

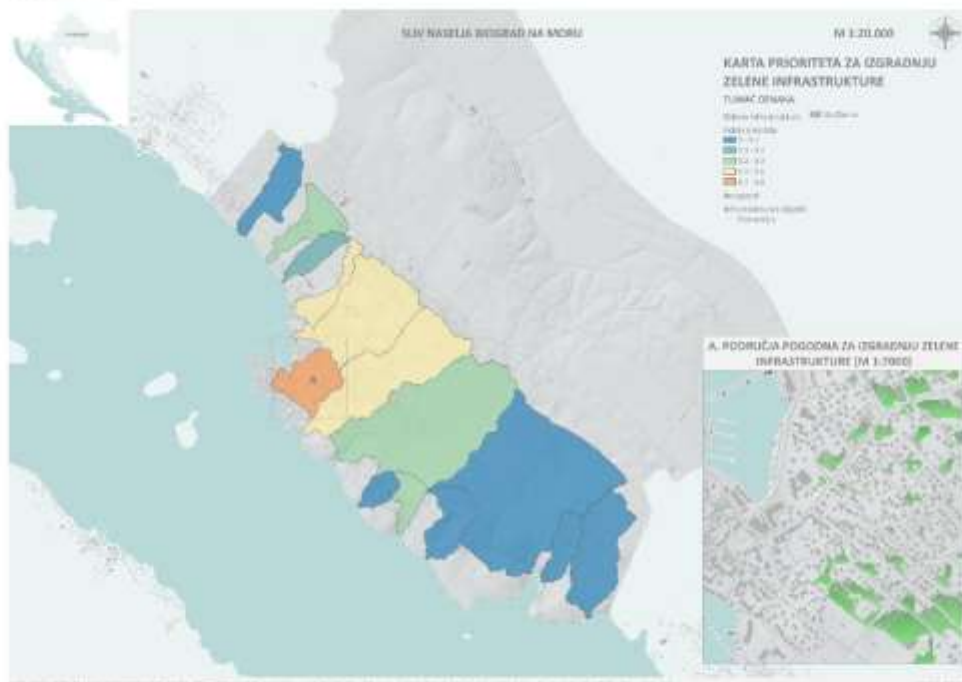
Na pilot području Biograd na Moru, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju podslivovi koji gravitiraju urbaniziranom dijelu naselja Biograd na Moru (Slika 4.4.13). Najkritičniji podsliv obuhvaća Trg hrvatskih velikana, dok su također kritična dva podsliva zapadno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

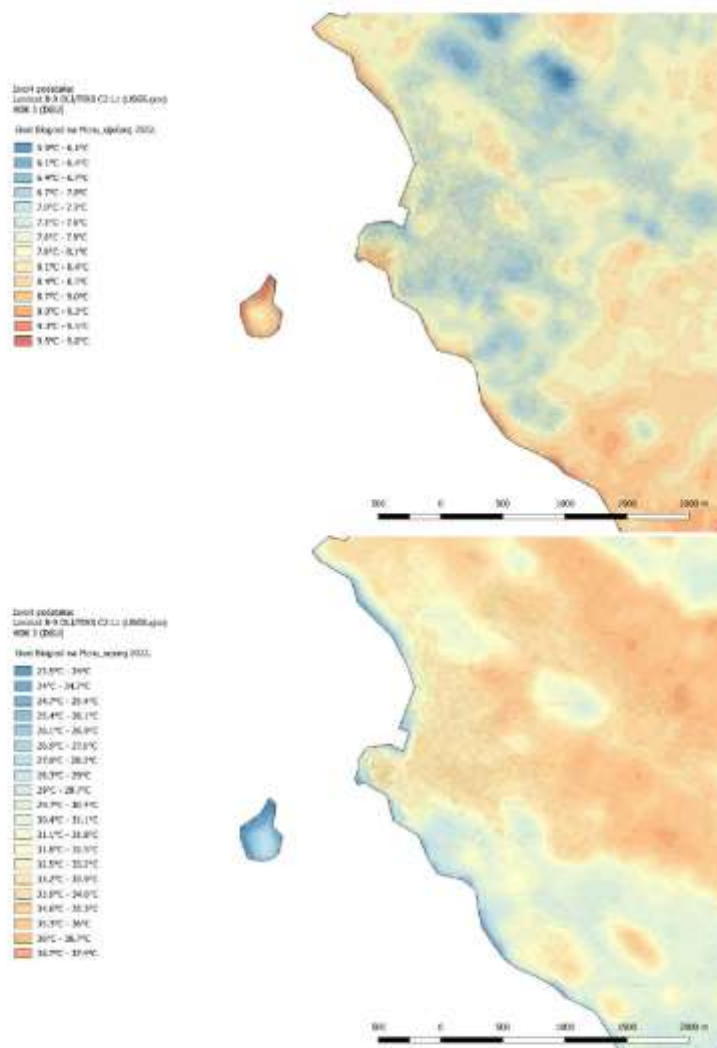
4.4.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Biograd na Moru

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 mikroklimе i ublažavanje toplinskih otoka. Stoga se na slici 4.4.15 prikazuju karte temperatura u zimskom (siječanj) i ljetnom (srpanj) periodu.



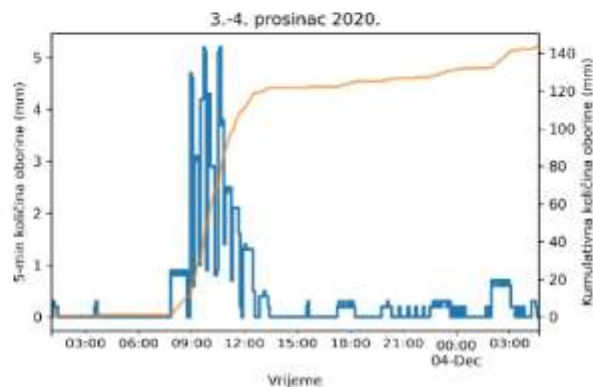
Slika 4.4.15. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Biograda na Moru.

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%.



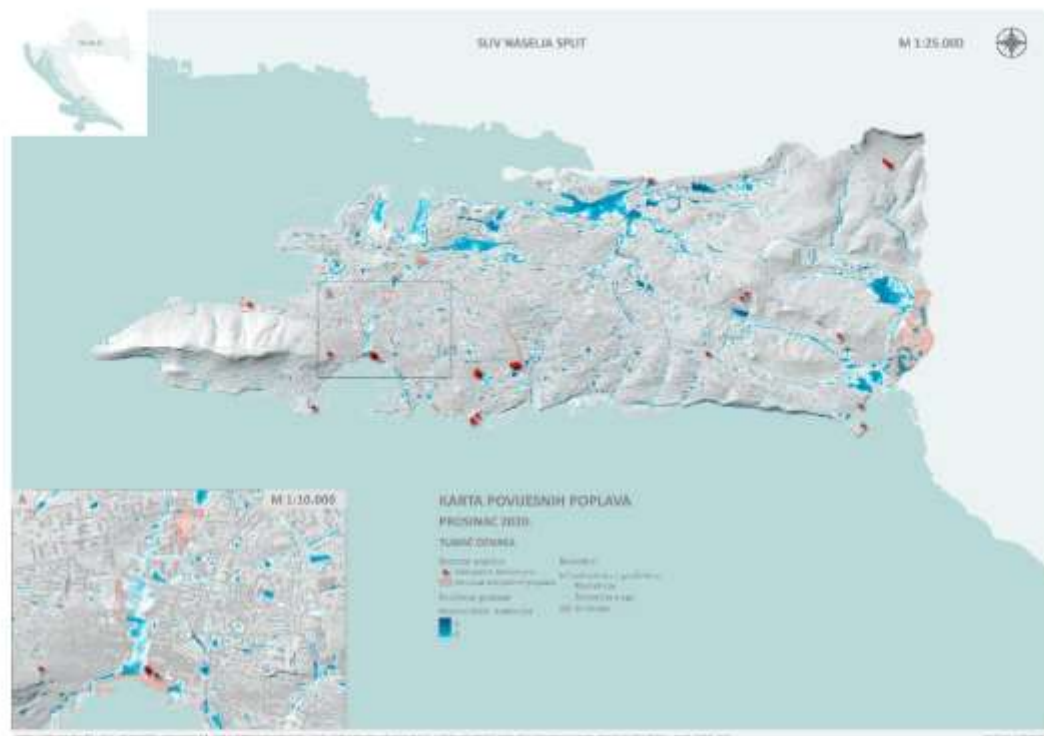
Slika 4.5.1 Trenutne 5-min i kumulativne količine oborine zabilježene 3.-4. prosinca 2020. godine na ombrografskoj postaji Split-Marjan.

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. Pojednim 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. Poplavljeni 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.

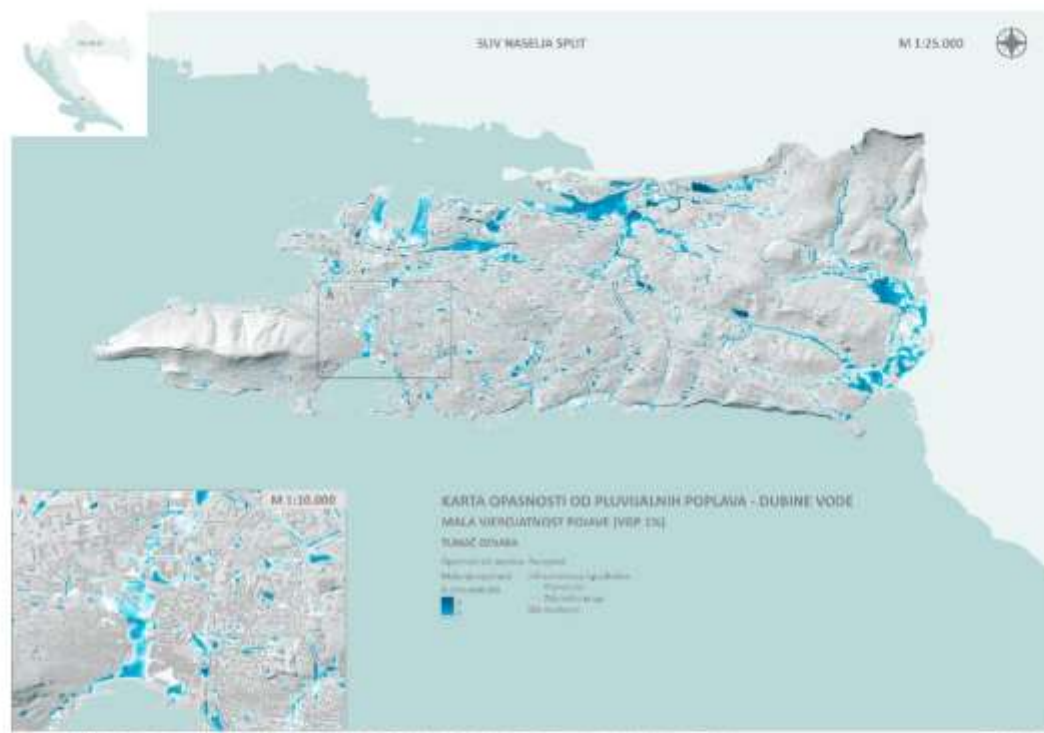
Za razliku od generalno sušne Dalmacije, splitsko područje ima relativno dosta površinskih tokova. Najveći dio splitskog poluotoka, s pojedinim izuzetcima poput vapnenačkog Marjana, izgrađen je od nepropusnog fliša na kojemu se stvaraju površinski vodeni tokovi. U prošlosti u samom gradu nije postojalo 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 Splićani su kopali bunare u potrazi za podzemnom čišćom 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 višekatnica i okolnim nepropusnim površinama (prometnicama, parkiralištima, igralištima).

Danas se na istočnom dijelu sliva nalazi rijeka Žrnovnica i potok Kamen, a u središnjem dijelu potoci Trnstenik i Radoševac. Potok Trnstenik je najzapadniji i podzemno se pruža južno od Blatina te izbija na površinu nedaleko od Medicinskog fakulteta i ulijeva se u more u uvali Trnstenik. Otvorena dionica potoka Trnstenik 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.

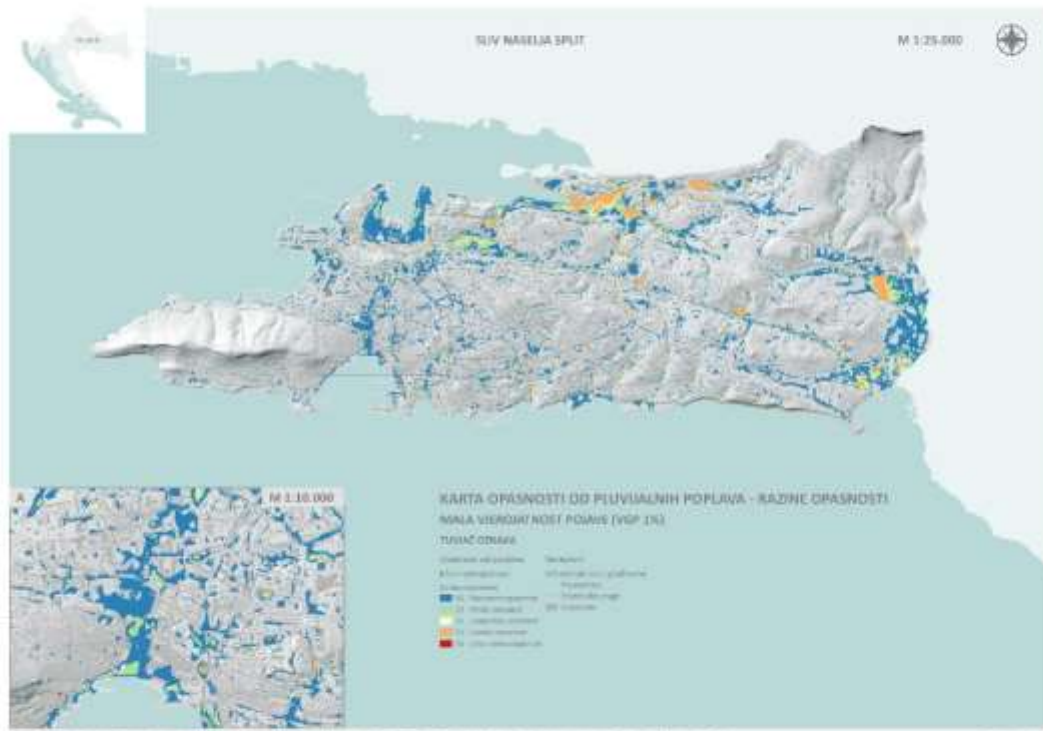


Slika 4.5.5 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

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 (naselja 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 poplavlivanjem 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:

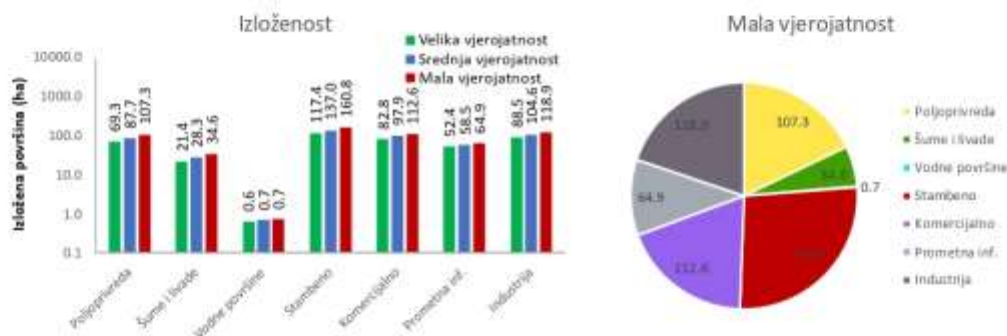
- Ulica Brune Bušića (visoki postotak nepropusnih urbaniziranih površine te neadekvatno riješena odvodnja oborinskih voda)
- garaže u ulici Antuna Branka Šimića (učestale poplave vezane su pozicije garaža niže od okolnih cesta i slijevanje oborinskih voda s prometnice)
- Križanje ulice Domovinskog rada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

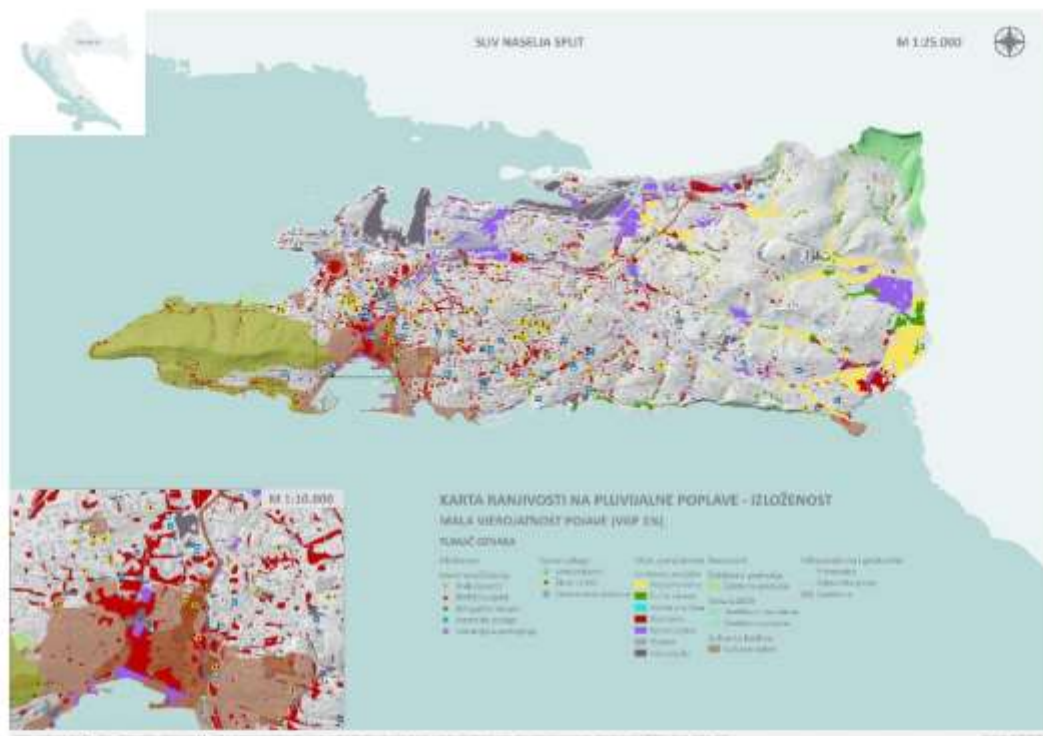
Ranjivost na pluvijalne poplave provedena je s ciljem određivanja rizika, što se prikazuje u sljedećem poglavlju, a u nastavku je zasebno izdvojena analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom na kartama su prikazani poligoni namjene korištenja zemljišta unutar obuhvata poplava za svaku vjerojatnost 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.

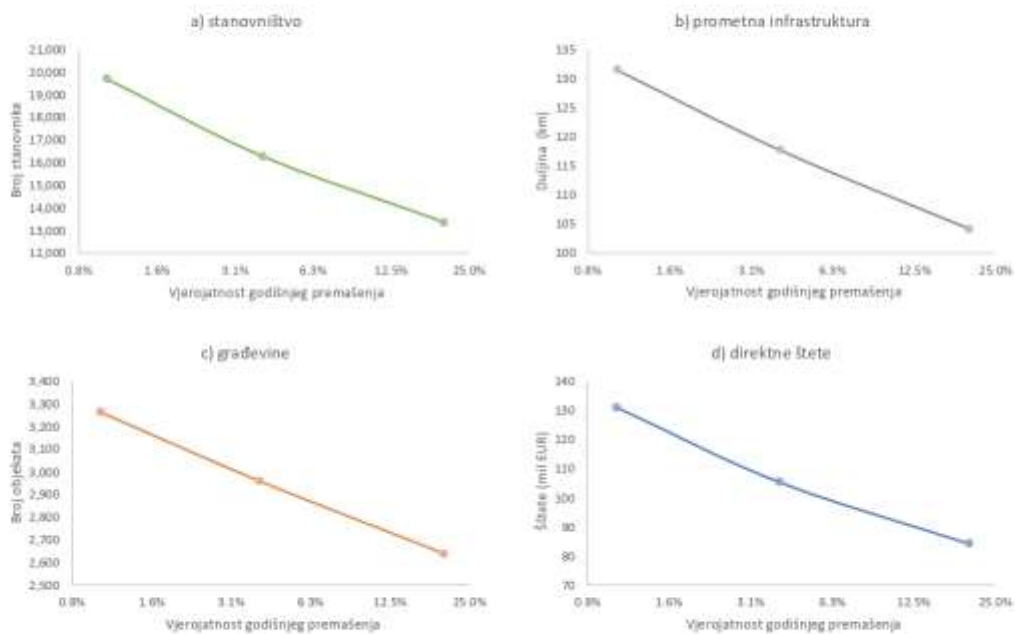
4.5.4 Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Split

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.

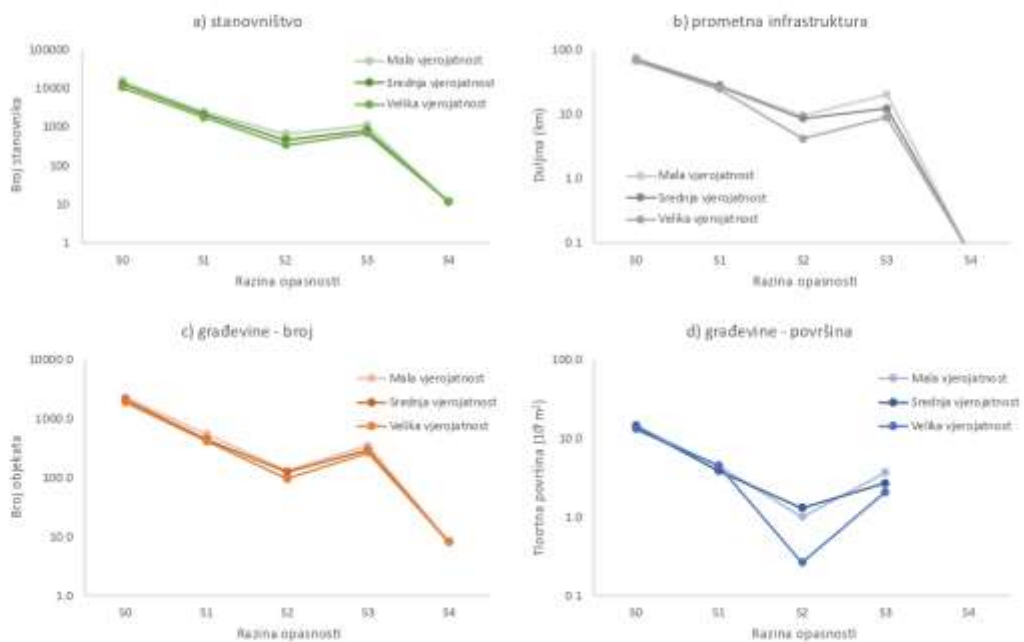


Slika 4.5.9 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) pogođenog broja stanovnika, b) poplavljene duljine prometne infrastrukture, c) poplavljenog broja građevina, d) direktnih šteta od poplava na pilot području Split.

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 („neznatna 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

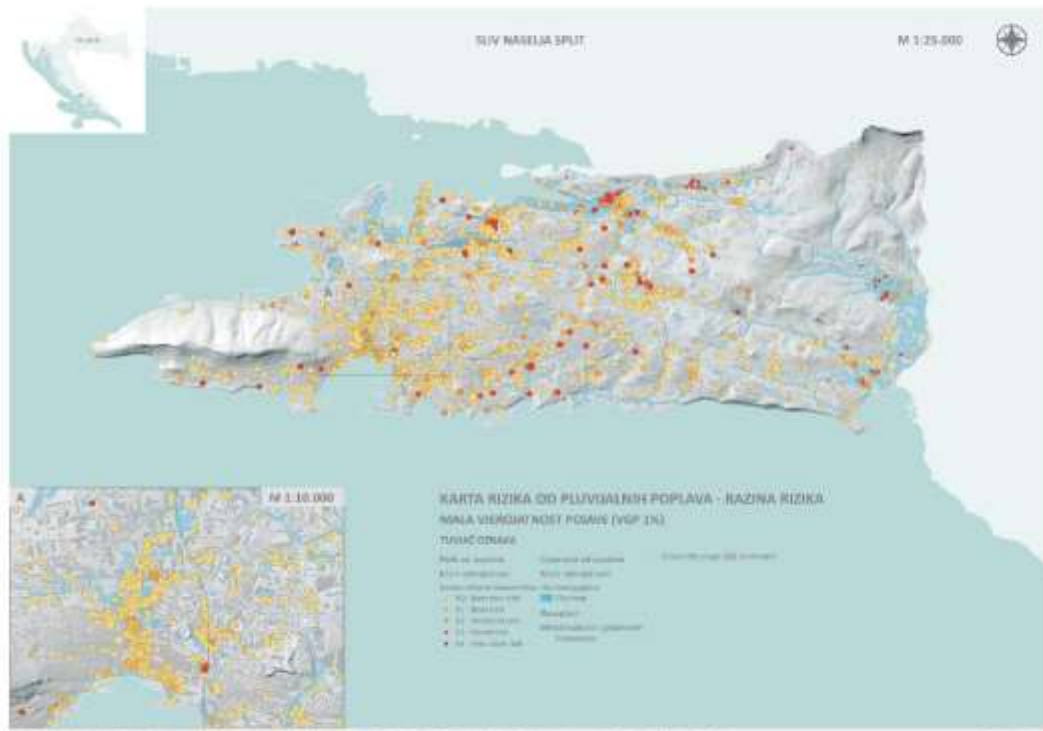
direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost. Najveći broj građevina, prometne infrastrukture i stanovništva sa umjerenom ili visokom razinom rizika koncentrirano je u središnjem dijelu splitskog poluotoka.



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.

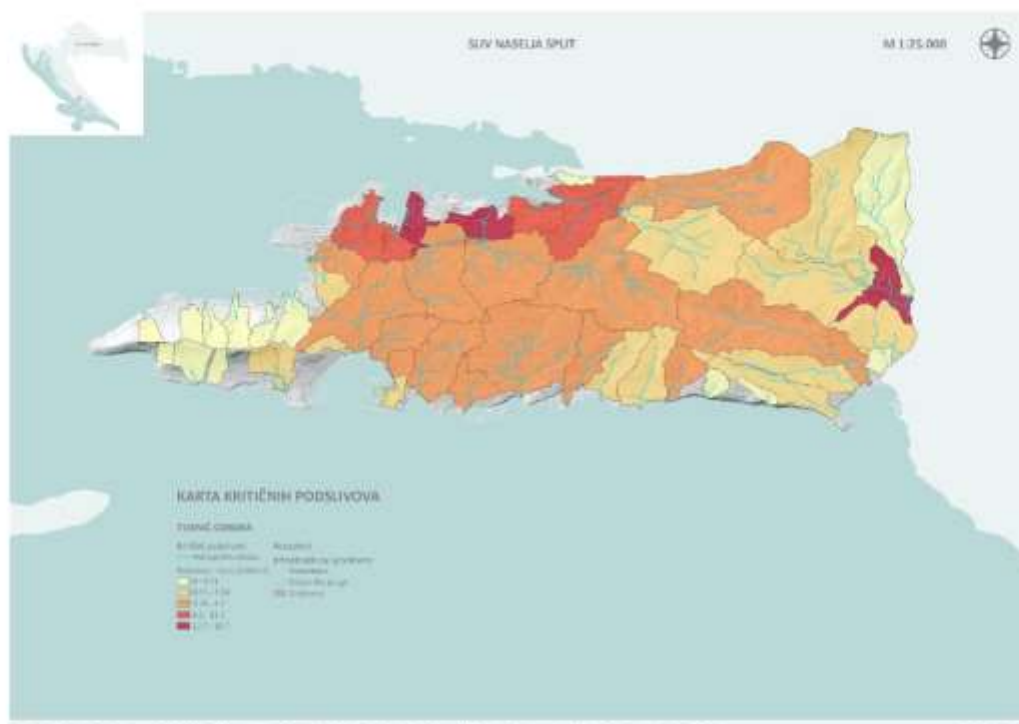


Slika 4.5.13 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost na pilot području Split.

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.

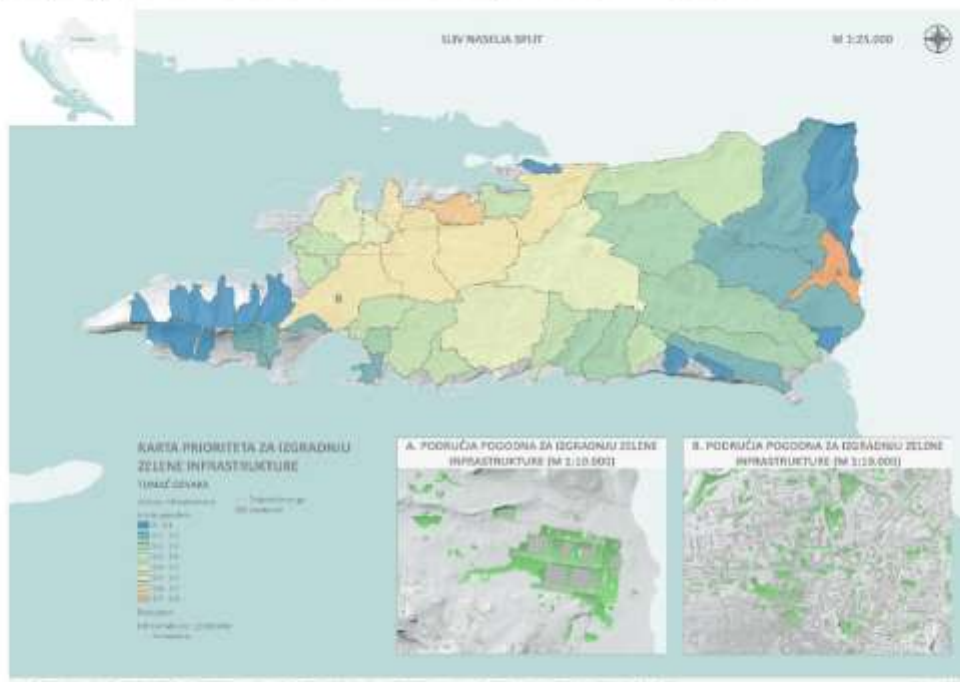
Na pilot području Split, podslivovi koji se nalaze unutar urbaniziranog dijela naselja Split imaju podjednaku razinu rizika s obzirom na štete od poplava (Slika 4.5.14). Najkritičniji podslivovi su smješteni na sjevernom dijelu poluotoka na području s visokim udjelom industrije. Također, kritičan je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

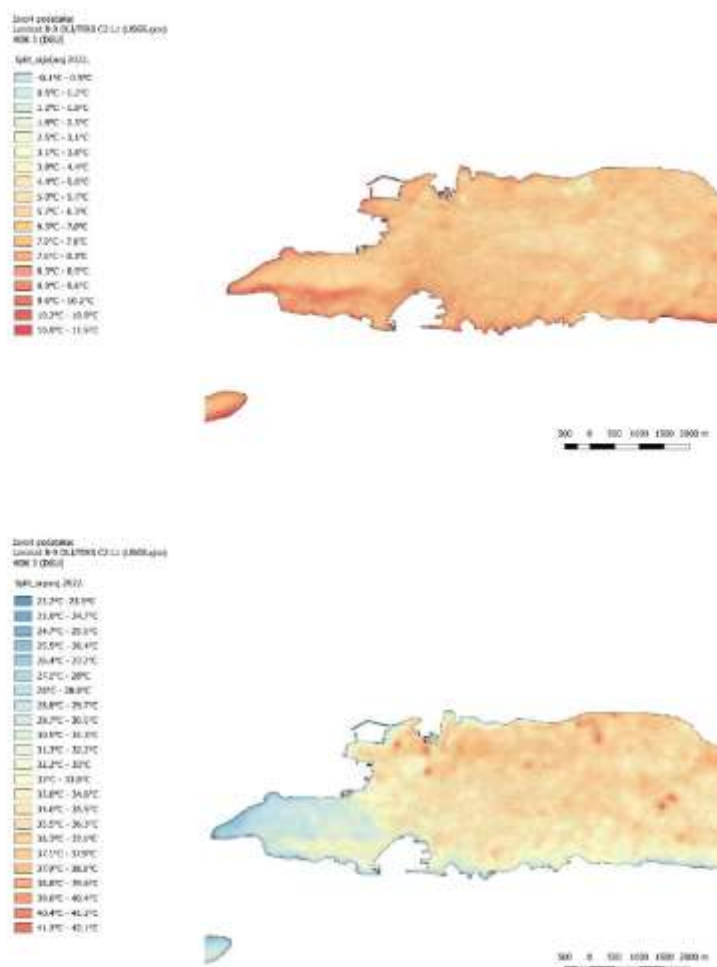
4.5.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Split

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.



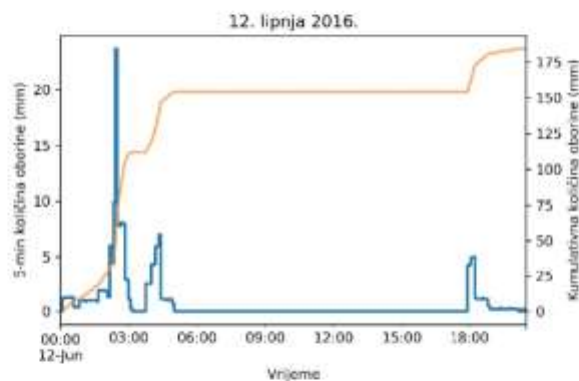
Slika 4.5.16. Karte temperatura u zimskom i ljetnom periodu na području grada Splita.

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.

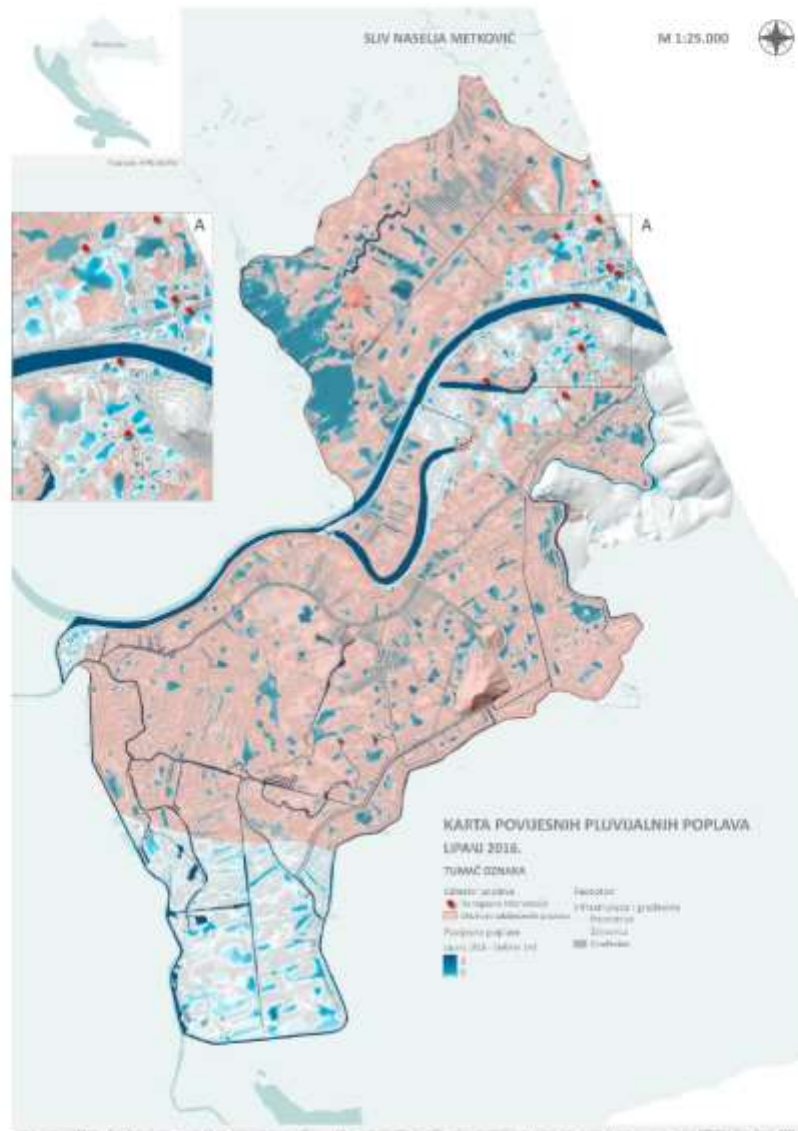
U nastavku se prikazuju informacije o četiri nezavisna poplavna događaja:

- 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 događaj 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.

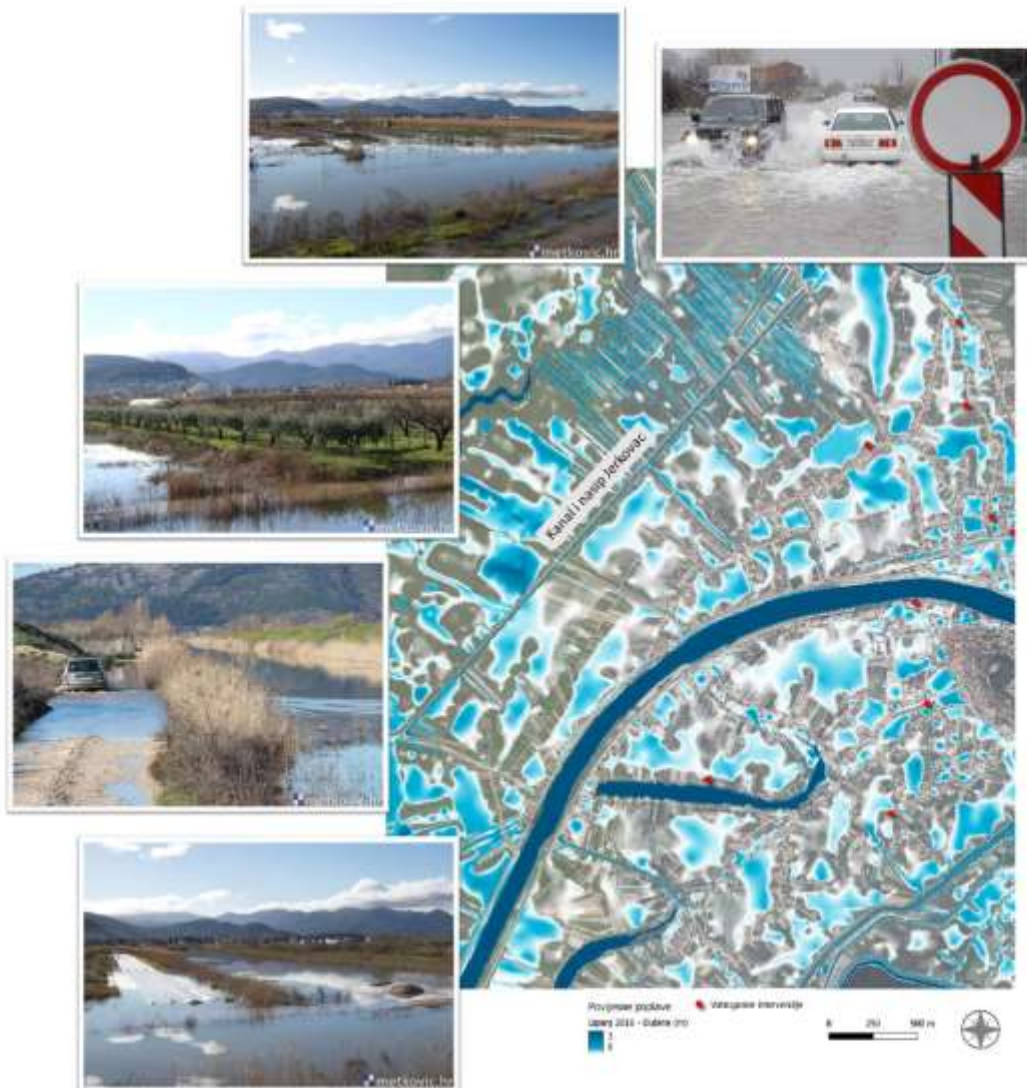
„Nasadi mandarina u dolini Neretve su pod vodom, jer je Neretva visoka. Pod vodom se našlo i naselje Komin. Voda je brzo nadirala, pa je u trenucima izbila panika. Obje strane Neretve su pod vodom. U Metkoviću su poplavljene brojne ulice, a pojedini dijelovi grada su pretvoreni u otoke. Cesta prema Splitu 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. Poplavljeno su i neki granični prijelazi prema BiH. Jugo i visoko more usporavaju otjecanje rijeke. 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 poplavljan, 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 zmijske, škorpioni 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.

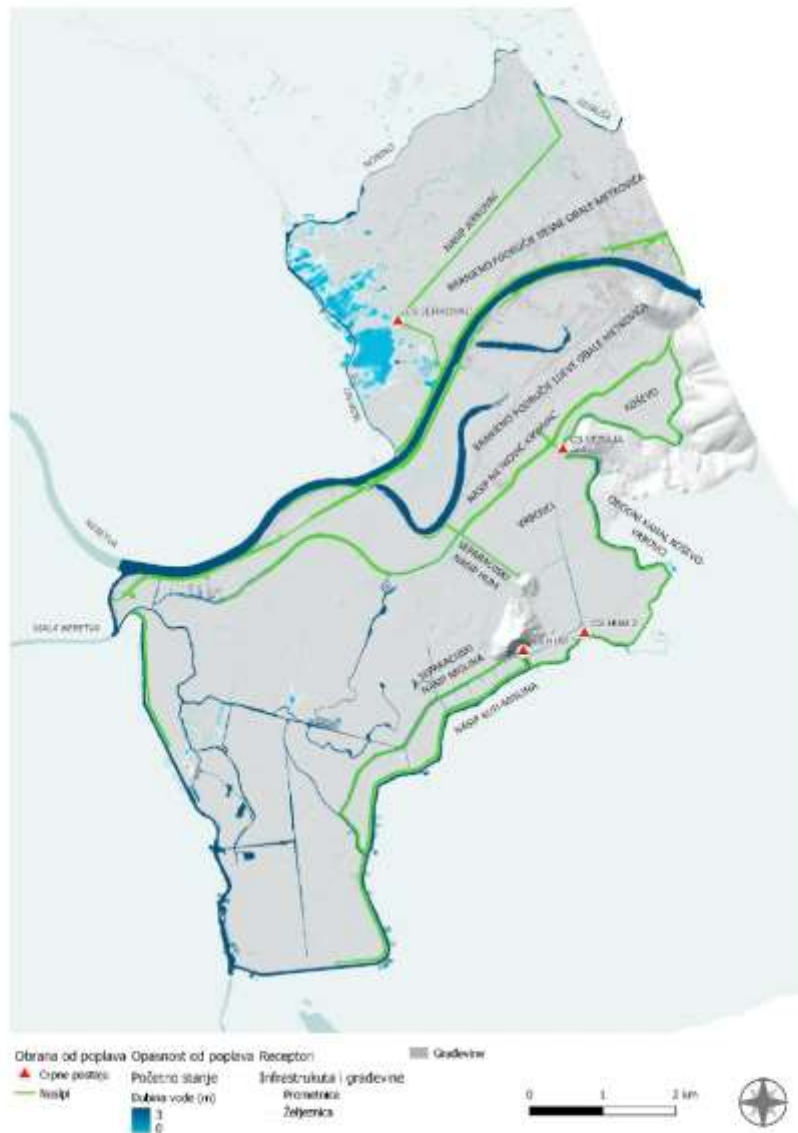
Većina prometnica unutar urbaniziranog područja izgrađena je na nasipima ili prirodno izdignutim područjima. Stambeni objekti su također izgrađeni na višim kotama uz prometnice. Na ovaj su se način u prirodnim depresijama koje su omeđene prometnicama formirali „bazeni“ unutar kojih se oborinske vode 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).

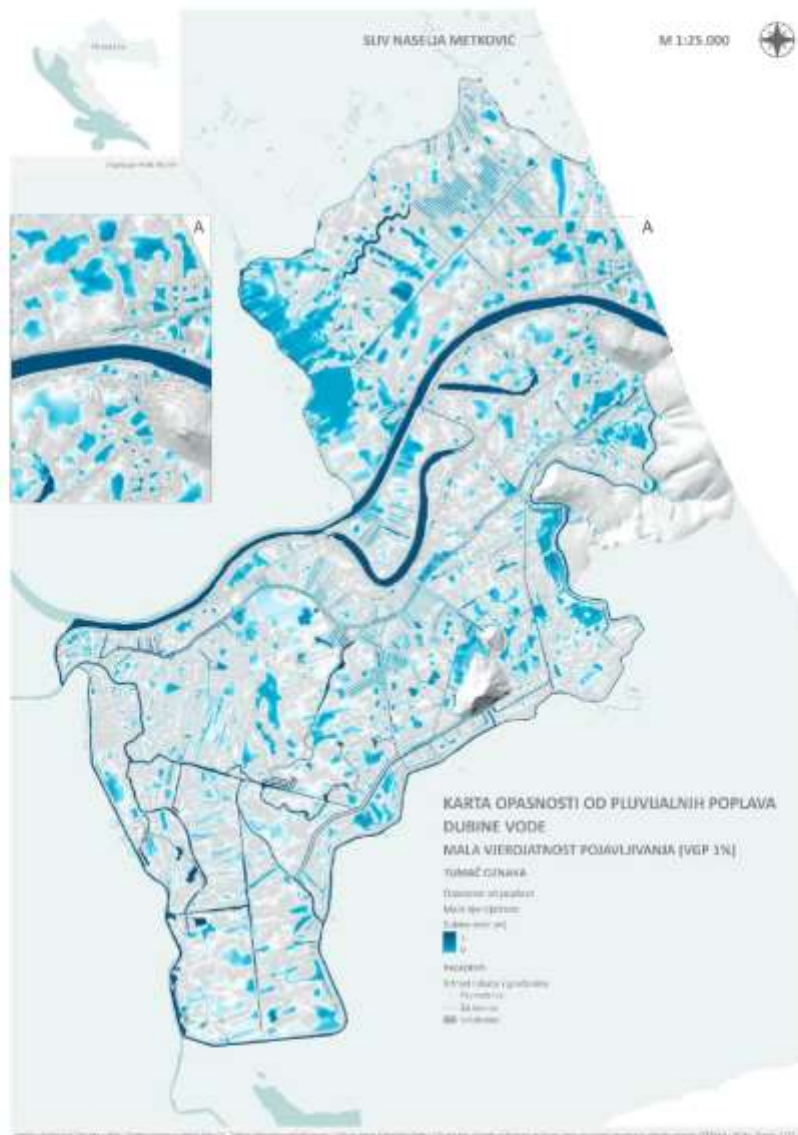
Proces površinskog otjecanja viška oborinskih voda na desnoj obali grada Metkovića vrlo je slično kao i na desnoj obali. Prometnice i objekti unutar urbaniziranog područja izgrađeni su na nasipima ili prirodno izdignutim područjima, uslijed čega se u depresijama između prometnica formiraju „bazeni“ unutar 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.

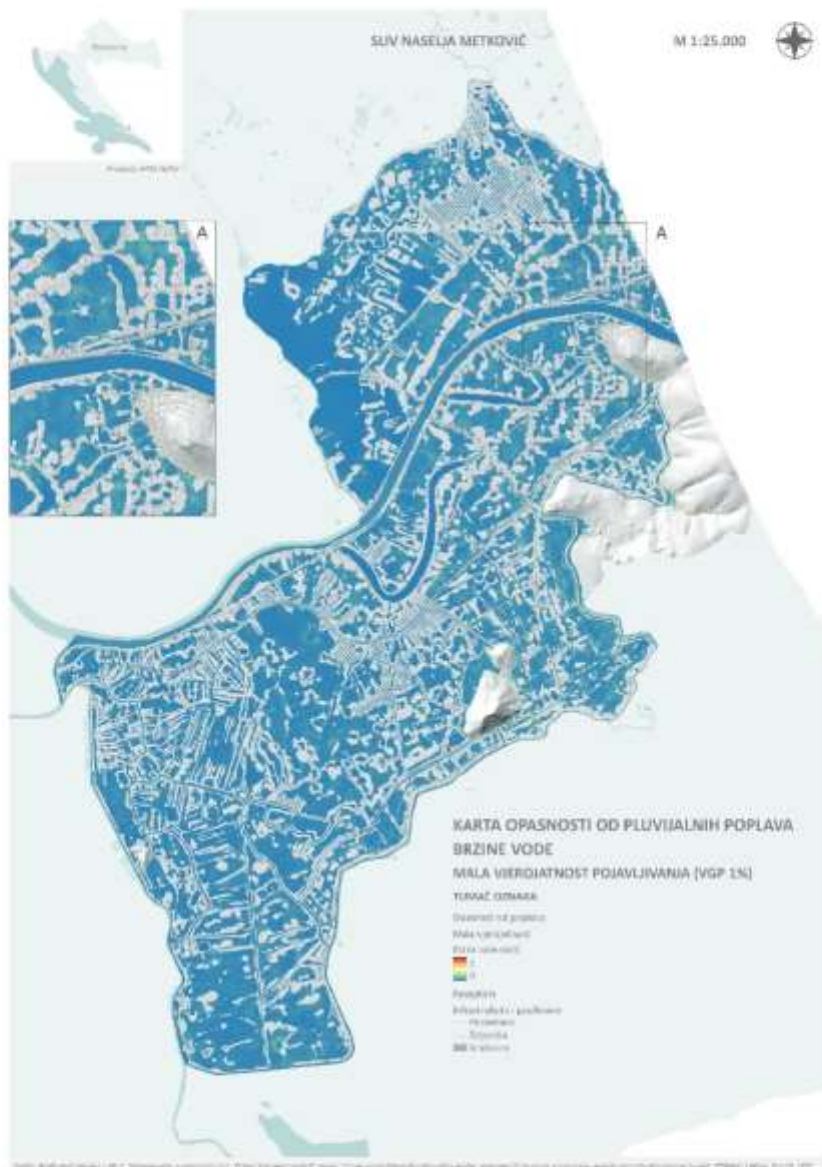
Odvodnja hidromelioracijskog sustava Vrbovci riješena je s dvije crpne postaje CS Hum 1 i CS Hum 2. Glavni kanal završava u usisnom bazenu CS Hum 1 koja je locirana uz brdo Hum te iz glavnog kanala crpi vodu u Rijeku Mislinu. Sadašnji kapacitet osigurava odvodnju od 7 l/s/ha. Prije rekonstrukcije 1964-1965, 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.

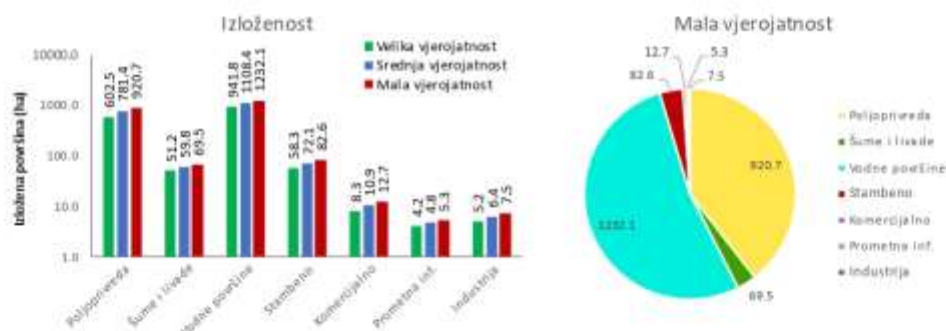


Slika 4.6.6 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.

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. Znanan 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).

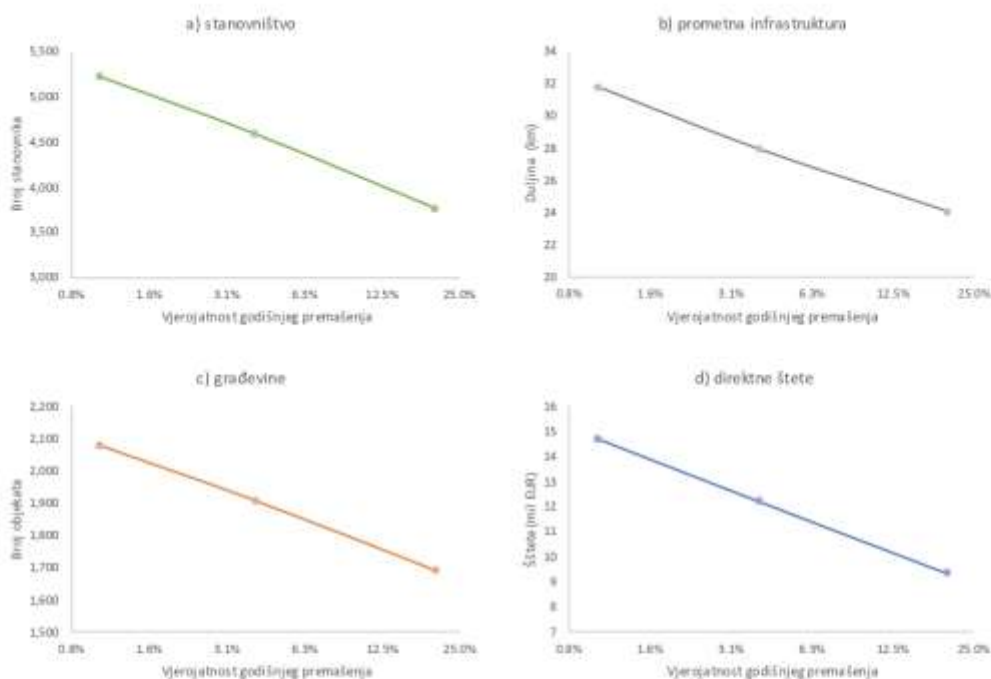


Slika 4.6.8 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Metković.

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.

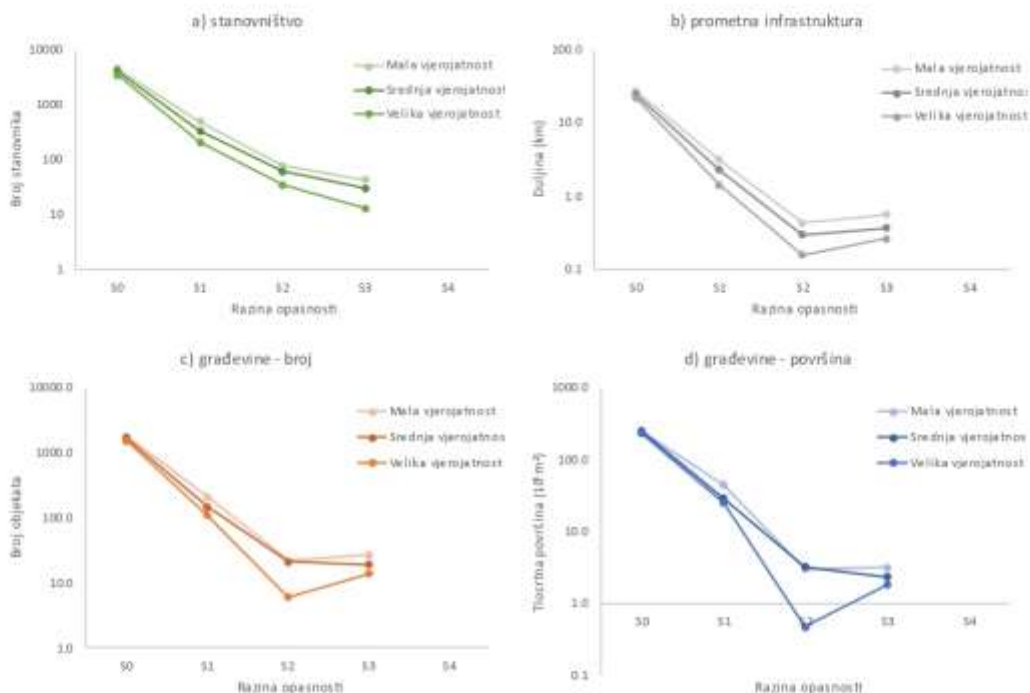
Broj stanovnika pogođenih poplava je u rasponu od 3.772 stanovnika (VGP=20%) do 5.235 stanovnika (VGP=1%). Duljina poplavljene prometne infrastrukture (primarno asfaltiranih prometnica) je u rasponu od 24 km (VGP=20%) do 32 km (VGP=1%). Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 1.690 (VGP=20%) 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 broja 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 („neznatna 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.

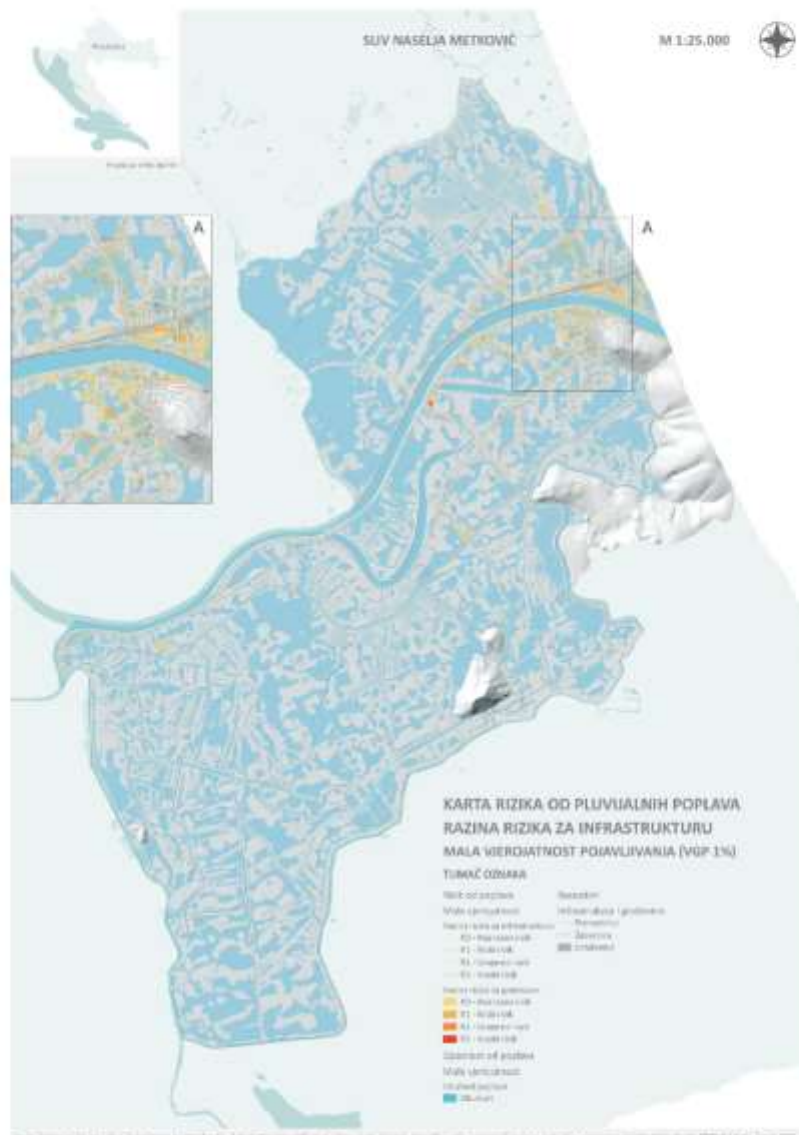
4.6.5 Kritični podslivovi na pilot području Metković

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 podslivovi 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.

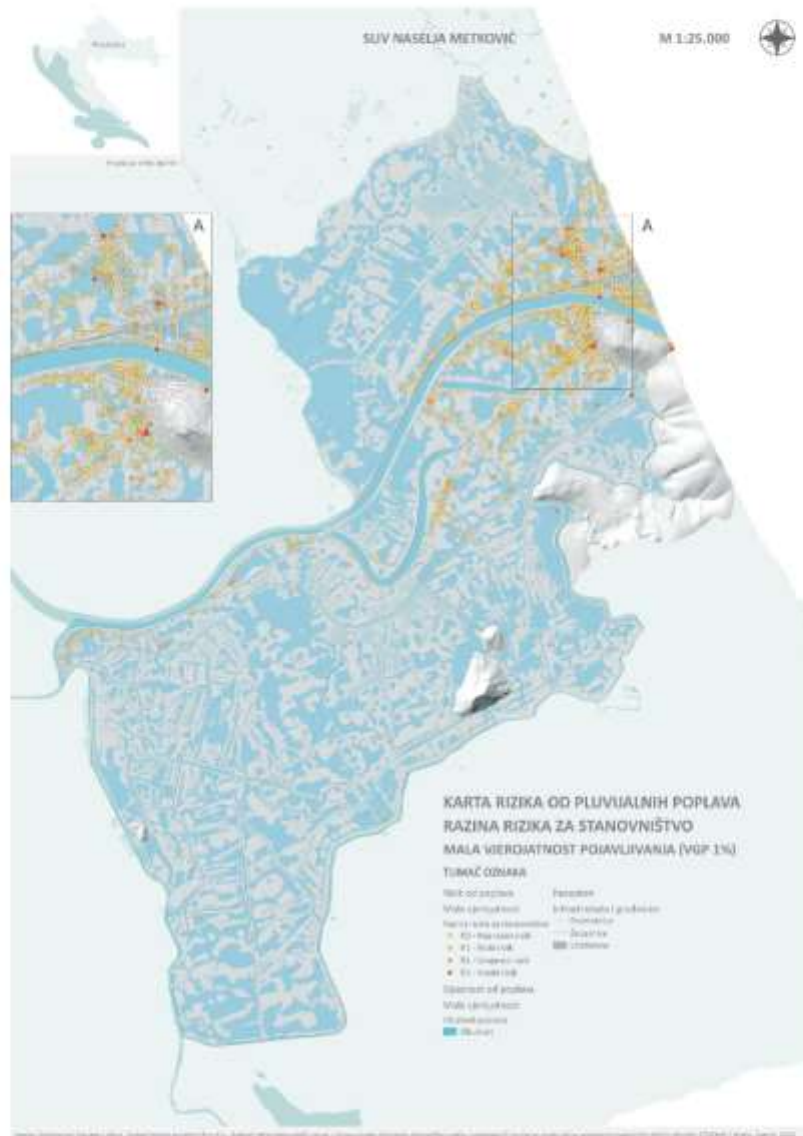
Na pilot području Metković, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju cjeline koje obuhvaćaju urbanizirani dio naselja Metković s obje strane rijeke Neretve (Slika 4.6.15). Najkritičnija cjelina je desna obala Metkovića, ali i lijeva obala od Krvavca do Metkovića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

4.6.6 Implementacija zelene infrastrukture na pilot području Metković

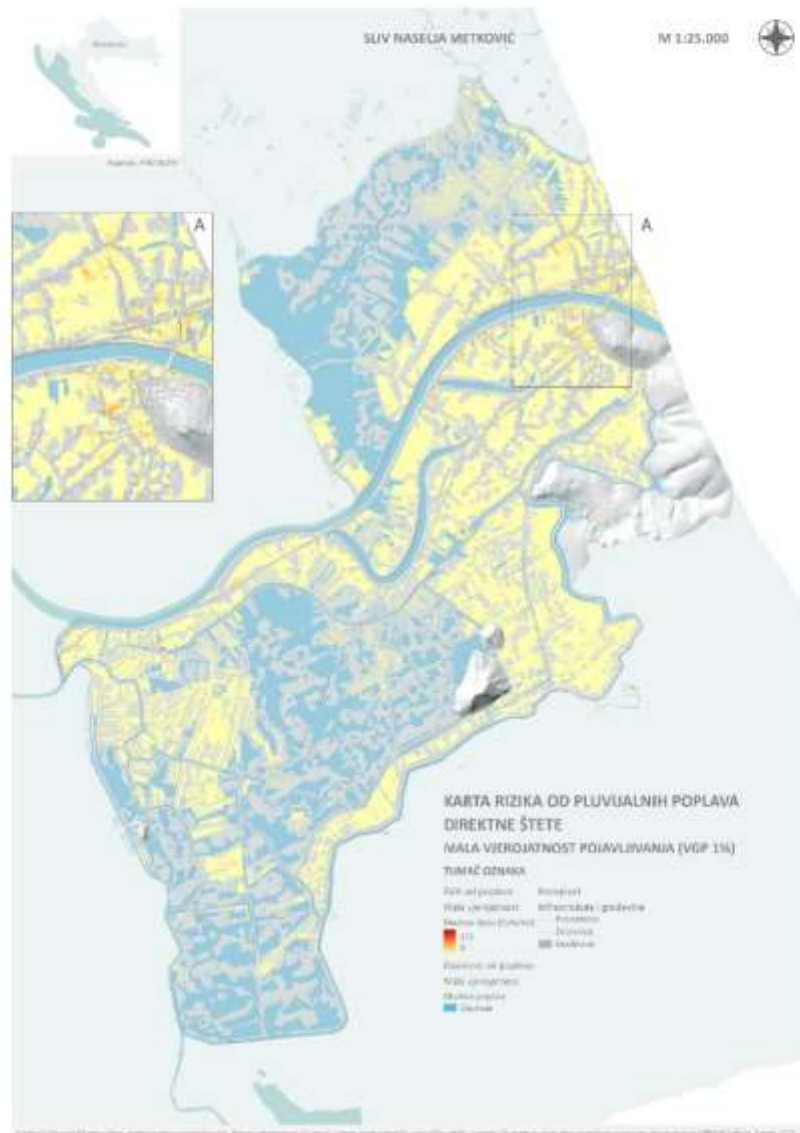
Na osnovu rezultata provedenih analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na pilot području Metković te u skladu s metodologijom prikazanom u poglavlju 3.4. identificirani su podslivovi s visokim stupnjem prioriteta za izgradnju zelene infrastrukture. Pritom, visoki stupanj prioriteta označava 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 obalnoj rijeci 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.



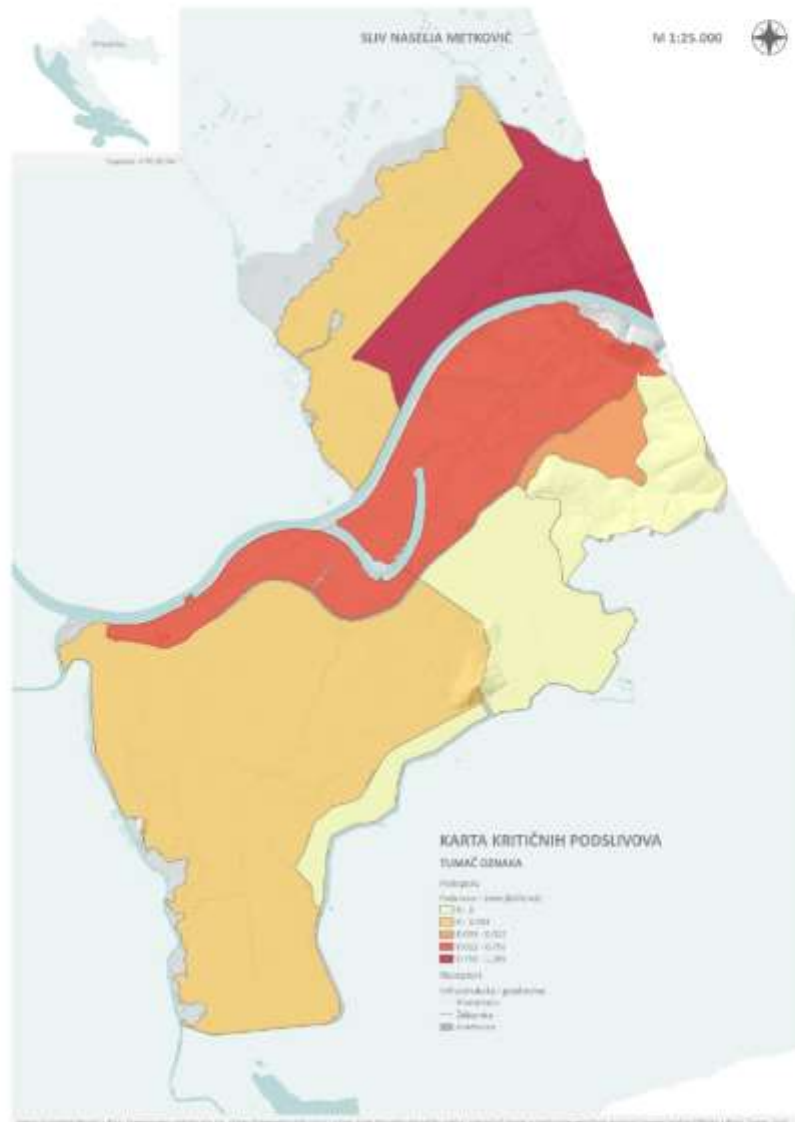
Slika 4.6.12 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine i infrastrukturu - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.



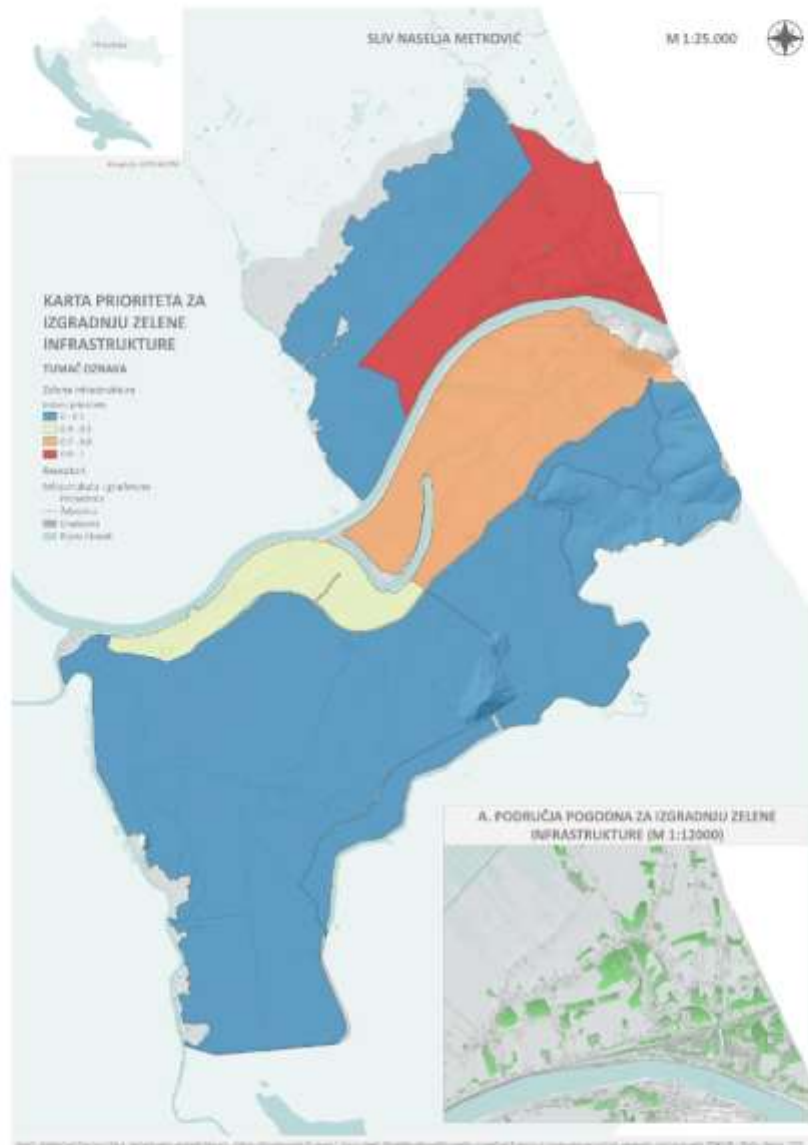
Slika 4.6.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za stanovništvo - za malu vjerojatnost na pilot području Metković.



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

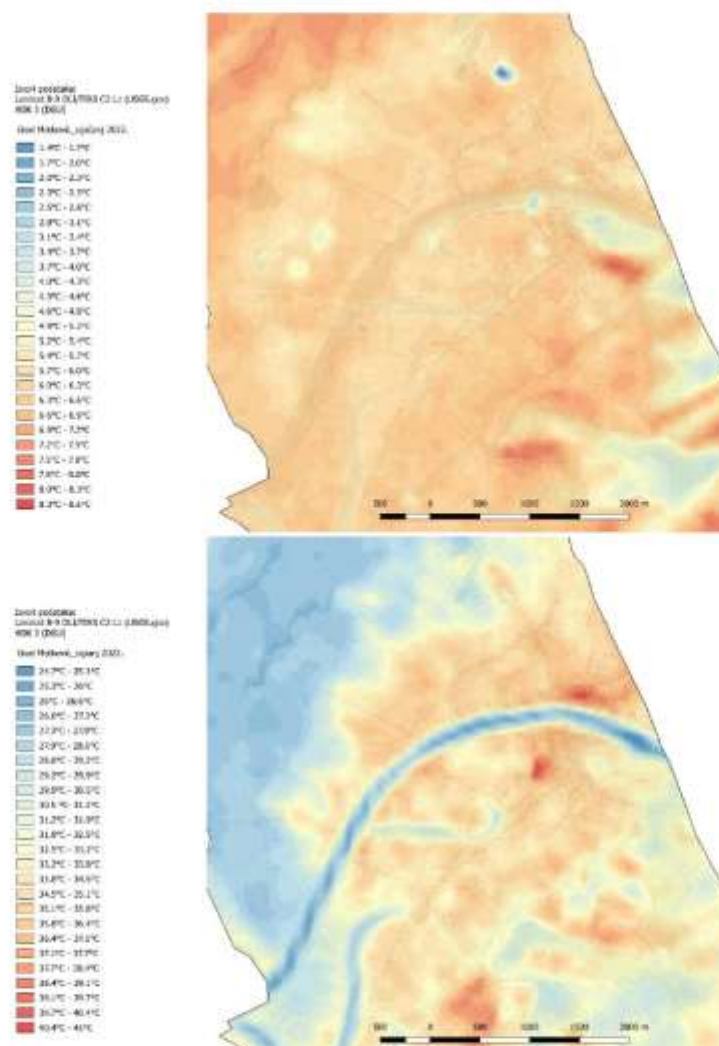


Slika 4.6.15 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) na pilot području Metković.



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 mikroklimе 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	Catchment.shp	Podloga	-		Sliv
\Exposure	DEM_5m.tif				Digitelni model terena (DMT)
\Exposure	Settlements.shp				Naselja
\Cadastr	Flooded_areas_register.shp	Katastar poplava	-	Katastar poplava	Obuhvat zabilježenih poplava (iz registra poplovnih događaja)
\Cadastr	Flooded_areas.shp				Obuhvat zabilježenih poplava
\Cadastr	Flood_interventions.shp				Vatrogasne intervencije
\Historical\Sep2010	Depth (Max)_slope_clipped.tif				Povijesne poplave
\Exposure	Buildings.shp	Receptori	-	Receptori-Infrastruktura i građevine	Građevine
\Exposure	Roads.shp				Prometnice
\Exposure	Railroads.shp				Željeznička pruga
\Exposure	Cultural_heritage.shp				Kulturno dobro
\Exposure	Population.shp				Gustoća stanovnika
\Exposure	LU_5m.tif				Namjena korištenja zemljišta
\Exposure	LU_5m_modified.tif				Korištenje zemljišta (osnovno)
\Exposure	Protected_areas.shp				Zaštićena područja
\Exposure\Natura2000	Direktiva_o_pticama_natura2000.shp				Receptori-Natura2000
\Exposure\Natura2000	Direktiva_o_staništima_natura2000.shp				Direktiva o staništima
\Exposure\Pollution	ePRTR.shp	biloženost		Izloženost-izvori onečišćenja	Industrijska postrojenja

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

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

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Risk\Scenario1\100YR	Damages_percent_100yr.tif			Rizik od poplava-Mala vjerojatnost	Postotak štete (%)
\Risk\Scenario1\100YR	Infrastructure_risk_100yr.shp				Razina rizika za infrastrukturu
\Risk\Scenario1\100YR	Population_risk_100yr.shp				Razina rizika za stanovništvo
\Risk\Scenario1\100YR	Total_damages_100yr.tif				Direktne štete (EUR/m2)
\Hotspots	streams.shp	Kritični podslivovi		Kritični podslivovi	Hidrografska mreža
\Hotspots	subcatchments.shp				Podslivovi – štete (EUR/m2)
\LID	ime_podrucja_podslivovi.shp	Zelena infrastruktura		Zelena infrastruktura	Indeks prioriteta
\LID	ime_podrucja_zi_podslivovi_P100.shp				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.** Pобољшanje 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 produženo 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 ($Q_{p,25}$) 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 ($Q_{T,100}$) 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

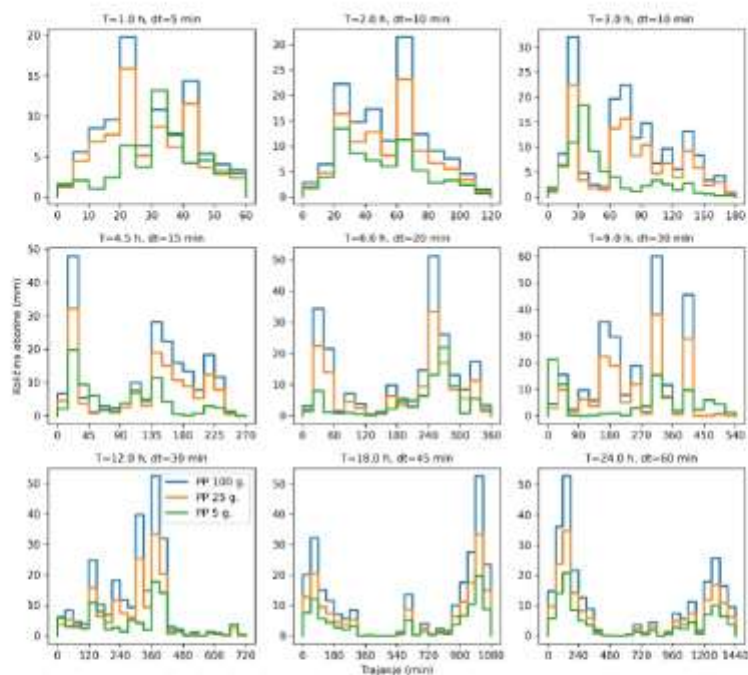
$H_{90\%} = 22,2 \text{ mm}$

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

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

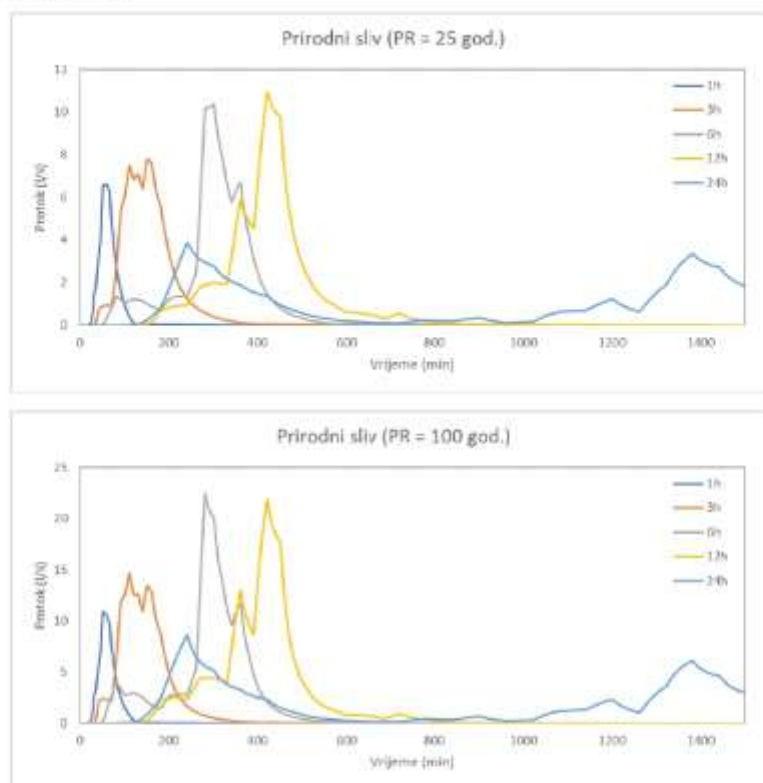
Za sprječavanje prekomjernog površinskog tečenja (kriterij 4) odabrani su projektni pljuskovi trajanja 1, 3, 6, 12 i 24 sata i povratnog razdoblja 25 godina, dok su za ublažavanje poplava od ekstremnih oborina odabrani projektni pljuskovi istog trajanja i povratnog razdoblja 100 godina (Slika 4.8.1).



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)

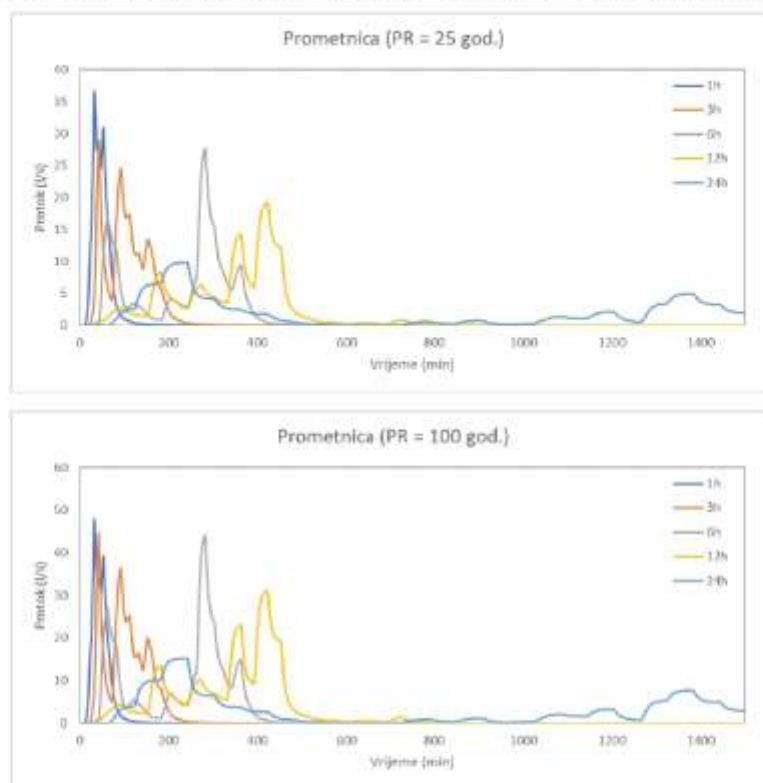
U nastavku se daju rezultati hidrološko-hidrauličkog proračuna otjecanja oborinskih voda sa predmetnog sliva u stanju prije izgradnje, koji je proveden u SWMM računalnom programu. Infiltracija je zadana putem CN broja krivulje, pri čemu je odabrana vrijednost $CN = 60$ s 0% nepropusnih površina. Na Slici 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

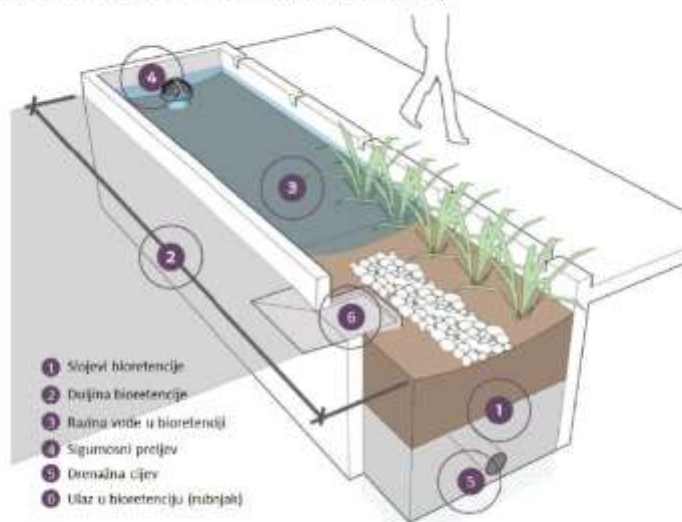
U nastavku se daju rezultati hidrološko-hidrauličkog proračuna otjecanja oborinskih voda sa predmetnog sliva u stanju nakon izgradnje prometnice. Pretpostavljeno je da prometnica ima nepropusnost 100%, dok je površina predviđena za izgradnju zelene infrastrukture u potpunosti propusna, a infiltracija 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:

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

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

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

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

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.

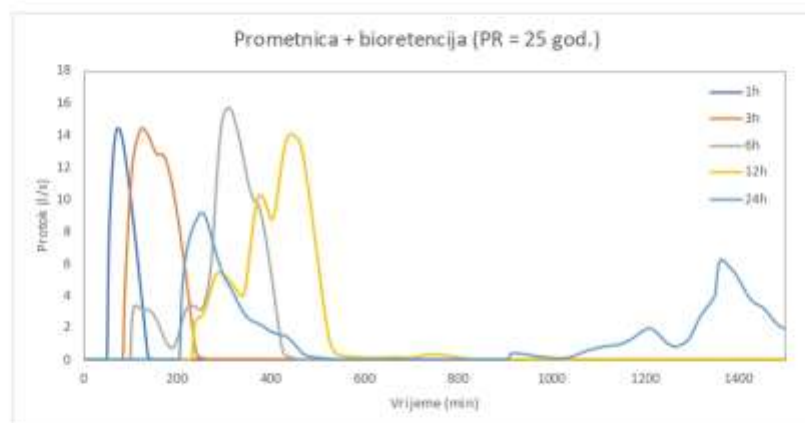
<i>Oborina 24-satnog trajanja 1 -god. PR</i>	$H_{1g} = 45,4 \text{ mm}$
<i>Površina sliva</i>	$A = 1140 \text{ m}^2$
<i>Volumen za zaštitu sustava odvodnje</i>	$V_{1g} = A \times H_{1g} = 51,76 \text{ m}^3$
<i>Potrebna visina</i>	$H_{ret} = V_{1g} / A_{bio} = 37,0 \text{ cm}$

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.

<i>Minimalna visina drenažnog sloja</i>	$H_{d,min} = (H_{ret} - H_p - \eta_{fit} H_{fit}) / \eta_d$
	$H_{d,min} = (37 - 11 - 0,3 \times 25) / 0,4 = 46,3 \text{ cm}$
<i>Usvojena kota nivelete drenažne cijevi</i>	$H_{dc} = 30,0 \text{ cm}$ 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 ($28 \text{ cm}^2/\text{m}^2$), a ista je odabrana u cilju ograničavanja maksimalnog protoka istjecanja iz bioretencije.

Usvojeni profil drenažne cijevi

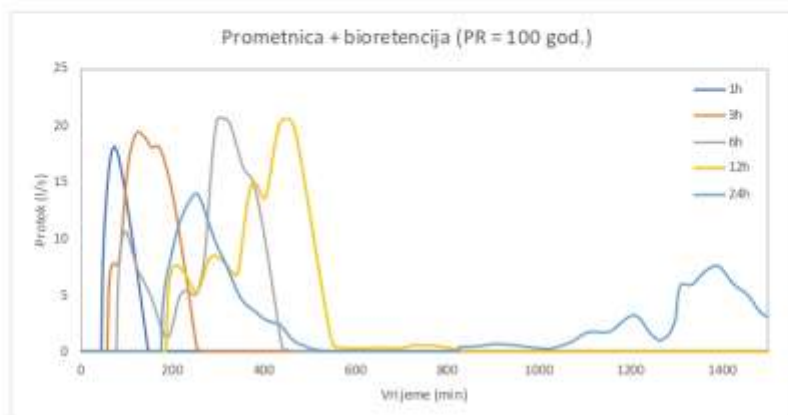
$D_d = 100 \text{ mm}$

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 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.

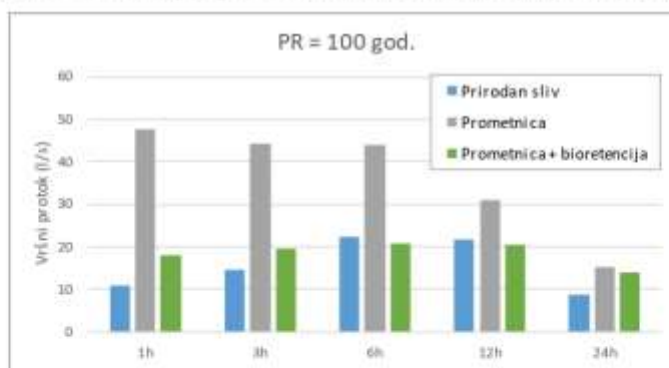
U ovom se slučaju samo manji početni volumen oborine postepeno filtrira kroz gornji sloj, dok se preostali (veći) dio preljeva direktno u drenažni sloj te kontrolirano ispušta iz bioretencije putem drenažne cijevi.

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

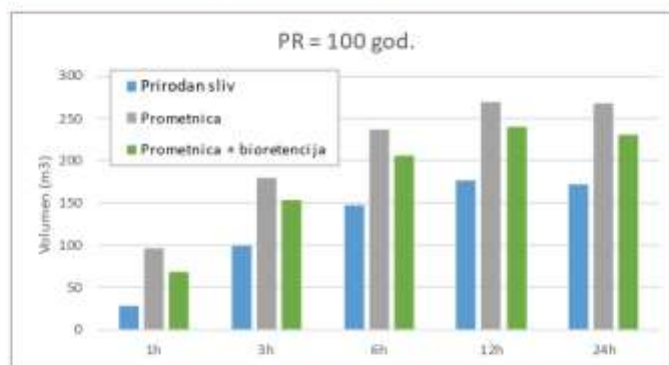
Usvojena debljina donjeg (drenažnog) sloja

$H_d = 100$ cm.

Konačno se može zaključiti da ovako dimenzionirana bioretencija ima povoljan utjecaj ne samo na redovne oborine veće 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 prioritetne 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 prometnica, 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 trгови, 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 pospešuju 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 vertikalala), 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, ravnjanje, 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 koncepcijskih rješenja NBS sustava

U nastavku se daje preporuka sadržaja idejnih koncepcijskih 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 PROJEKTNNA 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, uredbe 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 početka 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 koncepcijskim 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. Izvešće 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>

Izvešće 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>

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

1.3. Comprehensive analysis of urban flooding in Zadar and improving the flood forecasting system

As part of the Study, the Executor will also conduct model studies of floods from the sea for the city of Zadar and probabilistic studies of pluvial floods in the narrower area of the city of Zadar. Also, the Executor will additionally analyze the combined effect of floods from the sea (tides, storm surges, waves) and land (direct surface runoff of precipitation, channelized surface flow, flow through the sewerage system). Analyzes should cover the historical and future situation and the impact of climate change on

precipitation regime and sea level rise. At this micro level, the Executor will analyze the flooding of the selected watershed in the urban environment on very high resolution surfaces (< 30 cm), with consideration

of all relevant infrastructure elements (rainwater drainage system, transport and coastal infrastructure, etc.). Also, the Executor will carry out field measurements and sampling in order to

assess the quality and burden of storm water pollution at the selected location. The necessary analyzes to be made by the Executor should include the following:

- A detailed description of the features of the narrower pilot area where urban flooding will be analyzed, along with a description of all relevant infrastructure elements that affect surface runoff.
- Preparation and presentation of detailed bases (meteorological, hydrological, oceanographic, bathymetric, topographic, infrastructural, land cover) for the implementation of hydraulic modeling.
- Analysis and processing of all actions that can cause urban flooding (precipitation runoff, river flow, flow in the sewage system, tides, storm surges, sea waves).
- Elaboration of the methodology for assessing urban floods at the micro level.
- Field research that includes site visits and data collection on existing problems.
- Systematization of knowledge about the impacts of climate change on precipitation intensity and sea level rise and a quantified assessment of the possible impacts of such changes on flooding of coastal and urban areas.
- Creation of a 2D/1D numerical model of surface water runoff from heavy precipitation in a suitable computer program.
- Implementation of numerical simulations for different probabilities of flooding from heavy rainfall in the selected pilot area.
- Creation of a 2D model of wave dynamics in the water area in front of the pilot area in a suitable computer program.
- Implementation of numerical simulations for different probabilities of flooding from the sea in the selected pilot area.
- Implementation of numerical simulations for different probabilities of the occurrence of

complex floods due to a combination of action from sea and land in the selected pilot area.

- Creation of detailed hazard and risk maps of complex floods in the selected pilot area.
- Sampling and analysis of relevant physical and chemical parameters of polluted stormwater from urban areas at a selected location in the urban pilot area.
- Technical assistance in the creation of a probabilistic model for a better understanding of pluvial floods and the development of a pluvial flood forecasting system.
- Technical assistance in improving the flood forecasting system from the sea.

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

KNJIGA 3: SVEOBUHVAATNA ANALIZA URBANIH POPLAVA U ZADRU TE UNAPRJEĐENJE SUSTAVA PROGNOZE POPLAVA



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 USLJED JAKIH OBORINA I DJELOVANJA MORA KNJIGA 3: SVEOBUHVAATNA ANALIZA URBANIH POPLAVA U ZADRU TE UNAPRJEĐENJE SUSTAVA PROGNOZE POPLAVA	
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 Kravica, 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 voditeljica:

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: 2170-57-05-00-22-11

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

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

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

KNJIGA 3: SVEOBUHVAATNA ANALIZA URBANIH POPLAVA U ZADRU TE UNAPRJEĐENJE SUSTAVA PROGNOZE POPLAVA

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 3: SVEOBUHVAATNA ANALIZA URBANIH POPLAVA U ZADRU TE UNAPRJEĐENJE SUSTAVA PROGNOZE POPLAVA
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, Građevinski fakultet (vodeći član)	dr. sc. Bojana Horvat, dipl. ing. građ. dr. sc. Nevenka Ožanić, dipl. ing. građ. dr. sc. Igor Ružić, dipl. ing. građ. Andrea Tadić, dipl. ing. građ. dr. sc. Neven Čukrov (IRB) dr. sc. Dario Omanović (IRB)
Centar Građevinskog fakulteta d.o.o. (podizvoditelj)	dr. sc. Goran Lončar, dipl. ing. građ.
Državni hidrometeorološki zavod (član)	dr. sc. Ivan Güttler dr. sc. Kristian Horvath

Sadržaj

1	Uvod	11
1.1	Uvodno o STREAM projektu	11
1.2	Projektni zadatak.....	12
1.2.1	<i>Radni zadatak.....</i>	<i>13</i>
1.2.2	<i>Sadržaj studije</i>	<i>16</i>
2	Uvodno o urbanim poplavama	18
2.1	Zakonodavni okvir	18
2.2	Općenito o poplavama u RH.....	19
2.2.1	<i>Specifičnosti pluvijalnih poplava</i>	<i>20</i>
2.2.2	<i>Specifičnosti poplava s mora.....</i>	<i>22</i>
2.2.3	<i>Specifičnosti složenih poplava u priobalnim područjima</i>	<i>25</i>
2.3	Rizik od poplava – definicije pojmova	27
2.4	Konceptualni model procjene urbanih poplava	31
2.5	Razine složenosti procjene urbanih poplava	33
2.6	Kartiranje poplava - razine, korisnici i sadržaj.....	35
3	Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar.....	38
3.1	Metodološki okvir procjene opasnosti i rizika	38
3.2	Metodologija analize opasnosti od pluvijalnih poplava	40
3.2.1	<i>Priprema podloga za procjenu opasnosti od poplava.....</i>	<i>40</i>
3.2.2	<i>Definiranje scenarija za procjenu opasnosti od poplava</i>	<i>47</i>
3.2.3	<i>Uspostava matematičkog modela površinskog otjecanja jakih oborina</i>	<i>48</i>
3.2.4	<i>Indikatori opasnosti od poplava.....</i>	<i>52</i>
3.3	Metodologija analize rizika od pluvijalnih poplava	54
3.3.1	<i>Priprema podloga za procjenu rizika od poplava.....</i>	<i>54</i>
3.3.2	<i>Analiza ranjivosti – izloženost receptora poplavama</i>	<i>62</i>

3.3.3	<i>Kvalitativna analiza rizika – procjena razine rizika</i>	64
3.3.4	<i>Kvantitativna analiza rizika – procjena direktne štete</i>	66
3.4	Rezultati analize pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar	68
3.4.1	<i>Povijesne pluvijalne poplave u urbanom dijelu naselja Zadar</i>	68
3.4.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar</i>	71
3.4.3	<i>Usporedba rezultata na mezo i makro razini istraživanja</i>	75
3.4.4	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave u urbanom dijelu naselja Zadar</i>	79
3.4.5	<i>Rizik od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar</i>	81
3.4.6	<i>Kritični podslivovi u urbanom dijelu naselja Zadar</i>	85
3.5	Karte pluvijalnih poplava za urbani dio naselja Zadar	86
4	Analiza opasnosti i rizika od poplava s mora u priobalnom dijelu naselja Zadar	91
4.1	Uspostava numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija	92
4.1.1	<i>Podaci o vjetru</i>	92
4.1.2	<i>Podaci o valovima</i>	96
4.1.3	<i>Podaci o dubinama i visinama</i>	104
4.1.4	<i>Podaci o refleksijskim svojstvima obalne linije</i>	105
4.1.5	<i>Podaci o morskim razinama</i>	107
4.1.6	<i>Proračunska mreža</i>	107
4.2	Metodologija analize opasnosti i rizika od poplava s mora	110
4.3	Rezultati numeričkih simulacija valnih deformacija	113
4.3.1	<i>Značajne valne visine</i>	113
4.3.2	<i>Dubine plavljenja</i>	119
4.4	Zaključak o modeliranju valnog generiranja i valnih deformacija	125
4.5	Karte opasnosti i rizika od poplava s mora u Zadru	126
5	Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica	132
5.1	Metodologija analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica	132
5.2	Rezultati analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica	135

5.2.1	<i>Povijesne pluvijalne poplave u slivu Vruljica</i>	135
5.2.2	<i>Opasnost od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica</i>	136
5.2.3	<i>Usporedba rezultata na mikro i mezo razini istraživanja</i>	139
5.2.4	<i>Ranjivost na pluvijalne poplave u slivu Vruljica</i>	143
5.2.5	<i>Rizik od pluvijalnih poplava na pilot području Zadar</i>	145
5.3	Karte pluvijalnih poplava u slivu Vruljica	147
6	Statistička analiza složenih poplava u Zadru i utjecaj klimatskih promjena	151
6.1	Analiza vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina u Zadru	151
6.1.1	<i>Metodologija provedenih statističkih analiza</i>	151
6.1.2	<i>Rezultati sezonske analize supojave visokih razina mora i jakih oborina</i>	154
6.1.3	<i>Rezultati vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina</i>	161
6.2	Sistematizacija saznanja o utjecajima klimatskih promjena na intenzitet oborina	168
6.3	Sistematizacija saznanja o utjecajima klimatskih promjena na podizanje razine mora ...	173
7	Analiza složenih poplava u slivu Vruljica u Zadru	176
7.1	Metodologija analize složenih poplava u slivu Vruljica	176
7.2	Uspostava modela složenih poplava u slivu Vruljica	180
7.2.1	<i>Model dinamike mora ispred uvale Vruljica</i>	180
7.2.2	<i>Hidrološki model sliva Vruljica</i>	187
7.2.3	<i>Hidraulički model parka Vruljica</i>	189
7.3	Rezultati analize složenih poplava u slivu Vruljica	190
8	Analiza onečišćenja oborinskih voda	193
8.1	Analiza oborinskih voda na području grada Zadra	193
8.1.1	<i>Uvodna o analizi oborinskih i slivnih voda</i>	193
8.1.2	<i>Metodologija uzorkovanja i mjerenja</i>	198
8.1.3	<i>Rezultati analize kakvoće oborinskih voda na području grada Zadra</i>	201
8.2	Istraživanje metala u tragovima u vodama donjeg toka rijeke Neretve	206
8.2.1	<i>Uzorkovanje</i>	206

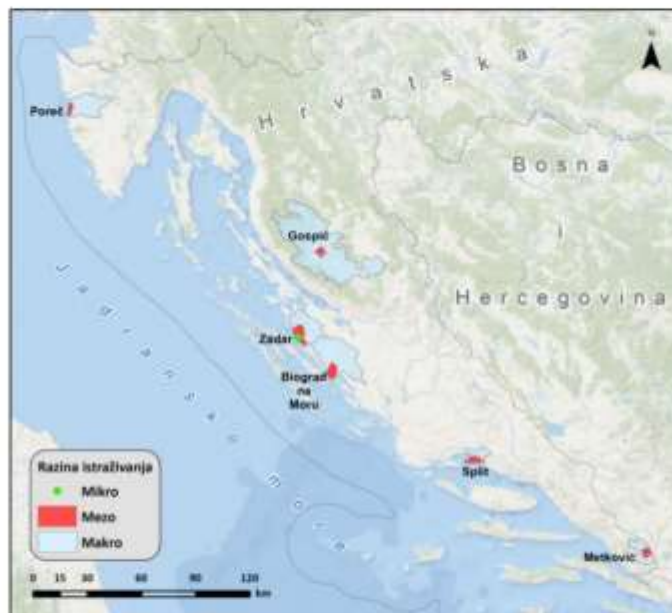
8.2.2	Postupak mjerenja metala u tragovima	207
8.2.3	Rezultati analize metala u vodama donjeg toka rijeke Neretve	207
9	Sustavi prognoziranja poplava u RH	212
9.1	Sustav prognoziranja i upozoravanja na opasne vremenske prilike	212
9.2	Unapređenje sustava prognoziranja i upozoravanja	216
10	Probabilistički model prognoziranja pluvijalnih poplava u Zadru	222
10.1	Uvodno o modelima prognoziranja pluvijalnih poplava	222
10.2	Metodologija uspostave sustava prognoziranja pluvijalnih poplava	223
10.2.1	Izvješća o poplava	223
10.2.2	Obrada podataka	224
10.2.3	Pristup 1: Model praga kritične količine oborina	228
10.2.4	Pristup 2: Model strojnog učenja	229
10.2.5	Kriteriji za procjenu točnosti modela	229
10.3	Rezultati modela prognoziranja pluvijalnih poplava u Zadru	231
10.3.1	Točnost model praga kritične količine oborina	231
10.3.2	Točnost modela strojnog učenja	233
11	Zaključci i preporuke	238
12	Literatura	241

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 umanjena 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 višemodelnog sustava razvijenog u EU-Adriatic 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-projektni biro d.d. (VPB) i Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) te podizvođač 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 višemodetskog 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 Sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru te unaprjeđenje sustava prognoze urbanih poplava, što je i predmet ovog dokumenta.

C. Sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru te unaprjeđenje sustava prognoze poplava.

U okviru Studije Izvršitelj će provesti i modelska istraživanja poplava s mora za grad Zadar te probabilistička istraživanja pluvijalnih poplava na užem području grada Zadra. Također, Izvršitelj će dodatno analizirati i kombinirano djelovanje poplava s mora (plima, olujni uspori, valovi) te kopna (direktno površinsko otjecanje oborina, kanalizirani površinski tok, tečenje kroz kanalizacijski sustav). Analize trebaju obuhvatiti povijesno i buduće stanje te utjecaj klimatskih promjena na oborinskih režim i na podizanje razine mora. Na ovoj mikro razini plavljenje odabranog sliva u urbanoj sredini Izvršitelj će analizirati na podlogama vrlo visoke razlučivosti (< 30 cm), uz uvažavanje svih mjerodavnih infrastrukturnih elemenata (sustav odvodnje oborinskih voda, prometna i obalna infrastruktura, itd.). Također, Izvršitelj će provesti terenska mjerenja i uzorkovanja kako bi se procijenila kvaliteta i teret onečišćenja oborinskih voda na odabranoj lokaciji. Potrebne analize koje će Izvršitelj napraviti trebaju uključivati sljedeće:

- Detaljan opis značajki užeg pilot područja na kojima će se analizirati urbane poplave uz opis svih mjerodavnih infrastrukturnih elemenata koji utječu na površinsko otjecanje.
- Pripremu i prikaz detaljnih podloga (meteorološke, hidrološke, oceanografske, batimetrijske, topografske, infrastrukturne, pokrov zemljišta) za provedbu hidrauličkih modeliranja.
- Analizu i obradu svih djelovanja koje mogu prouzročiti urbane poplave (otjecanje oborine, tok rijeka, tečenje u kanalizacijskom sustavu, plime, olujni uspori, morski valovi).

- Razradu metodologije za procjenu urbanih poplava na mikro razini.
- Terenska istraživanja koja uključuju obilazak lokacije te prikupljanje podataka o postojećim problemima.
- Sistematizaciju saznanja o utjecajima klimatskih promjena na intenzitet oborina te na podizanje razine mora i kvantificiranu ocjenu mogućih utjecaja takvih promjena na poplavljanje obalnog i urbanog područja.
- Izradu 2D/1D numeričkog modela otjecanja površinskih voda od jakih oborina u odgovarajućem računalnom programu.
- Provedbu numeričkih simulacija za različite vjerojatnosti pojave poplava od jakih oborina na odabranom pilot području.
- Izradu 2D modela valne dinamike u akvatoriju ispred pilot područja u odgovarajućem računalnom programu.
- Provedbu numeričkih simulacija za različite vjerojatnosti pojave poplava s mora na odabranom pilot području.
- Provedbu numeričkih simulacija za različite vjerojatnosti pojave složenih poplava uslijed kombinacije djelovanja s mora i kopna na odabranom pilot području.
- Izrada detaljnih karata opasnosti i rizika od složenih poplava na odabranom pilot području.
- Uzorkovanje i analizu relevantnih fizikalnih i kemijskih parametara onečišćenih oborinskih voda s urbanih površina na odabranoj lokaciji u urbanom pilot području.
- Tehničku pomoć u izradi probabilističkog modela za bolje razumijevanje pluvijalnih poplava te razvoj sustava prognoziranja pluvijalnih poplava.
- Tehničku pomoć u unaprjeđenju sustava prognoziranja poplava s mora.

Sve računalne simulacije poplava Izvršitelj će provesti koristeći kombinaciju naprednih nestacionarnih 2D i 1D hidrauličkih modela (2D modeli valne dinamike, 2D hidraulički modeli površinskog toka, 1D hidraulički modeli kanaliziranog toka), koji uvažavaju hidrodinamičke jednadžbe plitkih voda. Prostorni obuhvat modela za poplave s mora treba uključivati područje od otvorenog mora prema obali kako bi se što preciznije izračunala deformacija valova oko otoka i izgrađene obalne infrastrukture. Rezultati moraju uključivati dubinu vode, brzinu vode te prostorni obuhvat poplave za tri različite vjerojatnosti pojave olujnih uspora i valova te jednu ekstremnu situaciju. Numeričke analize moraju uključivati i prognozu podizanja razine mora koja se očekuje uslijed klimatskih promjena. Rubni uvjeti za simulacije trebaju biti definirani u skladu s najnovijim statističkim metodama (npr. bivarijantne metode) za procjenu složenih poplava i istodobnih djelovanja više međusobno povezanih uzroka. Karte opasnosti i rizika od poplava s mora Izvršitelj će

izraditi u mjerilu 1:2000, a karte pluvijalnih poplava na užem području Izvršitelj će izraditi u mjerilu 1:1000.

Uzorkovanje relevantnih fizikalnih i kemijskih parametara onečišćenih oborinskih voda Izvršitelj će provesti na odabranom urbanom području u Zadru za tzv. Prvi pljusak, odnosno nakon minimalno 30 sušnih dana. Uzorke će Izvršitelj uzimati uzastopno (minimalno 10 uzoraka po kišnom događaju) tijekom najmanje 3 kišna događaja kako bi se definirano polutogram otjecanja oborinskih voda s urbanih površina (vremenska promjena onečišćenja). Analize oborinske vode trebaju uključivati osnovne fizikalno-kemijske pokazatelje te multielementarnu analizu metala, BTEX-a i PAH-ova.

Provedene numeričke analize koje će Izvršitelj napraviti predviđene su kao podrška projektnoj aktivnosti Sustav predviđanja poplava (*Flood forecasting system*) te će doprinijeti rezultatima za Višemodulski sustav za prognoziranje obalnih poplava (*Coastal multimodel forecasting system*) i Probabilistički model za razumijevanje pluvijalnih poplava te razvoj sustava prognoziranja pluvijalnih poplava (*Probabilistic model designed for better understanding the pluvial floods, its prediction and promptness in reactions of urgent services*). Također, rezultati provedenih numeričkih analiza poplava koje će Izvršitelj napraviti direktno će se uključiti u katastar poplava kao dio projektnih aktivnosti Katastra poplava (*Flood Cadastre*) te rezultata Izvještaja o napretku u kreiranju katastra poplava (*Report of the progress in creating flood cadaster*), Izvještaja o napretku u osvježavanju katastra poplava (*Report of the progress in updating flood cadaster*) te Izrade karata i prostornih podataka područja podložnih poplavama (*Maps showing flood-prone areas and related spatial information*). Za navedene isporučevine Izvršitelj će prema uputama Naručitelja dostaviti izvješća na temelju kojih će Naručitelj potvrditi izvršenje pojedine aktivnosti.

1.2.2 Sadržaj studije

Predmetna studija sastoji se od sljedećih poglavlja kroz koje su obrađeni pojedini dijelovi radnog zadatka:

- Poglavlje 2: **Uvodno o urbanim poplavama**. U ovom poglavlju dan je pregled problematike urbanih poplava s pregledom zakonodavnog okvira, specifičnosti pluvijalnih poplava, poplava s mora te složenih poplava u priobalnim područjima. Također su dane definicije pojmova vezanih uz rizike od poplava, predstavljen je konceptualni model procjene urbanih poplava te pregled razina složenosti i kartiranja urbanih poplava.
- Poglavlje 3: **Analiza opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina u urbanom dijelu naselja Zadar**. U ovom poglavlju dan je metodološki okvir procjene opasnosti i rizika od

pluvijalnih poplava. Također je razrađena i opisana metodologija za procjenu opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na mezo razini detaljnosti te su prikazani rezultati i karte proizašle iz analize pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar.

- Poglavlje 4: **Analiza opasnosti i rizika od poplava s mora u priobalnom dijelu naselja Zadar.** U ovom poglavlju dan je pregled metodologije za procjenu opasnosti i rizika od poplava s mora te je opisana uspostava numeričkog modela valne dinamike u akvatoriju ispred Zadra. Konačno su prikazani rezultati numeričkih simulacija valnih deformacija te karte opasnosti i rizika od poplava s mora u priobalnom dijelu naselja Zadar.
- Poglavlje 5: **Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruļjica.** U ovom poglavlju provedena je analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava na mikro razini detaljnosti te su prikazani rezultati i karte opasnosti i rizika od poplava u slivu Vruļjica u Zadru.
- Poglavlje 6: **Statistička analiza složenih poplava u Zadru i utjecaj klimatskih promjena.** U ovom poglavlju provedena je statistička analiza složenih poplava u Zadru vezano uz istodobno pojavljivanje visokih razina mora i jakih oborina. Također je dan pregled saznanja o utjecajima klimatskih promjena na intenzitet oborina te na podizanje razine mora i ocjenu mogućih utjecaja takvih promjena na poplavljanje obalnog i urbanog područja.
- Poglavlje 7: **Analiza složenih poplava u slivu Vruļjica u Zadru.** U ovom poglavlju opisana je metodologija i uspostava modela te su prikazani rezultati analize složenih poplava uslijed kombinacije djelovanja s mora i kopna na odabranom pilot području u slivu Vruļjice na mikro razini.
- Poglavlje 8: **Analiza onečišćenja oborinskih voda.** U ovom poglavlju opisana je metodologija te su prikazani rezultati analize onečišćenja oborinskih voda s urbanih površina na području sliva Vruļjica u Zadru. Također su dani rezultati istraživanja metala u tragovima u vodama donjeg toka rijeke Neretve.
- Poglavlje 9: **Sustavi prognoziranja poplava u RH.** U ovom poglavlju dan je pregled sustava prognoziranja i upozoravanja na opasne vremenske prilike u Republici Hrvatskoj te je dan prijedlog unapređenja sustava prognoziranja i upozoravanja na poplave.
- Poglavlje 10: **Probabilistički model prognoziranja pluvijalnih poplava.** U ovom poglavlju opisana je metodologija uspostave sustava prognoziranja pluvijalnih poplava te su prikazani rezultati modela prognoziranja pluvijalnih poplava u gradu Zadru.
- U poglavlju 11 su dani zaključci i preporuke vezano uz sve analize provedene u okviru predmetne studije.

2 Uvodno o urbanim poplavama

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 njezinim komponentom **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:

- poplava male vjerojatnosti ili scenariji ekstremnih događaja,
- poplave srednje vjerojatnosti te
- poplave velike vjerojatnosti.

Za svaki scenarij, karte opasnosti trebaju prikazati:

- opseg poplava,
- dubinu vode ili vodostaj,
- 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:

- okvirni broj potencijalno pogođenih stanovnika,
- 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 u RH

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.

2.2.1 Specifičnosti pluvijalnih poplava

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 međuodnose pojmova 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)

2.2.2 Specifičnosti poplava s mora

Sjeverna i istočna obala Jadranskog mora su pod stalnom prijetnjom od poplava izazvanih ekstremno visokim razinama mora. Najpoznatije i najbolje stražene su Venecije poznate pod lokalnim nazivom „Acqua Alta“ (tal. Visoka voda) (Cavaleri, 2000.; Trincardi i sur., 2016.; Cavaleri i sur., 2019.), a koje često imaju destruktivan efekt, povremeno rezultiraju i smrtnim slučajevima (Cavaleri i sur., 2020.) te su navele gradske vlasti Venecije za pokušaju izraditi sustav brana za zaštitu od poplava „Mose“ koji je prvi put aktiviran 10. listopada 2020. godine kada je uspješno obranio Veneciju od poplave (<https://www.italymagazine.com/featured-story/venices-flood-barriers-project-mose-activated-first-time>). Iako manje istraživanene i manje poznate, poplave izazvane ekstremno visokim razinama mora javljaju se i na istočnoj, odnosno hrvatskoj obali jadranskog mora (primjerice Vilibić i Šepić, 2009.; Međugorac i sur., 2015., 2016., 2018.; Vilibić i sur., 2017.). U Tablici 2.2.1 dan je popis takvih registriranih poplava u razdoblju od 1990.-2018. godine, a na Slici 2.2.4 prikazane su odgovarajuće lokacije. Može se uočiti da poplave podjednako pogađaju čitav hrvatski dio obale Jadranskog mora. S obzirom na mjesec u kojem se pojavljuju, za očekivati je da je većina navedenih poplava izazvana sinoptičkim atmosferskim djelovanjem, tj. da je riječ o olujnim usporima (Međugorac i sur., 2015, 2016, 2018), prikazano na Slici 2.2.3., dok se manji broj događaja potvrđeno može smatrati meteorološkim tsunamijima (Vilibić i Šepić, 2009.; Denamiel i sur., 2019.).

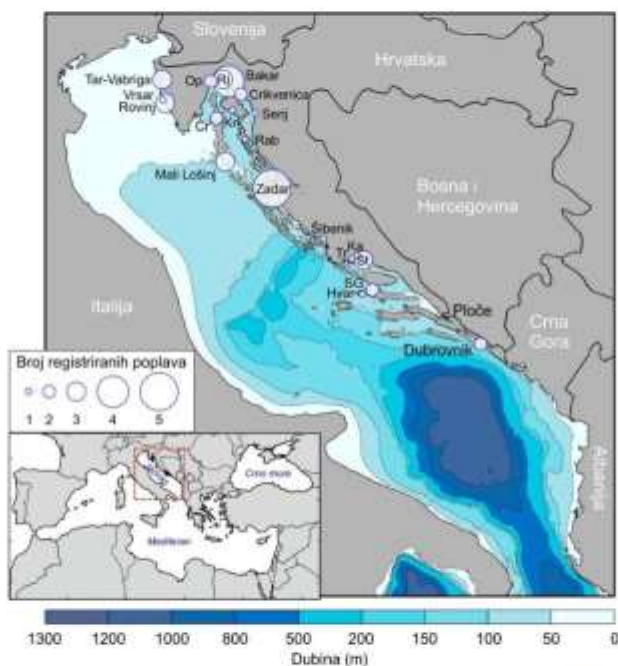
Poplave mora (olujni uspori)



Slika 2.2.3 Shematski prikaz poplave s mora uslijed olujnih uspora (modificirano prema www.zurich.com)

Tablica 2.2.1. Registrirane poplave od mora u razdoblju 1990.-2018. (VEPAR, 2022.)

DATUM POPLAVNOG DOGAĐAJA	POČETNA OPĆINA / GRAD	POVRŠINA (km ²)	TRAJANJE (dane)	IZVOR PLOVLJENJA	MEHANIZAM PLOVLJENJA	ŠIFRA POPLAVNOG DOGAĐAJA
20.10.1998	CRES	0.152	2	A17	A26	SE_1998_002
24.12.2000	SENI	0.21	1	A17	A26	SE_2000_003
27.6.2003	STARI GRAD	NP	NP	A14	A26	SF_2003_001
27.6.2003	STON	NP	NP	A14	A26	SF_2003_002
22.8.2007	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2007_001
11.9.2007	BRINJE	0.806	5	A17	A26	SE_2007_003
15.8.2008	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2008_005
1.12.2008	RUEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2008_002
1.12.2008	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2008_006
1.12.2008	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2008_001
1.12.2008	TROGIR	NP	NP	A14	A26	SF_2008_002
2.8.2009	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2009_001
2.8.2009	DUBROVNIK	NP	NP	A14	A26	SF_2009_002
29.12.2009	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2009_018
29.12.2009	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2009_019
29.12.2009	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2009_003
31.12.2009	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2009_004
31.12.2009	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2009_005
31.12.2009	DUBROVNIK	NP	NP	A14	A26	SF_2009_006
19.1.2010	STARI GRAD	NP	NP	A14	A26	SF_2010_007
3.12.2010	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2010_011
3.12.2010	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2010_012
3.12.2010	ŠIBENIK	NP	NP	A14	A26	SF_2010_005
3.12.2010	SPLIT	NP	NP	A14	A26	SF_2010_008
3.12.2010	ZADAR	NP	NP	A14	A26	SF_2010_009_2
1.11.2012	RUEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2012_024
1.11.2012	CRKVENICA	NP	NP	A14	A26	SE_2012_025
1.11.2012	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2012_026
1.11.2012	CRES	NP	NP	A14	A26	SE_2012_027
1.11.2012	RAB	NP	NP	A14	A26	SE_2012_028
10.2.2016	ROVINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2016_028
10.2.2016	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_029
6.3.2016	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_030
6.3.2016	VRSAR	NP	NP	A14	A26	SE_2016_031
6.3.2016	OPATIJA	NP	NP	A14	A26	SE_2016_032
16.6.2016	KAŠTELA	NP	NP	A14	A21	SF_2016_001
11.7.2017	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2017_018
11.9.2017	ZADAR	0.561	2	A11	A21, A24	SF_2017_001
11.9.2017	ZADAR	5.38	1	A12, A13	A21	SF_2017_002
29.10.2018	RUEKA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_018
29.10.2018	OPATIJA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_019
29.10.2018	TAR-VABRIGA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_021
29.10.2018	CRKVENICA	NP	NP	A14	A26	SE_2018_022
29.10.2018	BAKAR	NP	NP	A14	A26	SE_2018_023
29.10.2018	MALI LOŠINJ	NP	NP	A14	A26	SE_2018_024
29.10.2018	KRK	NP	NP	A14	A26	SE_2018_025
30.10.2018	HVAR	NP	NP	A14	A21	SF_2018_003



Slika 2.2.4. Prostorna raspodjela registriranih poplava od mora na hrvatskoj obali Jadrana (VEPAR, 2022.)

Ekstremno visoke razine Jadranskog mora u pravilu se mogu podijeliti u dvije kategorije te se mogu vezati uz dva atmosferska fenomena: (1) olujne uspore izazvane prolaskom dubokih ciklona nad područjem Jadrana te zajedničkim djelovanjem atmosferskog tlaka zraka i vjetra (Međugorac i sur., 2015., 2016., 2018.); (2) meteorološke tsunamije izazvane prolaskom mezoskalnih atmosferskih poremećaja tlaka zraka nad pogođenim područjem (Vilibić i Šepić, 2009.). Olujni uspori u pravilu zahvaćaju veće područje (red veličine do nekoliko stotina kilometara), duljeg su trajanja – nekoliko sati do par dana, i najčešće se mogu predvidjeti korištenjem združenih atmosferskih i oceanografskih modela (Cavaleri, 2020.). S druge strane, meteorološki tsunamiji u pravilu pogađaju manja izolirana područja (red veličine do nekoliko desetaka kilometara pa i manje) te se učestalo javljaju na istim mjestima pogodnih batimetrijsko-topografskih karakteristika primjerice u Veloj Luci na otoku Korčuli ili Stari Gradu na otoku Hvaru (Vilibić i Šepić, 2009.; Šepić i sur., 2016.), kraćeg su trajanja – nekoliko desetaka minuta, te ih je s trenutno dostupnim modelima i mjernim sustavima nemoguće kvalitetno (kvantitativno) prognozirati (Denamiel i sur., 2019.).

2.2.3 Specifičnosti složenih poplava u priobalnim područjima

Priobalna su područja osjetljiva na poplave zbog izloženosti višestrukim oceanografskim i hidrološkim pojavama, uključujući olujne uspore, velike valove, visoku plimu, riječne poplave i poplave od otjecanja jakih oborina. Međutim, istodobna ili uzastopna pojava više različitih uzroka poplava može dovesti do znatno većih posljedica nego u slučaju njihovog zasebnog djelovanja (Bevacqua i sur., 2019). Takvi se događaji nazivaju složene poplave (SP) (Zscheischler i sur., 2018). Međuvladin panel za klimatske promjene (IPCC) definira složeni događaj kao (Seneviratne i sur., 2012):

- dva ili više ekstremna događaja koji se događaju istovremeno ili uzastopce,
- kombinacije ekstremnih događaja koji pojačavaju ukupne posljedice, i
- kombinacije događaja koji pojedinačno nisu ekstremni, ali zajedno dovode do ekstremnih događaja.

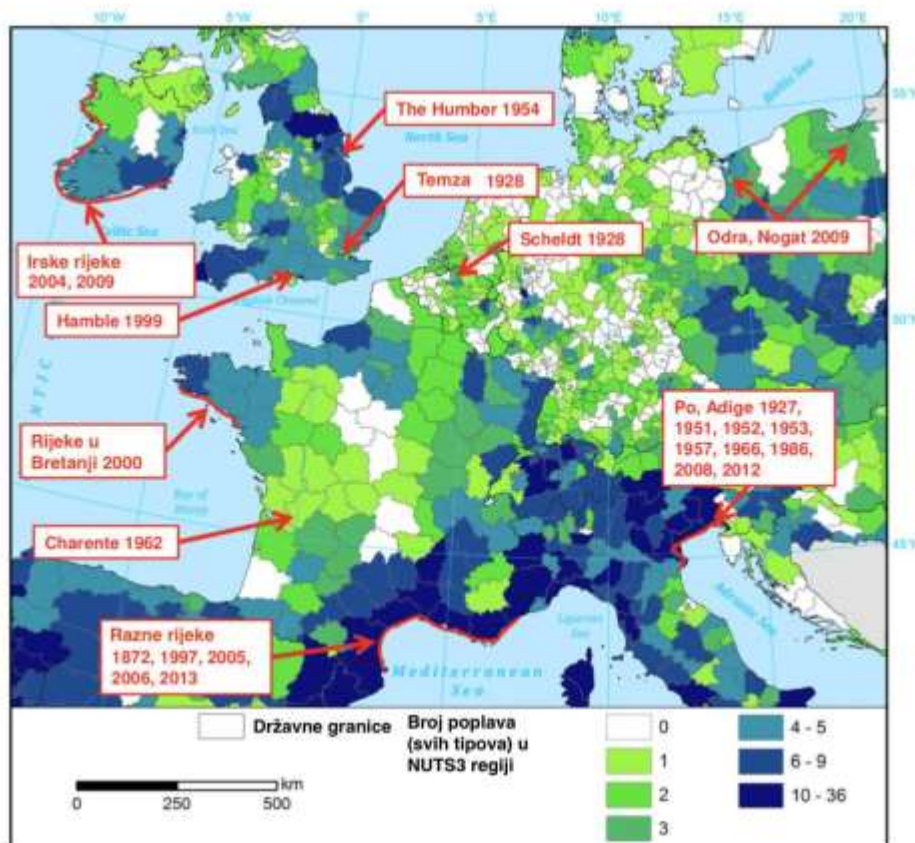
Konkretno, tri najčešća mehanizma za SP-e u priobalnim regijama su (Wahl i sur., 2015):

- zajednička pojava olujnih uspora i jakih oborina koja može povećati razinu vode u priobalnim područjima i uzrokovati poplavu,
- ekstremni olujni uspor čije se posljedice mogu pojačati ne-ekstremnim oborinama ili
- umjereni olujni uspor koji ne uzrokuje poplavu, ali može spriječiti ili usporiti istjecanje oborinskih voda.

Recentne studije koje su proučavale problematiku SP-u slažu se da bi zanemarivanje zavisnosti između dvaju ili više događaja koji se mogu dogoditi istovremeno ili uzastopce moglo podcijeniti ukupnu opasnost od poplava, dok bi pretpostavka o direktnoj povezanosti dvaju uzroka poplava mogla biti previše konzervativna i dovela bi do nerazumno visokih rizika od poplava (Bevacqua i sur., 2019; Bermúdez i sur., 2019). Statistička zavisnost između visokih razina mora i velikih protoka rijeka identificirana je na globalnoj razini (Ward i sur., 2018; Couasnon i sur., 2019), kao i na kontinentalnoj razini u Australiji (Zhang i sur., 2013.; Wu i sur., 2018.) i Europi (Paprotny i sur., 2018b; Bevacqua i sur., 2019).

Ovaj problem dodatno naglašavaju istraživanja koja sugeriraju da je najveća vjerojatnost SP-a u sadašnjoj klimi uglavnom koncentrirana duž Sredozemnog mora (Bevacqua i sur., 2019.), a povijesne analize pokazuju da je najveći broj složenih poplava u Europi zabilježen duž obalne linije sjevernog Jadranskog mora (Paprotny i sur., 2018a). Na Slici 2.2.5 dan je prikaz složenih poplava zabilježenih između 1870. i 2016. godine na području EU. Talijanske regije Veneto i Friuli-Venezia Giulia su široko

poznate po poplavama s mora, a posebno Venecija s lokalnim fenomenom poznatim kao *acqua alta*. Međutim, hrvatska obala Jadranskog mora podjednako je izložena poplavama s mora, s ponekad još i izraženijim posljedicama (Međugorac i sur., 2015). Također, na hrvatskoj obali izraženije su pojave poplavlivanja sustava za odvodnju oborinskih voda u kombinaciji s olujnim usporima i poplavama s mora.



Slika 2.2.5. Prikaz složenih poplava između 1870. i 2016. godine gdje su crvenim označene složene poplave i godine nastanka svih 23 poplava (prema Paprotny I sur., 2018a).

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.“ (Zakon o vodama, 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 definira 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.

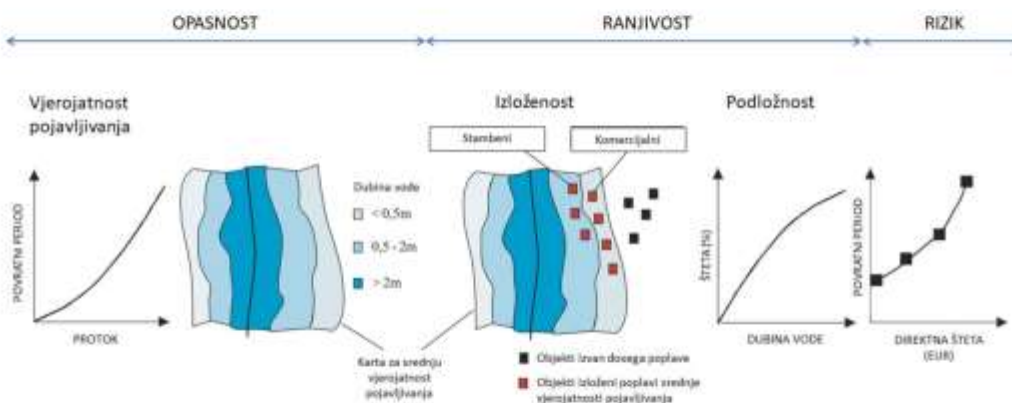
Vrijednost elementa V je pored ekonomske vrijednosti moguće izraziti i kao broj stanovnika ili pojedine grupe stanovništva, ekonomsku aktivnost, duljinu infrastrukture, broj objekata, lokacije objekata koje sadrže onečišćujuće ili opasne tvari i slično.

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 podložnost (i izloženost) 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). U nastavku se daje jedna od često korištenih definicija ranjivosti stanovništva.

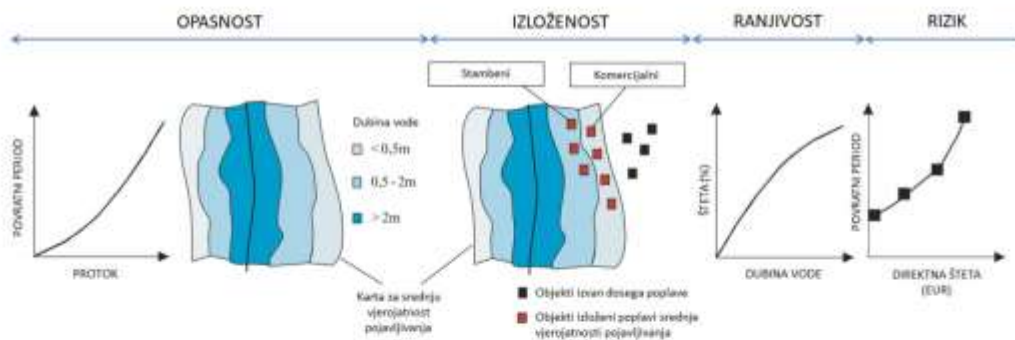
„**Ranjivost** je skup okolnosti određenih fizičkim, društvenim, ekonomskim i okolišnim čimbenicima ili procesima koji povećavaju podložnost pojedinca, zajednice, imovine ili sustava na štetne posljedice opasnosti“ (UNISDR, 2009).

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

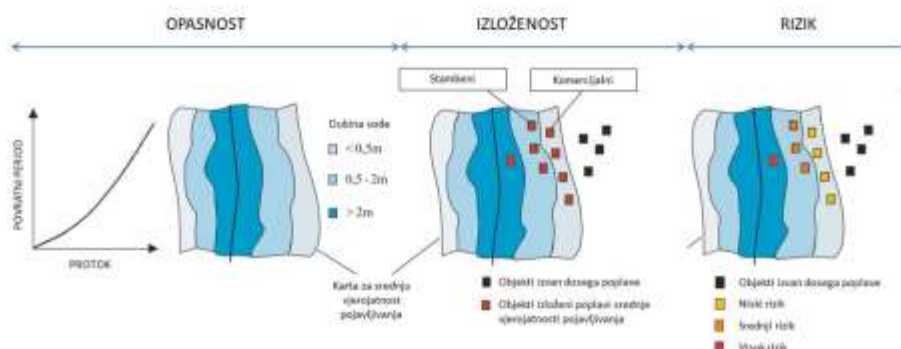


Slika 2.3.1 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti i ranjivosti (izloženost i podložnost), modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.

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 naći i na pojam osjetljivosti koja se koristi kao alternativni naziv za podložnost.

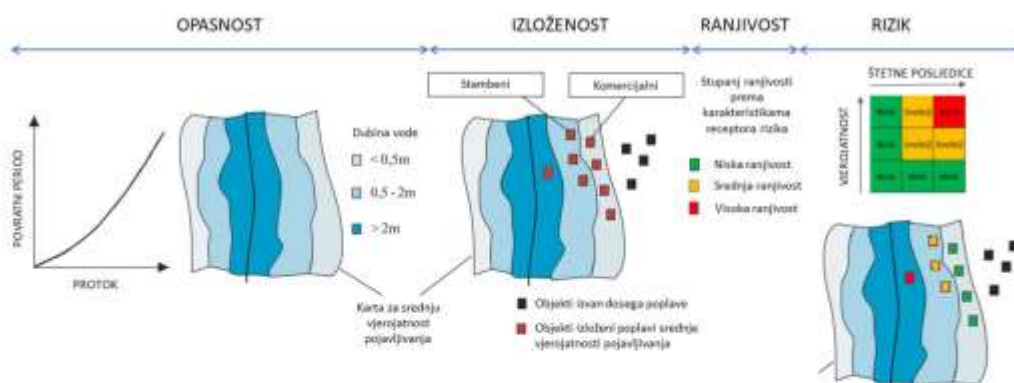


Slika 2.3.2 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti, modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.



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

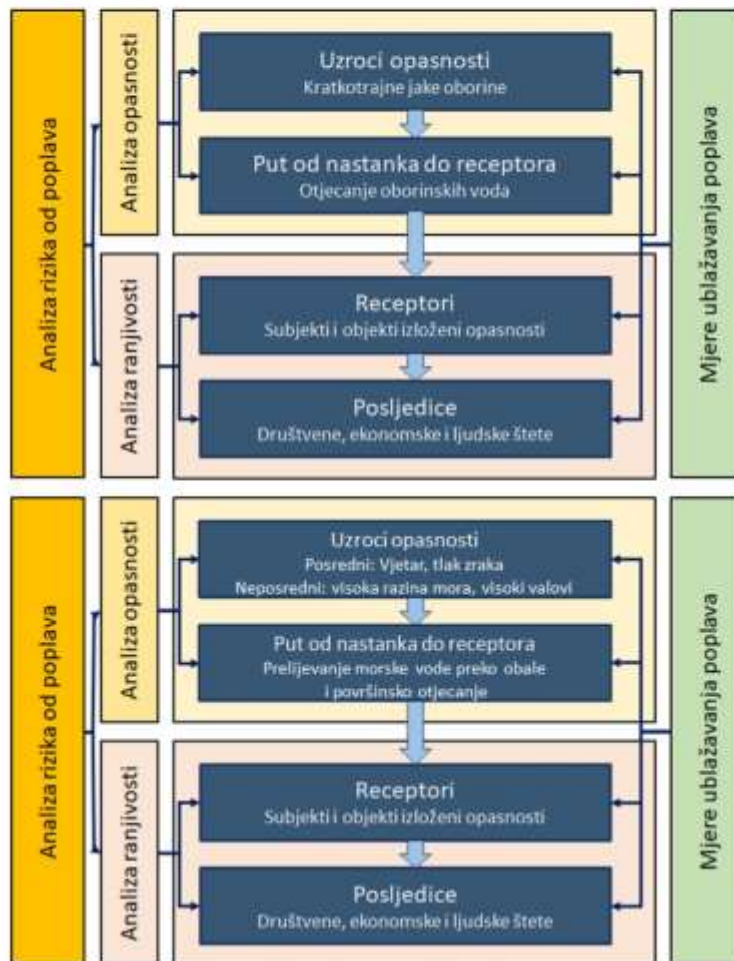
Također, treba napomenuti da je prethodno prikazani pristup vezan uz kvantitativnu procjenu rizika od poplava, međutim, rizik se može izraziti i kvalitativno. U pojednostavljenom pristupu se često zanemaruje podložnost te se koristi samo opasnost i izloženost, a rizik se izražava opisnim ili brojčanim 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 urbanih 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).



Slika 2.4.1 Konceptualni model rizika SPRC za pluvijalne poplave i za poplave s mora (modificirano prema Sauer i sur., 2018)

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).

U kontekstu poplava s mora, glavni neposredni uzrok opasnosti su visoke razine mora (olujni uspori) i visoki valovi, dok je put od uzroka do receptora definiran prvenstveno procesom prelijevanja obale i obalnih građevina te površinskim otjecanje morske vode. Receptori i posljedice su iste kao i kod pluvijalnih poplava.

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 urbanih poplava

Razina složenosti uvjetuje odabir metodološkog pristupa, potrebne podatke i podloge, kao i stručne, financijske i druge resurse potrebne za procjenu rizika od urbanih 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 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 	Identifikacija prioriteta 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>	<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 razini mora, odnosno smjerovima toka i zadržavanju oborinske vode te procjena šteta na temelju grube procjene po jedinici površine.</p>
<p>Razina 3</p>	<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, odnosno analizu olujnih uspora i dinamike valova kao primarni uzrok poplava s mora).
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 sektori, 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 / Složenije karte	Obuhvat Dubina Brzina	Ranjivost Štete Utjecaj na okoliš

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 /	Prostorno planiranje (planovi gradova i općina, urbanistički	Jedinice lokalne samouprave (JLS)	Obuhvat	Dodatni parametri

1:5.000 – 1:25.000 (razina katastra)	planovi uređenja, detaljni planovi) Upravljanje slivnim područjima Podrška odlučivanju u upravljanju područjem.	Prostorni planeri / Pojednostavljene karte		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, debradni tokovi, i ostalo relevantno za pojedino područje.

3 Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar

3.1 Metodološki okvir procjene opasnosti i rizika

U Knjizi 2 ove Studije (Procjena opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina na pilot područjima) provedene su analize pluvijalnih poplava na šest pilot područja na makro razini. Makro razina definirao je cjelokupnim slivom koji gravitira predmetnom naselju. U ovom dokumentu provedena je vrlo slična analiza pluvijalnih poplava ali na podlogama više rezolucije i manjeg obuhvata – urbanog dijela naselja Zadar.

Procjena rizika od poplava uslijed jakih oborina – pluvijalnih poplava – u predmetnoj studiji provedena je 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. 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 i građevine. 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 unutar koje se nalazi pojedina građevina. Za razliku od makro razine (Knjiga 2) u predmetnoj analizi na mezo razini procjena podložnosti provedena je uz zemljišta i za pojedinačne objekte.

Kvalitativni rizik je procijenjen na osnovu kombinacije razine opasnosti i izloženosti te prikazuje razinu rizika (razine R0 – R4) svake izložene građevine 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, poligoni građevina,

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 (građevine) 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, 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 objekta i na razini piksela (za zemljišta) s obzirom na dubinu vode, funkcije dubine-štete, tablične vrijednosti maksimalnih šteta i kartu namjene korištenja zemljišta.			x
------------	---	--	--	---

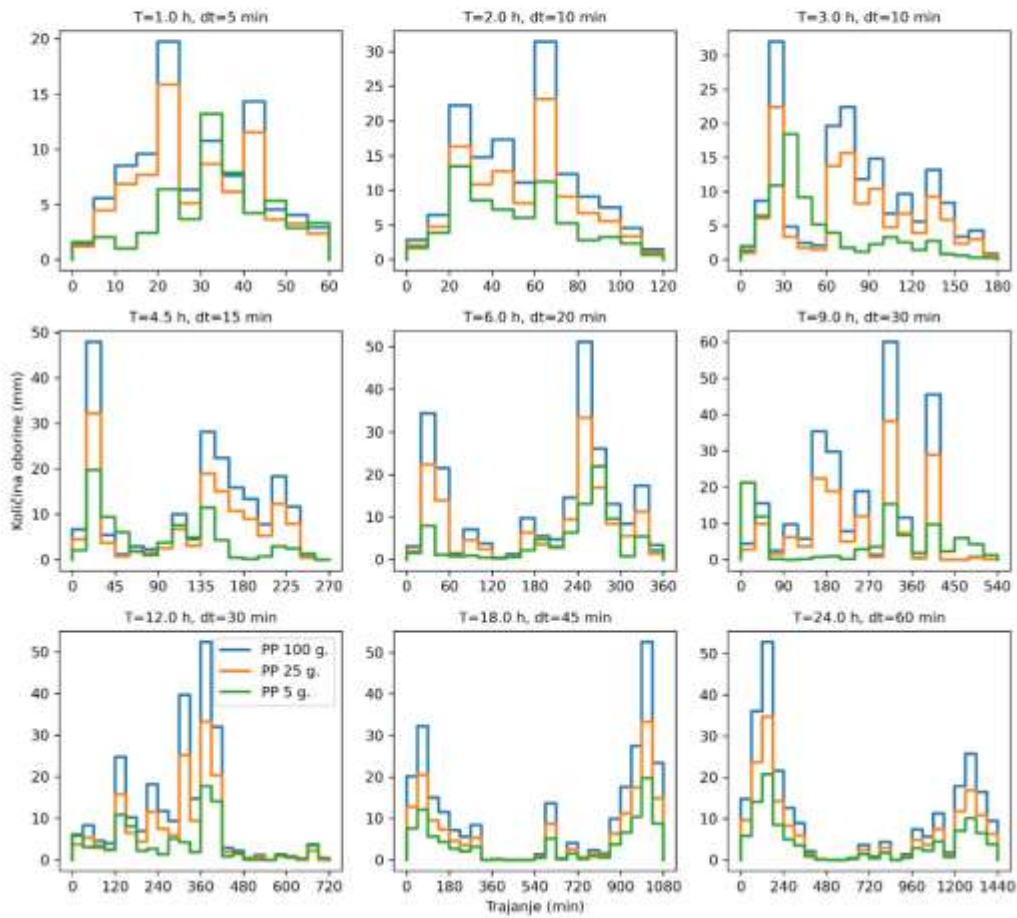
3.2 Metodologija analize opasnosti od pluvijalnih poplava

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. Za predmetne analiza korišteni su podaci s postaje Zadar, za koju su dostupni podaci iz razdoblja 1961. – 2020. 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). Primjer dobivenih rezultata oblika projektnog pljuska (pluviogrami) za postaju Zadar prikazan je na Slici 3.2.1.



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

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, prikupljene su i generirane prostorne podloge. U Tablici 3.2.1 dan je pregled svih prikupljenih i generiranih prostornih podloga s opisom i izvorom.

Tablica 3.2.1 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 1 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 1 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 1 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.
Prometna infrastruktura	Vektorski (linije), rasterizirano na rezoluciju 1 m	Dobiveno od Naručitelja (pripremio tim s Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru). Originalni izvor: OpenStreetMap.
Karta hrapavosti podloge	Rasterski, rezolucija 1 m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova i rasteriziranog sloja prometnica, prema tabličnim vrijednostima iz literature.
Karta infiltracije (CN brojevi krivulje)	Rasterski, rezolucija 1 m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova, rasteriziranog sloja prometnica i karte hidrološke grupe tla prema tabličnim vrijednostima iz literature.

Digitalni model terena rezolucije 1 m izrađen je od strane stručnog tima Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru na temelju vektorskih podataka digitalnog modela reljefa (DMR). Na osnovu navedenog modela terena izrađen je hibridni model koji sadrži dvije modifikacije:

- 1) U DMR su „utisnute“ sve prometnice iz OSM-a za 20 cm (prosječna visina rubnjaka). Pritom su sve prometnice originalno u linijskom formatu pretvorene u poligone širine koja odgovara razredu prometnice (širine od 5 – 12 m).
- 2) DMR je na lokacija svih građevina, također preuzetih iz OSM-a, podignut za 30 cm (prosječna visina temelja).

Na Slici 3.2.2. prikazana je usporedba digitalnog modela terena rezolucije 5 m (model terena koji je korišten za makro razinu – Knjiga 2 ove studije) i hibridnog modela terena rezolucije 1 m (model korišten na mezo razini – predmetna analiza).

Za procjenu hrapavosti i infiltracije korištena je karta pokrova zemljišta Urbani Atlas (UA). Navedena karta je najdetaljnija službena karta pokrova zemljišta na području EU i Republike Hrvatske, a izrađena je kombinacijom statističke klasifikacije i vizualne interpretacije multispektralnih satelitskih snimaka vrlo visoke rezolucije (2 do 2,5 m). Za procjenu gustoće urbanih područja UA sloja koristi se sloj visoke rezolucije izgrađenih područja (eng. *Imperviousness density, IMD*). Definirana CLC nomenklatura za UA sloj uključuje 27 klasa koje su raspoređene u 4 razine, od kojih svaka opisuje različit pokrov zemljišta. Vektorski podaci su dostupni u mjerilu 1 : 10 000 s minimalnim područjem kartiranja od 0.25ha za urbane klase i 1ha za ruralne klase. Na četvrtoj razini klasifikacije zemljišnog pokrova definirano je ukupno 17 urbanih i 10 ruralnih klasa.

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). Infiltracijski kapacitet podloge opisan je CN brojem krivulje prema NRCS metodologiji (USDA, 2017; Hong i Adler, 2008) te su svakoj klasi pokrova zemljišta pridodane odgovarajuće vrijednosti. U Tablici 3.2.3 dan je prikaz usvojenih vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti i CN brojeva krivulja za četiri hidrološke grupe tla.

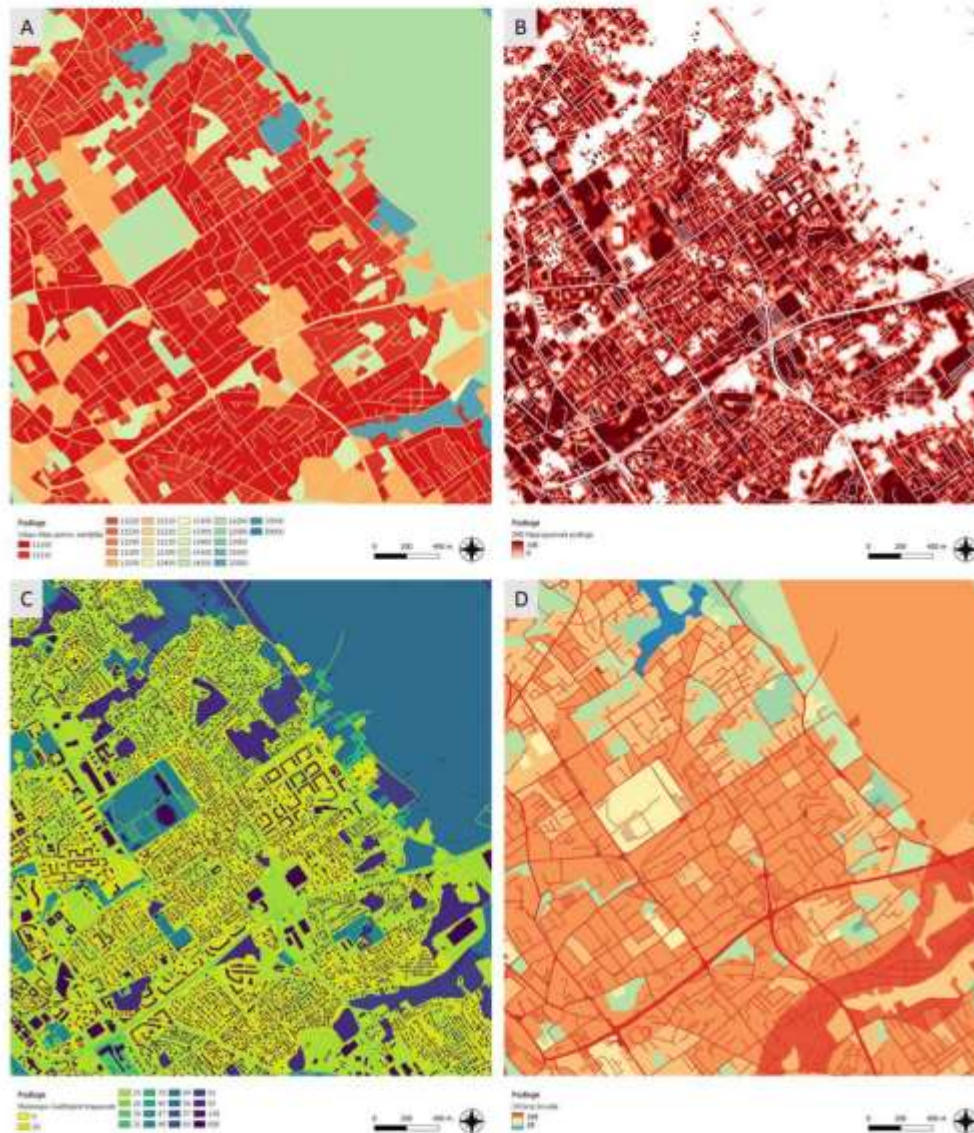


Slika 3.2.2 Satelitska snimka dijela naselja Zadar te usporedba digitalnog modela terena 5-m rezolucije (makro razina) i hibridnog model terena 1-m rezolucije (mezo razina).

Tablica 3.2.2 Manningov koeficijent hrapavosti i CN broj krivulje (infiltracija) za četiri hidrološke grupe tla za svaku klasu pokrova zemljišta prema Urban Atlas karti.

Klasa	Kod klase	n	CN A	CN B	CN C	CN D
Cjelovita urbana područja (>80% površine)	11100	0.03	85	90	93	94
Nepovezana urbana područja veće gustoće (50-80%)	11210	0.035	77	85	90	92
Nepovezana urbana područja srednje gustoće (30-50%)	11220	0.04	68	80	87	90
Nepovezana urbana područja manje gustoće (10-30%)	11230	0.045	54	70	80	85
Nepovezana urbana područja vrlo male gustoće (<10%)	11240	0.05	39	59	72	80
Izdvojena područja	11300	0.05	39	59	72	80
Industrijski, komercijalni, javni, vojni i privatni objekti	12100	0.035	85	90	93	94
Brze ceste i pripadajuće zemljište	12210	0.026	98	98	98	98
Ostale ceste i pripadajuće zemljište	12220	0.026	98	98	98	98
Željeznice i pripadajuće zemljište	12230	0.032	69	80	85	88
Lučke površine	12300	0.03	85	90	93	94
Zračne luke	12400	0.03	85	90	93	94
Mjesta eksploatacija mineralnih sirovina i odlagališta otpada	13100	0.093	49	69	79	84
Gradilišta	13300	0.093	49	69	79	84
Područja bez trenutne namjene	13400	0.093	49	69	79	84
Zelene gradske površine	14100	0.048	49	69	79	84
Športsko rekreacijske površine	14200	0.049	67	80	87	91
Obradivo zemljišta, jednogodišnji nasadi	21000	0.054	52	69	79	84
Višegodišnji nasadi	22000	0.057	28	52	67	75
Pašnjaci	23000	0.047	44	63	75	85
Šume	31000	0.138	38	62	75	81
Grmolike i travnate, prirodne biljne zajednice	32000	0.091	45	65	75	80
Otvorene površine sa malo ili bez vegetacije	33000	0.035	70	81	88	92
Vodene površine	50000	0.026	100	100	100	100

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 Manningovog koeficijenta hrapavosti i karte infiltracije opisane CN brojem krivulje. Treba napomenuti da su s ciljem postizanja što realnije simulacije otjecanja oborinskih voda u urbanim sredinama, a uzimajući u obzir mogućnosti koje pružaju podloge visoke rezolucije, provedene dvije dodatne prilagodbe (unaprjeđenja) podloga.



Slika 3.2.3 Prostorne podloge za procjenu opasnosti od poplava (detalj): a) Urban Atlas pokrov zemljišta b) nepropusnost podloge (%), c) Manningov koeficijent hrapavosti ($10^{-3} \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$) i d) CN broj krivulje

Prvo, unutar tlocrtna površine svih građevina zadan je vrlo visoki koeficijent hrapavosti ($n=0.6 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$) kako bi se „onemogućilo“ površinsko otjecanje vode preko građevina, odnosno kako bi se što realnije simulirao tok oborinskih voda oko i između izgrađenih objekata. Na ovaj način smanjuje se protjecajni profil što može rezultirati većim (i realnijim) brzinama toka oborinskih voda u urbanim sredinama u odnosu na model koje ne uključuje utjecaj građevina (što je slučaj na makro razini).

Drugo, unutar površine svih prometnica i parkirališta zadana je kontinuirana infiltracija površinskih voda kako bi se simulirao rad sustava za odvodnju oborinskih voda. Navedeno se smatra realnijim pristupom u odnosu na umanjenje efektivne oborine, što je česti pristup u praksi modeliranja površinskog otjecanja oborinskih voda. Procjena protoka na koji je dimenzioniran javni sustav odvodnje oborinskih voda provedena je prema relevantnoj projektnoj dokumentaciji - Studiji kanalizacije grada Zadra (Građevinski institut Zagreb, 1991.) i Idejnom projektu sustava odvodnje otpadnih voda „Centar“ - Zadar (Hidroprojekt-ing, 1999.). Prema navedenoj dokumentaciji sustav odvodnje oborinskih voda Grada Zadra dimenzioniran je na povratni period od 0,5 godina te za vrijeme koncentracije sliva od 15 minuta. Intenzitet navedene oborine prema ITP krivuljama (1961.-1993.) iz Idejnog projekta (Hidroprojekt-ing, 1999.) iznosi 0,882 mm/min, što je umanjeno za 30% kako bi se uključio utjecaj (ne)održavanja komunalne infrastrukture.

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 3.2.3.

Tablica 3.2.3 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%

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%).

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 i proračunske mreže uz satelitski snimak izdvojenog područja. Sve podloge, uključujući i digitalni model terena, karta CN brojeva, karta nepropusnosti podloge i karta hrapavosti direktno su implementirani u matematički model HEC-RAS na temelju prostornih podloga prikazanih u poglavlju 3.2.1.

Prostorna domena modela odgovara površini sliva, međutim granica domene je proširena za 200 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

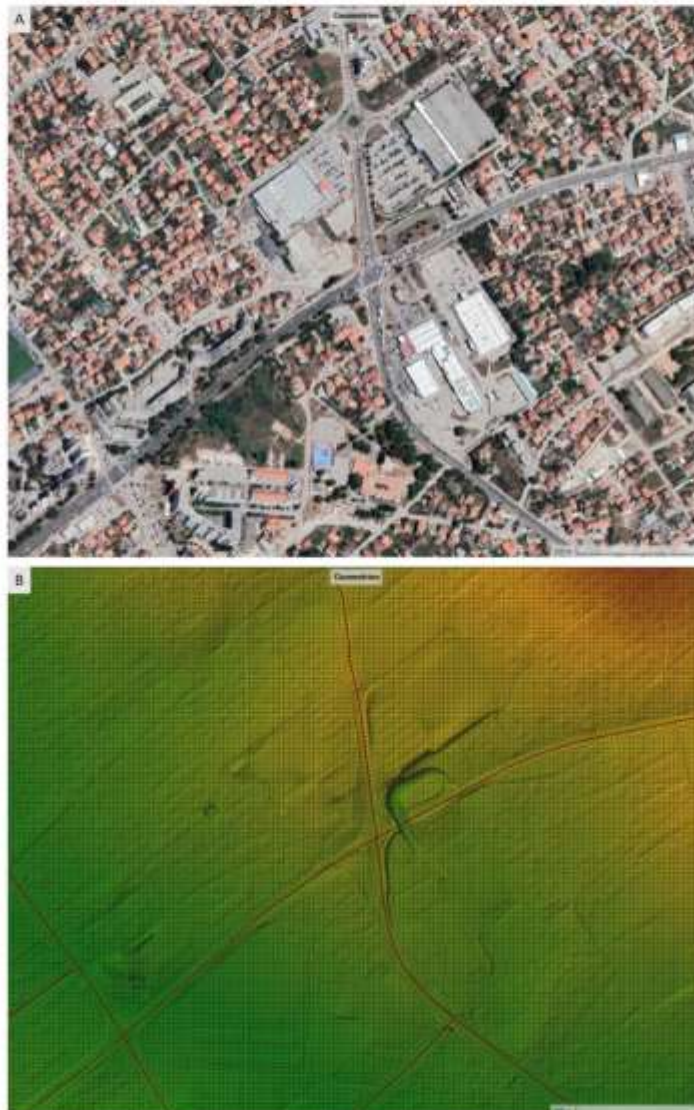
unutar domene modela, korištena je strukturirana pravokutna mreža širine 8,0 m, koja je modificirana uzduž glavnih prometnica i osi kanala (Slika 3.2.4b).

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

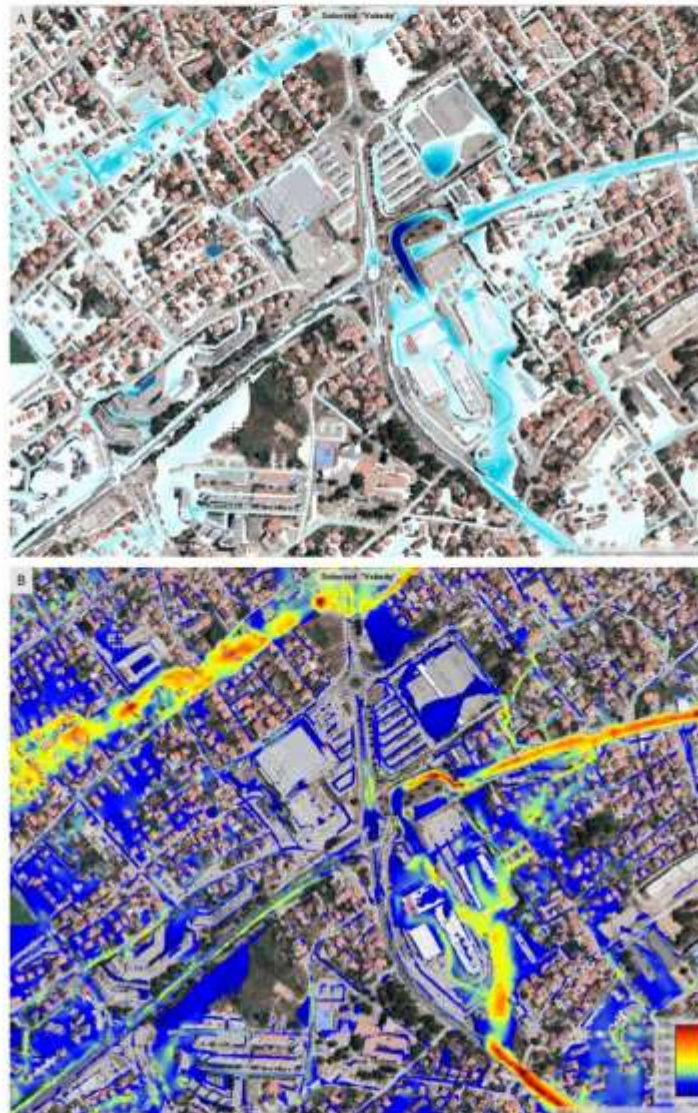
- Na kopnenoj granici domene zadan je uvjet normalnog toka uz prosječni nagib terena.
- Na morskoj granici domene zadana je visoka razina mora (+0,5 m n.m.).
- Po površini domene definirana je prostorno homogena, ali vremenski varijabilna oborina u obliku pluviograma (projektni pljusak, poglavlje 3.2.1.1).

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 3.2.3), 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 3.2.5). Konačan rezultat je dan u obliku anvelope maksimalnih vrijednosti svih navedenih parametara za svaki pojedini scenarij (tri rezultata za svako pilot područje).



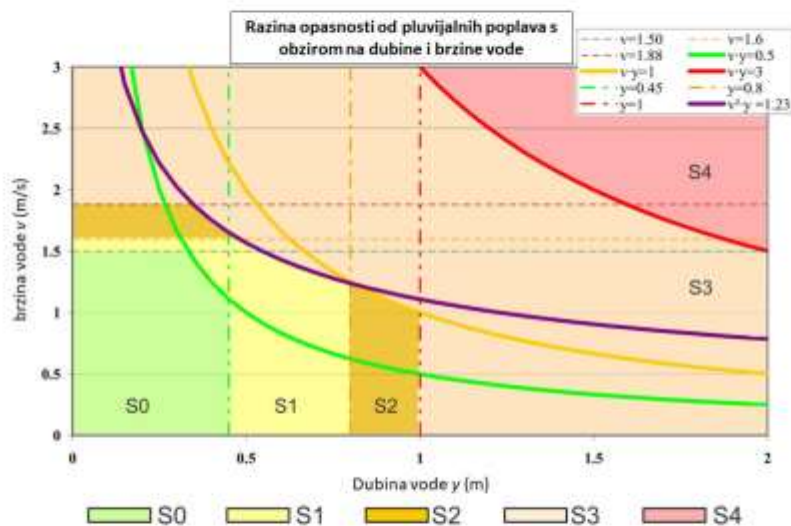
Slika 3.2.4 Primjer definiranih prostornih podloga u HEC-RAS modelu: a) satelitska snimka dijela sliva, b) digitalni model terena s proračunskom mrežom.



Slika 3.2.5 Primjer rezultat HEC-RAS proračuna: a) prostorna raspodjela dubina, b) prostorna raspodjela brzina.

Tablica 3.2.4 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 ² /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.	≥ 1,00	≥ 1,88	≥ 1,00	≥ 1,23
S4 Vrlo visoka opasnost. Mogu se očekivati strukturalna oštećenja građevina.	≥ 1,00	≥ 1,88	≥ 3,00	≥ 1,23



Slika 3.2.7 Grafički prikaz uvjeta za proračun razine opasnosti (modificirano prema SUFRI, 2011)

3.3 Metodologija analize 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 Tablici 3.3.1. dan je pregled svih prikupljenih i generiranih prostornih podloga s opisom i izvorom, a na Slici 3.3.1 primjer navedenih podloga na dijelu pilot područja Zadar.

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 1 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.

Metodološki pristup definiranju postojećih klasa korištenja i namjene površina temelji se na prostornim podacima iz postojećih baza Copernicus programa, konkretnije na području Zadra radi se o Urban Atlasu. Metodologija generiranja i reklasifikacije konačne karte korištenja površina za potrebe analize rizika detaljnije je opisan u Knjizi 2 ove Studije. Treba napomenuti da se Urban Atlas odlikuje najkvalitetnijom prostornom informacijom u usporedbi sa ostalim vrstama prostornih informacija o pokrovu zemljišta iz Copernicus program.



Slika 3.3.1 Prostorne podloge za procjenu ranjivosti i rizika od poplava: a) građevine, b) prometna infrastruktura, c) javne usluge i lokacije potencijalnih onečišćenja, d) namjena korištenja zemljišta.

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 3.3.2 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 različite 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, 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 3.3.2 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. 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)

4. 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)

Za razliku od makro razine (Knjiga 2) gdje je analiza šteta provedena na razini namjene korištenja zemljišta, na mezo razini (predmetna analiza) štete su procijenjene za izgrađene objekte i neizgrađeno zemljište (prometnice, parkirališta, zelene površine, itd.). Sve vrijednosti su prikazane u valuti Euro i izražene po jedinici površine. U Tablici 3.3.3 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.

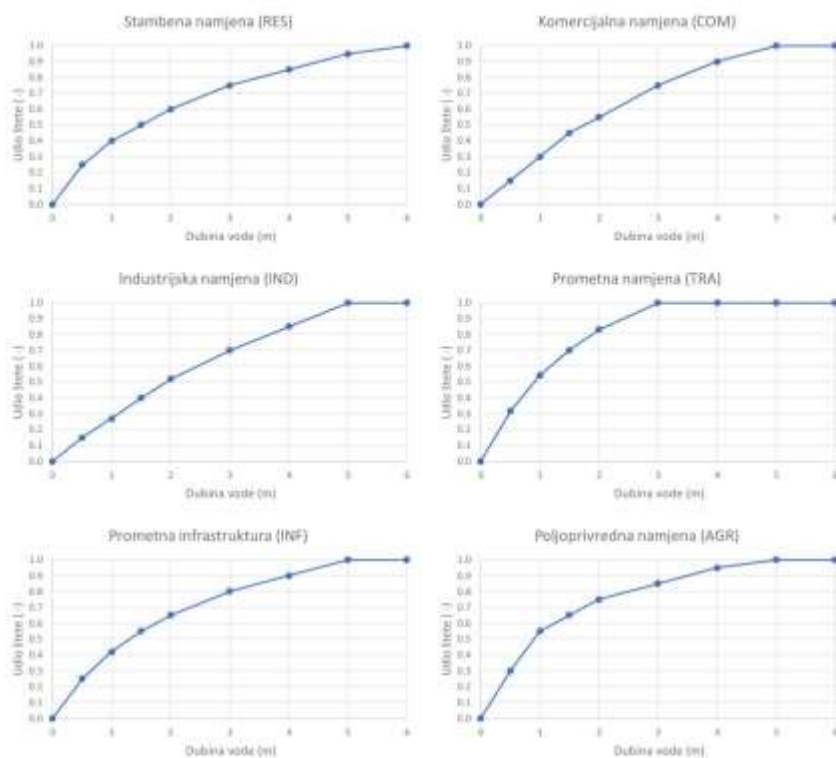
Pored tabličnih vrijednosti maksimalnih šteta, prikupljene su i tablične vrijednosti vezane uz funkcije dubine-štete, koje opisuju podložnost, odnosno očekivanu štetu izraženu kao postotak maksimalne vrijednosti u odnosu na dubinu vode poplavljenog područja. Ove funkcije su također preuzete iz Vodiča (Huizinga i sur., 2017) te su dane za prethodno prikazanih šest kategorije namjene korištenje zemljišta. Tablica 3.3.4 prikazuje numeričke vrijednosti funkcija dubine-štete, dok Slika 3.3.2 daje grafički prikaz tih funkcija.

Tablica 3.3.3 Namjene korištenja zemljišta s pripadajućim tipom funkcije dubine-štete (Func), šifrom karte namjene korištenja zemljišta (FR kod), vrijednosti maksimalnih šteta konstrukcije u EUR/m² (VAL STR), vrijednosti maksimalnih šteta sadržaja u EUR/m² (VAL CON) te vrijednosti maksimalnih šteta za neizgrađeno zemljište (VAL LAND).

OPIS	Func	FR kod	VAL STR	VAL CON	VAL LAND
Izgrađene površine	RES/COM/IND	1000	357.3	331.7	11.2
Stambene površine	RES	1100	407	203.5	11.2

Kontinuirane stambene površine (nepropusno > 80 %)	RES	1110	407	203.5	11.2
Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 0-80 %)	RES	1120	407	203.5	11.2
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 50-80 %)</i>	RES	1121	407	203.5	11.2
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 30-50 %)</i>	RES	1122	407	203.5	11.2
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno 10-30 %)</i>	RES	1123	407	203.5	11.2
<i>Diskontinuirane stambene površine (nepropusno < 10 %)</i>	RES	1124	407	203.5	11.2
Industrijske, komercijalne, javne i vojne površine	COM/IND	1200	332.5	395.8	11.2
Industrijske i komercijalne površine	COM/IND	1210	332.5	395.8	11.2
<i>Industrijske površine</i>	IND	1211	253	379.5	11.2
<i>Komercijalne površine</i>	COM	1212	412	412	11.2
Javni i vojni objekti	COM	1220	412	412	11.2
Nuklearne elektrane i pripadajuće zemljište	IND	1230	253	379.5	11.2
Transportna infrastruktura	INF	1300	11.2	0	11.2
Cestovna infrastruktura i pripadajuće zemljište	INF	1310	11.2	0	11.2
Željeznička infrastruktura i pripadajuće zemljište	INF	1320	11.2	0	11.2
Luke, marine i pripadajuće zemljište	TRA	1330	352.7	352.7	11.2
<i>Teretne i putničke luke</i>	TRA	1331	352.7	352.7	11.2
<i>Marine</i>	TRA	1332	352.7	352.7	11.2
<i>Brodogradilišta</i>	TRA	1333	352.7	352.7	11.2
Aerodromi i pripadajuće zemljište	TRA	1340	352.7	352.7	11.2
Rudokopi, odlagališta i gradilišta, zemljište trenutno bez namjene	RES	1400	407	203.5	11.2
Rudokopi	RES	1410	407	203.5	11.2
Odlagališta	RES	1420	407	203.5	11.2
Gradilišta	RES	1430	407	203.5	11.2
Zemljište trenutno bez namjene	RES	1440	407	203.5	0
Urbane zelene, sportske i rekreativne površine	RES	1500	407	203.5	0.16
Zelene urbane površine	RES / AGR	1510	407	203.5	0.16
Sportski objekti	RES	1520	407	203.5	11.2
Poljoprivredne površine	AGR	2000	60	60	0.16
Obradive površine	AGR	2100	60	60	0.16
Navodnjavano i nenavodnjavano zemljište	AGR	2110	60	60	0.16
Staklenici i plastenici	AGR	1210	60	60	0.16
Stalni nasadi	AGR	2200	60	60	0.16

Vinogradi, voćnjaci, plantaže bobičastog voća	AGR	2210	60	60	0.16
Maslinici	AGR	2220	60	60	0.16
Raznolike poljoprivredne površine	AGR	2300	60	60	0.16
Jednogodišnji i višegodišnji usjevi	AGR	2310	60	60	0.16
Mozaik različitih načina poljoprivrednog korištenja	AGR	2320	60	60	0.16
Poljoprivredne površine sa značajnim udjelom prirodne vegetacije	AGR	2330	60	60	0.16
Poljo-šumska područja	AGR	2340	60	60	0
Pašnjaci	AGR	2400	60	60	0



Slika 3.3.2 Grafički prikaz funkcija dubine-štete za različite kategorije namjene korištenja zemljišta (modificirano prema Huizinga i sur., 2017).

Tablica 3.3.4 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

3.3.2 Analiza ranjivosti – izloženost receptora poplavama

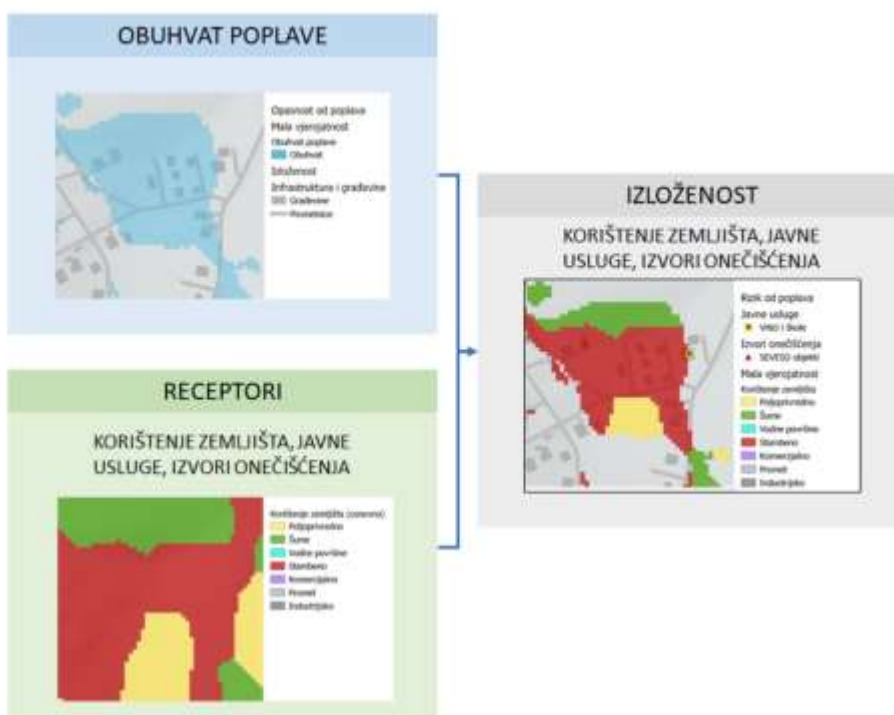
Analiza ranjivosti provedena je prvenstveno u svrhu procjene rizika, što će se detaljnije obrazložiti u sljedeća dva poglavlja. Međutim, u okviru analize ranjivosti provedena je i zasebna analiza izloženosti receptora poplavama. Pritom je izloženost određena na osnovu prostorne raspodjele receptora i 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 3.3.3 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 3.3.3 za pojednostavljenu namjenu zemljišta. Treba napomenuti da je izloženost namjene korištenja zemljišta određena preklapanjem s obuhvatom poplava kako je to prikazano na Slici 3.3.3, 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 3.3.3 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.

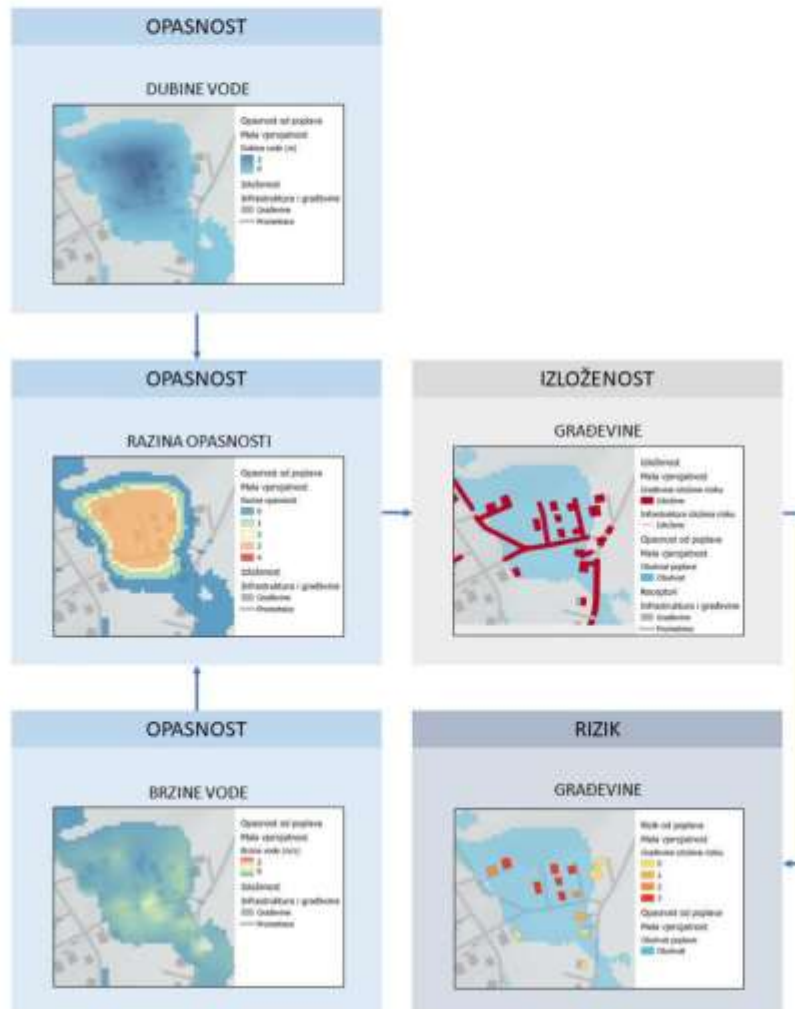
$$\text{RAZINA RIZIKA} = \text{RAZINA OPASNOSTI} \times \text{IZLOŽENOST RECEPTORA}$$

Razina rizika procijenjena je za sve građevine. Za razliku od makro razine nije procijenjena razina rizika za prometnice, zbog previsoke rezolucije. Naime, na mezo razini dobivena je prostorna distribucija dubine i brzine vode te razine opasnosti po površini prometnice, pa se isto prikazuje u rasterskom obliku.

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 3.3.5). Shema metodologije i primjer karata procjene razine rizika prikazana je na Slici 3.3.4 za građevine.

Tablica 3.3.5 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 3.3.4 Shematski prikaz koncepta kvalitativne analize rizika – procjena razine rizika za građevine.

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.

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

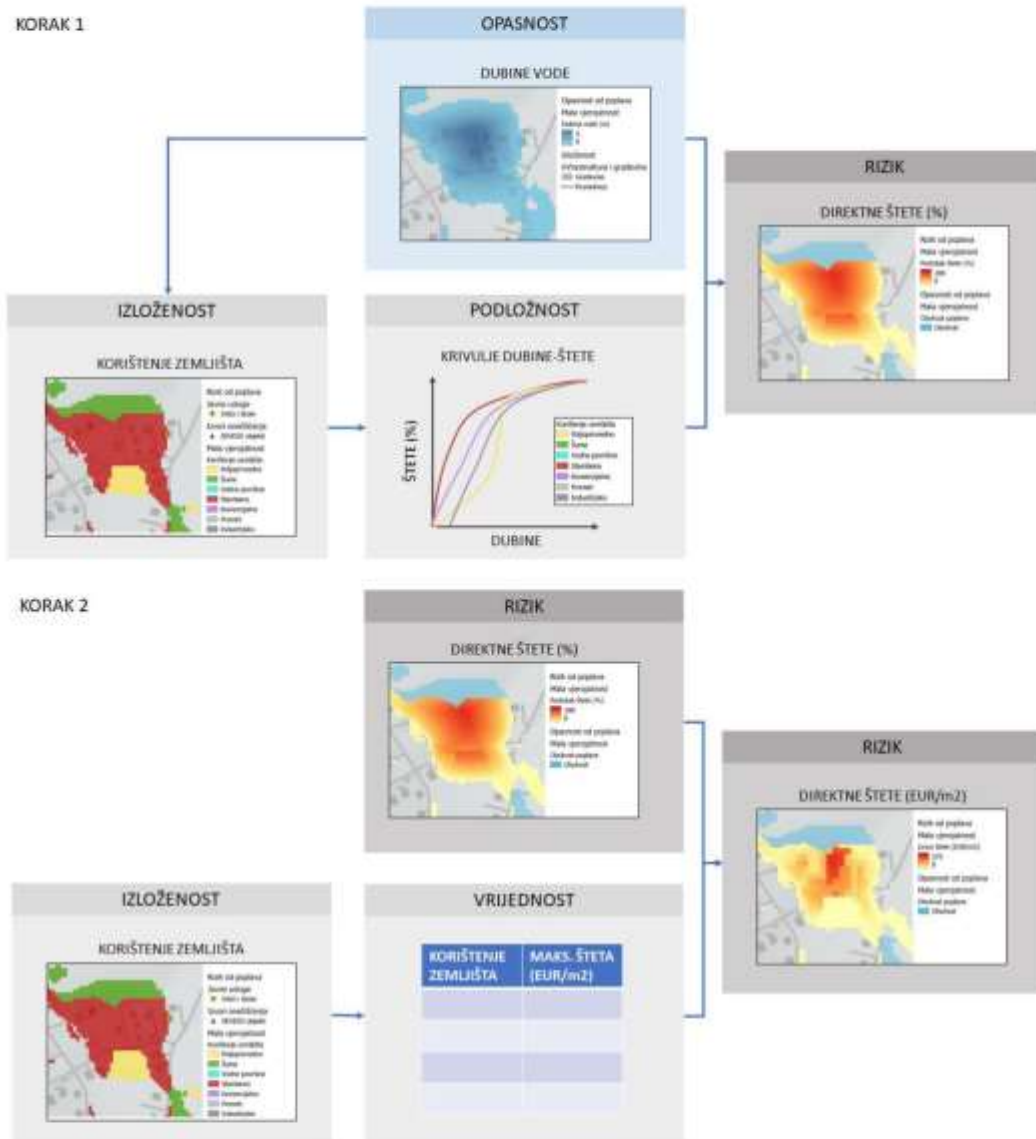
Pri čemu:

- 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 3.3.5):

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. Pritom, za svaki pojedinačni poligon koji predstavlja građevinu očitava se maksimalna razina vode unutar tog poligona i unutar „buffer“ zone oko objekta širine 1 m kako bi se uključile i dubine voda koje obilaze objekte, ali su u direktnom kontaktu s granicom objekta. 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 ovisno o tome nalazi li se piksel unutar ili izvan poligona građevina 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.



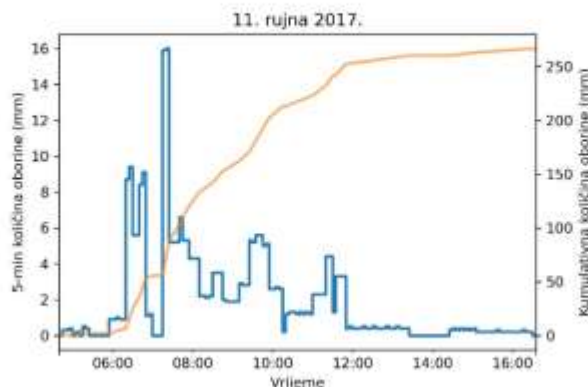
Slika 3.3.5 Shematski prikaz koncepta kvantitativne analize rizika – procjena direktnih šteta.

3.4 Rezultati analize pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar

3.4.1 Povijesne pluvijalne poplave u urbanom dijelu naselja Zadar

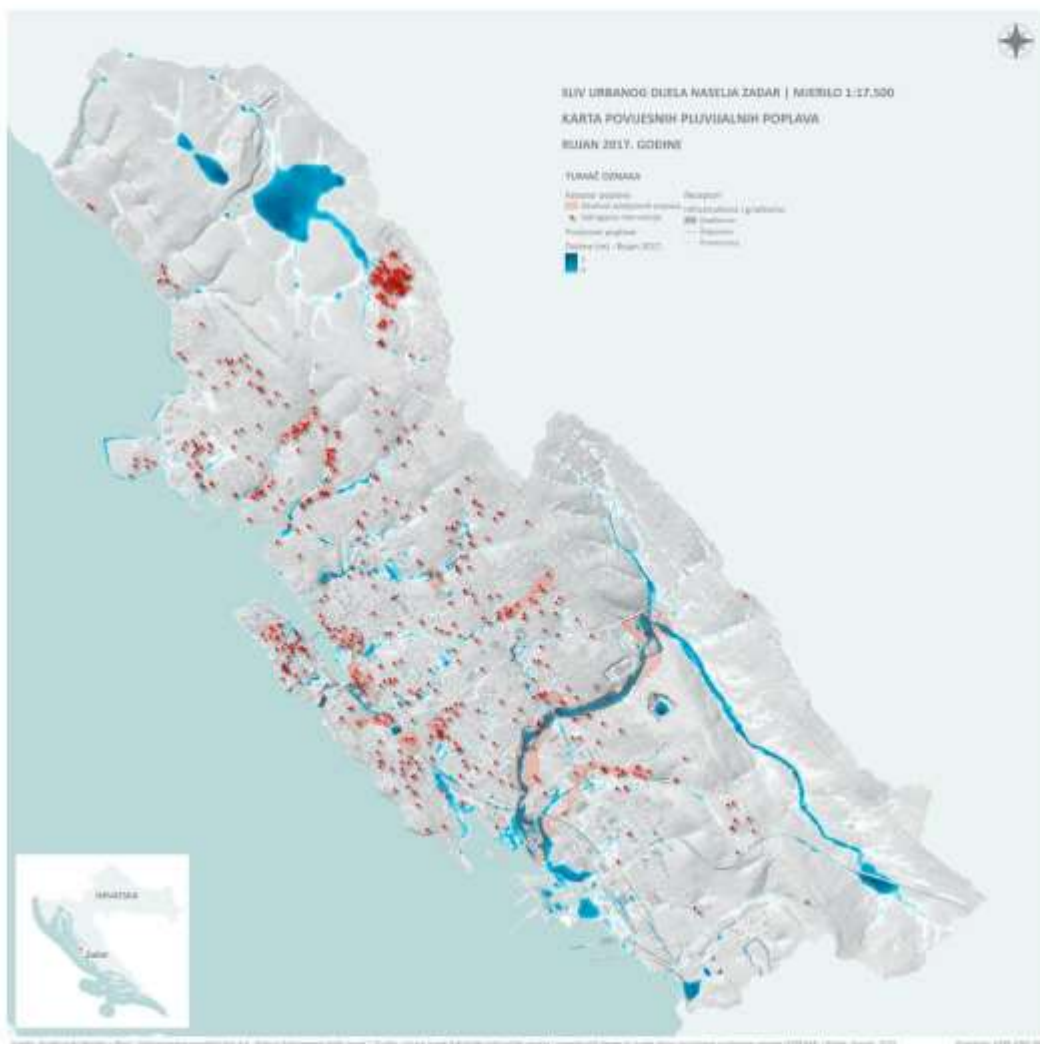
Analiza povijesnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina odabran je ekstremni događaja iz 11. rujna 2017. godine.

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 3.4.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave manju od 1%.



Slika 3.4.1 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 3.4.2. Najveći broj intervencija nalazi se unutar urbaniziranog dijela naselja Zadar. 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.



Slika 3.4.2 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):

„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 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 rujna. 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 ugasili, 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. 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. 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. Voda je prodrla 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 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.“

3.4.2 Opasnost od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar

Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja 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 Slikama 3.4.3, 3.4.4 i 3.4.5 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 Zadar te izdvojiti problematične lokacije. 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.

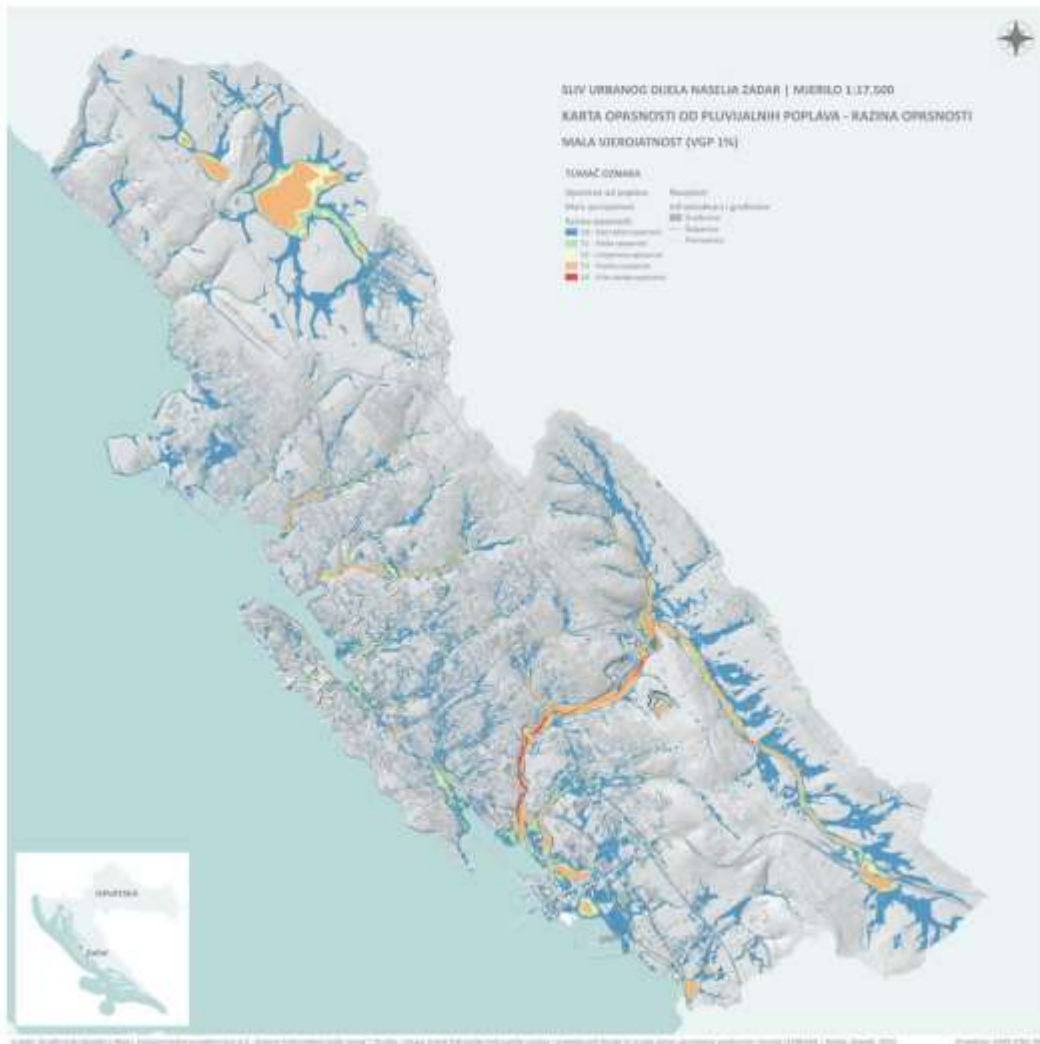
Preostalo područje interesantno s gledišta opasnosti od poplava je **niz manjih podslivova u urbaniziranom priobalnom dijelu grada**. Prikazani podslivovi su naseljeni uz visoki stupanj urbanizacije, imaju riješen sustav odvodnje oborinskih voda (najčešće mješoviti sustav kanalizacije), bez izraženijih vodotoka niti prisutnih otvorenih elemenata odvodnje (kanali) ili cestovnih propusta. Iznimka je park Vruljica, gdje 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 Ričine. Međutim i u manjim priobalnim podslivovima u urbaniziranom dijelu naselja Zadar prisutne se mikrolokacije velikih brzina vode, odnosno visokih razina opasnosti do poplava, koji su uglavnom vezani uz koncentrirane tokove ili prirodne depresije.



Slika 3.4.3 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost u urbanom dijelu naselja Zadar.



Slika 3.4.4 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost u urbanom dijelu naselja Zadar.

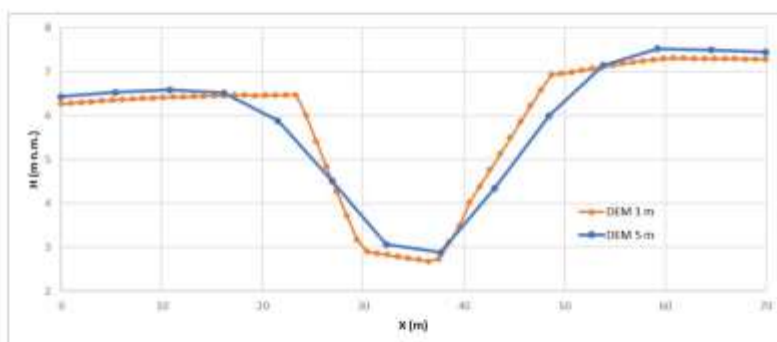


Slika 3.4.5 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost u urbanom dijelu naselja Zadar.

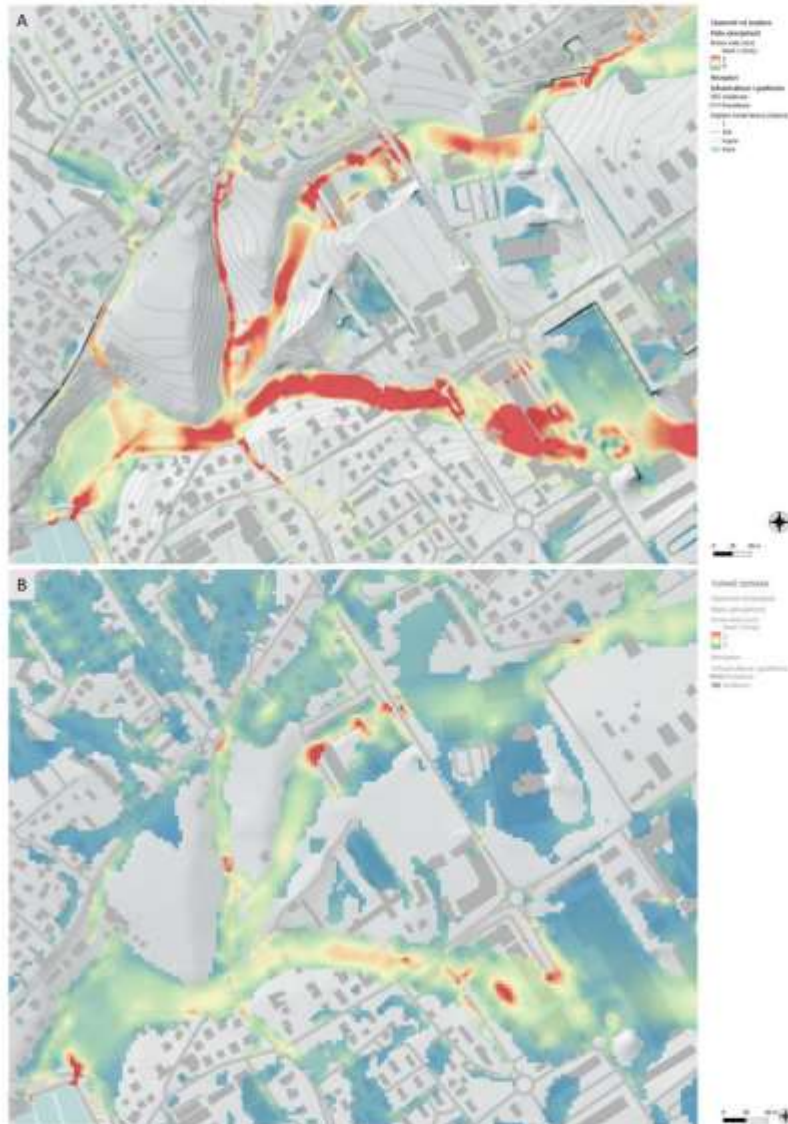
3.4.3 Usporedba rezultata na mezo i makro razini istraživanja

U nastavku je dana usporedba rezultata modelskih analiza, odnosno procjene opasnosti od poplava u urbanom dijelu naselja Zadar, na makro razini (Knjiga 2) i mezo razini (predmetna analiza). Osnovna razlika između navedene dvije analize je u detaljnosti podloga. Dok je na makro razini analiziran cjelokupni sliv koji zahvaća administrativne granice naselja Zadar, a korištene su prostorne podloge rezolucije 5 m, na mezo razini odabrano je uže područje (urbanizirani dio naselja Zadar), a korištene podloge imaju rezoluciju 1 m.

Na Slikama 3.4.7 – 3.4.9 dane su usporedbe rezultata dubine i brzine vode te razina opasnosti na izdvojenom dijelu sliva (dio podsliva Vruljica). Očekivano, rezultati na mezo razini više su rezolucije i veće preciznosti, zbog čega pružaju detaljniji uvid u prostornu raspodjelu opasnosti od poplava. U odnosu na makro razinu gdje su rezultati interpretirani u vidu identifikacije dijelova naselja koji su izloženi poplavi, na mezo razini se rezultati mogu interpretirati u smjeru identifikacije pojedinačnih objekata i dionica prometnica koje su izložene poplavama. Međutim, uz višu rezoluciju i veću preciznost, rezultati brzina vode i posljedično razine opasnosti daju kvalitativno drugačije rezultate, konkretnije primjetne su veće brzine i više razine opasnosti u odnosu na rezultate na makro razini (Slika 3.4.8 i 3.4.9). S hidrauličkog stajališta, veće vrijednosti brzina su opravdane, s obzirom da su u modelu terena više rezolucije prirodne depresije i kanali (duž kojih se javlja dominantno tečenje oborinskih voda) sličnog uzdužnog nagiba, ali užeg poprečnog presjeka, stoga za isti protok možemo očekivati više brzine toka (Slika 3.4.6).



Slika 3.4.6 Poprečni presjek kanala Ričine, usporedba modela terena rezolucije 1 m (mezo razina) i 5 m (makro razina).



Slika 3.4.8 Usporedba rezultata brzine vode za malu vjerojatnost na dijelu sliva Vruljice: a) mezo razina (rezolucija 1 m), b) makro razina (rezolucija 5 m).



Slika 3.4.9 Usporedba rezultata razine opasnosti za malu vjerojatnost na dijelu sliva Vruljice: a) mezo razina (rezolucija 1 m), b) makro razina (rezolucija 5 m).

3.4.4 Ranjivost na pluvijalne poplave u urbanom dijelu naselja 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.

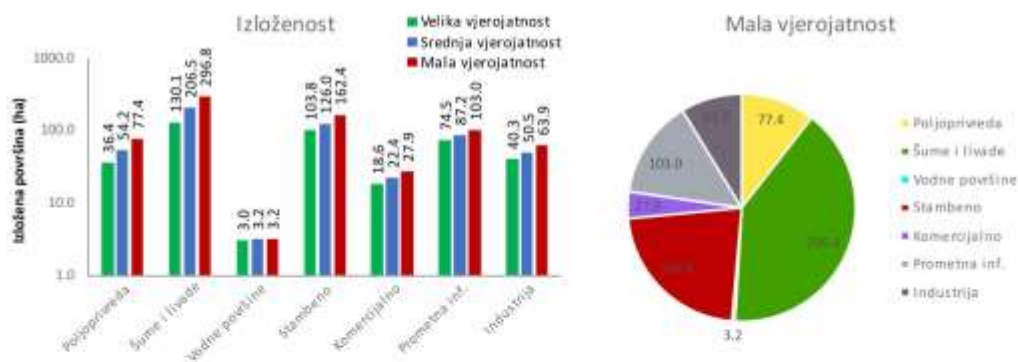
Na Slici 3.4.10 prikazana je statička karta ranjivosti, odnosno izloženosti za malu vjerojatnost u urbanom dijelu naselja Zadar. Na Slici 3.4.11 prikazani su rezultati analize izloženosti u okviru čega su određene izložene površine poplavama po kategorijama namjene korištenja zemljišta za sve tri vjerojatnosti te dijagram udjela kategorija namjene korištenja zemljišta za malu vjerojatnost poplave.

Ukupna promatrana površina sliva urbanog dijela naselja Zadar iznosi 36 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 4,1 km² (11,3 %) za veliku vjerojatnost, 5,5 km² (15,2 %) za srednju vjerojatnost i 7,3 km² (20,4 %) za malu vjerojatnost pojave. Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina ~37 % pod šumama i livadama, međutim čak 24% poplavljenog područja je stambene namjene, približno 16% je prometne infrastrukture, oko 10 % je poljoprivrednih površina, 9% industrijskih, dok je komercijalnih površina oko 4 %. Čak i za veliku vjerojatnost, može se očekivati plavljenje površine od 104 ha stambene namjene, 74,5 ha prometne infrastrukture, 40,3 ha industrijskih površina te 18,6 ha komercijalne namjene. U slivu Kvandove Jaruge najviše je poplavljenih šumskih površina, u gornjem slivu Ričine najviše je poplavljenih poljoprivrednih, dok je u priobalnim podslivovima Zadra najviše poplavljenih površina stambene i industrijske 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 umjerenom opasnosti od poplava (BP Zadar i BP Murvica Istok). Odlagalište otpada i divlji deponiji su izvan opasnosti od poplava.

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. Umjerenoj razini opasnosti izložen je i uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. 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.

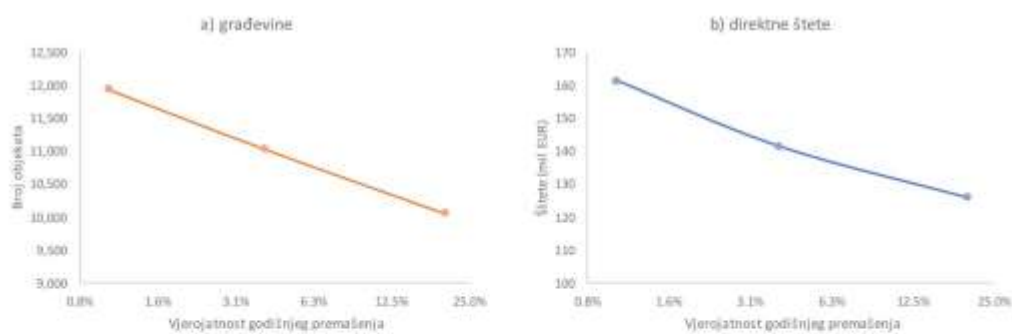


Slika 3.4.11 Rezultati izloženosti namjene korištenja zemljišta na pilot području Zadar

3.4.5 Rizik od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar

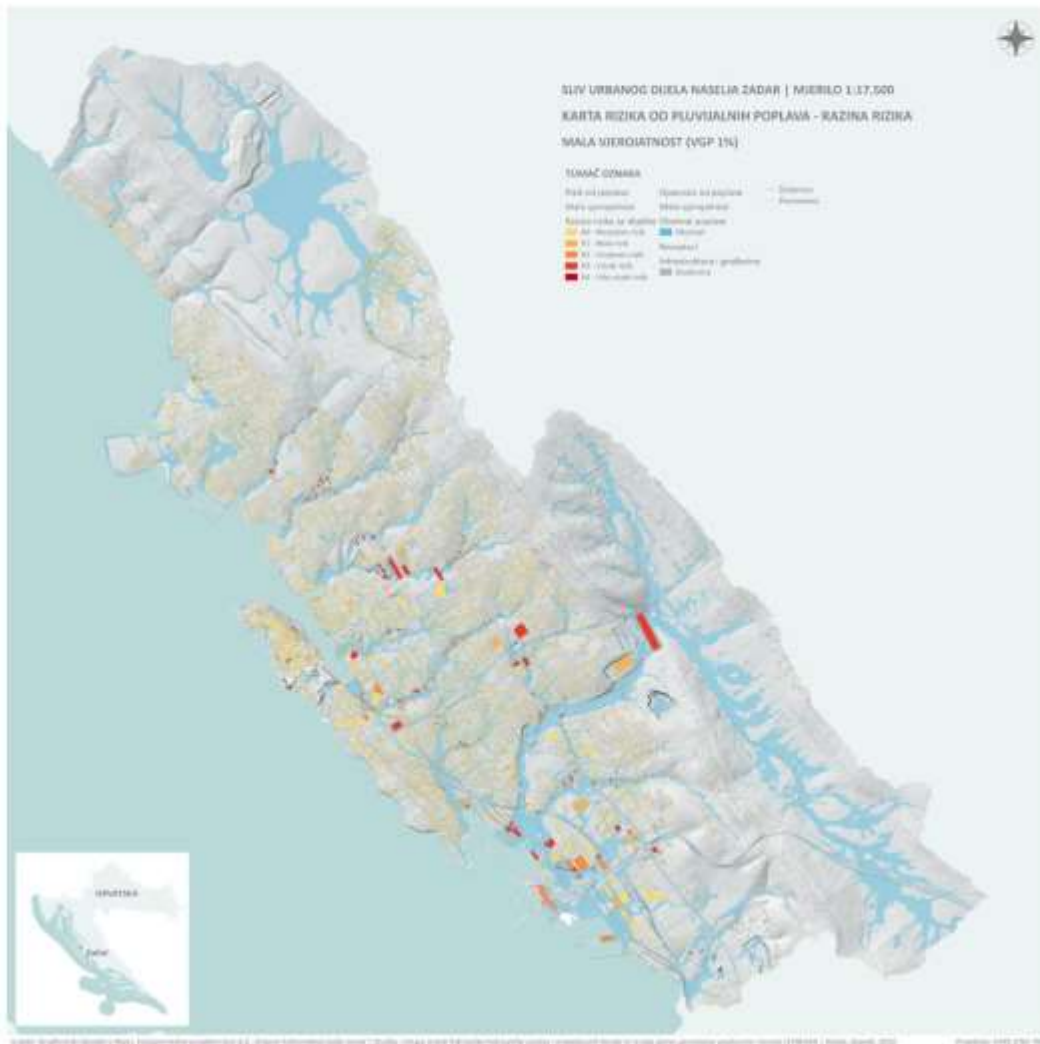
Na osnovu provedenih analiza opasnosti i ranjivosti identificiran je i rizik od poplava na pilot području Zadar. Rezultati kvantitativne analize rizika prikazani su na Slici 3.4.12 s procjenom vjerojatnosti poplavljenog broja građevina te iznos direktnih šteta od poplava. Broj poplavljenih građevina/objekata je u rasponu od 10.063 (VGP=20%) do 11.957 (VGP=1%). Iznos direktnih šteta kreće se u rasponu od 126,1 milijuna EUR (VGP=20%) do 161,6 milijuna eura (VGP=1%). Treba primijetiti da su ovo otprilike 27 % veći iznosi šteta u odnosu na analizu provedenu na makro razinu (Knjiga 2), što je jednim dijelom rezultat podloga više rezolucije i točnijih rezultata analize opasnosti od poplava, a drugim dijelom drugačijeg (preciznijeg) načina proračuna šteta u okviru kojeg su zasebno analizirane štete na objektima i zemljišta (a što je omogućeno upravno preciznijim podlogama).

Pored kvantitativne analize rizika u kojoj su povezane ukupne količine izloženih građevina 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. Najveći broj izloženih građevina pripada razini opasnosti R0 („neznan rizik“), dok je broj receptora koji su izloženi umjerenoj ili visokoj razini rizika (R2 i R3) za red veličine manji. Radi se otprilike o 648 objekata za malu vjerojatnost poplave (VGP=1%).



Slika 3.4.12 Rezultati kvantitativne analize rizika - krivulje koje prikazuju vjerojatnost: a) broja potencijalno poplavljenih građevina, b) direktnih šteta od poplava na pilot području Zadar.

Na Slici 3.4.13 prikazana je statička karta rizika od poplava koja prikazuje razinu rizika za građevine za malu vjerojatnost. Na Slici 3.4.14 prikazana je karta rizika od poplava s prostornom raspodjelom direktnih šteta po jedini površine za malu vjerojatnost pojave.



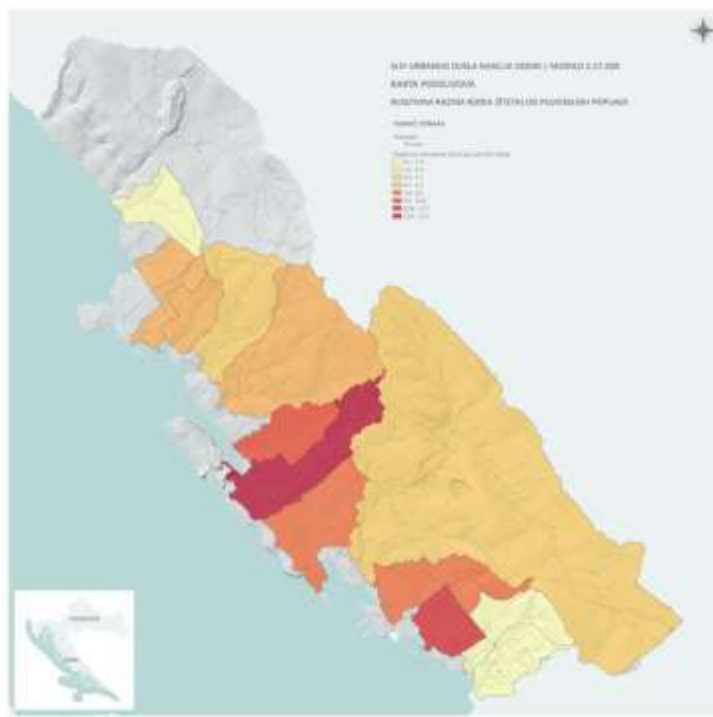
Slika 3.4.13 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine - za malu vjerojatnost u urbanom dijelu naselja Zadar.



3.4.6 Kritični podslivovi u urbanom dijelu naselja Zadar

S obzirom na provedene analize šteta od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja 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 podslivovi iz razloga što je problem pluvijalnih poplava **potrebno rješavati integralno na razini cijeloga podsliva** unutar kojeg se javljaju više razine rizika od poplava.

Unutar urbanog dijela naselja Zadar, višu razinu rizika s obzirom na štete za malu vjerojatnost pojavljivanja, imaju manji priobalni podslivovi koji gravitiraju naselju Zadar (Slika 3.4.15). Kritični su slivovi koju utječu u uvalu Jazine i Bregdetti te dva manja sliva koji gravitiraju uvali Gaženica. Također, kao kritični sliv se još može ocijeniti i sliv Vruljice.



Slika 3.4.15 Karta kritičnih podslivova (prema prosječnim štetama po površini podsliva) u urbanom dijelu naselja Zadar.

3.5 Karte pluvijalnih poplava za urbani dio naselja Zadar

Karte pluvijalnih poplava izrađene su u statičkom i dinamičkom formatu.

Statičke karte izrađene su kao PDF dokumenti u prikladnom mjerilu. Za predmetno 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 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**

Ukupno je za urbani dio naselja Zadar izrađeno 20 tematskih karta 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 3.5.1. 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 3.5.1 Popis elemenata dinamičkih karata pluvijalnih poplava (GIS baza podataka)

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Exposure	Catchment.shp	Podloge			Sliv
\Exposure	DEM_1m_clipped.tif				Digitalni model terena (DMT)
\Cadastr	Flooded_areas.shp	Katastar poplava		Katastar poplava	Obuhvat zabilježenih poplava
\Cadastr	Flood_interventions.shp			Katastar poplava	Vatrogasne intervencije
\Historical	Depth (Max)_[date]_clipped.tif			Povijesne poplave	Dubine (m) - [date]
\Exposure	Buildings.shp	Receptori		Receptori- Infrastruktura i građevine	Građevine
\Exposure	Roads.shp			Prometnice	
\Exposure	Railroad.shp			Željeznička pruga	
\Exposure	Cultural_heritage.shp			Receptori-Kulturna baština	Kulturno dobro
\Exposure	Population.shp			Receptori- Stanovništvo	Gustoća stanovnika
\Exposure	LU_1m_new.tif			Receptori	Namjena korištenja zemljišta
\Exposure	LU_1m_new_modified.tif			Receptori	Korištenje zemljišta (osnovno)
\Exposure	Protected_areas.shp			Receptori-Zaštićena područja	Zaštićena područja

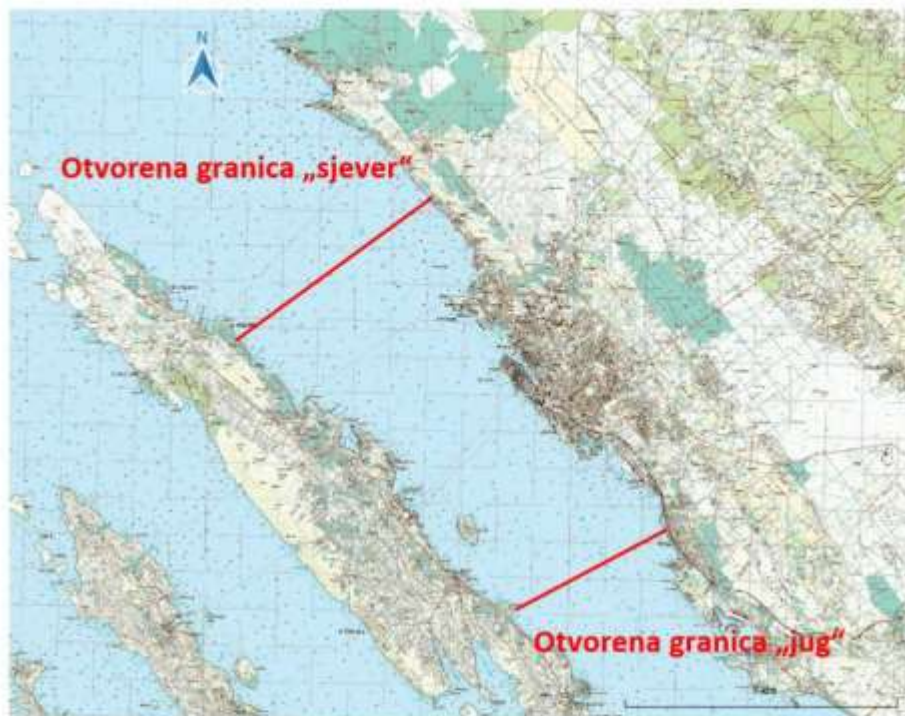
\\Exposure\\Pollution	ePRTR.shp	Izloženost	Izloženost-Izvori onečišćenja	Industrijska postrojenja
\\Exposure\\Pollution	Gas_stations.shp			Benzinske postaje
\\Exposure\\Pollution	Landfill.shp			Odlagališta otpada
\\Exposure\\Pollution	SEVESO.shp			SEVESO objekti
\\Exposure\\Pollution	Wild_dump_sites.shp		Divlji deponij	
\\Exposure\\Public_facilities	Cemetery.shp		Izloženost-ljavne usluge	Groblja
\\Exposure\\Public_facilities	Health_facilities.shp			Zdravstvene ustanove
\\Exposure\\Public_facilities	Kindergarten_Schools.shp			Vrtići i škole
\\Exposure\\Public_facilities	Public_transport.shp		Javni prijevoz	
\\Risk\\Scenario1\\5YR	LU_flooded_5YR_modified.tif		Velika	Izloženost-Velika vjerojatnost
\\Risk\\Scenario1\\25YR	LU_flooded_25YR_modified.tif	Srednja	Izloženost-Srednja vjerojatnost	Korištenje zemljišta
\\Risk\\Scenario1\\100YR	LU_flooded_100YR_modified.tif	Mala	Izloženost-Mala vjerojatnost	Korištenje zemljišta
\\Hazard\\Scenario1\\5YR	D_V (Max_clipped.tif	Opasnost	Opasnost od poplava-Velika vjerojatnost	(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\5YR	D_V^2 (Max_clipped.tif			(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\5YR	Depth (Max_clipped.tif			Dubina vode (m)
\\Hazard\\Scenario1\\5YR	Flood_extent_5yr.tif			Obuhvat poplave
\\Hazard\\Scenario1\\5YR	Flood_severity_5yr_clipped.tif			Razina opasnosti

\\Hazard\\Scenario1\\5YR	Velocity (Max)_clipped.tif				Brzina vode (m/s)
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	D_V (Max)_clipped.tif				(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	D_V^2 (Max)_clipped.tif				(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	Depth (Max)_clipped.tif		Srednja	Opasnost od poplava- Srednja vjerojatnost	Dubina vode (m)
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	Flood_extent_25yr.tif				Obuhvat poplave
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	Flood_severity_25yr_clipped.tif				Razina opasnosti
\\Hazard\\Scenario1\\25YR	Velocity (Max)_clipped.tif				Brzina vode (m/s)
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	D_V (Max)_clipped.tif				(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	D_V^2 (Max)_clipped.tif				(ne prikazuje se)
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	Depth (Max)_clipped.tif		Mala	Opasnost od poplava- Mala vjerojatnost	Dubina vode (m)
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	Flood_extent_100yr.tif				Obuhvat poplave
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	Flood_severity_100yr_clipped.tif				Razina opasnosti
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	Velocity (Max)_clipped.tif				Brzina vode (m/s)
\\Exposure	Buildings_sampled.shp				Razina rizika za građevine
\\Risk\\Scenario1\\5YR	Damages_percent_5yr.tif		Velika	Rizik od poplava- Velika vjerojatnost	(ne prikazuje se)
\\Risk\\Scenario1\\5YR	Total_damages_5yr.tif				Direktna šteta (EUR/m2)
\\Exposure	Buildings_sampled.shp				Razina rizika za građevine
\\Risk\\Scenario1\\25YR	Damages_percent_25yr.tif	Rizik	Srednja	Rizik od poplava- Srednja vjerojatnost	(ne prikazuje se)
\\Risk\\Scenario1\\25YR	Total_damages_25yr.tif				Direktna šteta (EUR/m2)

Exposure	Buildings_sampled.shp			Mala	Risk od poplava-Mala vjerojatnost	Razina rizika za gradevine (ne prikazuje se)
RiskScenario1\100YR	Damages_percent_100yr.tif					Direktne štete (EUR/m2)
RiskScenario1\100YR	Total_damages_100yr.tif					
Hatspots	Streams.shp	Kritični podslivovi			Kritični podslivovi	Mreža kanala
Hatspots	podslivovi.shp					Podslivovi – štete (EUR/m2)

4 Analiza opasnosti i rizika od poplava s mora u priobalnom dijelu naselja Zadar

U segmentu analize valnog generiranja i valnih deformacija za akvatorij grada Zadra, tretirani su scenariji vezani na postojeće stanje i u uvjetima potencijalnih klimatoloških promjena za 2100. godinu. Primjenom numeričkog modeliranja **valnog generiranja i valnih deformacija** dobivena su 2D polja značajnih valnih visina za predmetni akvatorij (Slika 4.1), pri čemu su za usvojeni smjer djelovanja vjetra i valova analizirane situacije postojećeg stanja izgrađenosti obale (2022.).



Slika 4.1. Akvatorij obuhvaćen prostornom domenom numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija

4.1 Uspostava numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija

4.1.1 Podaci o vjetru

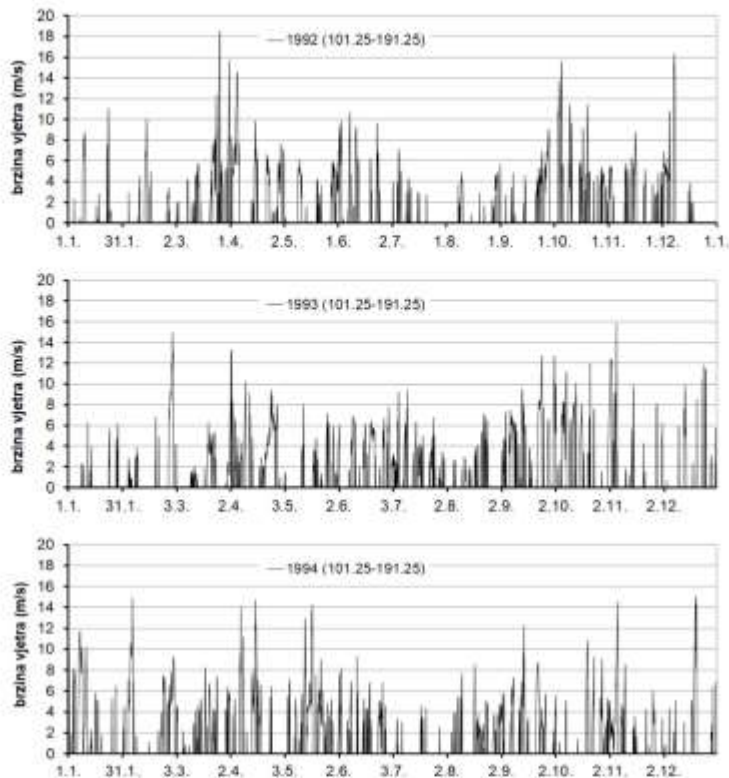
Za aktiviranje modela valne dinamike potrebni su podaci u vidu polja vjetrovnog djelovanja iznad analiziranog područja (atmosferski model). U Državnom hidrometeorološkom zavodu Hrvatske je trenutno operativno funkcionalan atmosferski model Aladin-Hr u hidrostatskoj verziji baziranoj na primitivnim jednadžbama sa numeričkom implementacijom razvijenom u kooperaciji sa nekoliko nacionalnih meteoroloških institucija. Model proizlazi iz globalnog ARPEGE (Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle) modela od Meteo-France (Courtier i sur., 1991.), sa kojime izmjenjuje i podatke o većini fizikalnih relevantnih parametara potrebnih za definiranje rubnih uvjeta (Cordoneanu i Geleyn, 1998.). Model Aladin koristi prostornu rezoluciju dostatnu za razlučivanje intenzivnih izmjena u smjerovima i intenzitetima prevladavajućih vjetrova na području Jadrana (Brzović i Strelec-Mahović, 1999.; Ivatek-Sahdan i Tudor, 2004.). Upravo izlazni skup podataka o brzinama i smjerovima vjetra iz modela Aladin pogodan je za numeričko spektralno modeliranje valne dinamike na području Jadrana.

Relevantni podaci o prognozi dugoročne vjetrovne klime za rubne uvjete na kontaktu sa atmosferom, za povratne periode od 5, 25 i 100 godina, dobiveni su temeljem statističke obrade ekstrahiranih rezultata o brzini vjetra na poziciji grada Zadra iz atmosferskog modela Aladin-HR za razdoblje 1992.-2001. (prostorna rezolucija 4km i vremenska rezolucija 3 sata).

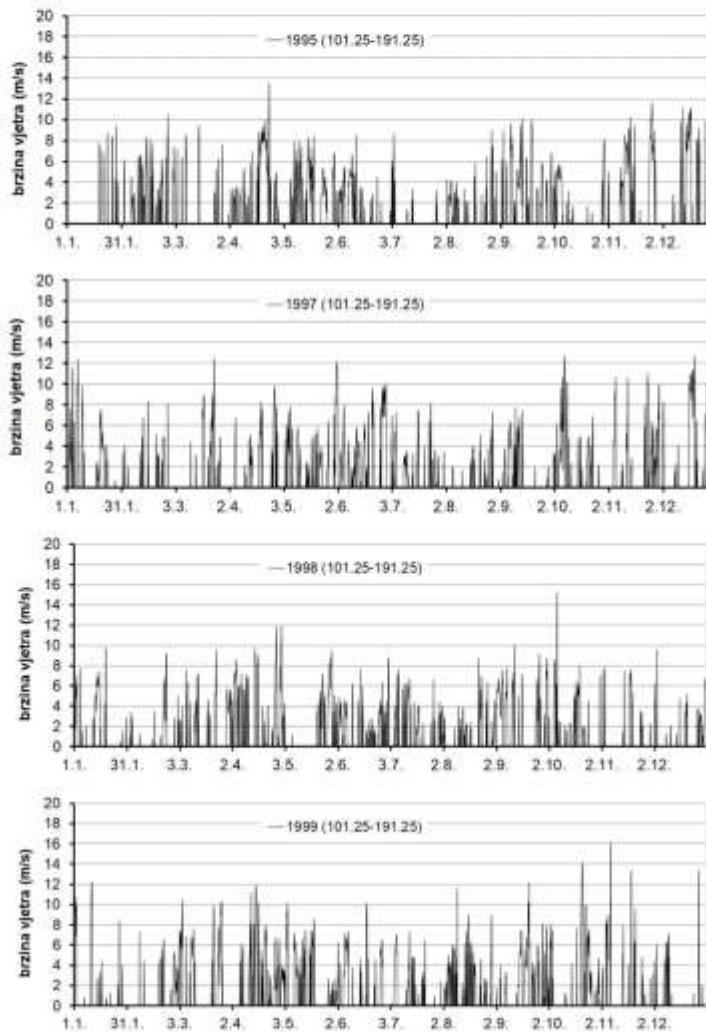
Obzirom na rezultate recentnih svjetskih istraživanja (Bonaldo i sur., 2020.; Benetazzo i sur., 2012.; Conte i Lionello, 2013.; Giorgi i Lionello, 2008.; Lionello i sur., 2003.; Lionello i sur., 2012.; Marcos i sur., 2011.; Trenberth i sur., 2003.; Trincardi i sur. 2016.) može se konstatirati da u narednom razdoblju od 100 godina ne treba očekivati klimatske promjene u intenzitetu vjetra, a posljedično i u valnoj klimi. Stoga su proračunate spektralne karakteristike valova u dubokovodnom području, vezane uz povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina, referentne i za sadašnje stanje i za buduće stanje (2100.) pod utjecajem klimatskih promjena. S druge strane, promjene razine mora uslijed klimatskih promjena uzet će se u obzir, a što će rezultirati sa promjenom polja valova, primarno u plitkovodnom i plavljenom području. Dakle, temeljem dobivenih rezultata numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija (polja značajnih valnih visina, vršnih perioda i incidentnog smjera valovanja), te

uvida u sadržaje postojećeg stanja obalne crte, prepoznat će se lokaliteti i mehanizmi mogućih ugroza uslijed valovanja bez i sa klimatološkim promjenama.

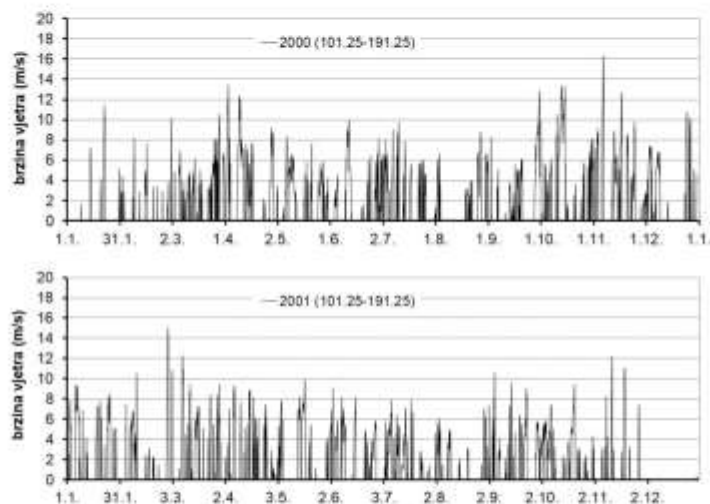
Kako je u fokusu ovog istraživanja kritični sektor djelovanja vjetra „juga“, za pripadni vjetrovni sektor usvojen je raspon smjerova vjetra od 101.25° do 191.25° . Na Slici 4.1.1 prikazane su ekstrahirane brzine vjetra iz modela Aladin – HR za navedeni sektor i za poziciju grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001. Maksimalne godišnje brzine vjetra za razdoblje 1992.-2001., prikazane su na Slici 4.1.2.



Slika 4.1.1. Ekstrahirane brzine vjetra iz modela Aladin – HR za sektor „juga“ (101.25° - 191.25°) za poziciju grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001.



Slika 4.1.2. Nastavak: Ekstrahirane brzine vjetra iz modela Aladin – HR za sektor "juga" (101.25°- 191.25°) za poziciju grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001.



Slika 4.1.3. Nastavak: Ekstrahirane brzine vjetra iz modela Aladin – HR za sektor "juga" (101.25° - 191.25°) za poziciju grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001.



Slika 4.1.4. Maksimalne godišnje brzine vjetra iz modela Aladin – HR za sektor "juga" (101.25° - 191.25°) i poziciju grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001.

Maksimalne godišnje brzine vjetra iz sektora "juga" tijekom razdoblja 1992.-2001. za poziciju grada Zadra, prikazane na Slici 4.1.2, predstavljaju statistički uzorak temeljem kojeg se provodi analiza vjerojatnosti pojave za povratne periode od 5, 25 i 100 godina. U analizi je korištena GEV (eng. *general extream value*) i troparametarska Weibull distribucija, a rezultati provedbe spomenutog postupka prikazani su u Tablici 4.1.1. Zaključno, lokalni model valnog generiranja i valnih deformacija, sa prostornom domenom prikazanom na Slici 4.1 (akvatorij grada Zadra), na kontaktu

mora i atmosfere forsirat će se homogenim i stacionarnim poljem vjetra sa brzinama prezentiranim u Tablici 4.1.1.

Tablica 4.1.1. Dugoročna prognoza brzine vjetra iz sektora "juga" na poziciji grada Zadra

Povratni period	Brzina vjetra (m/s) (WEIBULL)	Povratni period	Brzina vjetra (m/s) (GEV)
5	16,70	5	16,67
25	18,35	25	18,35
100	19,42	100	19,42

4.1.2 Podaci o valovima

Obzirom da se valovi uzrokovani vjetrovima drugog kvadranta, primarno juga, generiraju na relativno dugom privjetrištu, na kojem postoji značajniji utjecaj nelinearnih interakcija u samom procesu generiranja, prvotno su prikupljeni i analizirani rezultati iz provedenih numeričkih simulacija valnog generiranja i valnih deformacija na prostornoj domeni koja obuhvaća cijeli jadranski bazen (Slika 4.1.5 ; Ocvirk, 2010.). Na Slici 4.1.5 prikazana je i primijenjena modelska prostorna diskretizacija s trokutnim ćelijama (nestrukturirana proračunska mreža). Rezultanta polja značajnih valnih visina iz numeričkih simulacija valnog generiranja tijekom razdoblja 1992.-2001. (Ocvirk, 2010.) koriste se za dugoročnu prognozu valnih parametara (povratni periodi 5, 25, i 100 godina) na poziciji otvorene granice lokalnog modela (Slika 4.1, akvatorij grada Zadra).

U okviru rezultata istraživanja Ocvirk (2010.) primijenjen je numerički spektralni model valnog generiranja i valnih deformacija Mike 21/SW, uz vjetrovno forsiranje sa poljem vjetra iz modela Aladin-HR sa prostornom rezolucijom 4km i vremenskom rezolucijom 3h. U korištenom modelu valnog generiranja i valnih deformacija (Ocvirk, 2010.) korištena je puna spektralna formulacija (Komen-a i sur., 1994.), a za spektralnu diskretizaciju frekvencijske domene korištena je logaritamska skala od minimalne frekvencije 0.05 Hz (valni period 20 s) do maksimalne frekvencije 0.95 Hz (valni period 1.05 s), kroz 32 diskretna koraka. Modelom su obuhvaćeni procesi valnog generiranja vjetrovno, međusobnih valnih nelinearnih interakcija, refrakcije i utjecaja pličine (Johnson, 2000. ; Janssen, 1992., 1998.), te disipacijskog procesa pri površinskim lomovima valova (eng. white capping). Korišteni su disipacijski koeficijenti s prostorno homogenim vrijednostima 2.5 i 0.5 (Lončar i sur., 2010.; 2013.). Član-funkcija izvora u jednadžbi očuvanja valnog djelovanja

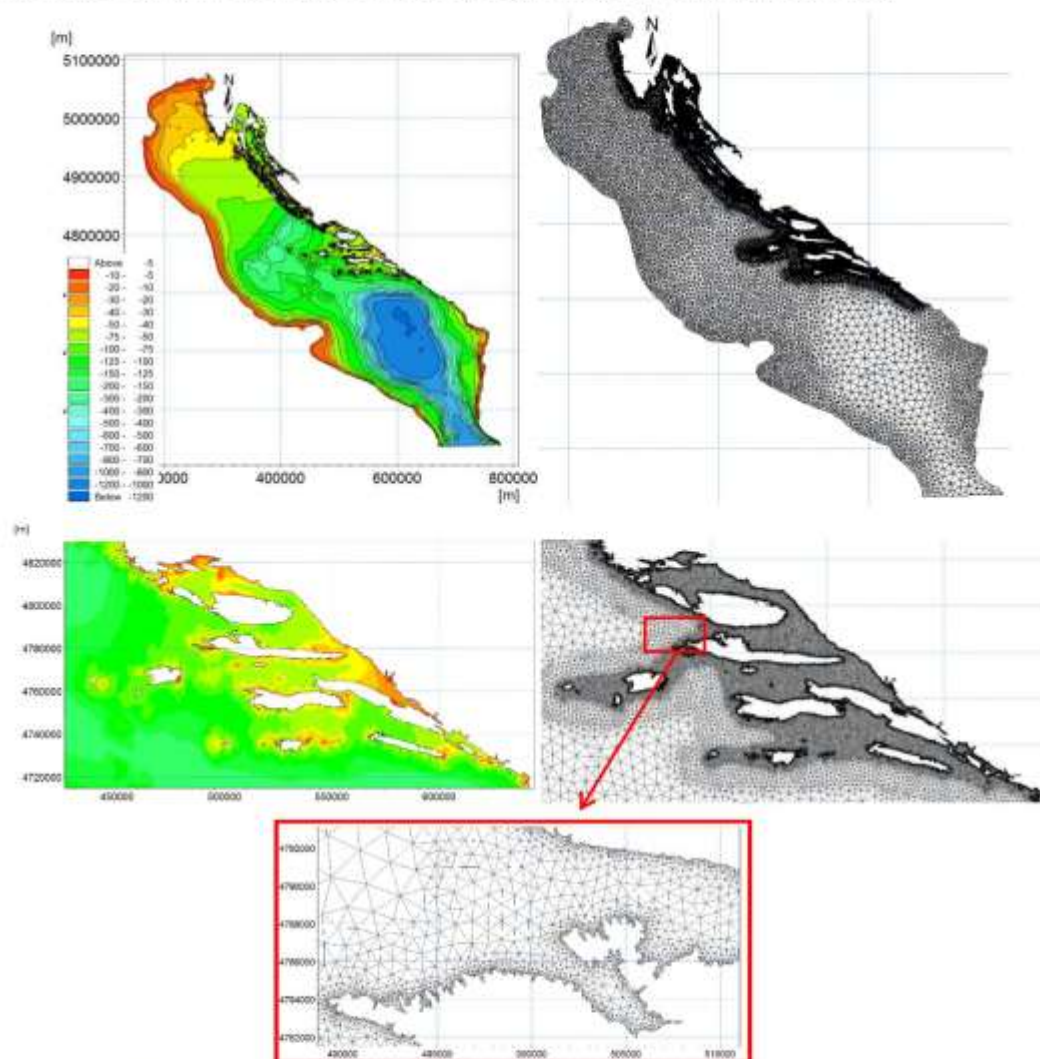
tretirana je na temelju 3. generacije u formulaciji opisa tog člana, a numerička integracija provedena je prema metodologiji prikazanoj u radovima Hercbach-a i Janssen-a (1999.).

U modelskoj domeni (Slika 4.1.5) nema otvorenih granica, a sve krute granice su potpuno apsorpcijske. Obzirom da je refleksija valova ima utjecaj samo u zoni vrlo bliskoj obali, usvajanje potpune apsorpcije valne energije na obalnoj crti neće utjecati na rezultate analiziranih procesa. Zanemarivanjem otvorene granice na Otrantu, unesena je pogreška u modelskom generiranju valova, osobito pri vjetrovima iz SE smjera. Obzirom na položenost obalne crte unesena pogreška je prihvatljivo mala te ima minoran utjecaj na modelske rezultate u području srednjeg i sjevernog Jadrana. Početni uvjeti definirani su s nultim valnim spektrom, odnosno s odsustvom inicijalnog valnog gibanja na cijelom modeliranom području.

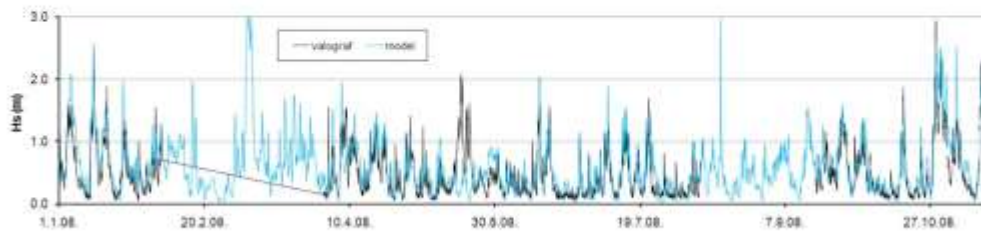
Za parametrizaciju modela valnog generiranja na području Jadrana (Slika 4.1.5) korišteni su rezultati mjerenja valne dinamike tijekom provedbe projekta *Program praćenja stanja Jadranskog mora* (Andročec i sur., 2009.). Mjerene su valne karakteristike na valografskoj postaji smještenoj u području otvorenog mora sjevernog Jadrana (platforma Ivana; $\varphi = 44^{\circ} 44.5'N$, $\lambda = 13^{\circ} 10.2'E$). Na Slici 4.1.6 prikazana je usporedba izmjerene i modelirane dinamike značajnih valnih visina za poziciju valografske postaje tijekom analiziranog razdoblja 1.1.2008. - 15.11.2008. Slika 4.1.7 prikazuje histogram greške (izmjerene H_s i modelirane H_s) za isto razdoblje. Srednja greška modeliranih vrijednosti polusatno usrednjenih značajnih valnih visina na poziciji valografa u odnosu na izmjerene vrijednosti za razdoblje simulacije 1.1.2008.-15.11. 2008. iznosi $AE = -0.064$ m, dok je korijen srednjeg kvadratnog odstupanja $RMSE = 0.28$.

Potrebno je skrenuti pažnju da je pri forsiranju modela korištena 3-satna pobuda iz prognostičkog atmosferskog modela Aladin-Hr, dok se valografskim zapisom osigurava polusatna rezolucija podataka. Prema tome, vjetrovni „pikovi“ na vremenskoj skali manjoj od 3 sata su filtrirani, odnosno nisu obuhvaćeni ulaznim podacima. U slučaju većih privjetrišta (otvoreno more pri djelovanju Juga) i pozicije valografa smještenog u sjevernom dijelu Jadrana spomenuti nedostatak izlaznih rezultata modela Aladin-Hr nije bitan. S druge strane, kod manjih privjetrišta u kojima je generiranje valova ograničeno duljinom privjetrišta a ne trajanjem djelovanja vjetra, korištenje tro-satne rezolucije podataka o vjetru može rezultirati s podbacivanjem modelskih rezultata značajnih valnih visina i valnih perioda. Ispravnost parametrizacije numeričkog modela Mike 21/SW i njegovih rezultata na području otvorenog mora verificirani su i usporedbom sa rezultatima prikazanim u radu Katalinić (2019.) za 4 točke (Sjeverni Jadran - $44.5^{\circ}/14^{\circ}$; Srednji Jadran - $43.5^{\circ}/15.5^{\circ}$; Južni Jadran - $42.5^{\circ}/17^{\circ}$ i $42.5^{\circ}/17.5^{\circ}$) iz baze podataka Fugro OCEANOR o površinskim valovima u Jadranskom moru za

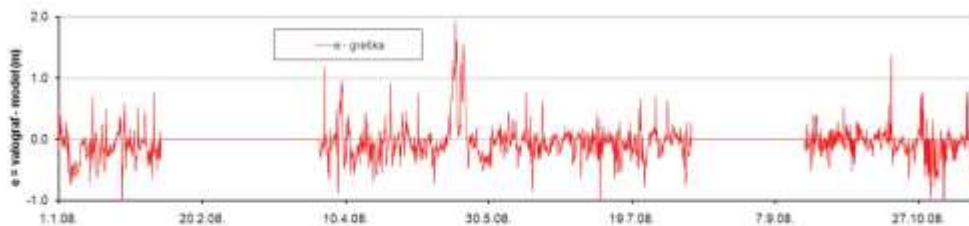
razdoblje 1992. - 2016. Usporedba rezultata Hs za navedene 4 lokacije prema Ocvirk (2010.) i Katalinić (2019.), za povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina, prikazana je u Tablici 4.1.2.



Slika 4.1.5. Prostorna diskretizacija modelske domene regionalnog modela valnog generiranja i valnih deformacija (jadranski bazen) s nestrukturiranom mrežom konačnih volumena na batimetrijskoj podlozi



Slika 4.1.6. Usporedba izmjerеноg i modeliranог vremenskог niza značajnih valnih visina H_s na poziciji valografske postaje (platforma Ivana; $\varphi=44^{\circ} 44.5'N$, $\lambda=13^{\circ}10.2'E$)

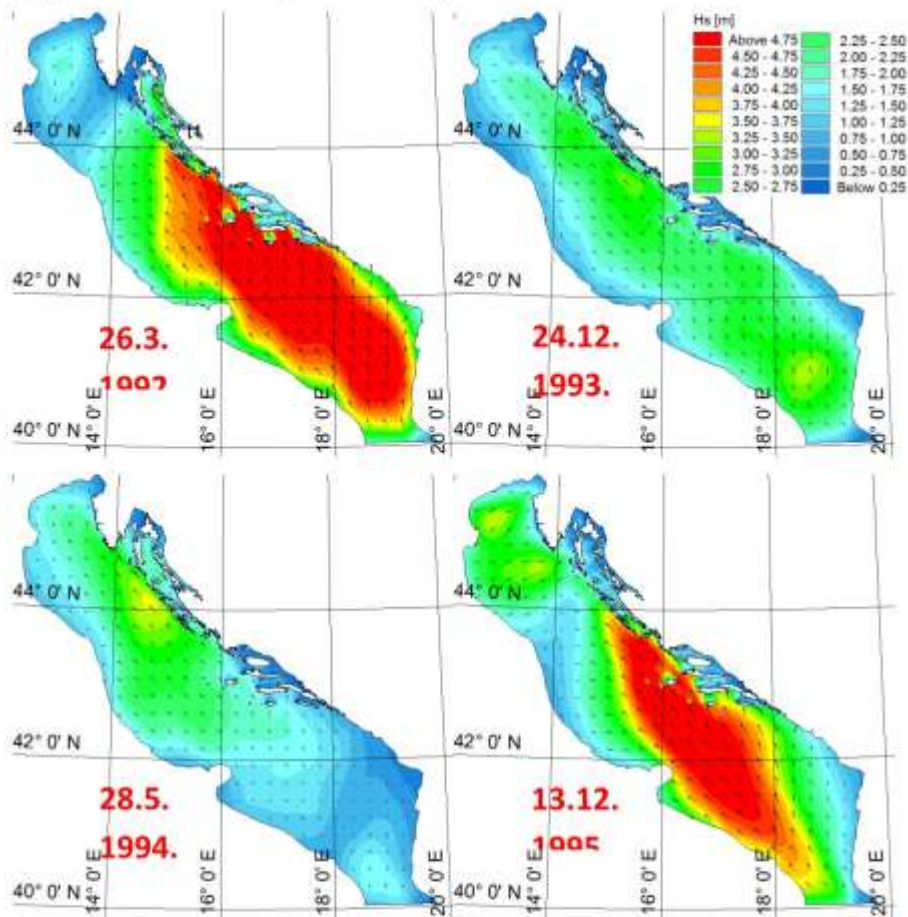


Slika 4.1.7. Histogram greške ($e = \text{valograf} - \text{model}$) za modelirane vrijednosti značajnih valnih visina H_s na poziciji valografske postaje (platforma Ivana; $\varphi=44^{\circ} 44.5'N$, $\lambda=13^{\circ}10.2'E$) za provedenu numeričku simulaciju u 2008. godini

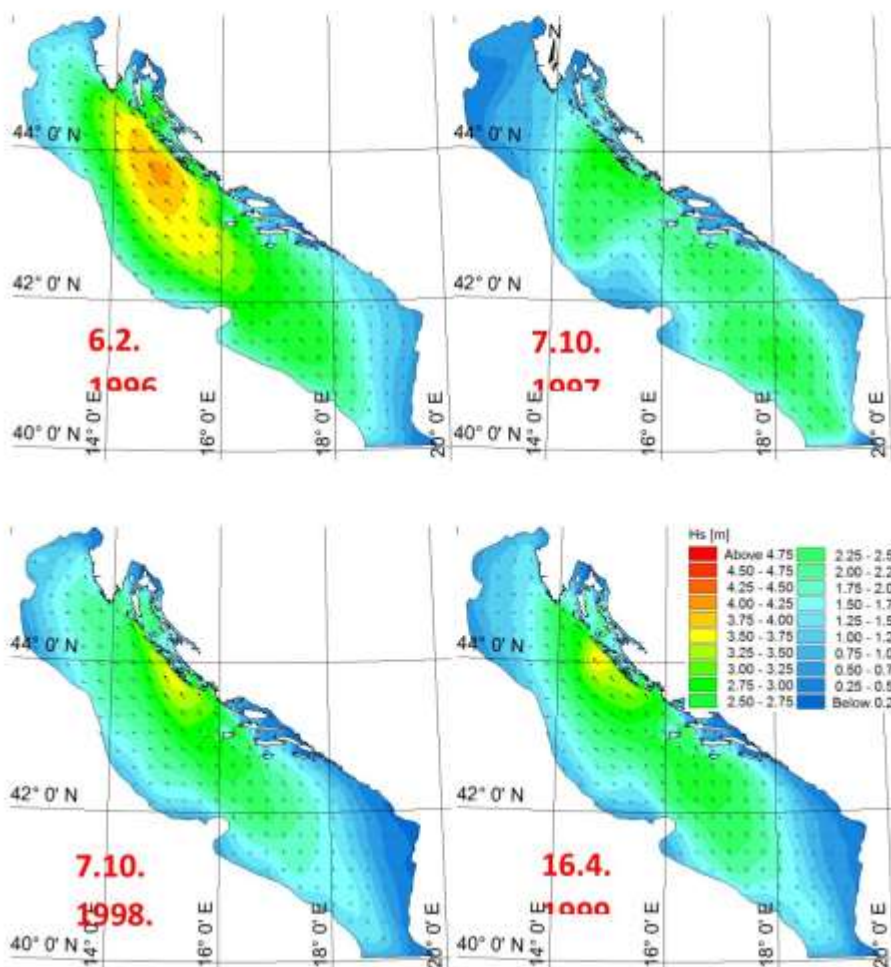
Tablica 4.1.2. Usporedba rezultata H_s za 4 lokacije prema Ocvirk (2010.) i Katalinić (2019.), za povratna razdoblja 5, 25 i 100 godina

	Lat ($^{\circ}$)	Long ($^{\circ}$)	PP = 5 g.	PP = 25 g.	PP = 100 g.
	H_s (m)				
Katalinić (2019.)	44,5	14,0	5,93	6,87	7,96
	43,5	15,5	5,72	6,59	7,61
	42,5	17,0	6,41	7,39	8,55
	42,5	17,5	6,70	7,78	9,07
Ocvirk (2010.)	44,5	14,0	4,92	6,48	7,82
	43,5	15,5	5,75	7,12	9,63
	42,5	17,0	5,22	7,18	9,52
	42,5	17,5	5,78	8,02	9,82

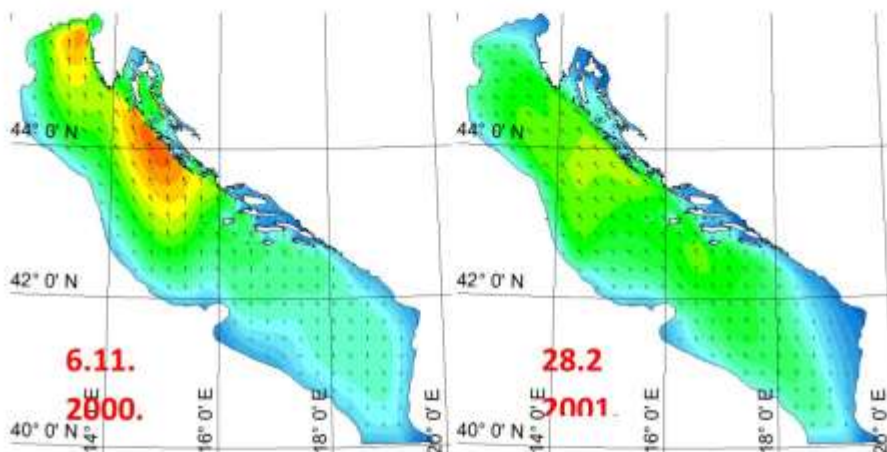
Za formiranje skupa relevantnih podataka o značajnim valnim visinama H_5 na poziciji otvorenih granica modela valnog generiranja i valnih deformacija za akvatorij grada Zadra (Slika 4.1) odabrani su termini pojave maksimalnih godišnjih značajnih valnih visina pri djelovanju juga po godinama u razdoblju 1992.-2001. (Ocvirk, 2010.). Vrijednosti maksimalnih godišnjih značajnih valnih visina u akvatoriju grada Zadra za razdoblje 1992.-2001. prikazane su na Slikama 4.1.8 - 4.1.10.



Slika 4.1.8. Polja značajnih valnih visina H_5 u terminima pojave maksimalnih godišnjih značajnih valnih visina u akvatoriju grada Zadra (Ocvirk, 2010.)



Slika 4.1.9. Nastavak. Polja značajnih valnih visina H_s u terminima pojave maksimalnih godišnjih značajnih valnih visina u akvatoriju grada Zadra (Ocvirk, 2010.)



Slika 4.1.10. Nastavak. Polja značajnih valnih visina H_s u terminima pojave maksimalnih godišnjih značajnih valnih visina u akvatoriju grada Zadra (Ocvirk, 2010.)



Slika 4.1.11. Maksimalne godišnje značajne valne visine iz modela valnog generiranja i valnih deformacija (područje Jadrana) za poziciju akvatorija grada Zadra tijekom razdoblja 1992.-2001.

Maksimalne godišnje značajne valne visine tijekom razdoblja 1992.-2001. za poziciju grada Zadra, prikazane na Slici 4.1.11, predstavljaju statistički uzorak temeljem kojeg se provodi analiza vjerojatnosti pojave za povratne periode od 5, 25 i 100 godina. U analizi je korištena GEV distribucija, a rezultati provedbe spomenutog postupka prikazani su u Tablici 4.1.3. Zaključno, model valnog

generiranja i valnih deformacija, sa prostornom domenom prikazanom na Slici 4.1 (akvatorij grada Zadra), na otvorenoj granici "jug" (Slika 4.1) forsira se spektralnim valnim parametrima prikazanim u Tablici 4.1.3.

Potrebno je napomenuti da postoji elaborat vjetrovalne klime za dubokovodno područje ispred luke Gaženica (Hydroexpert, 2005.), u kojem su definirana spektralna valna obilježja za kritične sektore vjetrovnog i valnog djelovanja (Tablica 4.1.4). Te vrijednosti mogu komparativno poslužiti kao dodatna kontrola za vrijednosti valnih parametara dobivenih prethodno navedenom metodologijom (Tablica 4.1.3) za poziciju otvorene granice "jug" u lokalnom modelu akvatorija grada Zadra.

Tablica 4.1.3. Dugoročna prognoza značajnih valnih visina H_s i vršnih spektralnih perioda T_p za otvorenu granicu "jug" u modelu valnog generiranja i valnih deformacija (akvatorij grada Zadra)

Povratni period	H_s (m) (GEV)	T_p (s)
5	1,3	4,1
25	1,6	4,4
100	1,9	4,7

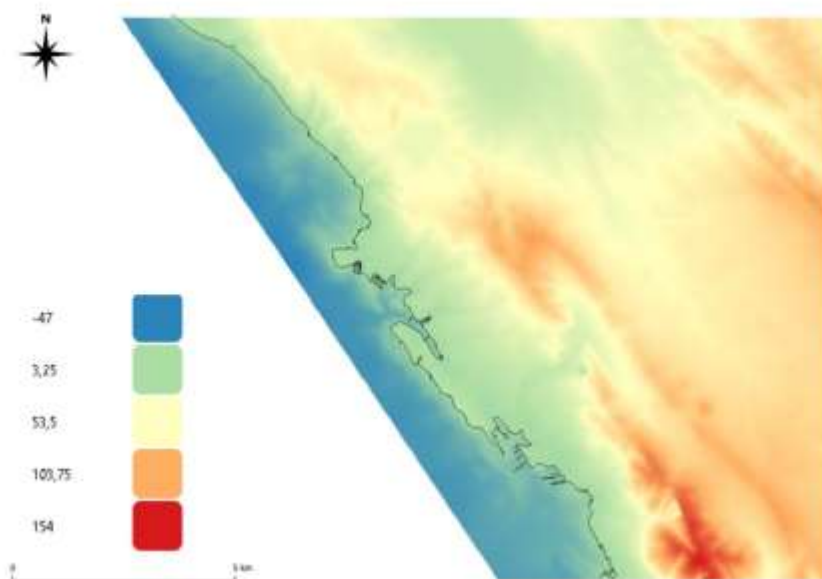
Tablica 4.1.4. Usporedba značajnih valnih visina H_s za SE incidentni smjer valovanja, dobivenih temeljem prezentirane metodologije u ovom radu i predočenih u elaboratu vjetrovalne klime za dubokovodno područje ispred luke Gaženica (Hydroexpert, 2005.)

H_s (m) usvojena metodologija			H_s (m) Hydroexpert, 2011.		
5 god.	20 god.	100 god.	5 god.	20 god.	100 god.
1,3	1,6	1,9	1,6	1,8	1,9

Kako se iz komparativnih rezultata prikazanih u Tablici 4.1.4 može vidjeti, vrijednost $H_{spp=100g}$ proračunata usvojenom metodologijom istovjetna je proračunatoj vrijednosti H_s u sklopu reference Hydroexpert (2005.).

4.1.3 Podaci o dubinama i visinama

Podaci o dubinama mora i visinama preuzeti su iz objedinjene rasterske podloge (dubine i visine zajedno) u rezoluciji 1m x 1m (Slika 4.1.12). Za potrebe modeliranja valnog generiranja i valnih deformacija iz prikazanog rastera (Slika 4.1.12) ekstrahirani su podaci koji pripadaju prostornom obuhvatu proračunske mreže (prostorne domene modela, Slika 4.1), dok su na preostalom dijelu proračunske mreže, na kojem nedostaju rasterski podaci, dodatno primijenjeni podaci o dubinama iz hidrografskih karata u mjerilu 1:10000. Temeljem navedenih podloga definirani su podaci o dubinama/visinama za svaki numerički čvor proračunske mreže, a kako je to i prikazano u sljedećem poglavlju.



Slika 4.1.12. Prikaz rasterskih podataka rezolucije 2m x 2m za dubinu mora i visinu terena u GIS sučelju (dobiveno od Naručitelja)

4.1.4 Podaci o refleksijskim svojstvima obalne linije

Implementacija željenog stupnja refleksije od obalne crte i refleksije od lukobranskih konstrukcija u prostornoj domeni numeričkog modela definirana je sa odgovarajućim koeficijentima refleksije. Na Slici 4.1.13 dan je prikaz primijenjenih (usvojenih) refleksijskih svojstava obalne crte na lokacijama postojećih luka i marina. Preostali dio obalne crte, koji nije prikazan na Slici 4.1.13, tretiran je kao slabo reflektivan, s pripadnim koeficijentom refleksije $K_r = 0,1$, dok je sam rub modelske domene na mjestima nadmorskih visina > 0 tretiran sa koeficijentom refleksije $K_r = 0$.



Slika 4.1.13. Refleksijsko-transmisijska svojstva uzduž obalne crte predmetnog akvatorija



Slika 4.1.14. Refleksijsko-transmisijska svojstva uzduž obalne crte predmetnog akvatorija

4.1.5 Podaci o morskim razinama

Informacije o rezidualima morskih razina, u uvjetima 5, 25 i 100 godišnjeg povratnog perioda, preuzeti su iz projekta VEPAR-MORE (Tablica 4.1.5). Potrebno je napomenuti da će se uslijed promjene razine mora u scenariju klimatskih promjena (2100. godina) promijeniti doseg vala uzduž obalne crte, a što će se i analizirati u sklopu provedbe daljnjeg istraživanja (numeričke simulacije). Za numeričku simulaciju u uvjetima klimatskih promjena prema scenariju za 2100. godinu usvojit će se porast razine mora od 60 cm (Tablica 4.1.5), a što je najvjerojatniji scenarij sudeći po posljednjem IPCC izvješću (<https://podaac.jpl.nasa.gov/announcements/2021-08-09-Sea-level-projections-from-the-IPCC-6th-Assessment-Report>), kao i gornja granica prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu. Deterministička komponenta plimnog signala iznosi +0,3 m.

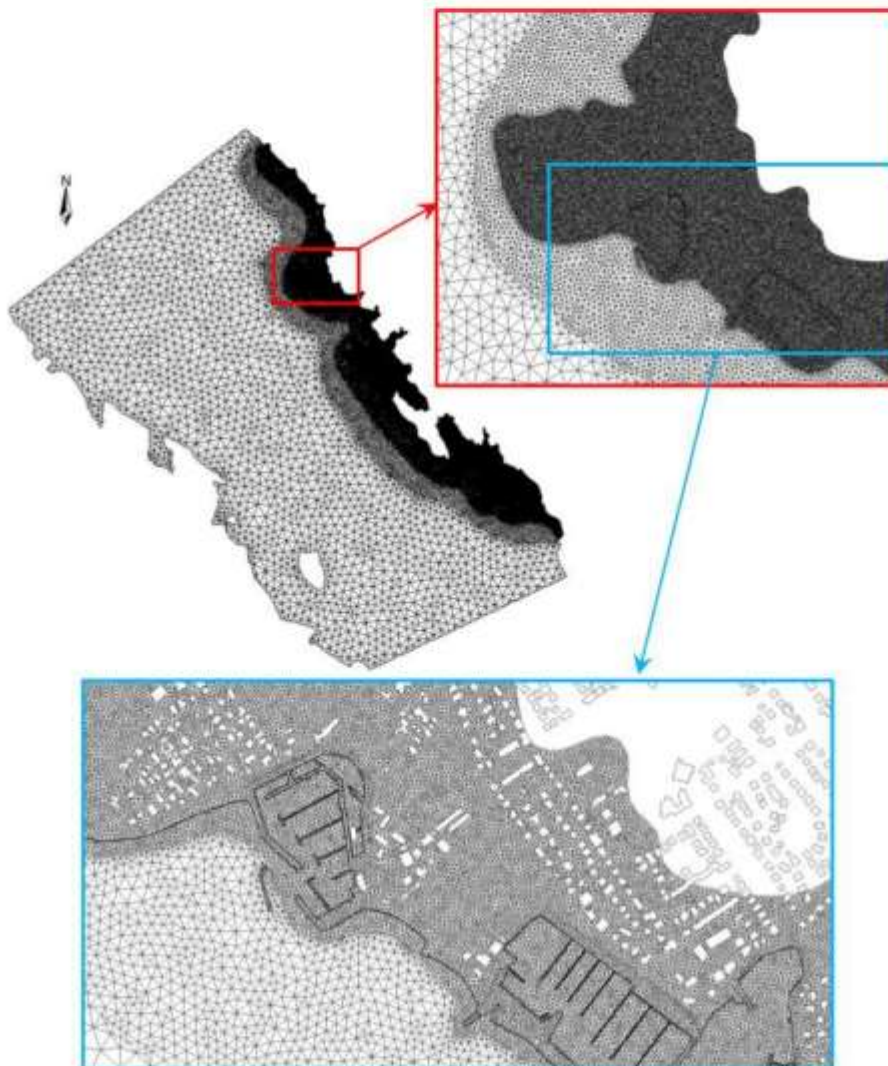
Tablica 4.1.5. Rezidualne razine mora za povratne periode od 5, 25 i 100 godina za lokaciju Zadar, sa i bez utjecaja klimatskih promjena

Razina mora - Zadar (cm)			
Period	5 godina	25 godina	100 godina
bez klim. promjena	70,1	82,5	93
sa klim. promjenama	130,1	142,5	153

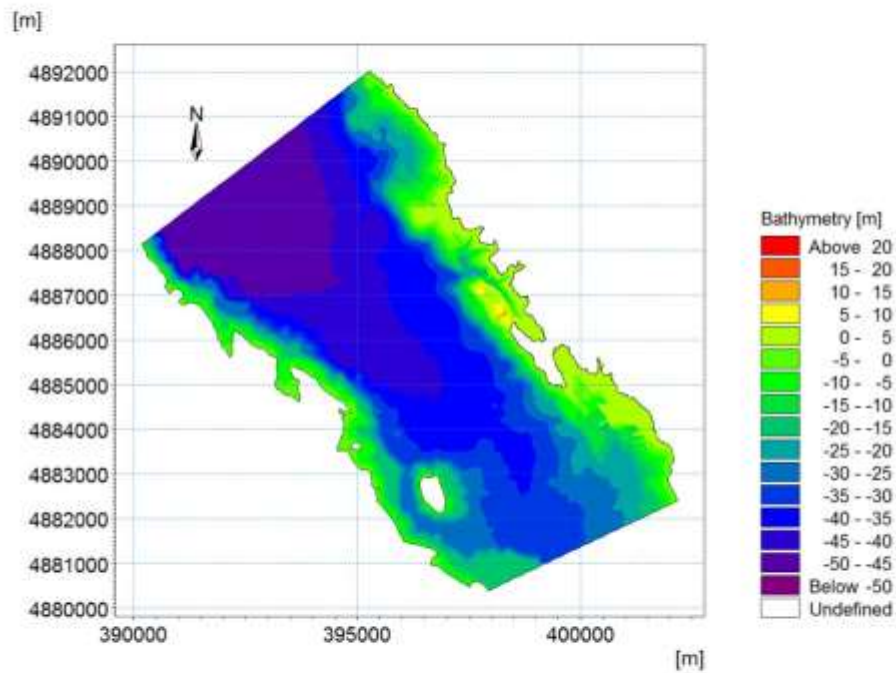
4.1.6 Proračunska mreža

Proračunska mreža je varijabilnog prostornog koraka, od 200 m na većim dubinama do 2 m u području obalne linije i na kopnu (Slika 4.1.15). Proračunska mreža ima cca 180000 numeričkih čvorova (Napomena: potrebno najmanje 30 GB RAMa za provedbu simulacija, proračunsko vrijeme cca 30 sati sa Intel procesorom I9, 12 jezgri).

Na Slici 4.1.16 prikazana je prostorna domena numeričkog modela valnog generiranja i valnih deformacija sa grafičkom interpretacijom primijenjenih podataka o dubinama mora i visinama terena.



Slika 4.1.15. Proračunska mreža na prostornoj domeni modela valnog generiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra

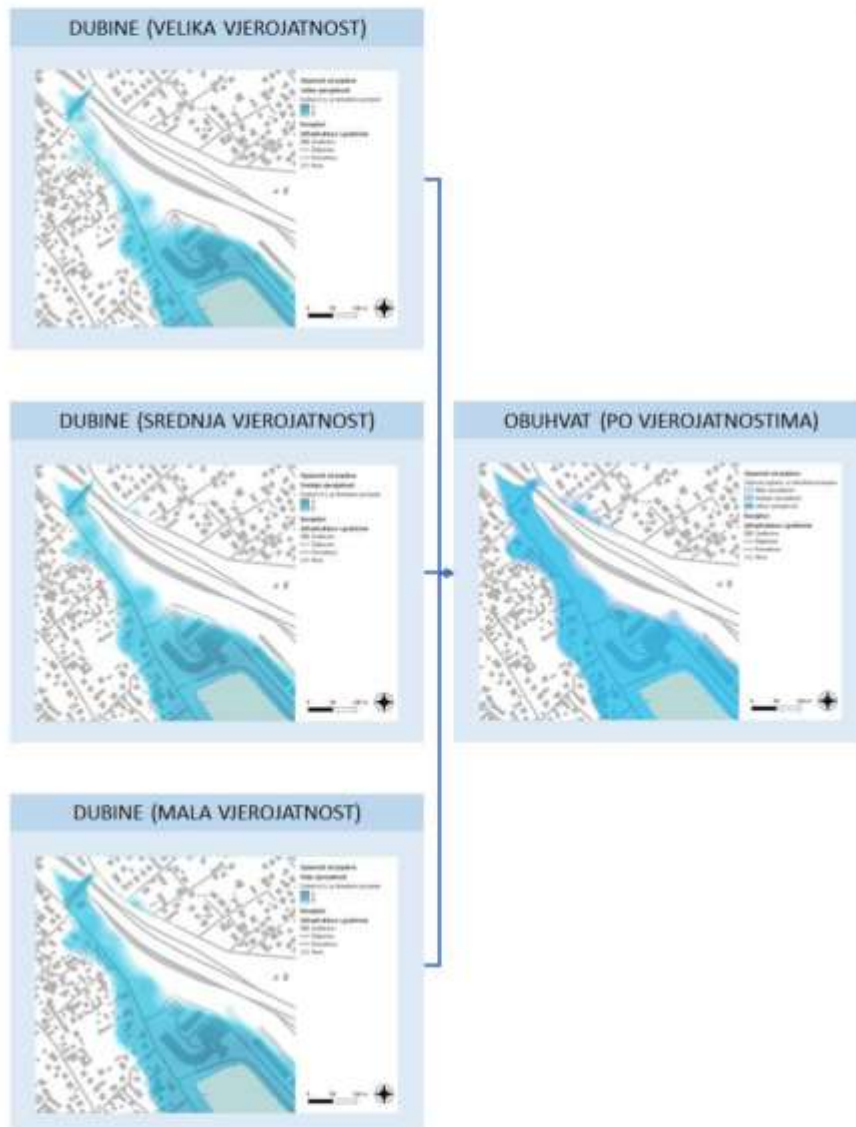


Slika 4.1.16. Prostorna domena modela valnog generiranja i valnih deformacija za područje grada Zadra

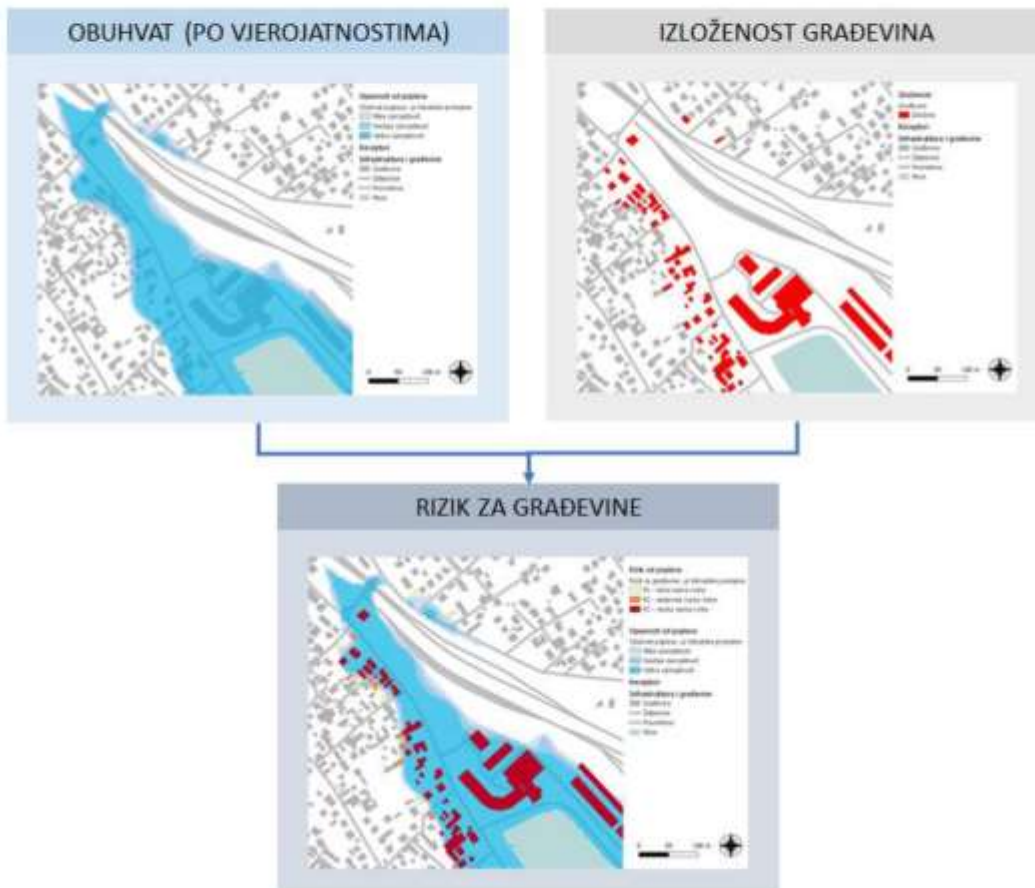
4.2 Metodologija analize opasnosti i rizika od poplava s mora

Metodologija procjene opasnosti i rizika od poplava s mora provodi se slično procjeni rizika od pluvijalnih poplava (opisano u poglavljima 3.2 i 3.3), međutim nekoliko je bitnih razlika koje su preuzete iz Studije upravljanja rizicima od poplava mora – VEPAR (Građevinski fakultet u Zagrebu, 2022.):

- Ukupno se analizira šest scenarija (za razliku od tri scenarija kod pluvijalnih poplava), pri čemu se pojava velika, srednje i mala vjerojatnosti visokih razina mora i valova zasebno promatra za današnju klimu i buduću klimu uz utjecaj klimatskih promjena.
- Analiza opasnosti provodi se samo za dubinu vodu, s obzirom da su kod poplava s mora brzine vode zanemarive. Stoga se ne provodi niti analiza razine opasnosti, već se dubine vode za tri različite vjerojatnosti prikazuju kroz obuhvat poplave na istoj karti (Slika 4.2.1).
- Analiza rizika se provodi kroz procjenu razine rizika za građevine. Pritom se koristi drugačiji pristup nego kod pluvijalnih poplava. Naime, za razliku od pluvijalnih poplava gdje je razina rizika bila direktno vezana uz razinu opasnosti (uz zanemarivanje ranjivosti pojedinih receptora), u predmetnoj analizi se razina rizika veže uz obuhvat poplave i vjerojatnost njene pojave, pa se stoga visoka razina rizika pridružuje građevinama koje su izloženi poplavi velike vjerojatnosti, dok se niska razina rizika pridružuje građevinama koje su izložene poplavi mala vjerojatnosti (Slika 4.2.2).



Slika 4.2.1. Shematski prikaz koncepta analize opasnosti – dubine poplave i obuhvat poplave po vjerojatnostima.

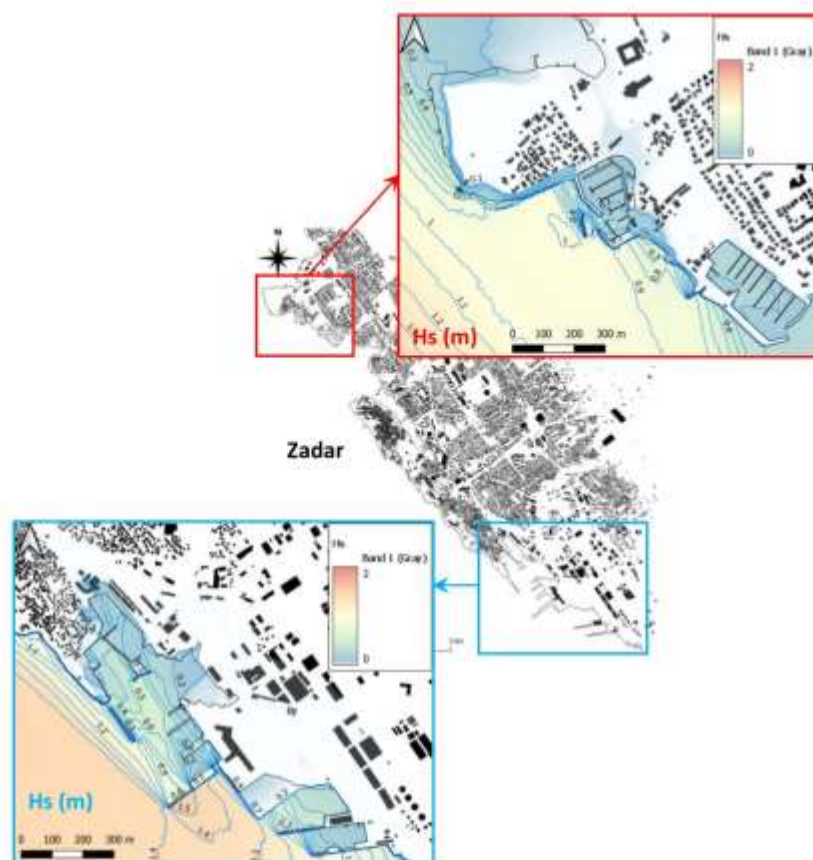


Slika 4.2.2. Shematski prikaz koncepta analize rizika za građevine procijenjenog prema izloženosti građevina obuhvatu poplave različite vjerojatnosti.

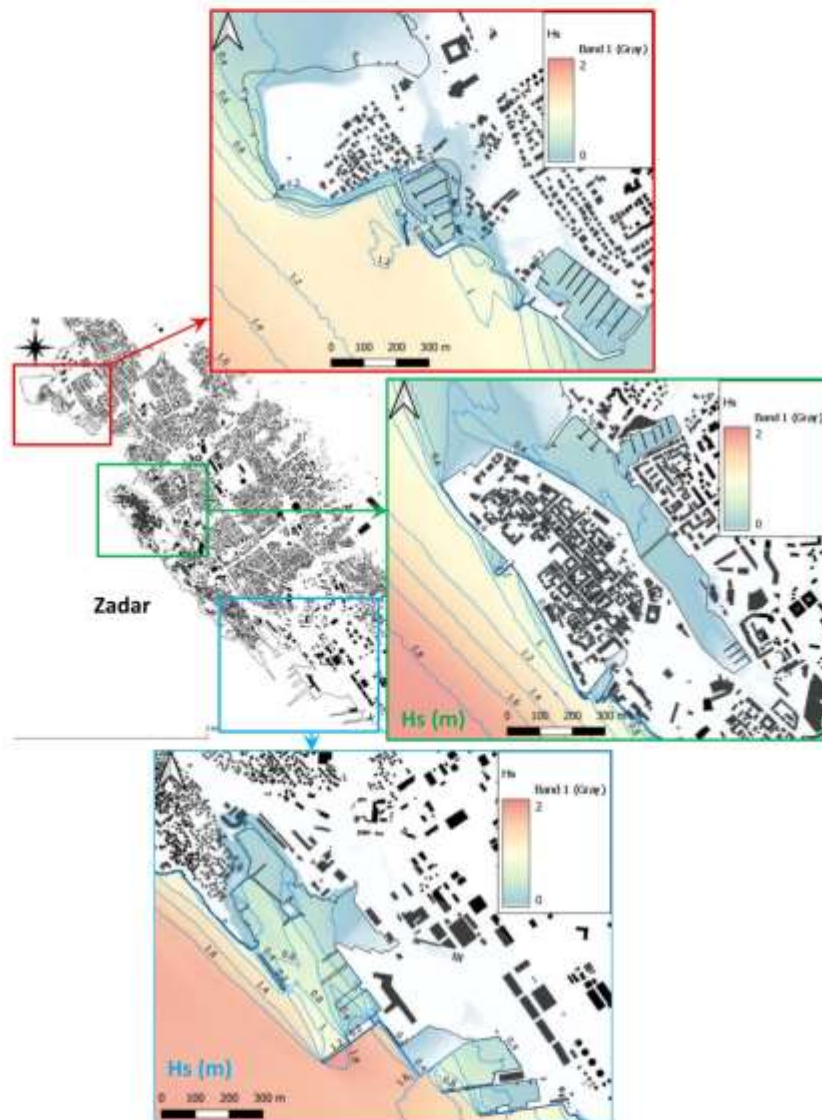
4.3 Rezultati numeričkih simulacija valnih deformacija

4.3.1 Značajne valne visine

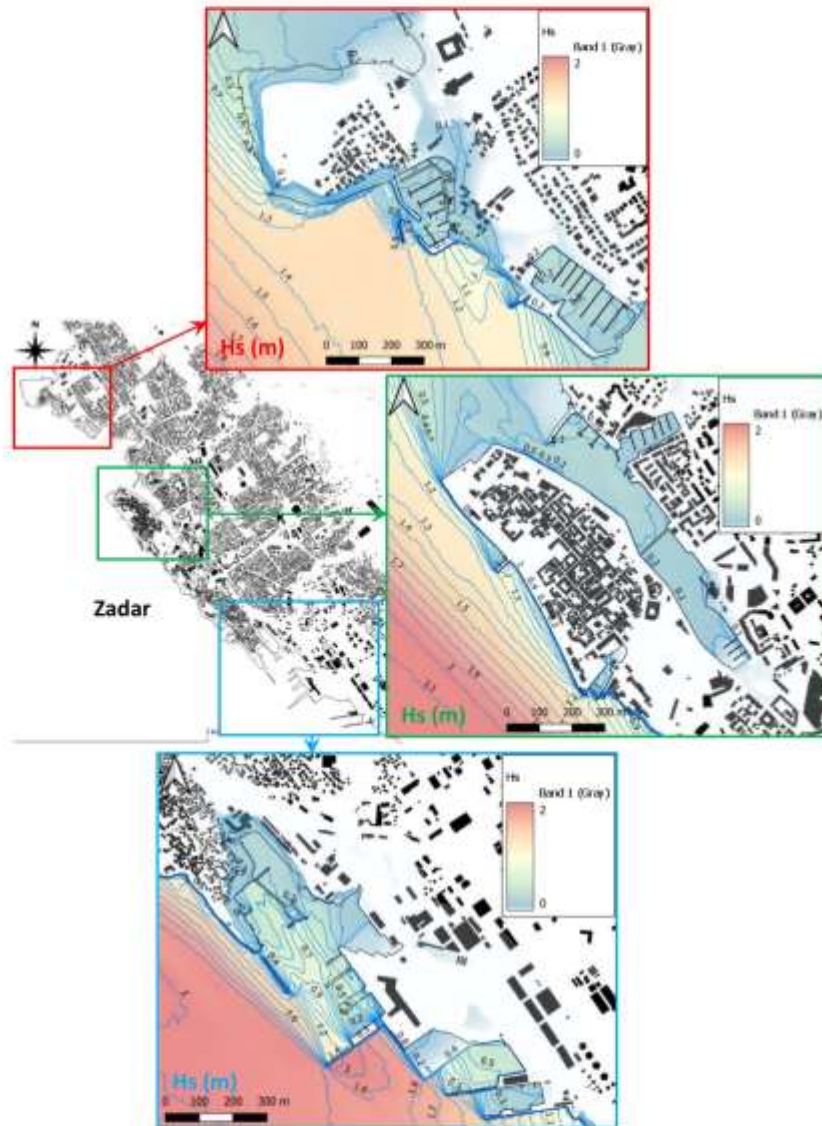
Na Slikama (3.1 – 4.3.6.) prikazani su rezultati provedene numeričkih simulacija u vidu polja značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) s pripadnim izolinijama za 6 analiziranih scenarija (PP = 5g., 25g., 100g., sa i bez doprinosa klimatskih promjena).



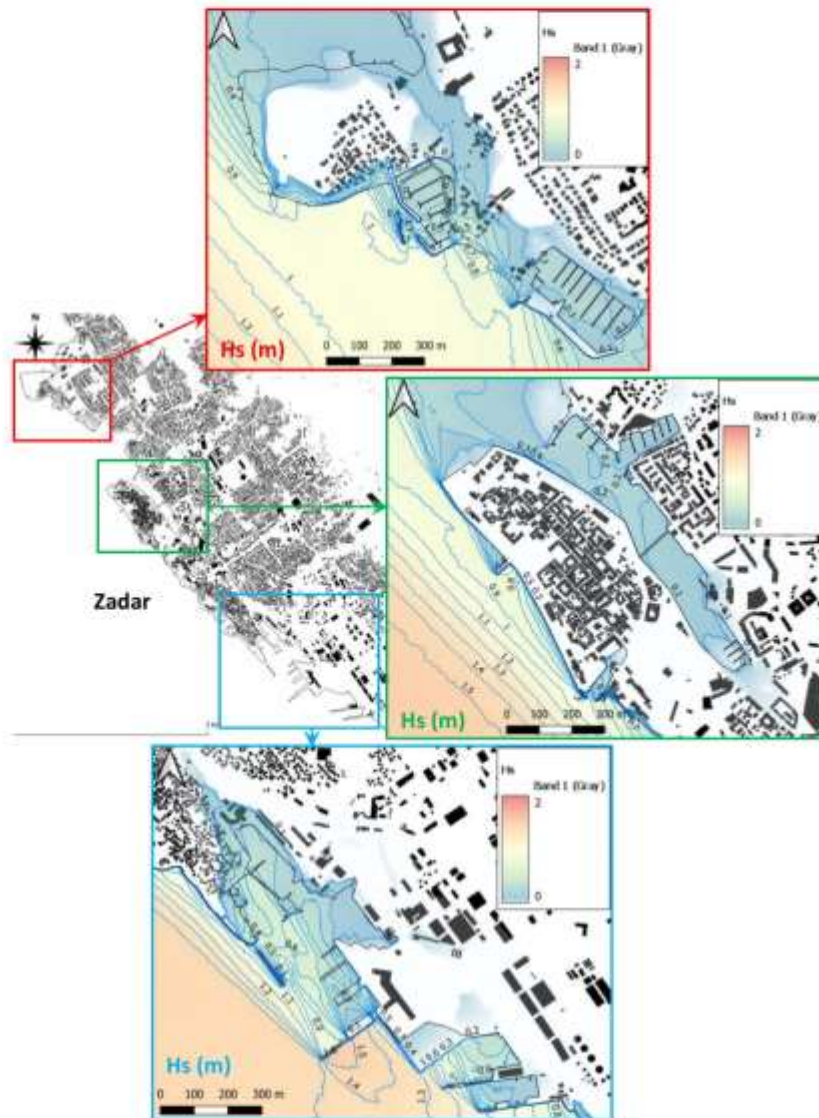
Slika 4.3.1. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 5g. bez utjecaja klimatskih promjena



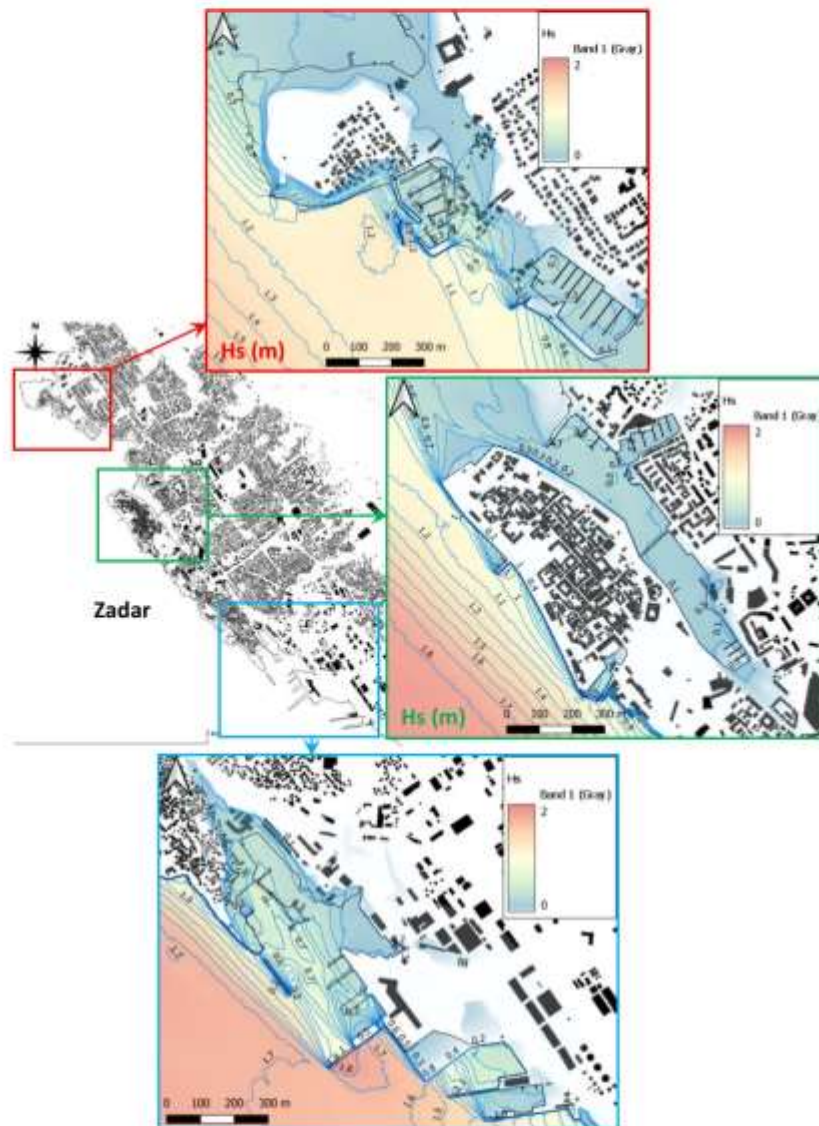
Slika 4.3.2. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 25g. bez utjecaja klimatskih promjena



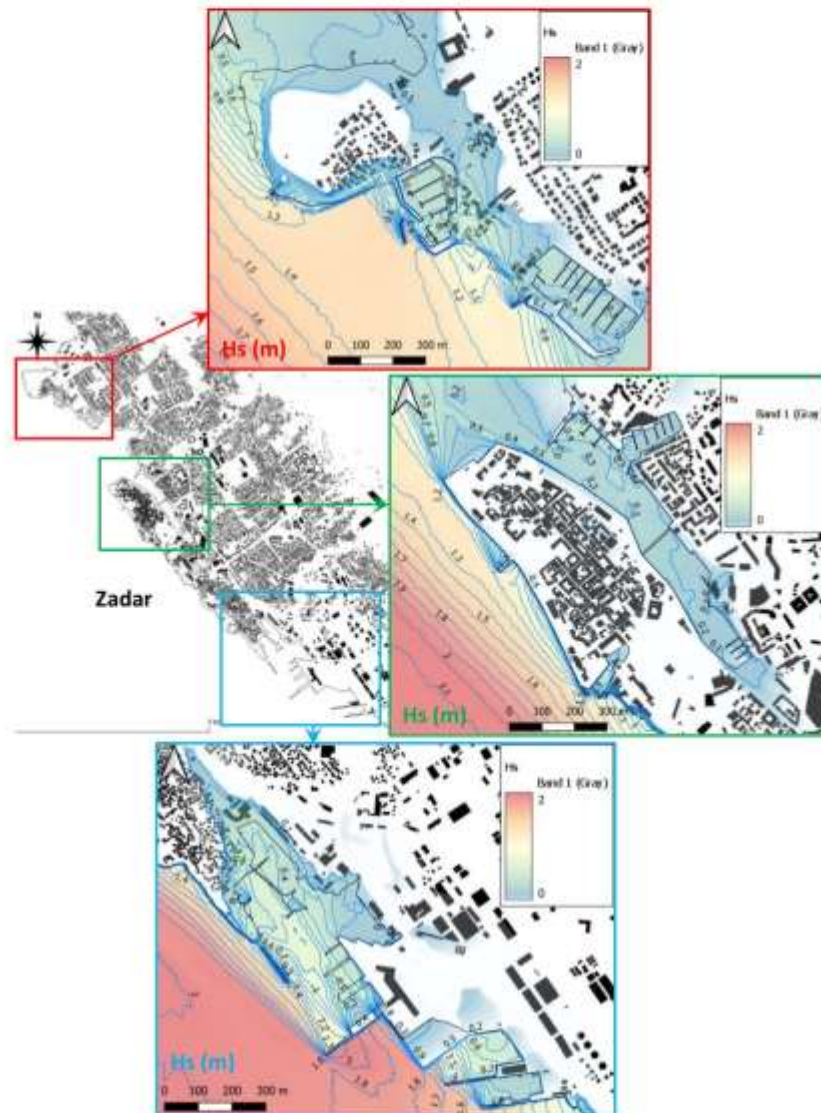
Slika 4.3.3. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 100g, bez utjecaja klimatskih promjena



Slika 4.3.4. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 5g, sa utjecajem klimatskih promjena



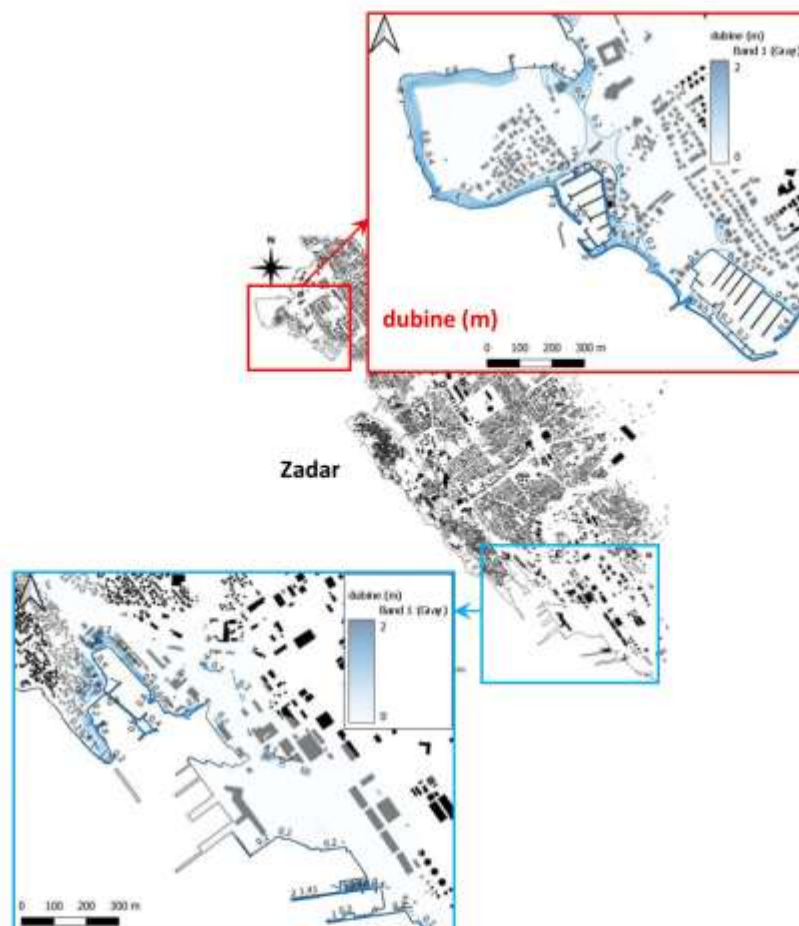
Slika 4.3.5. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 25g, sa utjecajem klimatskih promjena



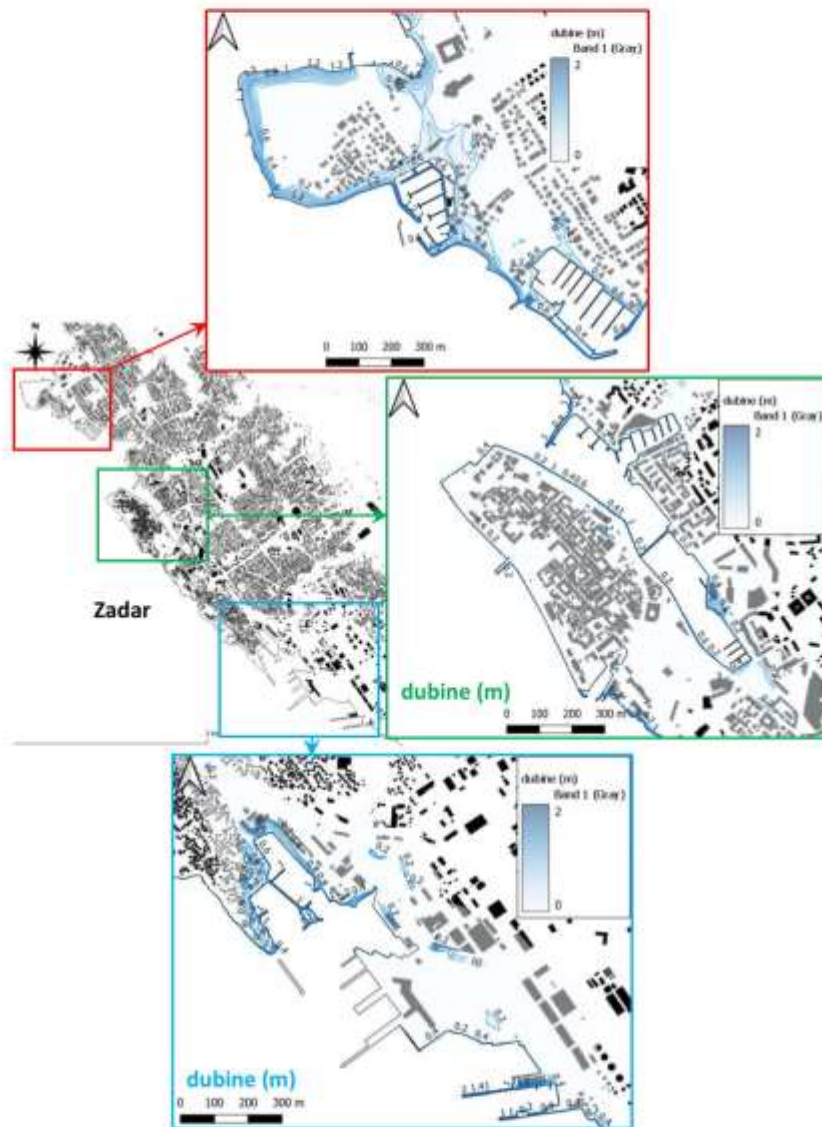
Slika 4.3.6. Polje značajnih valnih visina H_s (raster rezolucije $2\text{m} \times 2\text{m}$) sa pripadnim izolinijsima za scenarij $PP = 100g$, sa utjecajem klimatskih promjena

4.3.2 Dubine plavljenja

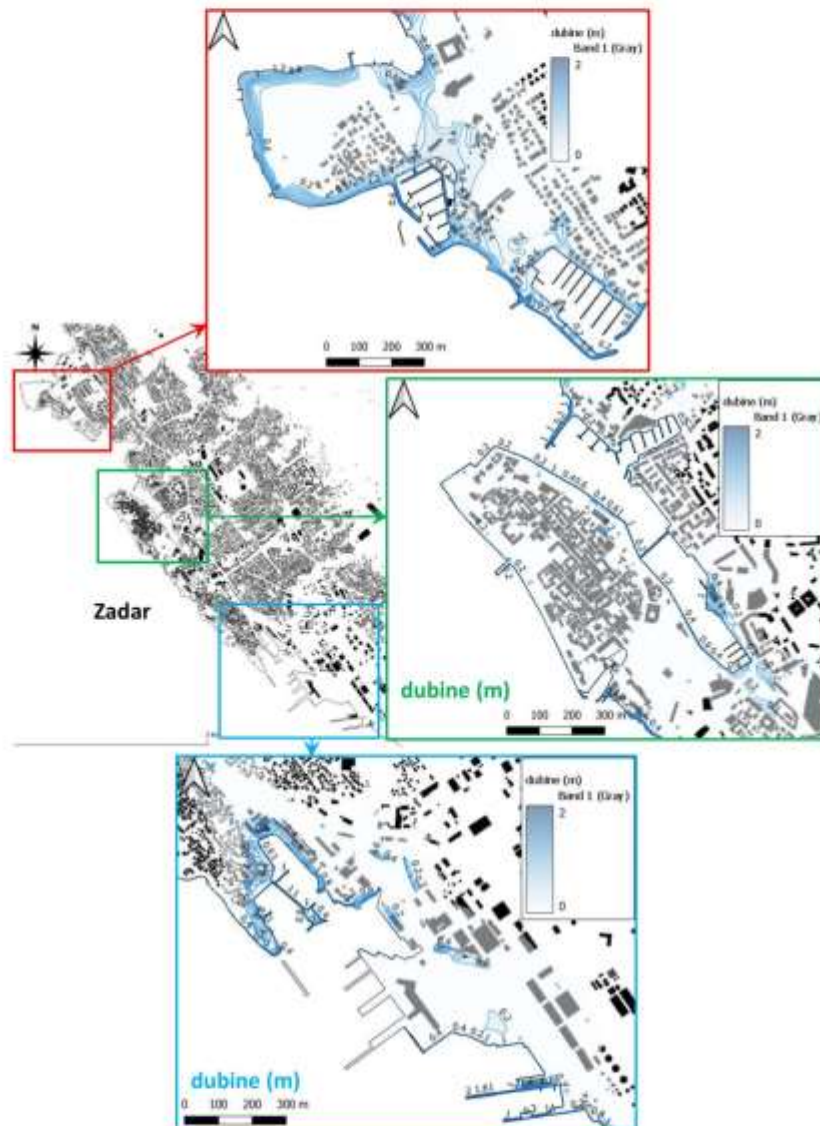
Na Slikama (4.3.7 – 4.3.12.) prikazani su rezultati provedene numeričkih simulacija u vidu polja dubina mora (raster rezolucije 2m x 2m) s pripadnim izolinijama za 6 analiziranih scenarija (PP = 5g., 25g., 100g., sa i bez doprinosa klimatskih promjena).



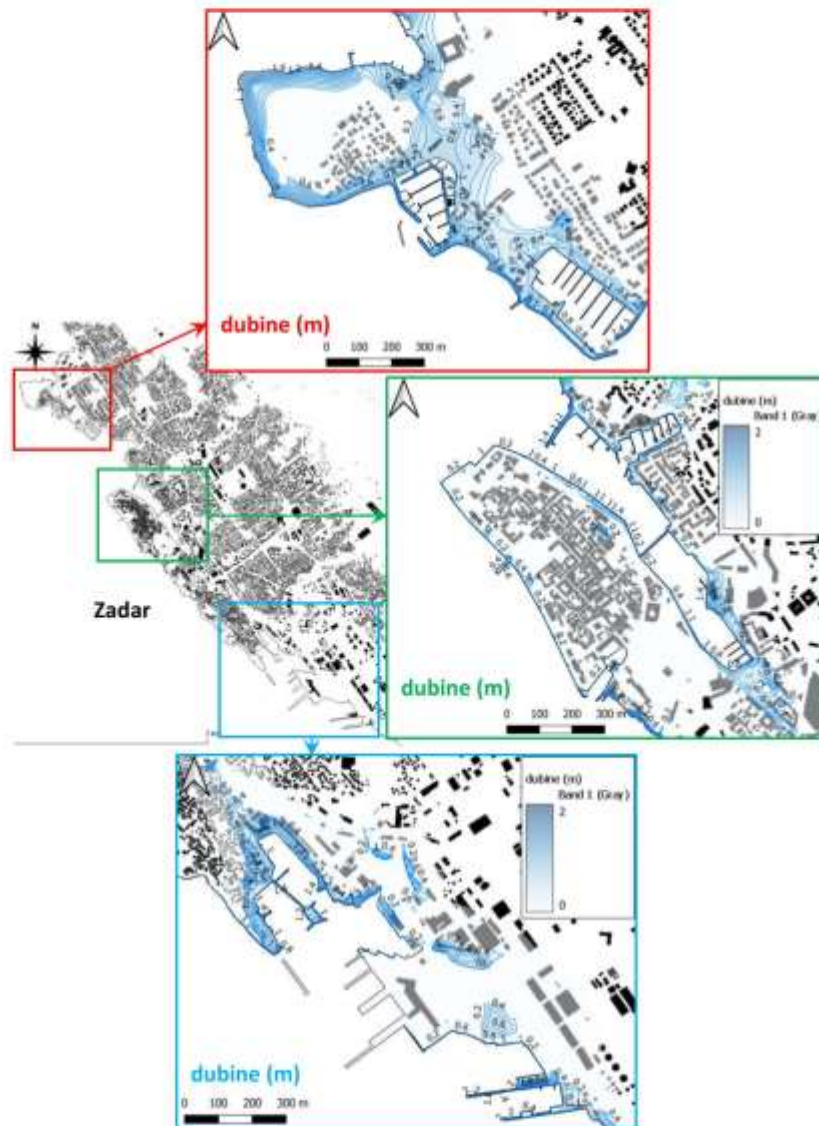
Slika 4.3.7. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 5g. bez utjecaja klimatskih promjena



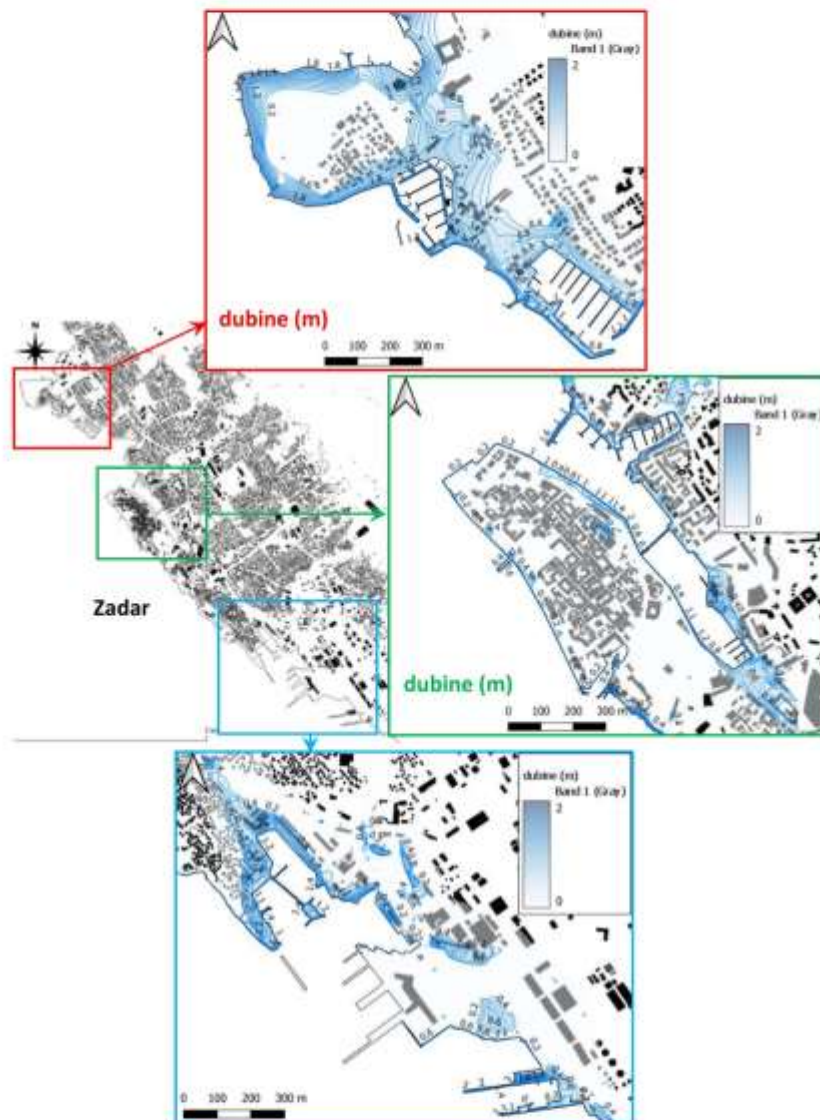
Slika 4.3.8. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 25g. bez utjecaja klimatskih promjena



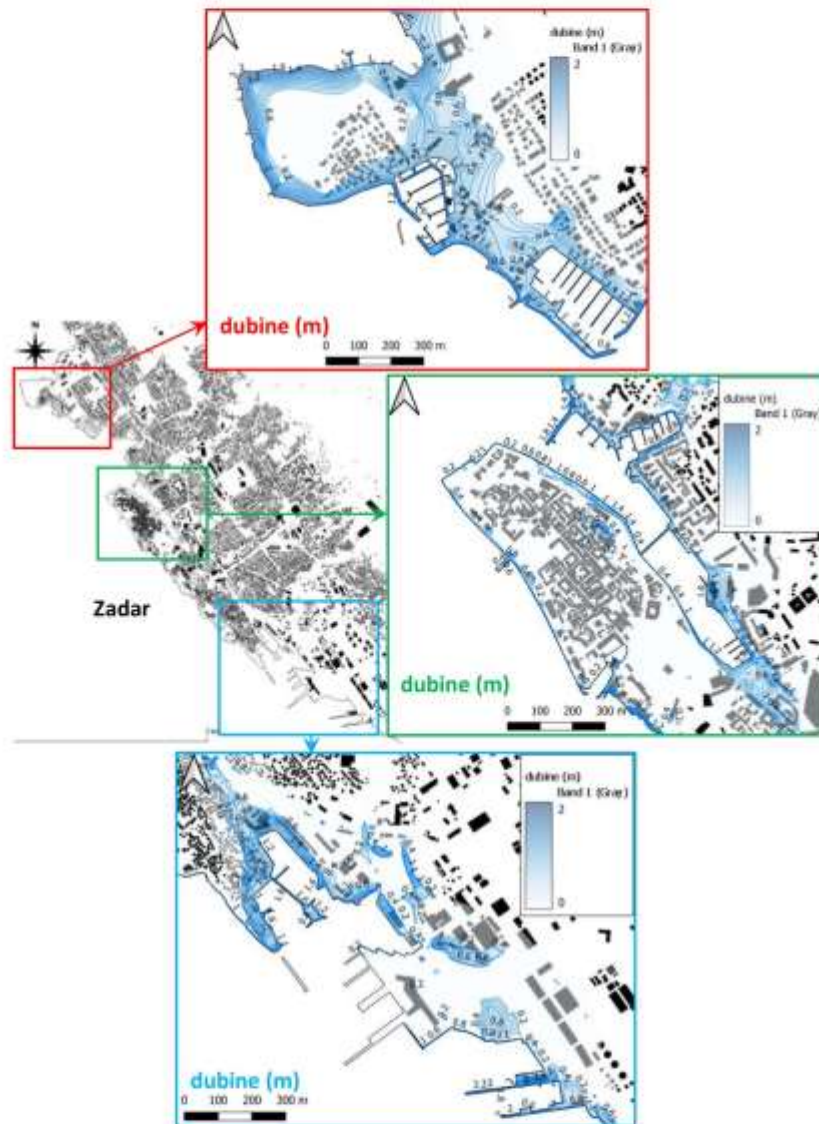
Slika 4.3.9. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 100g. bez utjecaja klimatskih promjena



Slika 4.3.10. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 5g. sa utjecajem klimatskih promjena



Slika 4.3.11. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 25g, sa utjecajem klimatskih promjena



Slika 4.3.12. Polje dubine mora (raster rezolucije 2m x 2m) sa pripadnim izolinijama za scenarij PP = 100g. sa utjecajem klimatskih promjena

4.4 Zaključak o modeliranju valnog generiranja i valnih deformacija

Temeljem rezultata proračuna valnog generiranja i valnih deformacija dobivene su sljedeće površine plavljenja obalnog pojasa (visine > od 0 m n.m. po HVR571) u 6 analiziranih scenarija (Tablica 4.4.1). Osim ukupne površine plavljenja $A_{\text{PLAVLJENJA}}$, u Tablici 4.4.1 prikazane su i parcijalne površine plavljenja po razredima nadmorske visine plavljenja z . Nadalje, za svaki od razreda nadmorske visine plavljenja z proračunate su i srednje značajne valne visine H_{5-SR} na pripadnoj površini plavljenja.

Tablica 4.4.1. Ukupne površine plavljenja i parcijalne površine plavljenja po razredima nadmorske visine plavljenja z , te srednje značajne valne visine za pripadne površine plavljenja

	PP (god.)	KP	$A_{\text{plavljenja}}$ (ha)	$A_{\text{plavljenja}}$ za $0\text{m} < z < 0,5\text{m}$ (ha)	$A_{\text{plavljenja}}$ za $0,5\text{m} < z < 1,0\text{m}$ (ha)	$A_{\text{plavljenja}}$ za $1,0\text{m} < z < 1,5\text{m}$ (ha)	$A_{\text{plavljenja}}$ za $1,5 < z < 2,0\text{m}$ (ha)
1	5	NE	40,4	12,4	27,0	1,0	0,1
2	25	NE	53,0	12,5	29,2	11,1	0,2
3	100	NE	61,2	12,6	29,5	18,9	0,2
4	5	DA	93,9	12,7	30,2	42,6	8,4
5	25	DA	106,0	12,7	30,4	43,0	20,2
6	100	DA	117,0	12,7	30,4	43,1	30,9
	PP (god.)	KP		H_{5SR} na $A_{\text{plavljenja}}$ za $0\text{m} < z < 0,5\text{m}$ (m)	H_{5SR} na $A_{\text{plavljenja}}$ za $0,5\text{m} < z < 1\text{m}$ (m)	H_{5SR} na $A_{\text{plavljenja}}$ za $1,0\text{m} < z < 1,5\text{m}$ (m)	H_{5SR} na $A_{\text{plavljenja}}$ za $1,5\text{m} < z < 2,0\text{m}$ (m)
1	5	NE		0,16	0,06	0,06	0,17
2	25	NE		0,20	0,09	0,03	0,21
3	100	NE		0,24	0,13	0,05	0,24
4	5	DA		0,24	0,18	0,08	0,04
5	25	DA		0,29	0,22	0,11	0,05
6	100	DA		0,33	0,25	0,14	0,06

4.5 Karte opasnosti i rizika od poplava s mora u Zadru

Karte poplava s mora izrađene su u statičkom i dinamičkom formatu.

Statičke karte izrađene su kao PDF dokumenti u prikladnom mjerilu. Za predmetno područje izrađene su sljedeće statičke karte:

- **Karta opasnosti od poplava mora – dubine vode** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost te zasebno za današnju klimu i buduću klimu uz očekivane klimatske promjene)
- **Karta rizika od poplava mora** (zasebno za današnju klimu i buduću klimu uz očekivane klimatske promjene)

Ukupno je izrađeno 8 tematskih karata u PDF formatu. Na Slikama 4.5.1 i 4.5.2 prikazane su karte opasnosti s dubinama vode za malu vjerojatnost pojave poplava s mora za današnju klimu i buduću klimu uz očekivane klimatske promjene (podizanje srednje razine mora). Pored prikazanih karata, još su izrađene karte opasnosti s dubinama vode za srednju i veliku vjerojatnost pojave. Na Slikama 4.5.3 i 4.5.4 prikazane su karte razine rizika za građevine za današnju klimu i buduću klimu uz očekivane klimatske promjene (podizanje srednje razine mora). Pored prikazanih karata, još su izrađene karte razine rizika za građevine za srednju i veliku vjerojatnost pojave.

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 4.5.1. Datoteke su prema razinama analiza raspoređene i sistematizirane u grupe slojeva. Uz svaku datoteke izrađeni su i priloženi prikladni stilovi za prikaz u QGIS sučelju.

Tablica 4.5.1 Popis elemenata dinamičkih karata poplava mora (GIS baza podataka)

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
/Exposure	Buildings_sampled.shp	Receptori		Receptori - infrastruktura i građevine	Građevine
/Hazard/Scenario0	Flood_extent_bezKP.tif	Opasnost	Sve	Opasnost od poplava	Obuhvat poplave, današnja klima
/Hazard/Scenario1	Flood_extent_saKP.tif				Obuhvat poplave, uz klimatske promjene
/Hazard/Scenario0/100YR	dubine_PP100_bezKP.tif		Mala	Opasnost od poplava - Mala vjerojatnost	Dubine (m), današnja klima
/Hazard/Scenario1/100YR	dubine_PP100_saKP.tif				Dubine (m), uz klimatske promjene
/Hazard/Scenario0/25YR	dubine_PP25_bezKP.tif		Srednja	Opasnost od poplava - Mala vjerojatnost	Dubine (m), današnja klima
/Hazard/Scenario1/25YR	dubine_PP25_saKP.tif				Dubine (m), uz klimatske promjene
/Hazard/Scenario0/5YR	dubine_PP5_bezKP.tif		Velika	Opasnost od poplava - Mala vjerojatnost	Dubine (m), današnja klima
/Hazard/Scenario1/5YR	dubine_PP5_saKP.tif			Dubine (m), uz klimatske promjene	
/Exposure	Buildings_sampled.shp	Rizik	Sve	Rizik od poplava	Rizik za građevine, današnja klima
/Exposure	Buildings_sampled.shp				Rizik za građevine, uz klimatske promjene



Slika 4.5.1. Karta opasnosti od poplava s mora za priobalni dio naselja Zadar – dubina vode za malu vjerojatnost pojavljivanja visokih razina mora i današnju klimu.



Slika 4.5.2. Karta opasnosti od poplava s mora za priobalni dio naselja Zadar – dubina vode za malu vjerojatnost pojavljivanja visokih razina mora uz klimatske promjene.



Slika 4.5.3. Karta rizika od poplava s mora za priobalni dio naselja Zadar – razina opasnosti za građevine za malu vjerojatnost pojavljivanja visokih razina mora i današnju klimu.

5 Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica

5.1 Metodologija analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica

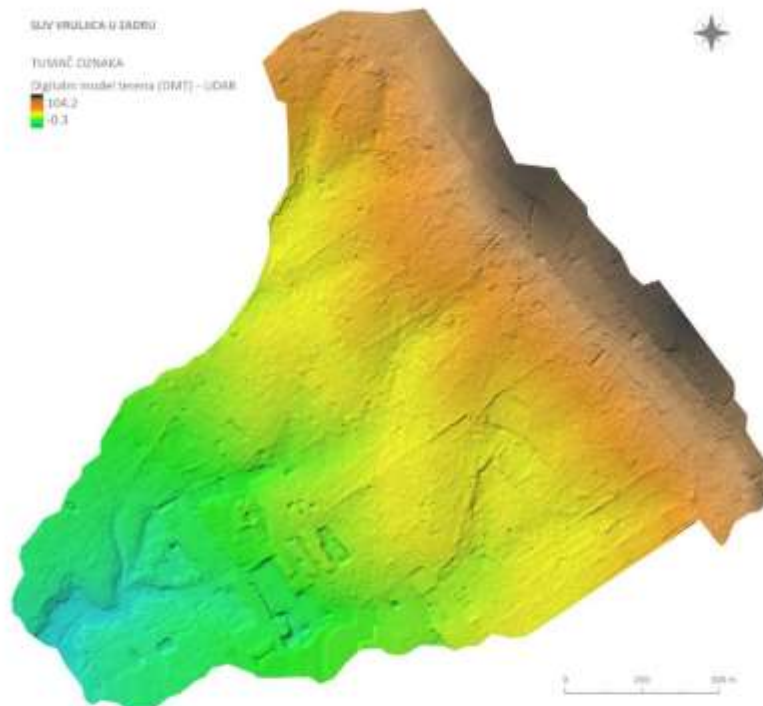
Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica (mikro razina detaljnosti) provedena je na jednak način kao i analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar (mezo razina detaljnosti), što je detaljno objašnjeno i prikazano u poglavlju 3. Jedina razlika u odnosu na analize prikazane u poglavlju 3 je obuhvat analize, korištena podloga vezana uz digitalni model reljefa te proračunska mreža hidrološko-hidrauličkog modela. Obuhvat predmetne analize je sliv Vruljica površine 3,1 km², koji se nalazi u priobalnom dijelu Zadra te obuhvaća park Vruljicu te naselja Maslina, Plovanija, Bili Brig i Vidikovac. Obuhvat predmetnog sliva prikazan je na slici 5.1.1..



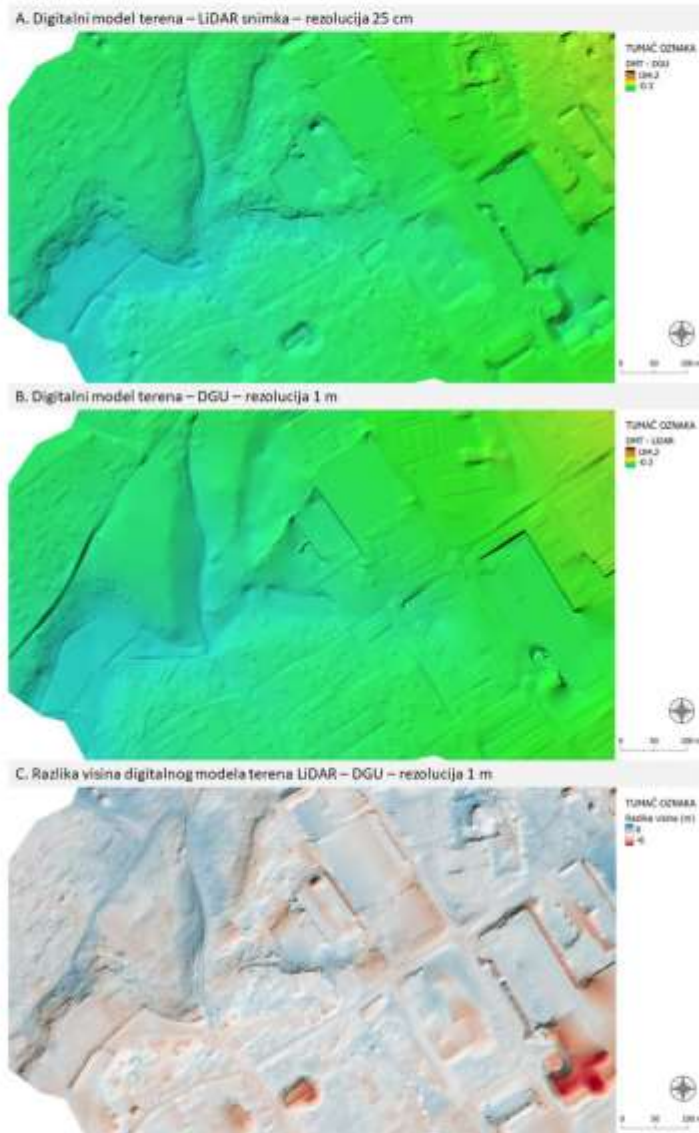
Slika 5.1.1. Obuhvat predmetne analize na mikro razini detaljnosti – sliv Vruljica.

Digitalni model reljefa za sliv Vruljca izradio je Naručitelj (Odjel za geografiju Sveučilišta u Zadru) interpolacijom LiDAR snimke. U tu svrhu provedeno je multisenzorsko (LiDAR, aerofotogrametrijsko) zračno snimanje dijela naselja Zadar s minimalnom gustoćom od 120 točaka/m²; ukupne točnost manje od 8 cm. Interpolirani digitalni model terena rezolucije je 25 cm i prikazan je na slici 5.1.2. Na slici 5.1.3 prikazuje se usporedba modela terena dobivenog iz LiDAR snimke s modelom terena dobivenim interpolacijom vektorskih podataka DGU, koji je korišten za mezo razinu detaljnosti (poglavlje 3). Razlike između visina ova dva modela su primjetne, a dosežu na pojedinim lokacijama i do 3 m, pri čemu standardna devijacija razlike visina iznosi 0,78 m.

Matematički model za hidrološko-hidrauličke analize izrađen je u HEC-RAS računalnom programu prateći istovjetne postavke kao i u slučaju prethodne analize na mezo razini detaljnosti (opisano u poglavlju 3.2.3.) pri čemu je korištena gušća strukturirana proračunska mreža rezolucije 4 m.



Slika 5.1.2. Digitalni model terena rezolucije 25 cm – sliv Vruljca.



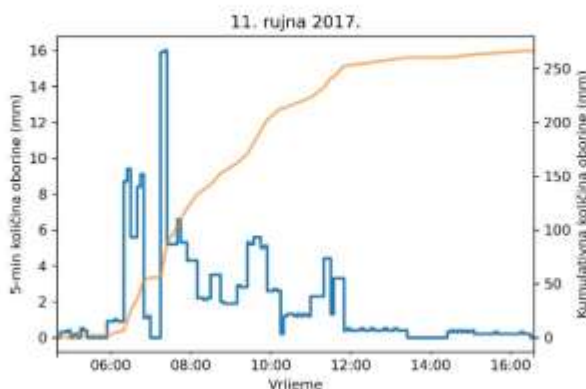
Slika 5.1.3. Usporedba visina iz digitalnog modela terena dobivenog na osnovu LIDAR snimke i Državne geodetske uprave (DGU) te njihove razlike.

5.2 Rezultati analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica

5.2.1 Povijesne pluvijalne poplave u slivu Vruljica

Analiza povijesnih poplava u slivu Vruljica provedena je na osnovu katastra poplava (zabilježene poplavne površine i lokacije vatrogasnih intervencija) te modelske reanalize odabranog oborinskog događaja. Analizom oborina odabran je ekstremni događaja iz 11. rujna 2017. godine.

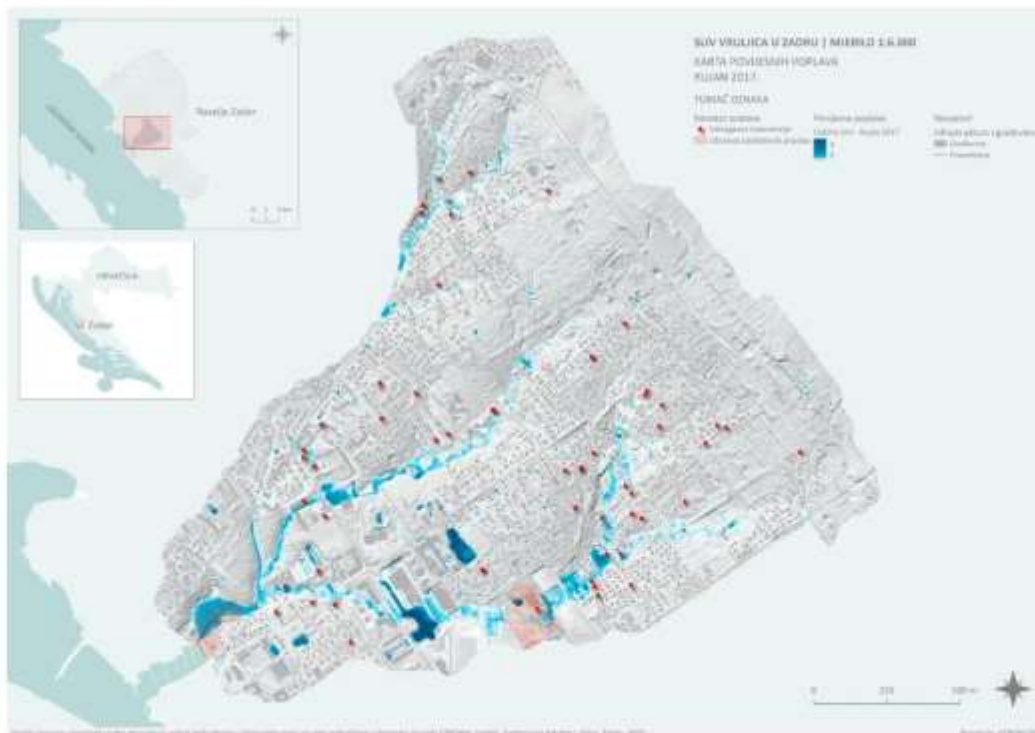
Dana **11. rujna 2017.** godine zabilježeno je 267 mm oborine na ombrografskoj postaji Zadar, dok je u samo jedan sat palo 80 mm oborine, u tri sata 161 mm oborine, a tijekom šest sati 250 mm oborine (Slika 5.2.1). Navedene količine imaju vjerojatnost pojave manju od 1%.



Slika 5.2.1 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 5.2.2. Najveći broj intervencija nalazi se u blizini prirodnih depresija i jaraka, odnosno glavnih smjerova koncentracije površinskog toka. Dvije zabilježene lokacije šireg opsega poplave zabilježene su u parku Vruljica te u sportskom centru Višnjik, što prikazuju rezultati matematičkog modela. Općenito, izrađeni

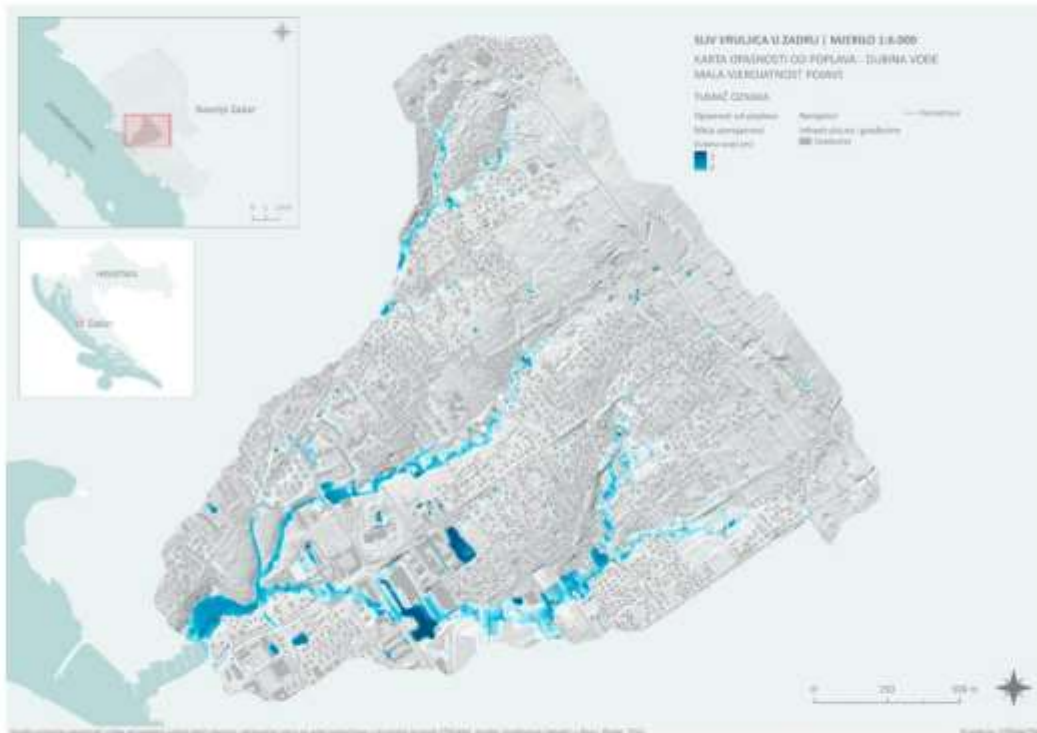
matematički model može smatrati dovoljno pouzdanim za daljnje analize opasnosti i rizika na predmetnom slivu.



Slika 5.2.2 Karta povijesnih poplava – katastar poplava i modelska reanaliza poplave iz rujna 2017. godine – u slivu Vruljica.

5.2.2 Opasnost od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica

Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja 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 Slikama 5.2.3, 5.2.4 i 5.2.5 prikazani su primjeri statičkih karata opasnosti za malu vjerojatnost pojavljivanja.



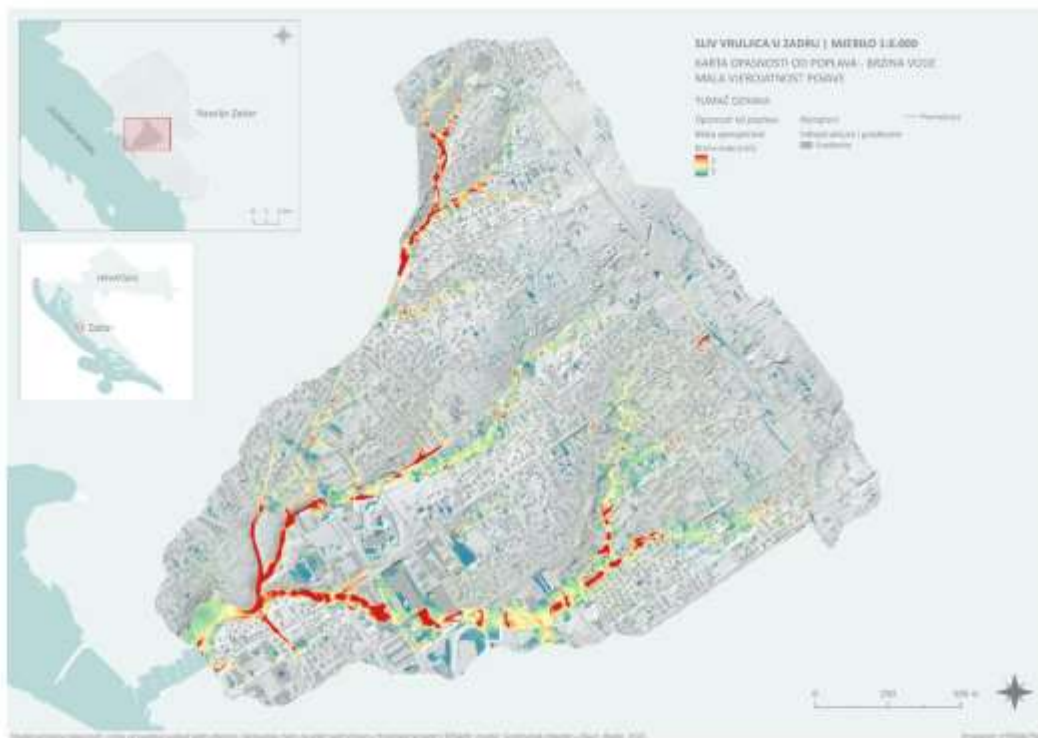
Slika 5.2.3 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost u slivu Vruljica.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava u slivu Vruljica te izdvojiti problematične lokacije. Predmetni sliv je naseljen uz visoki stupanj urbanizacije, ima djelomično riješen sustav odvodnje oborinskih voda (najčešće mješoviti sustav kanalizacije), bez prisutnih otvorenih elemenata odvodnje ili cestovnih propusta. Iznimka je park Vruljica, gdje je izgrađen otvoreni kanal koji se nakon cestovnog propusta ulijeva u more u marini Zadar.

Smjer toka površinskih voda prati topografiju terena, od viših zona u sjeveroistočnom dijelu sliva do utoka u more na jugozapadnom dijelu sliva. Glavni pravci toka koncentrirani su duž osi dviju prirodnih depresija (jaruga), prva prolazi paralelno s ulicom Biskupa Juraja Dobrile od naselja Plovanija do naselja Maslina, dok druga prolazi od naselja Plovanija i Bili Brig do sportskog centra Višnjik. Obje jaruge završavaju u parku Vruljica gdje se sve površinske vode prikupljaju u otvoreni kanal trapeznog poprečnog presjeka. Iz parka Vruljica se putem cestovnog propusta sve površinske

vode ispuštaju u more. Treći smjer primjetan je duž ulice Put Bokanjca, pri čemu na uzvodnom dijelu sliva dio površinskih voda otječe u smjeru zapada, dok se manji dio voda transportira glavnom prometnicom do parka Vruljica. Upravo park Vruljica predstavlja područje izraženije akumulacije površinskih voda tijekom jakih oborina, što se prvenstveno može pripisati nedovoljnom protočnom kapacitetu cestovnog propusta, pogotovo tijekom visokih razina mora.

Maksimalne brzine vode javljaju se duž osi prirodnih depresija u nizvodnom dijelu sliva neposredno prije parka Vruljica, tu svakako treba navesti ulicu dr. Franje Tuđmana i ulicu Nikole Tesle (slika 5.2.4). Veće brzine su također primjetne i oko sportskog centra Višnjik u južnom dijelu sliva, te uzvodno duž ulice Put Bokanjca u sjevernom dijelu sliva. Najviše razine opasnosti vezane su prvenstveno uz pojavu visokih brzina vode (slika 5.2.5).



Slika 5.2.4 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost u slivu Vruljica.

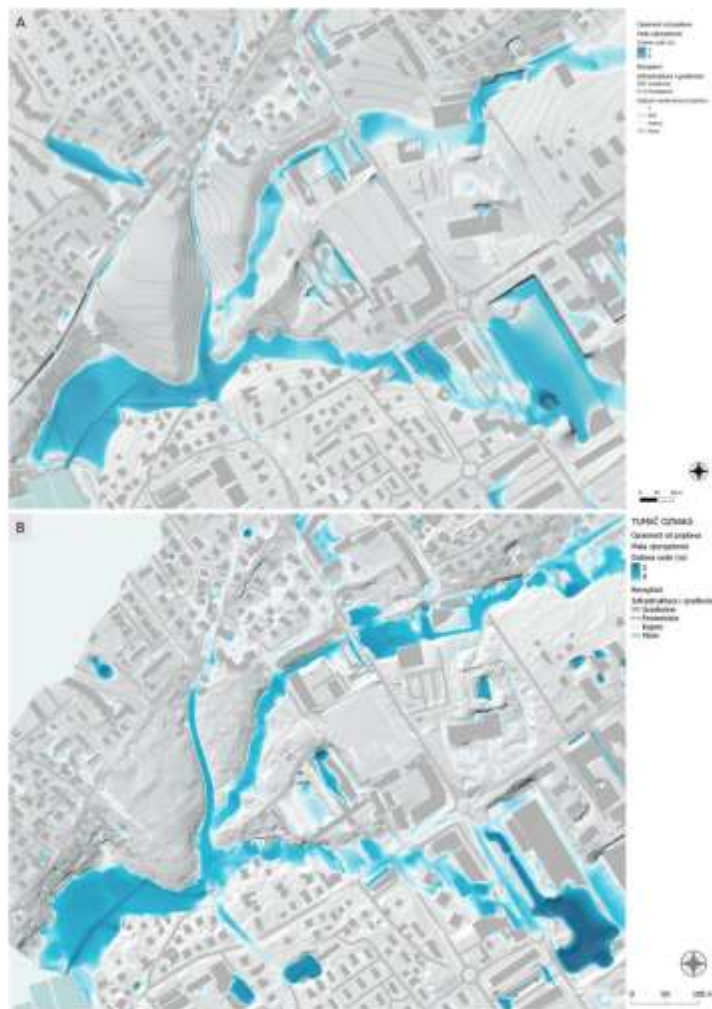


Slika 5.2.5 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost u slivu Vruljica.

5.2.3 Usporedba rezultata na mikro i mezo razini istraživanja

U nastavku je dana usporedba rezultata modelskih analiza, odnosno procjene opasnosti od poplava u slivu Vruljica, na mezo razini (poglavlje 3) i mikro razini (predmetna analiza). Osnovna razlika između navedene dvije analize je u detaljnosti podloga i izvoru podataka o visinama terena. Dok je na mezo korišten digitalni model terena rezolucije 1 m dobiven interpolacijom vektorskih podataka od DGU-a, u predmetnoj analizi korišten je digitalni model terena rezolucije 25 cm dobiven interpolacijom LIDAR snimke (ALS). Na Slikama 5.2.6 – 5.2.8 dane su usporedbe rezultata dubine i brzine vode te razine opasnosti na izdvojenom dijelu sliva (dio podsliva Vruljica). Očekivano, rezultati na mikro razini više su rezolucije i veće preciznosti, zbog čega pružaju detaljniji uvid u prostornu raspodjelu opasnosti od poplava u odnosu na podloge korištene na mezo razini. Tek na mikro razini

rezultati se mogu interpretirati u smjeru identifikacije pojedinačnih objekata i dionica prometnica koje su izložene poplavama. Rezultati dobiveni korištenjem LIDAR snimke imaju znatno višu razinu pouzdanosti i preciznosti, ne samo zbog više rezolucije, već i zbog realnijeg reljefa terena.



Slika 5.2.6 Usporedba rezultata dubine vode za malu vjerojatnost na dijelu sliva Vruļjice: a) mezo razina (rezolucija 1 m), b) mikro razina (rezolucija 25 cm).

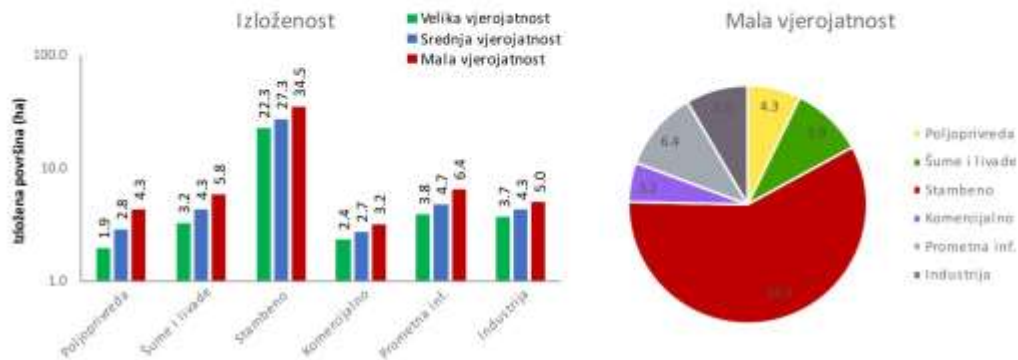


Slika 5.2.7 Usporedba rezultata brzine vode za malu vjerojatnost na dijelu sliva Vruljice: a) mezo razina (rezolucija 1 m), b) mikro razina (rezolucija 25 cm).

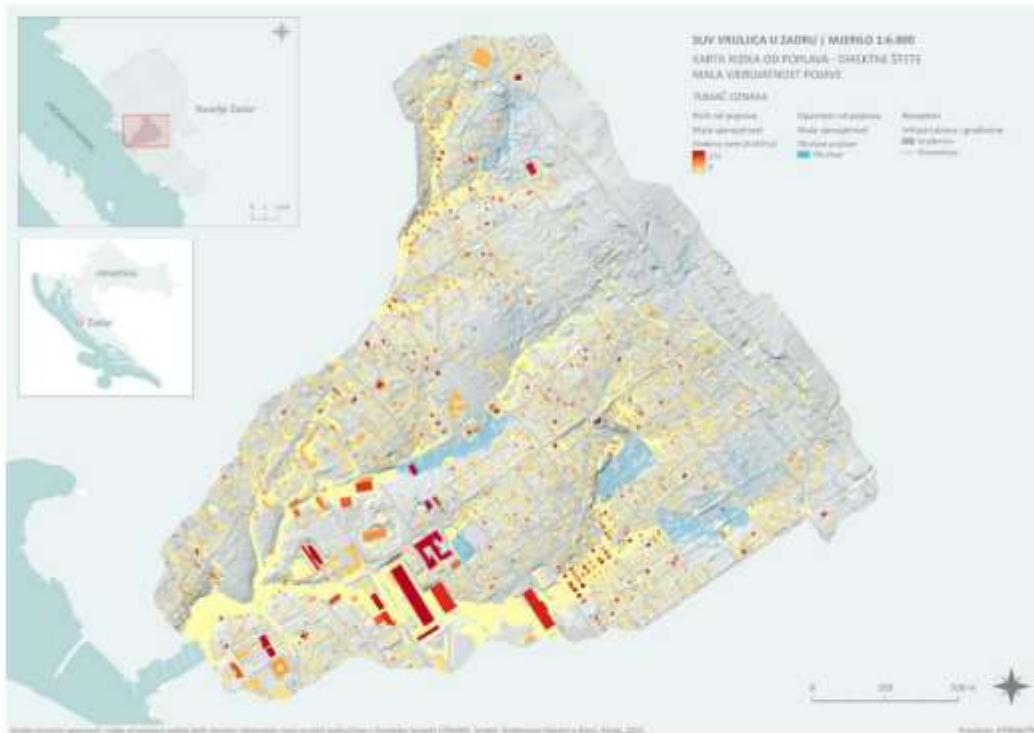
5.2.4 Ranjivost na pluvijalne poplave u slivu Vruljica

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.

Ukupna promatrana površina sliva urbanog dijela naselja Zadar iznosi 3,1 km², a ukupno poplavljeno područje iznosi 0,37 km² (12,2 %) za veliku vjerojatnost; 0,46 km² (14,9 %) za srednju vjerojatnost i 0,59 km² (19,1 %) za malu vjerojatnost pojave (Slika 5.2.9). Iz danih prikaza može se primijetiti da je najveći udio poplavljenih površina ~60 % stambene namjene. S velikom vjerojatnosti može se očekivati plavljenje površine od 22,3 ha stambene namjene, 3,8 ha prometne infrastrukture, 3,7 ha industrijskih površina te 2,1 ha komercijalne namjene. Na Slici 5.2.10 prikazana je statička karta ranjivosti, odnosno izloženosti za malu vjerojatnost u slivu Vruljica.



Slika 5.2.9. Rezultati izloženosti poplavama prema namjeni korištenja zemljišta u slivu Vruljica.



Slika 5.2.12 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost u slivu Vruļjica.

5.3 Karte pluvijalnih poplava u slivu Vruljica

Karte pluvijalnih poplava izrađene su u statičkom i dinamičkom formatu.

Statičke karte izrađene su kao PDF dokumenti u mjerilu prikladnom A2 formatu papira. Za predmetno 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 građevine** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)
- **Karta rizika od pluvijalnih poplava – direktne štete** (zasebno za malu, srednju i veliku vjerojatnost)

Ukupno je za sliv Vruljica izrađeno 19 tematskih karta 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 5.3.1. 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 datoteku izrađeni su i priloženi prikladni stilovi za prikaz u QGIS sučelju.

Tablica 5.3.1 Popis elemenata dinamičkih karata pluvijalnih poplava (GIS baza podataka)

Mapa	Ime datoteke	Indikator	Vjerojatnost	Grupa QGIS sloja	Naziv QGIS sloja (opis)
\Exposure	Catchment.shp				Sliv
\Exposure	DEM_25cm_clipped.tif	Podloge			Digitalni model terena (DMT)
\Cadastre	Flooded_areas.shp	Katastar poplava		Katastar poplava	Obuhvat zabilježenih poplava
\Cadastre	Flood_interventions.shp			Katastar poplava	Vatrogasne intervencije
\Historical	Depth (Max)_date_1_clipped.tif				Povijesne poplave
\Exposure	Buildings.shp				Dubine (m) - [date]
\Exposure	Roads.shp			Receptori- Infrastruktura i građevine	Građevine
\Exposure	Railroad.shp			Receptori- Infrastruktura i građevine	Prometnice
\Exposure	Population.shp	Receptori		Receptori- Stanovništvo	Željeznička pruga
\Exposure	LU_25cm.tif			Receptori	Gustoća stanovnika
\Exposure	LU_1m_modified.tif			Receptori	Namjena korištenja zemljišta
\Exposure	SEVESO.shp	Izloženost		Receptori	Korištenje zemljišta (osnovno)
\Exposure\Pollution	SEVESO.shp	Izloženost		Izloženost-Izvori onečišćenja	SEVESO objekti
\Exposure\Public_facilities	Health_facilities.shp	Izloženost		Izloženost-Ijavne ustuge	Zdravstvene ustanove

\Exposure\Public_facilities	Kindergarten_Schools.shp				Vrtići i škole
\Risk\Scenario1\5YR	<i>LU_flooded_5YR_modified.tif</i>	Izloženost	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)			
\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>	Mala		<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>			Opasnost od poplava- Mala vjerojatnost	Dubina vode (m)
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	<i>Flood_extent_100yr.tif</i>				Obuhvat poplave
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	<i>Flood_seventy_100yr_clipped.tif</i>				Razina opasnosti
\\Hazard\\Scenario1\\100YR	<i>Velocity (Max)_clipped.tif</i>				Brzina vode (m/s)
\\Exposure	<i>Buildings_sampled.shp</i>	Rizik	Velika	Rizik od poplava- Velika vjerojatnost	Razina rizika za građevine <i>(ne prikazuje se)</i>
\\Risk\\Scenario1\\5YR	<i>Damages_percent_5yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\\Risk\\Scenario1\\5YR	<i>Total_damages_5yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\\Exposure	<i>Buildings_sampled.shp</i>		Srednja	Rizik od poplava- Srednja vjerojatnost	Razina rizika za građevine <i>(ne prikazuje se)</i>
\\Risk\\Scenario1\\25YR	<i>Damages_percent_25yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\\Risk\\Scenario1\\25YR	<i>Total_damages_25yr.tif</i>				Direktne štete (EUR/m2)
\\Exposure	<i>Buildings_sampled.shp</i>	Mala	Rizik od poplava- Mala vjerojatnost	Razina rizika za građevine <i>(ne prikazuje se)</i>	
\\Risk\\Scenario1\\100YR	<i>Damages_percent_100yr.tif</i>			Direktne štete (EUR/m2)	
\\Risk\\Scenario1\\100YR	<i>Total_damages_100yr.tif</i>			Direktne štete (EUR/m2)	

6 Statistička analiza složenih poplava u Zadru i utjecaj klimatskih promjena

6.1 Analiza vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina u Zadru

U obalnim gradovima poplave mogu biti posljedica različitih uzroka kao što su jake oborine, ali i visoke razine mora. Kako bi se pouzdano procijenio sveukupni rizik od poplava, nužno je ispravno kvantificirati vjerojatnost pojave takvih događaja. U prethodnim analizama pojave visokih razine mora i jakih oborina te njihovo djelovanje u vidu poplava analizirane su zasebno. Međutim, pluvijalne poplave i poplave s mora mogu se javiti u isto vrijeme, stoga je neophodno istražiti međusobnu ovisnost ovih dvaju pojava te kvantificirati vjerojatnost njihove zajedničke pojave.

Za početak se daje pregled korištene metodologije, a potom rezultati sezonske analize međusobne ovisnost (korelacije) među navedenih veličinama, potencijala njihove zajedničke pojave te statističke analize bivarijantne vjerojatnosti zajedničkog djelovanja visokih razina mora i jakih oborina. U nastavku rada se za istodobnu pojavu dvaju izvora poplava koristi pojam supojave (eng. *co-occurrence*).

6.1.1 Metodologija provedenih statističkih analiza

Analiza supojave visokih razina mora i jakih oborina na području Zadra provedena je u skladu s metodologijom iz nekoliko recentnih radova (Couasnon i sur., 2022.; Tootoonchi i sur., 2021.; Sadegh i sur., 2018; Salvadori i sur., 2015.). Analiza je provedena na nizu rezidualnih razina mora iz Copernicus baze podataka te nizu ombrografskih podataka s postaje Zadar, oboje za period od 30 godina (1990. – 2019.). Pritom, provedene su dvije analize, prvo je analizirana korelacija među navedenim veličinama, nakon toga je analiziran potencijal supojave, a potom je i kvantificirana bivarijantna vjerojatnost zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina. U okviru predmetnih analiza jake oborine promatrane su za četiri različita trajanja (1, 3, 6 i 24 sata).

Potencijal supojave i korelacija visokih razina mora i jakih oborina

Analiza potencijala supojave visokih razina mora i jakih oborina provedena je u skladu s recentnim radom autora Couasnon i sur. (2022.), u okviru kojeg je predložena metodologija za sezonsku analizu međusobne ovisnosti i potencijala supojave visokih razina mora i jakih oborina.

Predložena metodologija analize vremenske serije visokih razina mora i jakih oborina sastoji se od sljedećih koraka (Couasnon i sur., 2022.):

- Proračunate su maksimalne mjesečne vrijednosti za razinu mora te oborinu trajanja 1, 3, 6, i 24 sata.
- Na nizu mjesečnih maksimuma provedena je provjera autokorelacije koristeći modificiran Mann-Kendall test.
- Na nizu mjesečnih maksimuma provedena je provjera stacionarnosti te je uklonjen linearni trend u slučaju da je niz nestacionaran.
- Uklonjeni su mjesečni maksimumi za one mjesece kada nije zabilježena oborina.
- Međusobna ovisnost između mjesečnih maksimuma razine mora i oborine procijenjena je pomoću Pearsonovog, Spearmanovog i Kendallovog koeficijenta korelacije, pri čemu je procijenjena i statistička značajnost sva tri koeficijenta korelacije pomoću p-vrijednosti.
- Za svaki par mjesečnih maksimuma razine mora i jakih oborina procijenjen je potencijal supojave. Ako su događaji razmaknuti za manje od jednoga dana, smatra se da su se zabilježeni maksimumi pojavili istodobno. Također je određen 95% prag značajnosti za broj supojava po mjesecima kako bi se mogao ocijeniti potencijal supojave za svaki mjesec.

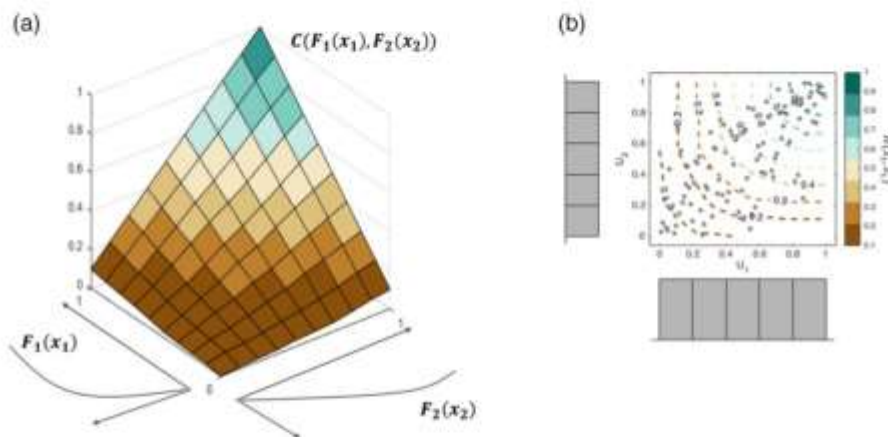
Bivarijantna vjerojatnost zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina

Bivarijantna vjerojatnost zajedničke pojave (eng. *joint probability*) visokih razina mora i jakih oborina određena je pomoću tzv. kopula (eng. *copula*). Kopule su funkcije koje objedinjavaju više univarijantnih marginalnih kumulativnih funkcija vjerojatnosti u zajedničku viševarijantnu kumulativnu funkciju zajedničke vjerojatnosti. U hidrologiji su ove funkcije često korištene za procjenu poplava uslijed više različitih uzroka, kao što su visoke razine mora, visoki protoci, jake oborine, itd. (Graler i sur., 2013.; Tootoonchi i sur., 2021.).

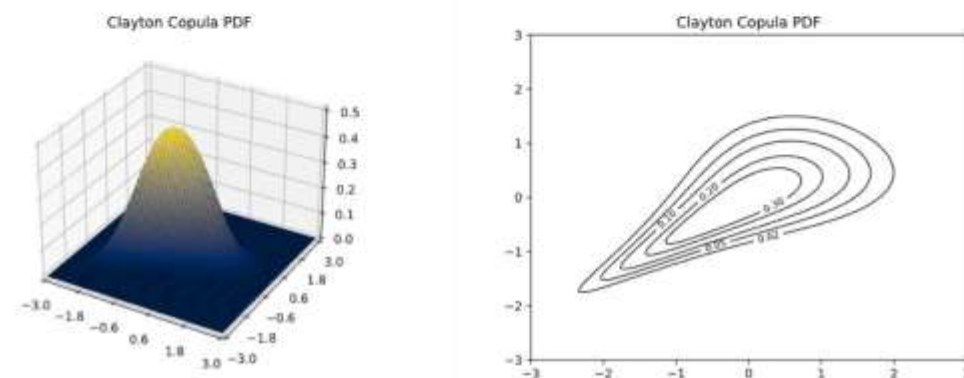
Predložena metodologija za analizu bivarijantne vjerojatnosti kombinacija je nekoliko recentnih radova koji su prilagođeni u svrhu predmetne analize (Couasnon i sur., 2022.; Tootoonchi i sur., 2021.; Sadegh i sur., 2018; Salvadori i sur., 2015.), a sastoji se od sljedećih koraka:

- Bivarijantna vjerojatnost zajedničke pojave određena je za sve mjesečne maksimume iz prethodnog koraka (nakon što su provedene analize autokorelacije i stacionarnosti te uklonjeni podaci bez oborina).
- Za mjesečne maksimume visokih razina mora i jakih oborina zasebno je određena univarijantna marginalna distribucija vjerojatnosti. Pritom je razmatrano 30 različitih distribucija, a najbolja je određena pomoću statističkih mjera AIC i BIC.
- Na osnovu marginalnih distribucija određena je bivarijantna distribucija pomoću kopula koristeći *pycop* računalni paket (Nicolas, 2022.), pri čemu su razmatrane arhimedove kopule Clayton, Gumbel, Frank, Joe, Galambos, BB1, BB2, FGM, Plackett i njihove rotacije. Procjena parametara kopule provedena je prema metodi Maximum Likelihood Estimation (MLE), a odabir najbolje kopule proveden je prema AIC i BIC statističkim mjerama.
- Navedeni koraci provedeni su zasebno za jake oborine trajanja 1, 3, 6 i 24 sata.
- Nakon što je kopula prilagođena podacima, moguće je provesti stohastičku simulaciju proizvoljnog trajanja kako bi se odredili parovi maksimalnih razina mora i jakih oborina za traženu zajedničku vjerojatnost (povratno razdoblje).

Na Slici 6.1.1 prikazan je primjer empirijske kopule i pripadajuća funkcija kumulativne vjerojatnosti, na Slici 6.1.2. primjer Claytonove bivarijantne kopule i pripadajuća funkcija gustoće vjerojatnosti.



Slika 6.1.1. Primjer empirijske bivarijantne kopule prikazane kao: a) 3D ploha i b) 2D površina sa izolacijama kumulativne vjerojatnosti. Funkcije F_1 i F_2 označavaju marginalne distribucije varijabli x_1 i x_2 , čije je međusobno ovisnost modelirana kopulom C (Tootoonchi i sur., 2021.).



Slika 6.1.2. Primjer Claytonove bivarijantne kopule prikazane kao: a) 3D ploha gustoće vjerojatnosti i b) 2D površina s izolinijama gustoće vjerojatnosti. (Nicolas, 2022.).

6.1.2 Rezultati sezonske analize supojave visokih razina mora i jakih oborina

U Tablici 6.1.1 dani su rezultati korelacije mjesečnih maksimuma sa statističkom ocjenom značajnosti. Iz prikazanih rezultata, može se zaključiti da je korelacija statistički značajna za sva trajanja oborine te da je korelacija pozitivna, iako vrlo slaba. Najsnažnija korelacija primijećena je između visokih razina mora i 24-satne oborine, međutim rezultati su vrlo slični neovisno o trajanju oborine.

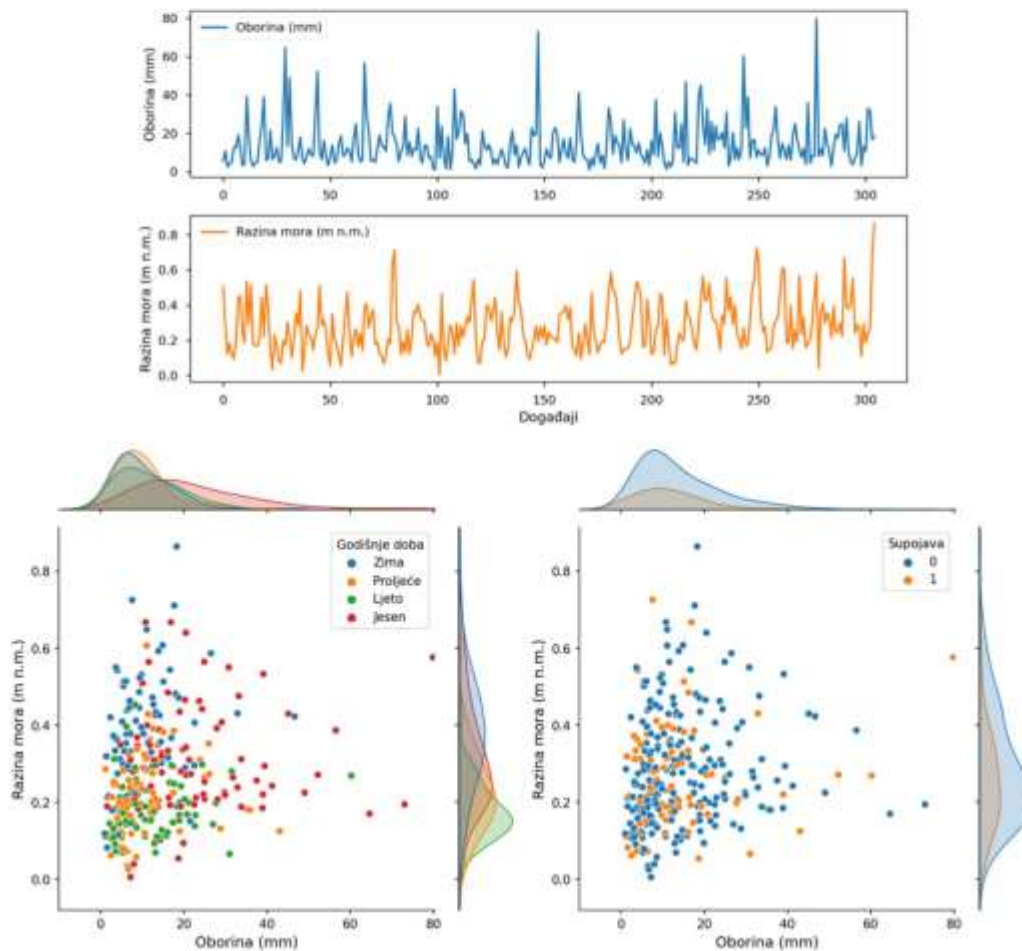
Na Slikama 6.1.3 - 6.1.6 prikazani su vremenski nizovi i rezultati korelacije mjesečnih maksimuma visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1, 3, 6, i 24 sata, pri čemu su naglašene sezonske razlike i broj supojava mjesečnih maksimuma. Iz danih prikaza može se zaključiti da pozitivna korelacija postoji, ali je vrlo slaba i postaje primjetno raspršena za ekstremne vrijednosti. Maksimumi obje veličine najčešće se javljaju u jesen i zimu, dok se najmanje vrijednosti javljaju u ljeti. Od svih zabilježenih mjesečnih maksimuma, približno je četvrtina supojava, za 24-satno trajanje oborine zabilježeno je 97 supojava od 360 događaja, dok je za 1-satno trajanje oborine zabilježeno 85 supojava. Pritom treba napomenuti da su iz prikaza (a također i iz daljnjih analiza) uklonjeni oni mjeseci u kojim nije zabilježena oborina.

Tablica 6.1.1. Statistička analiza korelacije između mjesečnih maksimuma visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1, 3, 6, i 24 sata.

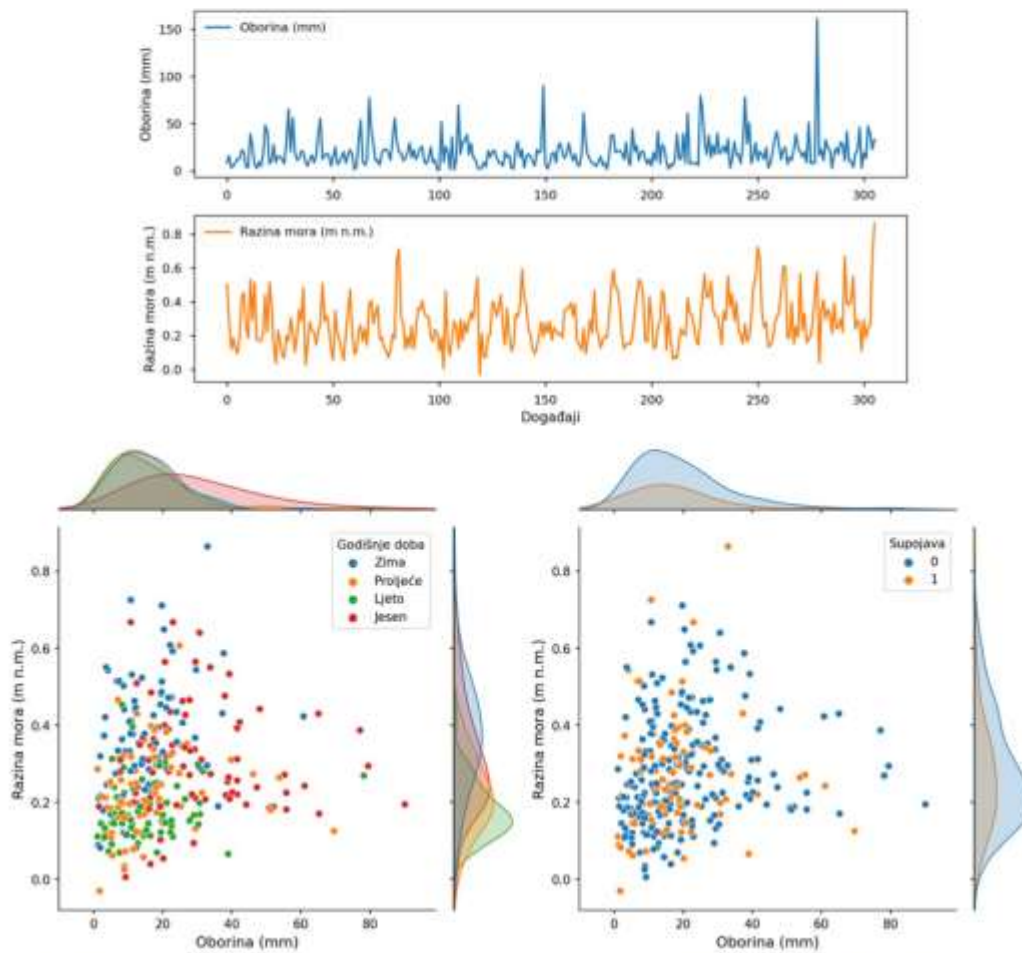
Mjera korelacije	Koeficijent korelacije	<i>p</i> vrijednost	Značajno na 5%?
Mjesečni maksimumi visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1 sat			
Kendall rank	0.191	0	Da
Spearman's rank-order	0.284	0	Da
Pearson product-moment	0.199	0.000144	Da
Mjesečni maksimumi visokih razina mora i jakih oborina trajanja 3 sata			
Kendall rank	0.213	0	Da
Spearman's rank-order	0.317	0	Da
Pearson product-moment	0.232	0.000008	Da
Mjesečni maksimumi visokih razina mora i jakih oborina trajanja 6 sati			
Kendall rank	0.224	0	Da
Spearman's rank-order	0.335	0	Da
Pearson product-moment	0.238	0.000005	Da
Mjesečni maksimumi visokih razina mora i jakih oborina trajanja 24 sata			
Kendall rank	0.235	0	Da
Spearman's rank-order	0.349	0	Da
Pearson product-moment	0.266	0	Da

Na Slici 6.1.7 dan je prikaz unutargodišnje raspodjele mjesečnih maksimuma visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1, 3, 6 i 24 sata te broja supojava po mjesecima. Iz danih se prikaza može primijetiti da se najveće vrijednosti maksimalnih oborina javljaju krajem ljeta i tijekom jeseni (rujan do studeni), dok se najviše vrijednosti maksimalnih razina mora javljaju krajem jeseni i tijekom zime (studeni do veljača). Broj supojava varira od 4 do 12 (u nizu od 30 godina), pri čemu je najveći broj supojava zabilježen tijekom siječnja i veljače. Za sva trajanja oborine, broj supojava je iznad praga pouzdanosti i stoga se može ocijeniti kao statistički značajan.

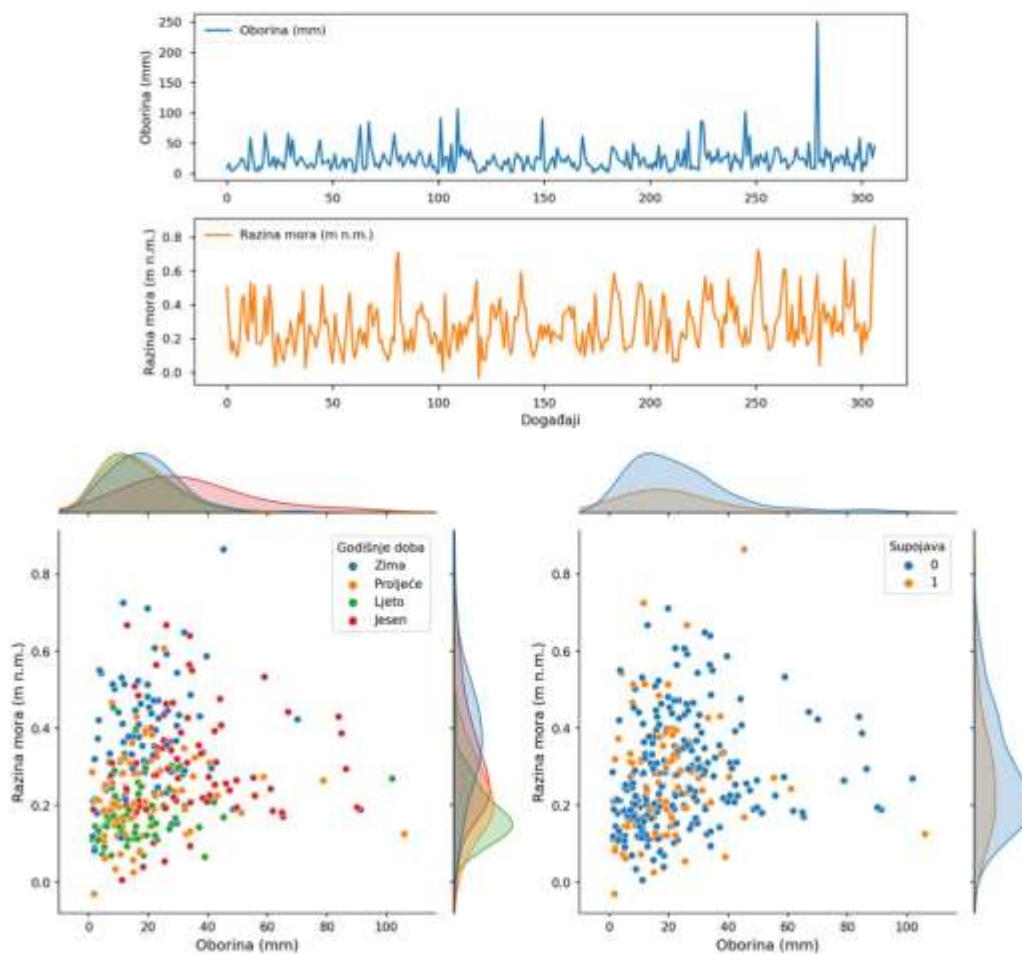
Zaključno, na području Zadra postoji međusobna ovisnost između visokih razina mora i jakih oborina te je stoga potrebno provesti bivarijantnu analizu vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina.



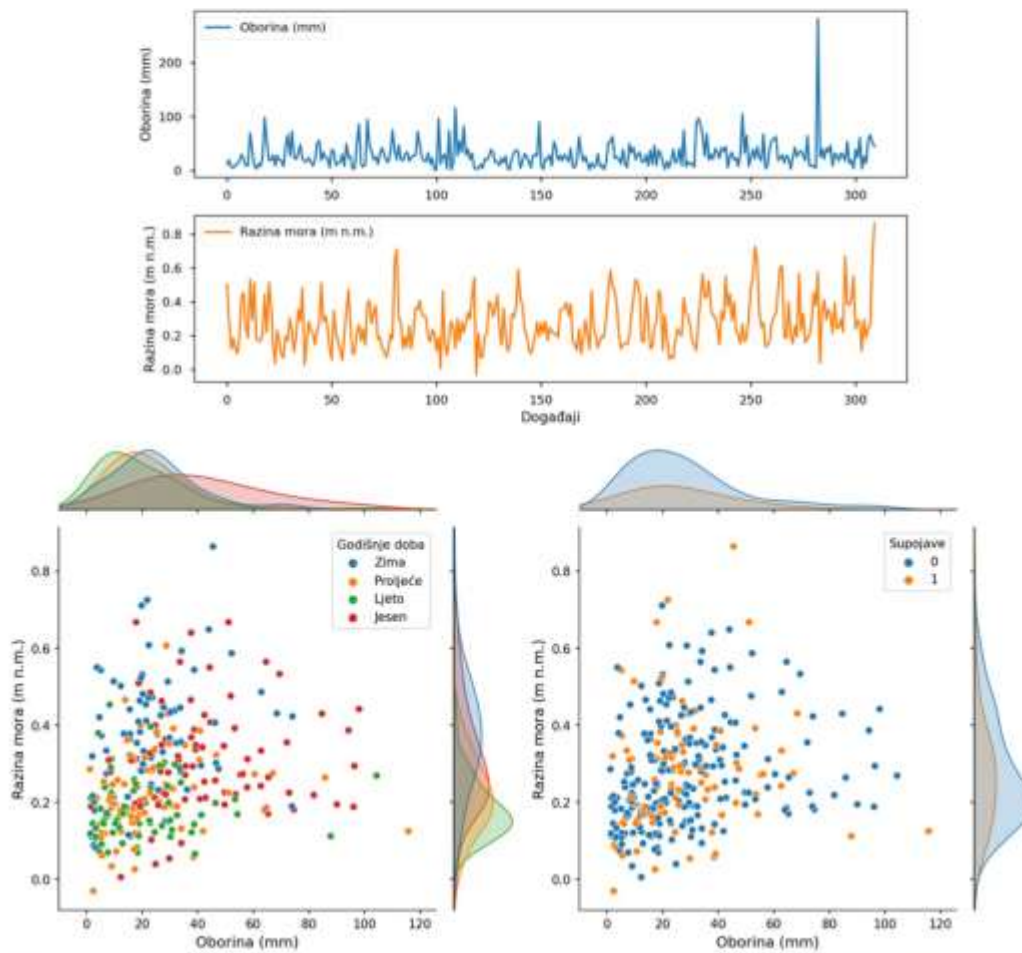
Slika 6.1.3. Vremenske serije i korelacije mjesečnih maksimuma visokih razina mora i 1-satnih oborina.



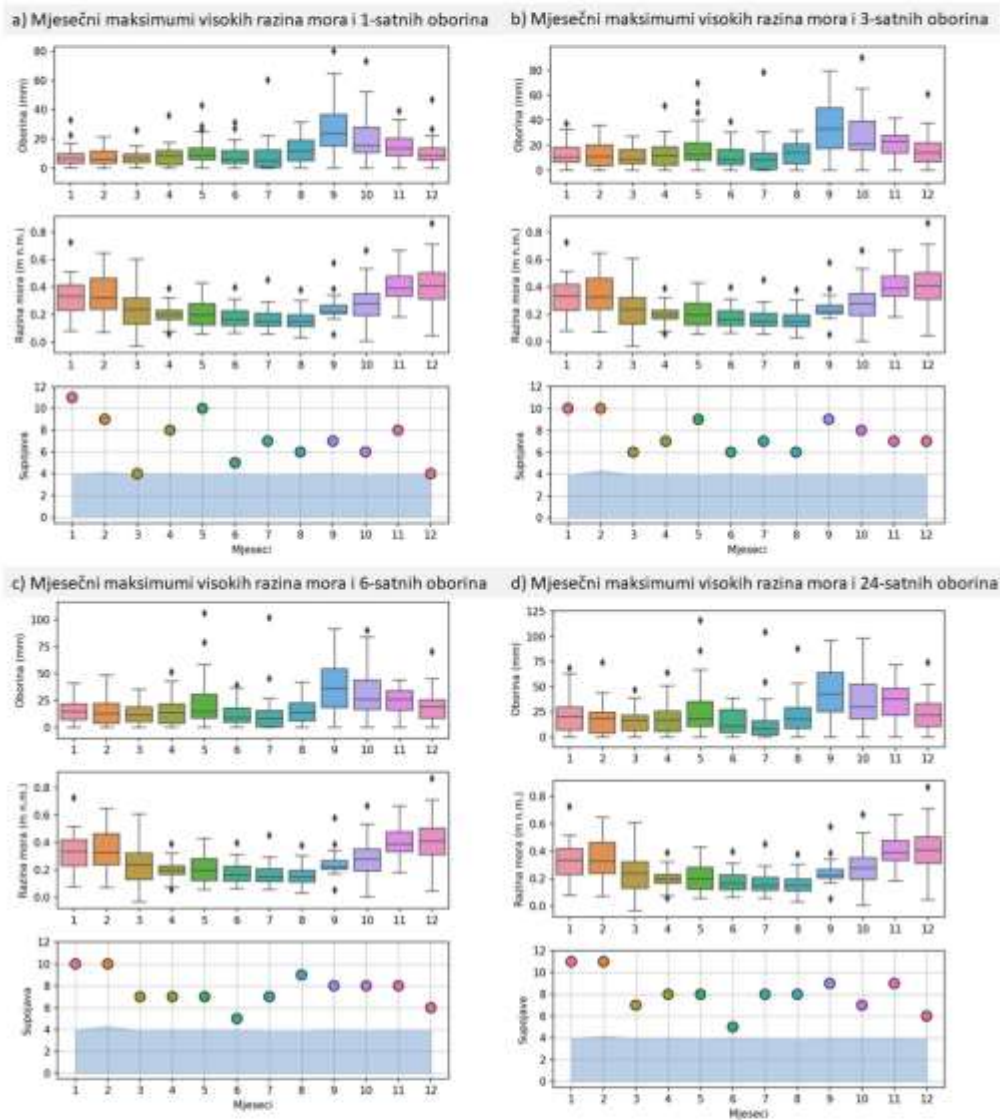
Slika 6.1.4. Vremenske serije i korelacije mjesečnih maksimuma visokih razina mora i 3-satnih oborina.



Slika 6.1.5. Vremenske serije i korelacije mjesečnih maksimuma visokih razina mora i 6-satnih oborina.



Slika 6.1.6. Vremenske serije i korelacije mjesečnih maksimuma visokih razina mora i **24-satnih** oborina.



Slika 6.1.7. Unutargodišnja (po mjesecima) raspodjela mjesečnih maksimuma visokih razina mora i: a) 1-satnih oborina, b) 3-satnih oborina, c) 6-satnih oborina, d) 24-satnih oborina, s prikazom brojem supojava.

6.1.3 Rezultati vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina

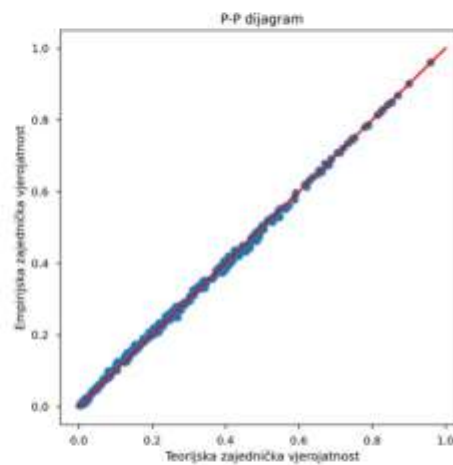
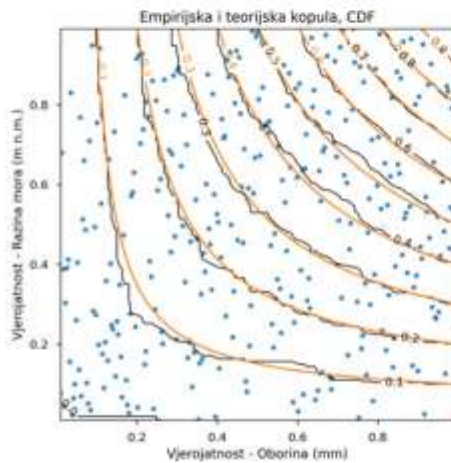
Na Slikama 6.1.8 do 6.1.11. prikazani su rezultati prilagodbe empirijske i teorijske kopule na parove visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1, 3, 6 i 24 sata. U sva četiri slučaja odabrana je Claytonova kopula.

Na Slikama 6.1.12 do 6.1.15 prikazani su rezultati vjerojatnosti zajedničke pojave visokih razina mora i jakih oborina trajanja 1, 3, 6 i 24 sata prema odabranoj kopuli s prikazom marginalnih distribucija. Pritom su vjerojatnosti iskazane kao povratni periodi za tzv. AND scenarij, koji označava istovremenu pojavu visokih razina mora i jakih oborina. Iz prikazanih vjerojatnosti moguće je uzorkovati neograničen broj parova visokih razina mora i oborina koji odgovaraju traženom povratnom periodu.

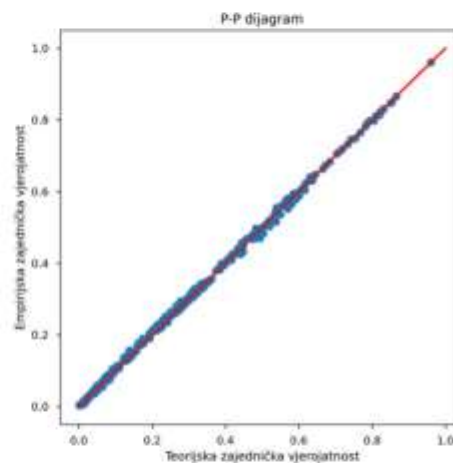
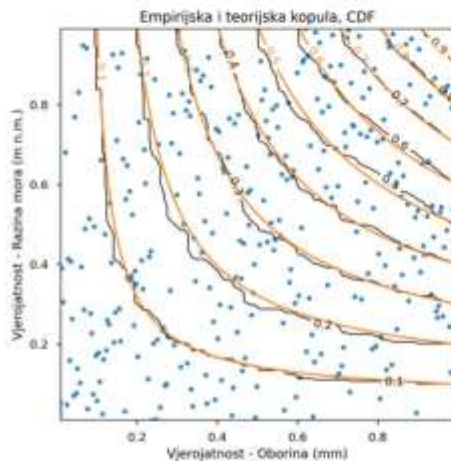
U Tablici 6.1.2. dan je prikaz statističke analize univarijantne vjerojatnosti pojave visoke razine mora i oborina trajanja 1, 3, 6, 12 i 24 sata za ekstremnu epizodu iz rujna 2017. godine. Rezidualna razina mora iznosila je 0,58 m što odgovara povratnom periodu od 2,4 godine. Maksimalna 1-satna oborina iznosila je 79,8 mm što odgovara povratnom periodu od 27,6 godine, međutim njihova zajednička pojava je znatno rjeđe prirode i odgovara povratnom periodu od 551,7 godina. Najekstremnija situacija unutar tog događaja je 12-satna oborina, koja je iznosila 266,9 mm, što odgovara povratnom periodu 287,8 godina, odnosno blizu 5000 godina gledajući vjerojatnost istovremene pojave takve količine oborine i visoke razine mora.

Tablica 6.1.2. Statistička analiza univarijantne (marginalne) vjerojatnosti i bivarijantne (zajedničke) vjerojatnosti pojave razine mora i oborine za događaj iz rujna 2017. godine.

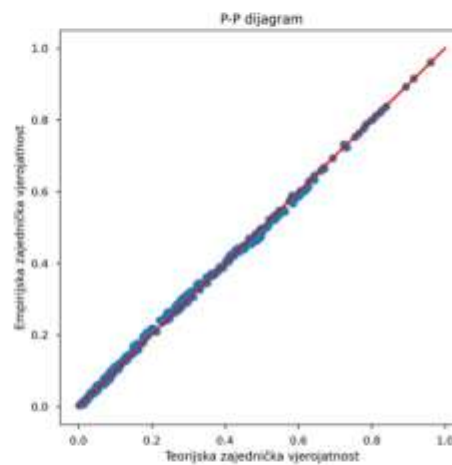
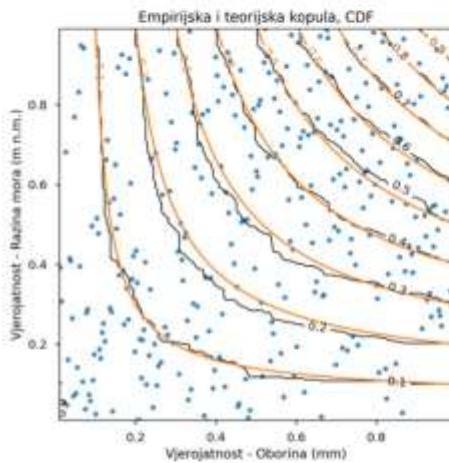
Oborina (mm)	Trajanje oborine (h)	Razina mora (m)	Marginalna vjerojatnost (god)		Zajednička vjerojatnost (god)
			Oborina	Razina mora	Oborine + razina mora
79,8	1	0,58	27,6	2,4	551,7
161,2	3	0,58	74,2	2,4	1327,3
250,7	6	0,58	217,5	2,4	3763,0
266,9	12	0,58	287,8	2,4	4919,6
281,8	24	0,58	175,7	2,4	3056,0



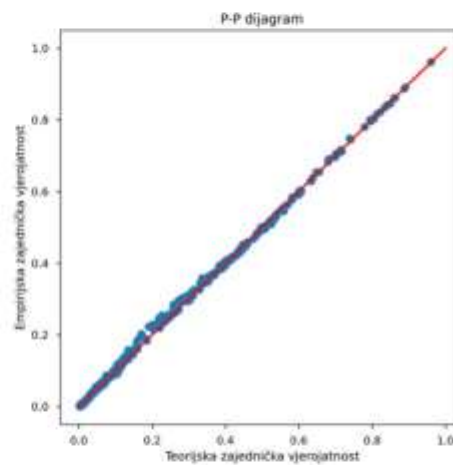
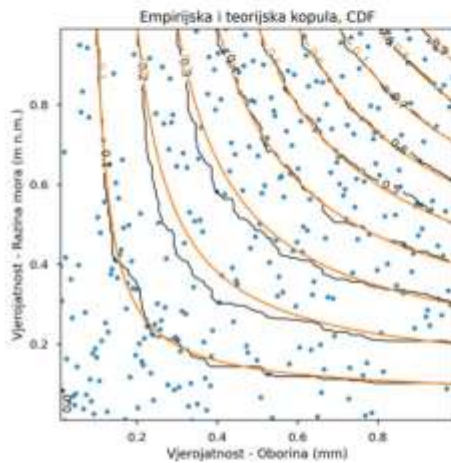
Slika 6.1.8. Usporedba empirijske i teorijske kopule za zajedničku vjerojatnost visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 1 sat**, lijevi panel prikazuju kumulativnu funkciju vjerojatnosti, a desni panel P-P dijagram.



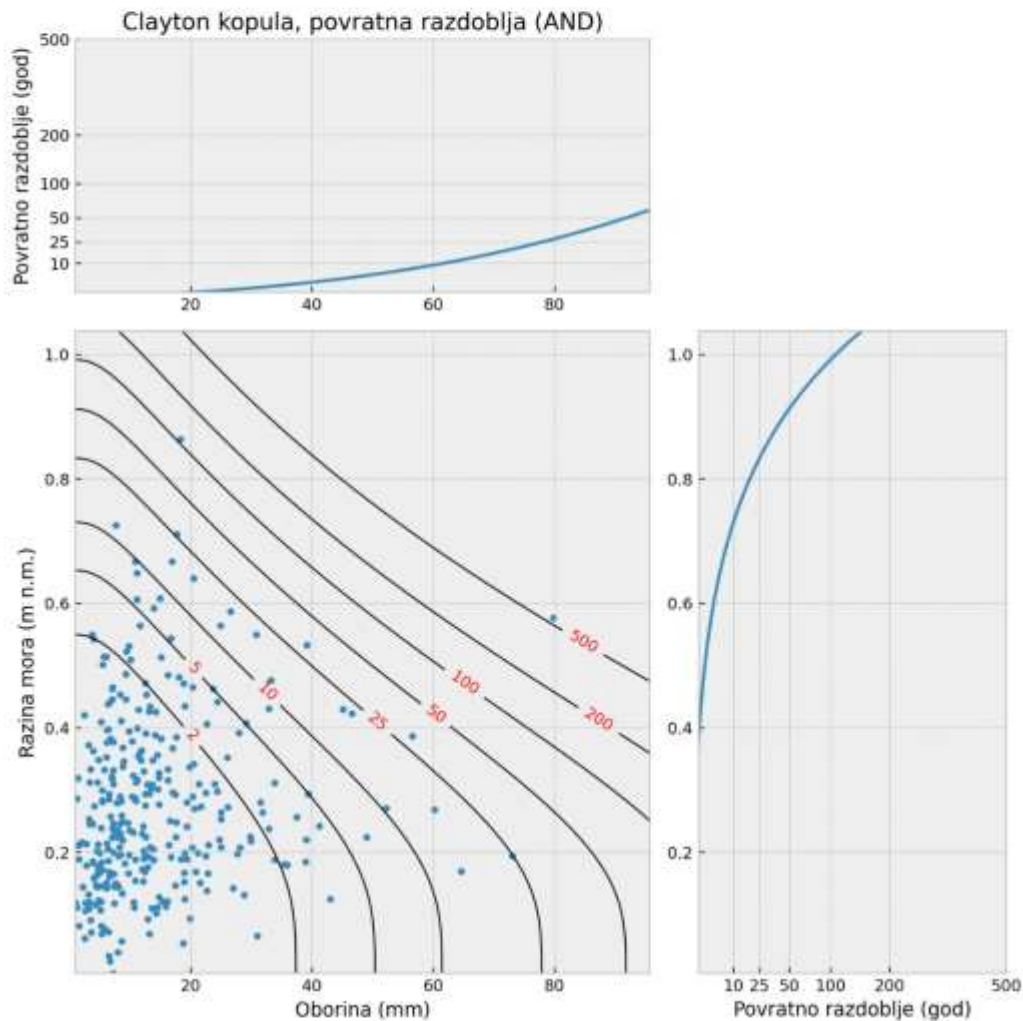
Slika 6.1.9. Usporedba empirijske i teorijske kopule za zajedničku vjerojatnost visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 3 sata**, lijevi panel prikazuju kumulativnu funkciju vjerojatnosti, a desni panel P-P dijagram.



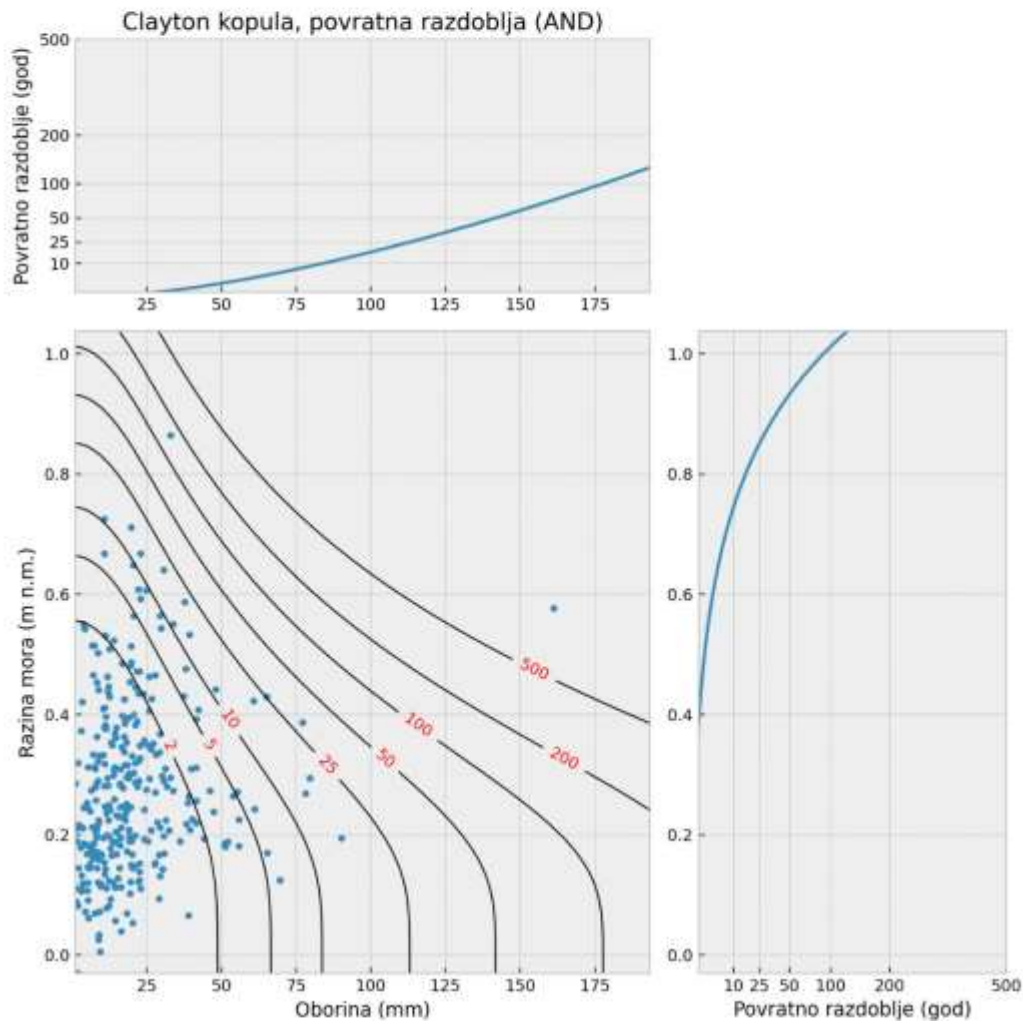
Slika 6.1.10. Usporedba empirijske i teorijske kopule za zajedničku vjerojatnost visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 6 sati**, lijevi panel prikazuje kumulativnu funkciju vjerojatnosti, a desni panel P-P dijagram.



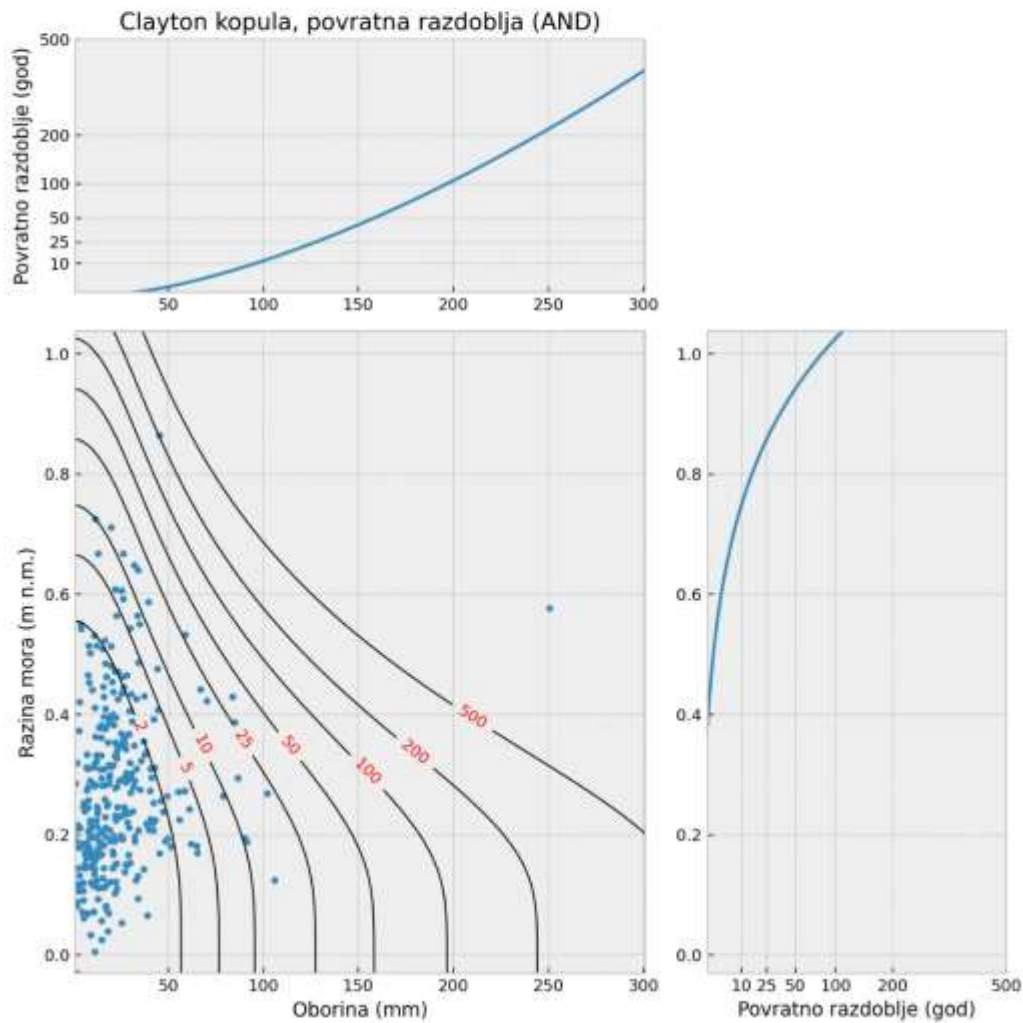
Slika 6.1.11. Usporedba empirijske i teorijske kopule za zajedničku vjerojatnost razina mora i jakih oborina **trajanja 24 sata**, lijevi panel prikazuje kumulativnu funkciju vjerojatnosti, a desni panel P-P dijagram.



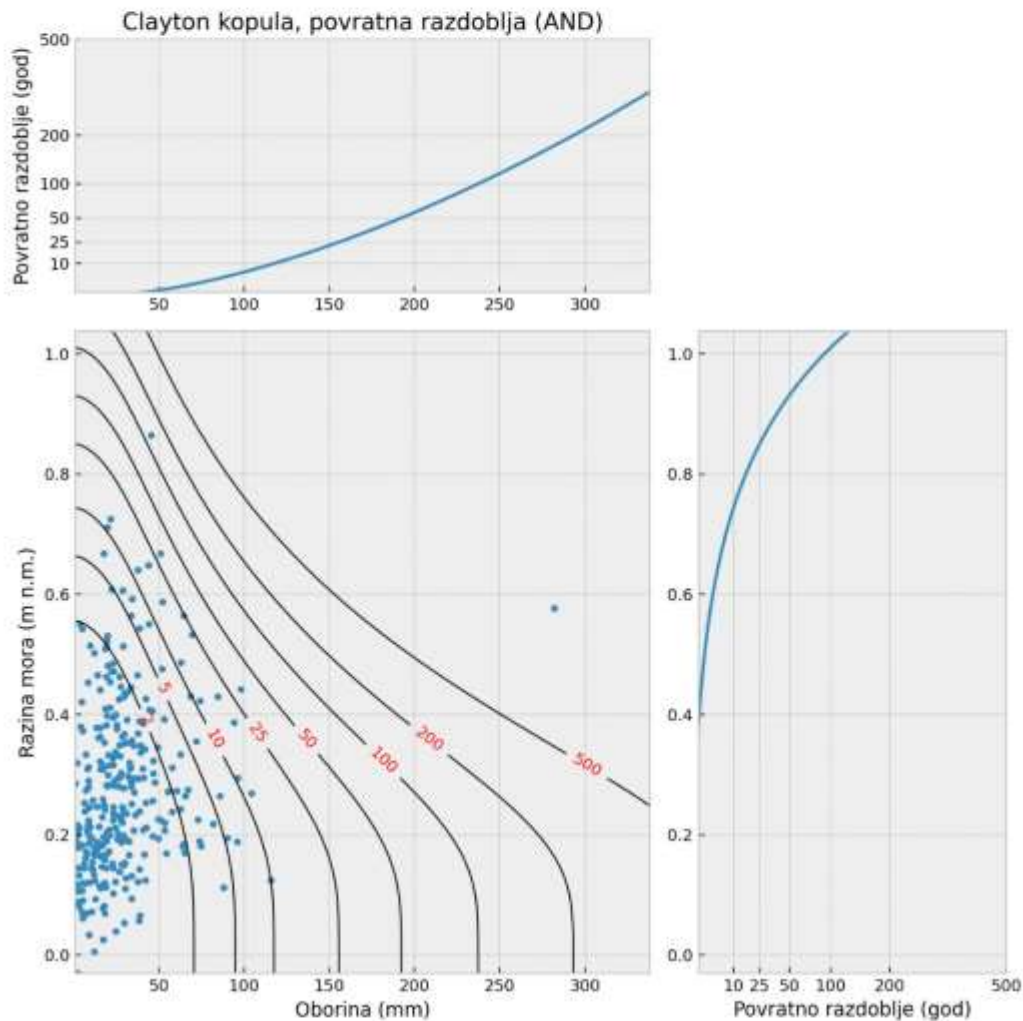
Slika 6.1.12. Vjerojatnost pojave visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 1 sat**: bivarijantna zajednička vjerojatnost (scenarij AND) i univarijantne marginalne vjerojatnosti. Izolinije prikazuju povratne periode u godinama. Točke prikazuju parove zabilježenih mjesečnih maksimalnih vrijednosti u periodu od 1990. – 2019.



Slika 6.1.13. Vjerojatnost pojave visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 3 sata**: bivarijantna zajednička vjerojatnost (scenarij AND) i univarijantne marginalne vjerojatnosti. Izolinije prikazuju povratne periode u godinama. Točke prikazuju parove zabilježenih mjesečnih maksimalnih vrijednosti u periodu od 1990. – 2019.



Slika 6.1.14. Vjerojatnost pojave visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 6 sati**; bivarijantna zajednička vjerojatnost (scenarij AND) i univarijantne marginalne vjerojatnosti. Izolinije prikazuju povratne periode u godinama. Točke prikazuju parove zabilježenih mjesečnih maksimalnih vrijednosti u periodu od 1990. – 2019.



Slika 6.1.15. Vjerojatnost pojave visokih razina mora i jakih oborina **trajanja 24 sata**: bivarijantna zajednička vjerojatnost (scenarij AND) i univarijantne marginalne vjerojatnosti. Izolinije prikazuju povratne periode u godinama. Točke prikazuju parove zabilježenih mjesečnih maksimalnih vrijednosti u periodu od 1990. – 2019.

6.2 Sistematizacija saznanja o utjecajima klimatskih promjena na intenzitet oborina

Uslijed opaženih klimatskih promjena i globalnog zagrijavanja znanstvena zajednica je prepoznala mogućnost jačanja utjecaja kratkotrajnih jakih oborina na pojavu poplava.

Čest koncept kojim se povezuje utjecaj porasta temperature na intenzitet oborine uključuje primjenu Clausius-Clapeyronove jednadžbe koja povezuje promjenu ravnotežnog tlaka vodene pare pri zasićenju s promjenom temperature zraka. Pretpostavka je da će veza između intenziteta oborine i temperature zraka biti bliska vezi ravnotežnog tlaka vodene pare pri zasićenju i temperature zraka jer dostupna vodena para utječe na mogućnost kondenzacije te formiranja oblačnih sustava iz kojih će se razviti intenzivni oborinski događaji. Naravno, osnovna svrha primjene ovog koncepta je omogućiti sažimanje velikog broja raznovrsnih vremenskih situacija koje će ovisiti i o svim drugim faktorima i procesima koji se javljaju u formiranju oblaka iz vodene pare a zatim i oborine iz oblaka i oblačnih sustava. Lokalni procesi kod kojih postoji značajno razumijevanje dodatnog pojačanja početnog utjecaja porasta temperature na porast intenziteta oborine uključuju oslobađanje latentne topline i prateći razvoj konvektivnih sustava, utjecaj topografije na jačanje konvektivne nestabilnosti te utjecaj konvergencije u atmosferskom strujanju a koja omogućava dodatan izvor vodene pare za razvoj oblačnih i oborinskih sustava.

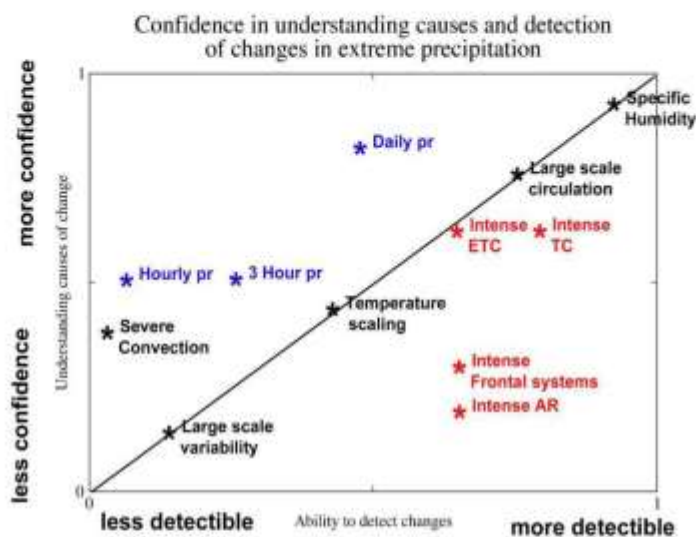
Navedeni tip analiza u smislu skaliranja u ovisnosti o promjeni temperature općenito upućuje na zaključak u kojem intenzivne količine oborine s dužim vremenskim trajanjem (reda veličine jednog dana i dulje) prate skaliranje koje proizlazi iz Clausius-Clapeyronove jednadžbe te iznosi između 6 % i 7 % porasta u intenzitetu takvih oborinskih događaja za svaki porast temperature od 1 °C. Ovaj općeniti rezultat može dodatno ovisiti o utjecaju atmosferskog strujanja i specifičnostima pojedine geografske regije te je prisutna značajna promjenjivost ovisno o lokaciji i tipu mjerenja odnosno tipu korištenih modela. Ipak, intenziteti vrlo rijetkih dnevnih količina oborine a posebno intenziteti kratkotrajnih (satni i minutni intenziteti) jakih oborina mogu biti i dvostruko osjetljiviji na porast temperature zraka te dosežati između 12 % i 14 % porasta u intenzitetu za svaki porast temperature od 1 °C. Uzevši u obzir mogućnost porasta globalne temperature zraka do kraja 21. stoljeća preko 2 °C, porast u intenzitetu dnevnih, satnih i minutnih oborinskih intenziteta ima potencijal vrlo značajnog porasta. Ovdje je potrebno razlikovati promjenu temperature vezanu uz globalno zagrijavanje, u odnosu na promjene temperature koje se događaju na nekoj lokaciji unutar dana ili

godine no za očekivati je da će skaliranje koje dovodi do porasta u intenzitetu jakih oborina biti blisko u oba slučaja.

Utjecaj globalnog zagrijavanja na intenzivne oborinske događaje moguće je istražiti za razdoblja povijesne i sadašnje klime (koristeći dostupna mjerenja i klimatske modele) te buduće klime (koristeći klimatske modele u idealiziranim simulacijama ili projekcijama uz pretpostavke različitih scenarija emisija i koncentracija stakleničkih plinova). U smislu korištenja radarskih i staničnih mjerenja potrebno je osigurati dovoljno duge i homogene nizove i polja koji omogućavaju razdvajanje dugotrajnih klimatskih promjena od prirodne promjenjivosti. U smislu korištenja klimatskih modela visoke rezolucije, rana istraživanja su bila opterećena korištenjem jednog ili manjeg broja klimatskih modela (što dovodi do ovisnosti rezultata o postavljenim pretpostavkama u istim modelima) te relativno kraćih razdoblja simulacija od 10-ak godina. Razvojem regionalnih klimatskih modela, a kasnije i klimatskih modela visoke rezolucije te jačanjem potrebnih računalnih kapaciteta novije generacije klimatskih simulacija i projekcija uključuju veći broj korištenih klimatskih modela (tzv. ansambli simulacija od kojih je za izdvojiti [CORDEX Flagship Pilot Study Convection](#); Coppola i sur. 2020) i dulja trajanja simuliranih povijesnih, sadašnjih i budućih razdoblja. S obzirom na rastući broj radova koji koriste rezultate klimatskih modela, potrebno je naglasiti razliku između tzv. regionalnih klimatskih modela (eng. Regional Climate Models) i klimatskih modela visoke rezolucije (eng. Convection-Permitting Climate Models). Tipični regionalni klimatski modeli koriste prostornu mrežu modela na rezoluciji između 10 km i 50 km te parametriziraju procese vezane za duboku konvekciju (u praksi, koriste poluempirijske izraze koji povezuju neka svojstva oblačnih sustava koji se javljaju pri dubokoj konvekciji s atmosferskim varijablama koje su direktno simulirane a na temelju statističkih veza proizašlih iz analiza motrenja istih veličina). S druge strane, nove generacije klimatskih modela visoke rezolucije koriste prostorne rezolucije između 1 km i 4 km te izravno simuliraju procese vezane za duboku konvekciju tj. ne koriste parametrizacije za ovaj tip procesa. U dugoročnom razvoju klimatskih modela potrebno je adresirati i sve ostale procese koji se zbog malih prostornih dimenzija moraju i dalje parametrizirati (plitka konvekcija, turbulentno miješanje itd).

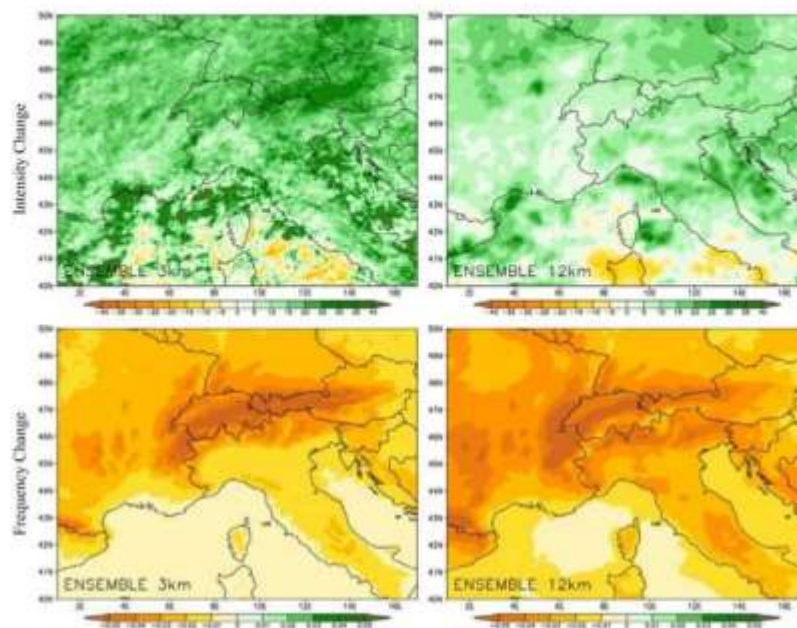
Objedinjujući različite izvore informacija i mogućnosti analiza moguće je ugrubo sažeti koliko kvalitetno možemo detektirati pojedinačne vremenske pojave koje dovode do intenzivnih oborina i s njima povezane varijable u odnosu na trenutni nivo razumijevanja izvora i mehanizama tih istih promjena (Slika 6.1.1). Na primjer, u slučaju analiza satnih intenziteta jakih oborina imamo trenutno ograničene mogućnosti detekcije promjena no nešto veći stupanj pouzdanosti u razumijevanju

procesa koji dovode do promjena kada je ona detektirana. Ranije navedeni primjer primjenjivosti Clausius-Clapeyronovog skaliranja je u središtu ovakvog prikaza, s osrednjim mogućnostima u oba aspekta (detekcija promjene i razumijevanje promjene). Određena ograničenja u primjeni Clausius-Clapeyronovog skaliranja dokumentirana su u npr. Drobinski i sur. (2018) u kojem je analizirana izmjerena i modelirana veza između dnevne temperatura zraka i satnih količina oborine na području Sredozemlja, uključujući i mjerenja na lokaciji Split-Marjan. Konkretna odstupanja od uobičajenog skaliranja su detektirana za visoke temperature zraka u smislu negativne promjene u intenzitetu. Ova zamjena i iznosa i predznaka se često objašnjava kao posljedica ograničene dostupne količine vlage što može biti relativno čest slučaj na području Sredozemlja u razdoblju dugih toplinskih valova i suša. Kao zadnji primjer, promjene specifične vlažnosti zraka današnji sustavi za motrenja i modeliranja mogu izvrsno detektirati, a postoji i jasan fizikalni i analitički okvir koji ovakav tip promjena može uspješno interpretirati.



Slika 6.2.1. Mogućnost detekcije promjena (x-os) i stupanj pouzdanosti u razumijevanju mehanizma promjena (y-os) za različite procese koji dovode do utjecaja klimatskih promjena na značajke pojave jakih oborina, uključujući i kratkotrajne. Slika preuzeta za potrebe ovog izvješća iz Fowler i sur. (2021a).

Slika 6.1.2 prikazuje rezultate projekcija za klimatske simulacije iz Pichelli i sur. (2021) za alpsko područje te sadržava veći dio Hrvatske u domeni simulacija i analiza. Za uočiti je povećanje intenziteta satnih količina oborine i smanjenje učestalosti takvih događaja u razdoblju do kraja 21. stoljeća u odnosu na sadašnju klimu. Osim određenih prostornih varijacija u amplitudi relativnih promjena, za uočiti su intenzivnije promjene u klimatskim modelima visoke rezolucije što dodatno ukazuje na važnost njihovog daljnjeg razvoja s velikim potencijalom primjene. Određeno ograničenje metodologije u Pichelli i sur. (2021) je primjena scenarija značajnog povećanja emisija i koncentracija stakleničkih plinova RCP8.5, s obzirom da je trenutna putanja stvarnih emisija ipak bliža nešto umjerenijem scenariju RCP4.5. Također, prikazane rezultate je potrebno pažljivo interpretirati zbog izražene prostorne varijabilnosti te je prikladno dovoditi zaključke samo za čitavu prikazanu domenu ili određene veće pod domene.



Slika 6.2.2. Relativna promjena u srednjaku ansambla modela u razdoblju 2090.-2099. u odnosu na razdoblje 1996.-2005. za ljetne indekse satne oborine i scenarij RCP8.5. Prvi red: promjena intenziteta, drugi red: promjena učestalosti. Prvi stupac: klimatski modeli visoke rezolucije, desni stupac: regionalni klimatski modeli koji su izvor rubnih uvjeta za klimatske modele visoke rezolucije. Slika preuzeta i modificirana (zadržana 4 panela od ukupno 6) za potrebe ovog izvješća iz Pichelli i sur. (2021).

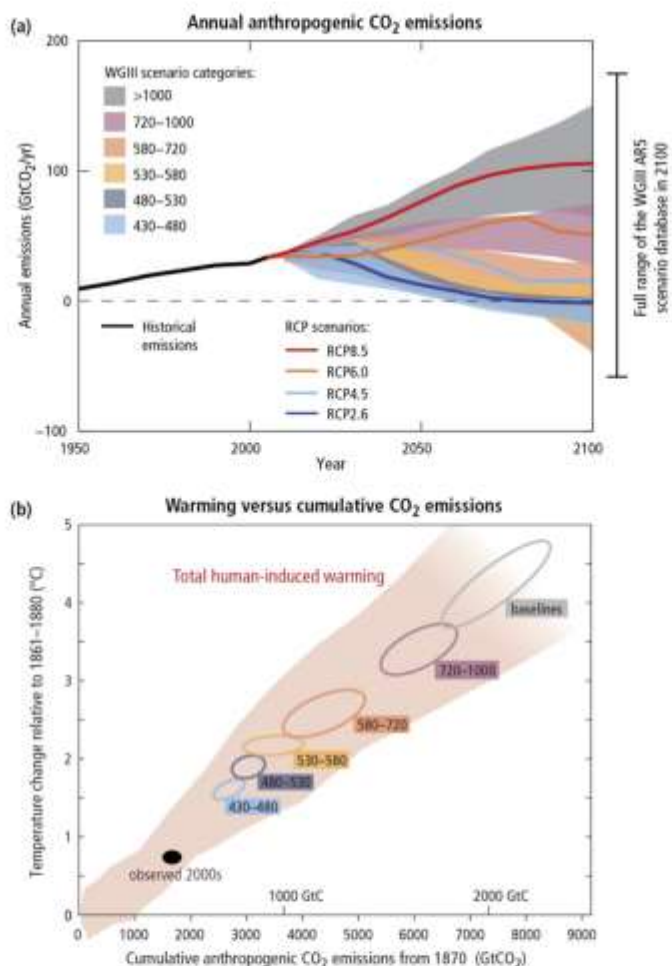
Preporuke za jačanje postojećih i razvoj budućih smjerova istraživanja uključuju daljnje korištenje i razvoj klimatskih modela na rezolucijama koje direktno simuliraju duboku konvekciju (tipičnih prostornih rezolucija u modelima od 1 km do 4 km) i jačanje metoda za detekciju i atribuciju utjecaja klimatskih promjena na vremenske pojave kratkotrajnih jakih oborina. Također, potrebno je uložiti značajne napore u detaljnijem razumijevanju na koji način globalno zagrijavanje utječe na atmosfersku cirkulaciju na sinoptičkoj skali, dinamiku konvektivnih oluja te stabilnost atmosfere, tj. atmosferske procese koji mogu modificirati osnovnu termodinamičku vezu između promjena u temperaturi zraka i promjena u intenzitetu kratkotrajnih jakih oborina. U smislu analiza mjerenih kratkotrajnih jakih oborina, usporedba različitih studija je otežana različitim metodologijama koje sadrže varijacije u pristupima kontroli kvalitete podataka, duljini dostupnih mjerenja, fizikalnim veličinama koje su analizirane, različitostima u primijenjenim statističkim metodama itd., a koje je potrebno i moguće uskladiti kako bi se dobila jasnija regionalna i globalna slika. Konačno, utjecaj klimatskih promjena na značajke pojave kratkotrajnih jakih oborina je potrebno usporedno analizirati i u odnosu na druge procese koji mogu utjecati na iste proces (npr. urbanizacija koja mijenja tip podloge i može lokalno pojačati intenzitet oluja, površinsko otjecanje i povećati vjerojatnost poplave; Fowler i sur., 2021b).

6.3 Sistematizacija saznanja o utjecajima klimatskih promjena na podizanje razine mora

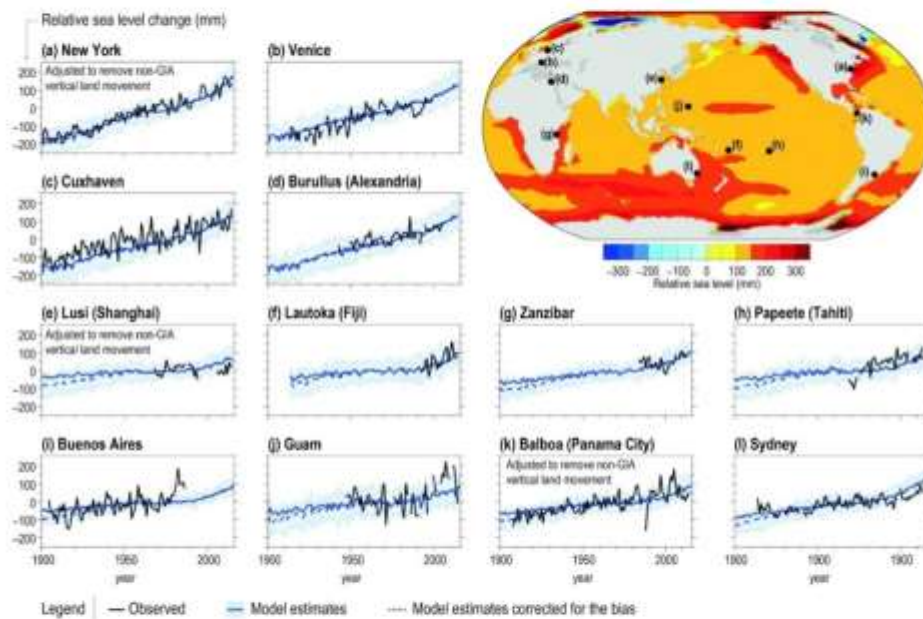
Za procjenu utjecaja klimatskih promjena na ekstremno visoke razine mora duž jadranske obale moguće je koristiti rezultate numeričkih klimatoloških oceanografskih modela za područje Jadranskog mora koji daju procjenu porasta visine mora. Odabrani relevantan srednji modelirani porast razine mora (srednja vrijednost porasta razine mora u promatranom razdoblju) nadodaje se na prethodno izračunate raspodjele ekstremnih razina mora, te se time dobivaju očekivane ekstremne razine mora u budućem razdoblju, uz uvažene klimatske promjene. Tijekom posljednjih 120 godina bilježi se kontinuiran rast razine mora na globalnoj razini, uz ubrzavanje rasta tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Oppenheimer i sur. (2019.) navode da je srednji porast razine mora tijekom 1901-1990. godine iznosi 1.4 mm/godina, tijekom 1970-2015. je iznosio 2.1 mm/godina, tijekom 1993-2015. je iznosio 3.2 mm/godina, a tijekom 2006-2015. čak 3.6 mm/godina. Procjena porasta bazirana je na mareografskim i satelitskim (od 1993) mjerenjima. Dominantan uzrok porasta razine mora trenutno je topljenje ledenjaka i ledenih pokrova (grenlandski i antarktički ledeni pokrov), a nešto manje širenje volumena uslijed zagrijavanja oceana. Očekivani daljnji porast razine mora uvelike će ovisiti o emisiji stakleničkih plinova odnosno o njihovoj budućoj koncentraciji u atmosferi (eng. *representative concentration pathway*). Tradicionalno se prognozira porast razine mora (i druge klimatske promjene) za četiri scenarija buduće koncentracije stakleničkih plinova: RCP2.6 (smanjenje emisije stakleničkih plinova, počevši od 2020. do 2100. – s dolaskom na nulu 2100. godine), RCP4.5 (smanjenje emisije stakleničkih plinova počevši od 2040), RCP6.0 (smanjenje emisije stakleničkih plinova počevši od 2080) i RCP8.5 (povećanje emisije stakleničkih plinova) (Slika 6.3.1).

Na Slici 6.3.2 prikazan je zabilježeni i modelirani porast razine mora diljem svjetskih oceana i mora za razdoblja od 1900 do 2015. godine (Oppenheimer i sur., 2019.). Na Slici 6.3.3 prikazana je prognozirana relativna promjena razine mora za scenarije RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5, kao i pripadni intervali pouzdanosti. Na Slici 6.3.3 prikazana je regionalna razdioba relativne promjene razine mora za dva perioda: 2046.-2065., i 2081.-2100., i za tri emisijska scenarija: RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5 (Oppenheimer i sur., 2019.). Evidentno je da se na području Jadrana očekuje srednji porast razine mora u iznosu od 20 do 80 cm do kraja 21. stoljeća. Uslijed očekivanog porasta razine mora, ekstremno visoke razine mora će postati puno učestalije. Očekuje se da će se ekstremne razine mora s povratnim periodom od 100 godina do kraja 21. stoljeća povećati za 50-90 cm, te da će se epizode

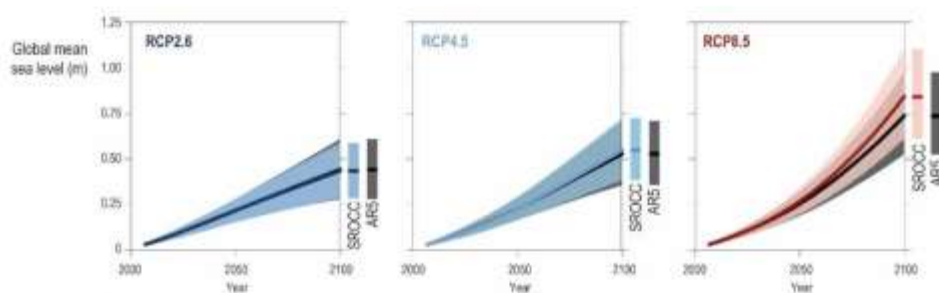
ekstremnih razina mora koje trenutno imaju povratni period od 100 godine, do 2100. godine, imati povratni period od svega 3 godine (Vousdoukas i sur., 2017.). Prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama u Republici Hrvatskoj za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu procjene rasta srednje razine mora na hrvatskoj obali kreću se u rasponu od 0,32 do 0,65 m do 2100. godine.



Slika 6.3.1. Koncentracija CO₂ u atmosferi u ovisnosti o scenariju emisije stakleničkih plinova (IPCC, 2014.)



Slika 6.3.2. Vremenski nizovi izmjenog i modeliranog porasta razine mora na niz mareografskih postaja (uključena i Venecija); te modelirana globalna distribucija relativne promjene razine mora, sve za razdoblje 1900-2015. (Oppenheimer i sur., 2019)



Slika 6.3.3. Globalni porast razine mora (srednjak i intervali pouzdanosti) za tri klimatska scenarija. (Oppenheimer i sur., 2019)

7 Analiza složenih poplava u slivu Vruljica u Zadru

7.1 Metodologija analize složenih poplava u slivu Vruljica

Analiza složenih poplava uslijed kombiniranog djelovanja visokih razina mora i jakih oborina provodi se u slivu Vruljica u Zadru. U priobalnom dijelu sliva Vruljica nalazi se park Vruljica gdje su povijesno zabilježene značajne poplave od supojave visokih razina mora i jakih oborina. Iz tog je razloga ovo područje izdvojeno kao predmet navedenih analiza. Na Slici 7.1.1 prikazane su granice sliva Vruljica te šire područje parka Vruljica (označeno kao zona A) u kojemu se analiziraju složene poplave. Na Slici 7.1.2 prikazano je nekoliko fotografija parka Vruljica tijekom i nakon poplava.



Slika 7.1.1. Granice sliva Vruljica te šire područje parka Vruljica (označeno kao zona A)



Slika 7.1.2. Fotografije parka Vruljica tijekom i nakon poplave 2017. godine (preuzeto iz online izvora).

Park Vruljica veličine je 5 ha, a kroz njega prolazi kanal koji prikuplja sve površinske vode sa pripadajućeg sliva. Kanal je trapeznog oblika i obložen je prirodnim kamenom. Točne dimenzije poprečnog presjeka kanala nisu poznate, ali okvirno se radi o širini dna kanala od oko 1 m u uzvodnom dijelu parka do 2 m u nizvodnom dijelu parka, s nagibom bočnih stranica kanala 1:2. U parku je prisutno više manjih povremenih izvora, a najveći izvor se nalazi u središnjem dijelu parka ispod ugostiteljskog objekta. Ovaj izvor preljeva se putem kratkog pritoka direktno u glavni kanal. Na najnižvodnijem dijelu parka nalazi se cestovni propust kroz koji se površinske vode ispuštaju u more u marini Zadar. Na ovaj način omogućena je kontinuirana komunikacija s morem što znači da je šire područje parka Vruljica podjednako izloženo djelovanju mora i dotoka površinskih voda s uzvodnog dijela sliva.

U okviru projekta STREAM u parku Vruljica instalirana su tri mjerna uređaja – radarske hidrološke postaje koje kontinuirano mjere dubinu i brzinu vode – te jedan mjerni uređaj u marini Zadar (Slika 7.1.3). Nažalost tijekom trajanja predmetne studije nisu zabilježeni ekstremni poplavni događaji, niti oborinski niti oceanografski, pa nije provedena direktna kalibracija modela, ali će instalirani uređaji omogućiti buduće analize i bolje razumijevanje poplavnih događaja na ovoj lokaciji.

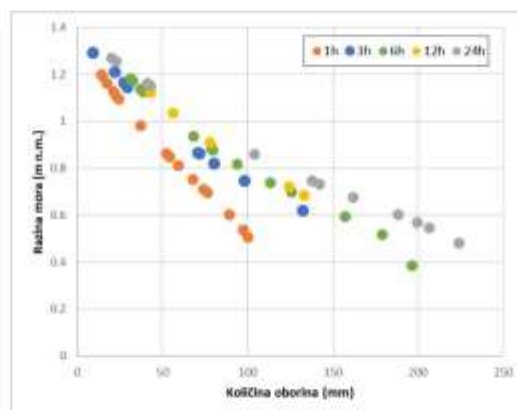


Slika 7.1.3. Park Vruljica s izdvojenim lokacijama hidrauličkih građevina i instaliranih mjernih uređaja.

Analiza složenih poplava provedena je u tri koraka, odnosno kroz tri zasebne analize:

- Prvo je izrađen **model dinamike mora** kako bi se za različite kombinacije razina mora i brzine vjetra proračunale deformacije morskih valova te odredila lokalna razina mora neposredno ispred parka Vruljica.
- Potom je izrađen **hidrološki model sliva Vruljica** kako bi se za svaku razmatranu oborinu definirao hidrogram površinskih voda koje dotječu u park Vruljica.
- Na temelju prethodne dvije analize izrađen je **2D hidraulički model parka Vruljica** putem kojeg je simulirano istodobno djelovanje mora (s jugozapada) te dotoka površinskih voda s uzvodnog dijela sliva (sa sjeveroistoka).

Scenariji složenih poplava su definirani za malu vjerojatnost pojavljivanja (100-godišnje povratno razdoblje) te za različite kombinacije visokih razina mora i jakih oborina koje su dobivene uzrokovanjem bivarijantne zajedničke vjerojatnosti (prikazano u poglavlju 5.1). Na Slici 7.1.4 prikazani su parovi visokih razina mora i jakih oborina različitog trajanja za koje su provedene predmetne simulacije. Treba napomenuti da razine mora prikazane u poglavlju 5.1. odgovaraju rezidualima ekstremnih razina mora (atmosferski doprinos), stoga je vrijednostima iz poglavlja 5.1. pridodana deterministička komponenta plimnog signala koja iznosi 30 cm. Također je razmatrana i promjena srednje razine mora uslijed klimatskih promjena, stoga je za scenarij „uz klimatske promjene“ usvojen porast srednje razine mora od 60 cm, što je najvjerojatniji scenarij prema posljednjem IPCC izvješću, kao i prema Strategiji prilagodbe klimatskim promjenama.



Slika 7.1.4. Kombinacije istodobnog djelovanja jakih oborina i visokih razina mora na području Zadra za povratno razdoblje 100 godina i različita trajanja oborina.

7.2 Uspostava modela složenih poplava u slivu Vruļjica

7.2.1 Model dinamike mora ispred uvale Vruļjica

Numerička analiza valnih deformacija u luci Zadar i uvali marine Zadar ispred Vruļjice provedena je za vjetrovne valove iz SE i SW smjera povratnog perioda 25 i 100 godina, za sadašnje i buduće razine mora. Za provedbu analize valovanja korišten je programski paket Simulating Waves Nearshore (SWAN) Cycle III. SWAN je numerički model treće generacije koji se temelji na Eulerovoj formulaciji ravnotežne jednadžbe spektralnog djelovanja valova. Model omogućuje proračun propagacije valova u priobalnim područjima te uključuje većinu relevantnih fizikalnih procesa, kao što su: generiranje vjetrovnih valova, propagacija valova u vremenskoj i prostornoj domeni, opličavanje valova, refrakciju valova uzrokovanu morskim strujama i dubinom, lom valova uslijed promjene dubine, trenje s dnom, te transmisiju i refleksiju valova, te difrakciju valova u plitkom području.

Digitalni model terena podmorja (batimetrija) izrađena je na temelju digitalnog modela visina izrađenog u okviru predmetne studije (vidi poglavlje 4). Numeričke simulacije provedene su za domenu šireg akvatorija luke Zadar. Veličina prostorne domene je 2200 x 1900 m, prostorni korak $\Delta x = 5$ m i $\Delta y = 5$ m (Slika 7.2.1).



Slika 7.2.1. Prostorna domena numeričkih simulacija šireg akvatorija luke Zadar

Numeričke simulacije valovanja u luci Zadar provedene su s pretpostavljenim parametrima refleksije valova obale koji su prikazani na Slici 7.2.2. Vertikalni dijelovi obale simulirani su s koeficijentom refleksije 0,90, dok su sektori obale s kamenom oblogom simulirani s koeficijentom refleksije 0,50. Gat marine Zadar na ulasku u uvalu Vruja simuliran je s koeficijentom refleksije 0,50 i koeficijentom transmisije valova 0,50 (Slika 7.2.2, žuta boja). Utjecaj ostalih gatova u uvali marine Zadar nije simuliran zbog značajne transmisije valova ispod njihove konstrukcije. Lukobran na ulazu u luku Zadar izgrađen je od oštrobriđnog lomljenog kamena, te je simuliran koeficijentom refleksije valova 0,50.



Slika 7.2.2. Koeficijenti refleksije i transmisije valova numeričkih simulacija

Numeričke simulacije valovanja u luci Zadar provedene su za vjetrovne valove iz SE (jugo) i SW (garbin) smjera, pošto se radi o najnepovoljnijim smjerovima valovanja za luku Zadar i uvalu marine Zadar. Numeričke simulacije su provedene za uniformno polje vjetra povratnog perioda 25 i 100 godina (Poglavlje 4.1.1). Parametri valova rubnih uvjetima modela numeričkih simulacija preuzeti su iz rezultata modela šireg akvatorija (Poglavlje 4.3).

Tablica 7.2.1. Parametri polja vjetra i valova rubnih uvjeta numeričkih simulacija valova

Smjer	PP	Vjetar		Val	
		w (m/s)	DIR (°)	H _s (m)	DIR (°)
SW	25	16,0	225	0,96	225
SW	100	17,0	225	1,11	225
SE	25	18,4	135	1,60	135
SE	100	19,4	135	1,90	135

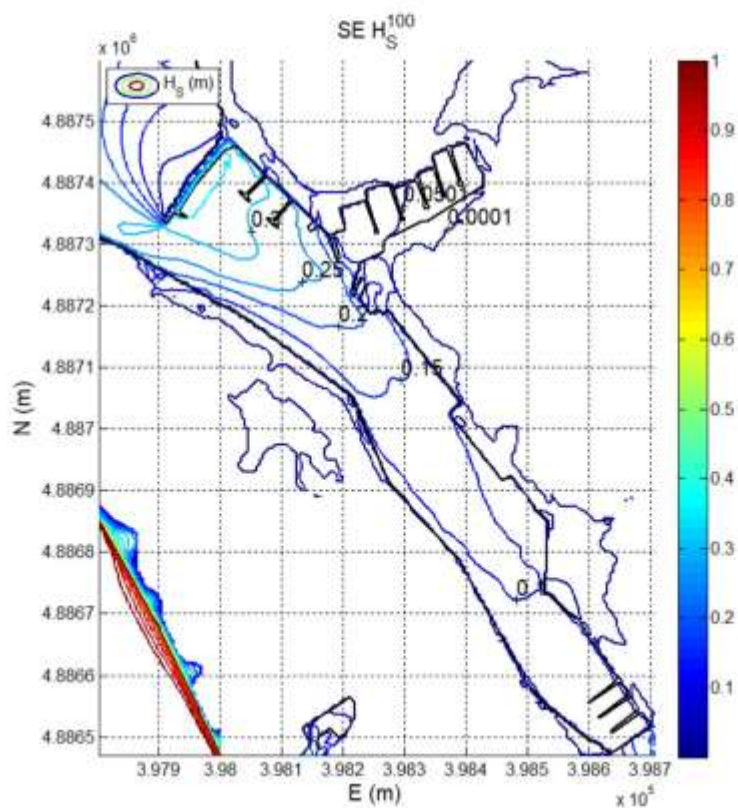
Numeričke simulacije valovanja provedene za morske razine bez utjecaja predviđenih klimatskih promjene (BKP) i sa utjecajem klimatskih promjena (KP) za 25 i 100 godišnji povratni period (Tablica 7.2.1). Mjerodavne vrijednosti morske razine preuzete su iz Poglavlja 4.1.5, a prikazane su u Tablici 7.2.2.

Tablica 7.2.2. Morske razine numeričkih simulacija valova bez utjecaja predviđenih klimatskih promjene (BKP) i sa utjecajem klimatskih promjena (KP)

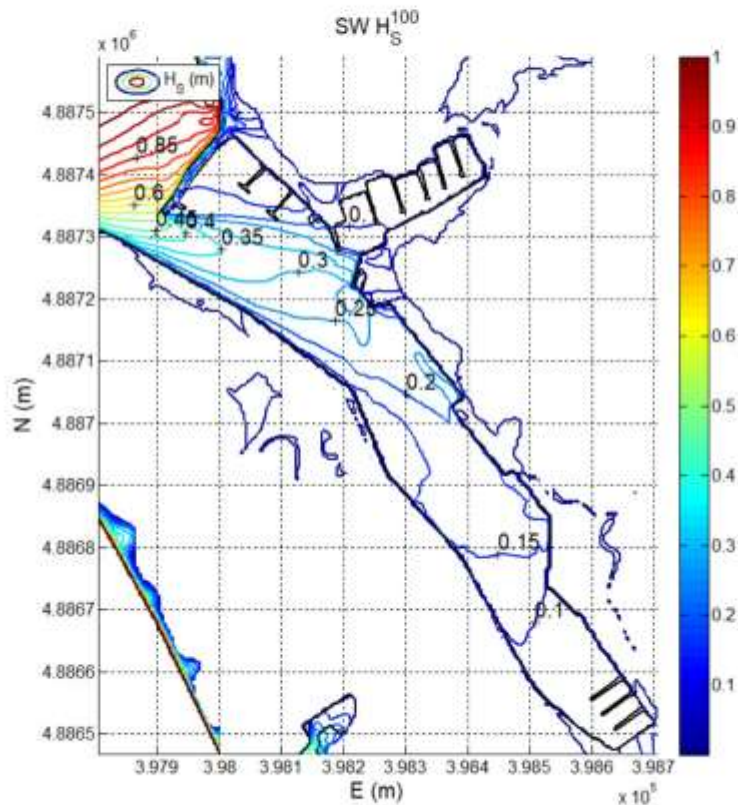
Morske razine		
PP	Scenarij	(m n.m.)
25	BKP	+1,13
100	BKP	+1,23
25	KP	+1,73
100	KP	+1,83

Numeričke simulacije valovanja luke Zadar provedene su za kombinacije valovanja iz smjera SE i SW, 25 i 100 godišnjeg povratnog perioda, sa mjerodavnim razinama mora sa i bez predviđenih klimatskih promjena 25 i 100 godišnjeg povratnog perioda. Provedeno je 16 numeričkih simulacija različitih varijacija vjetrovnih valova i razina mora.

Na Slikama 7.2.3 i 7.2.4 prikazani su rezultati numeričkih simulacija značajnih valnih visina 100 godišnjeg povratnog perioda iz smjera SW i SE za morske razine u slučaju predviđenih klimatskih promjena 100 godišnjeg povratnog perioda.



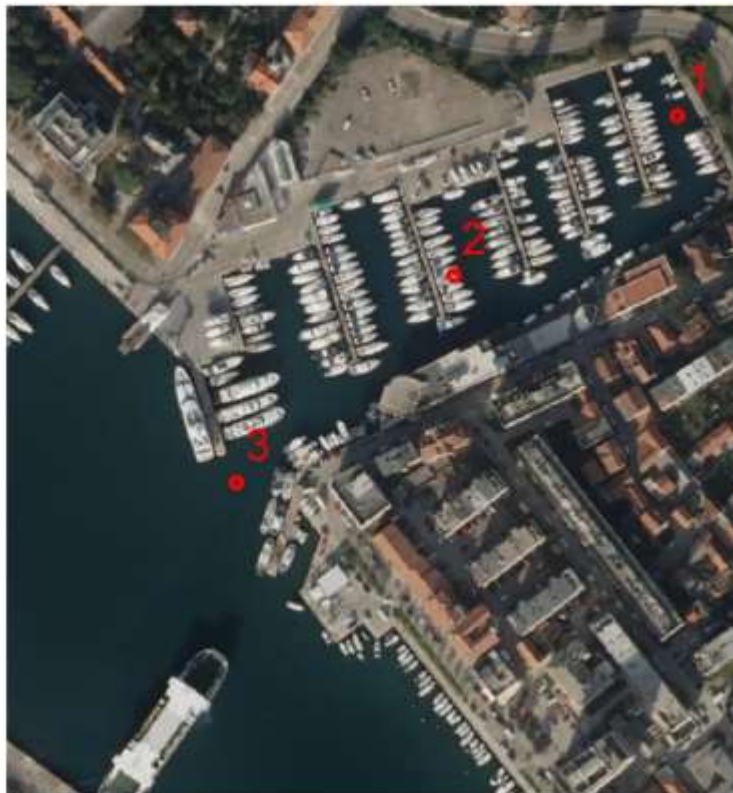
Slika 7.2.3. Značajne valne visine, SE smjer 100-god. povratni period, morska razina +1,83 m nm.



Slika 7.2.4. Značajne valne visine, SW smjer 100-god. povratni period, morska razina +1,83 m nm.

Akvatorij luke Zadar dobro je zaštićen od djelovanja valova za sadašnje i buduće stanje, što je potvrđeno rezultatima numeričkih deformacija valova ekstremnih događaja za predviđene ekstremne morske razine. Uvala marine Zadar dodatno je zaštićena od djelovanja valova, te su u njezinom akvatoriju visine valova manje od 10 cm, također ne očekuju se povećanja razine mora u dnu marine Zadar u odnosu na razine mora u kanalu Zadar.

Rezultati numeričkih simulacija valovanja prikazani su za 3 točke u uvali marine Zadar (Slika 7.2.5) u Tablici 7.2.3. Značajne visine valova u dnu uvale Vruja (točka 1) su manje od 10 cm za sve provedene kombinacije numeričkih simulacija valovanja. Na ulazu u uvalu Vruja (točka 3) značajne visine valne visine su manje od 30 cm.



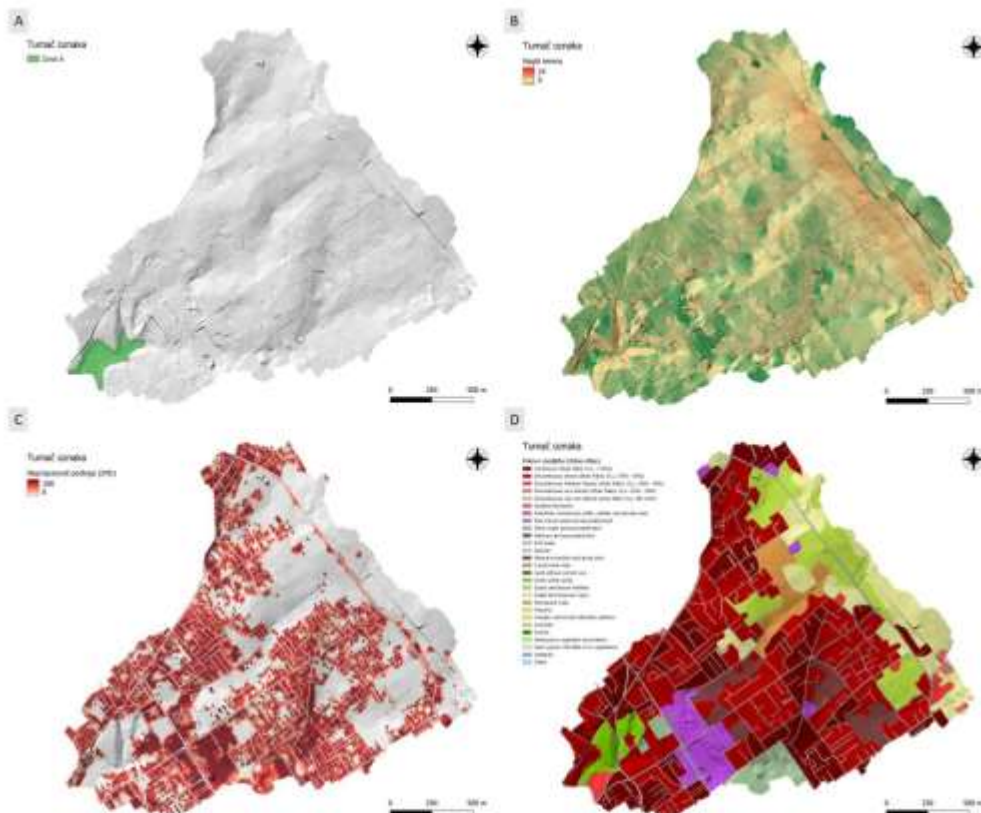
Slika 7.2.5. Točke prikaza rezultata numeričkih simulacija u uvali marine Zadar.

Tablica 7.2.3. Ulazni parametri i rezultati numeričkih simulacija valovanja

Vjetrovni valovi						Morska razina			Analizirane točke					
Smj.	PP	Vjetar		Val		MR			1		2		3	
		w (m/s)	DIR (°)	H _s (m)	DIR (°)	PP		(m nm)	H _s (m)	d (m)	H _s (m)	d (m)	H _s (m)	d (m)
SW	25	16,0	225	0,96	225	100	BKP	1,23	0,05	5,39	0,06	7,34	0,24	8,21
SW	100	17,0	225	1,11	225	100	BKP	1,23	0,08	5,39	0,09	7,34	0,28	8,21
SW	25	16,0	225	0,96	225	25	BKP	1,13	0,06	5,28	0,07	7,24	0,24	8,11
SW	100	17,0	225	1,11	225	25	BKP	1,13	0,08	5,29	0,09	7,24	0,28	8,11
SW	25	16,0	225	0,96	225	100	KP	1,83	0,06	5,99	0,06	7,94	0,24	8,81
SW	100	17,0	225	1,11	225	100	KP	1,83	0,07	5,99	0,08	7,94	0,28	8,81
SW	25	16,0	225	0,96	225	25	KP	1,73	0,06	5,89	0,07	7,84	0,24	8,71
SW	100	17,0	225	1,11	225	25	KP	1,73	0,08	5,89	0,08	7,84	0,28	8,71
SE	25	18,4	135	1,60	135	100	BKP	1,23	0,03	5,38	0,04	7,34	0,13	8,21
SE	100	19,4	135	1,90	135	100	BKP	1,23	0,03	5,38	0,05	7,34	0,16	8,21
SE	25	18,4	135	1,60	135	25	BKP	1,13	0,03	5,28	0,04	7,24	0,13	8,11
SE	100	19,4	135	1,90	135	25	BKP	1,13	0,03	5,28	0,05	7,24	0,16	8,11
SE	25	18,4	135	1,60	135	100	KP	1,83	0,03	5,98	0,04	7,94	0,14	8,81
SE	100	19,4	135	1,90	135	100	KP	1,83	0,03	5,98	0,05	7,94	0,17	8,81
SE	25	18,4	135	1,60	135	25	KP	1,73	0,03	5,88	0,04	7,84	0,14	8,71
SE	100	19,4	135	1,90	135	25	KP	1,73	0,03	5,88	0,05	7,84	0,17	8,81

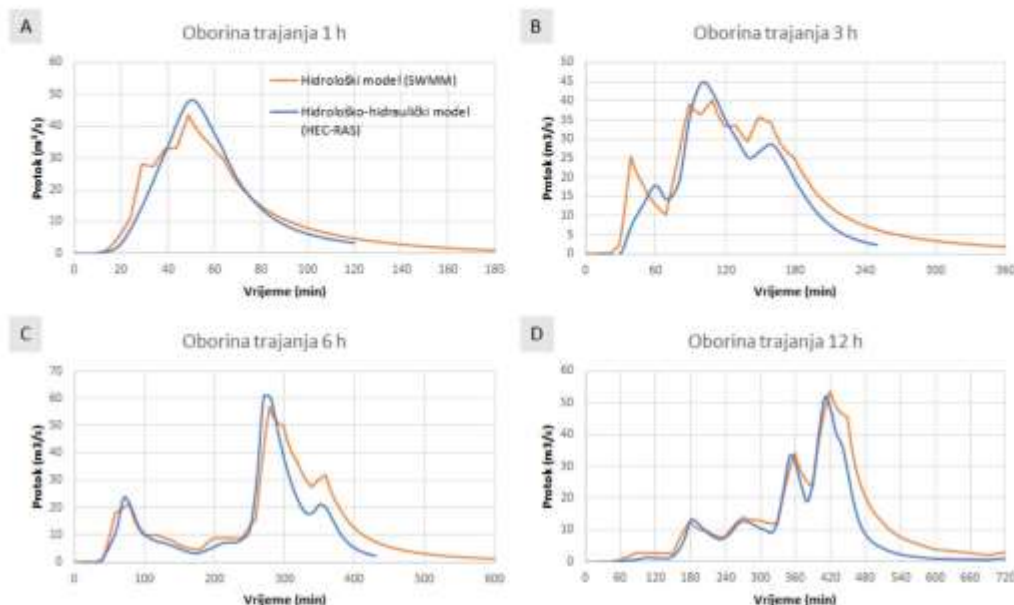
7.2.2 Hidrološki model sliva Vruļjica

Hidrološki model sliva Vruļjice izrađen je u SWMM računalnom programu. GIS analizom je određena površina sliva, nagib sliva, udio nepropusnih površina te hrapavost i prosječni CN broj koji su određeni iz karte pokrova zemljišta prema metodologiji opisanoj u Poglavlju 3.2. Digitalni model terena te raspodjela navedenih parametara po slivu prikazana je na Slici 7.2.6.



Slika 7.2.6. Sliv Vruļjice: a) digitalni model terena, b) nagibi terena, c) gustoća nepropusnih površina, d) karta pokrova zemljišta (Urban Atlas).

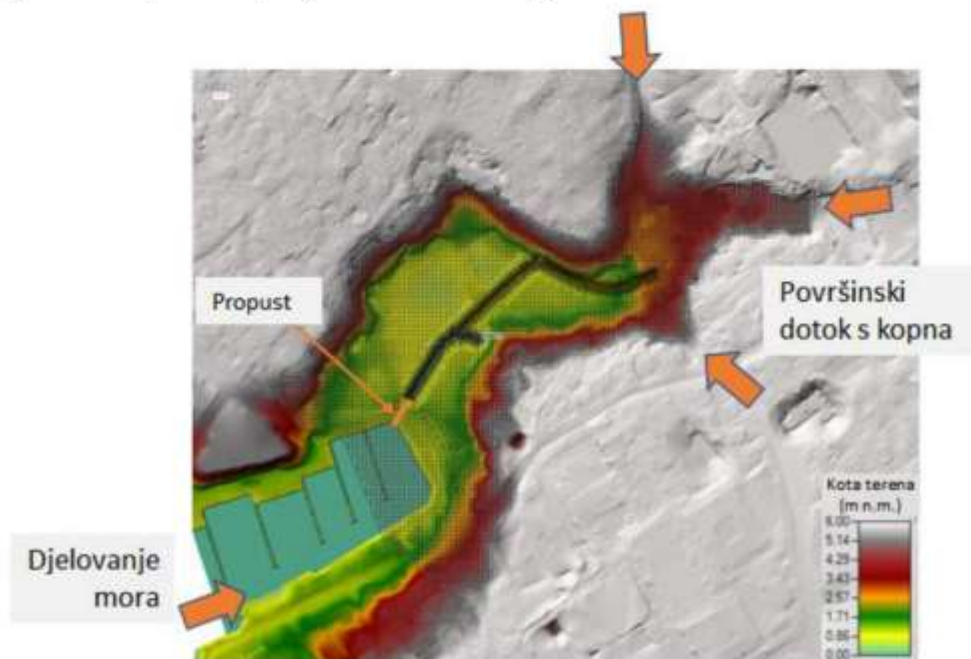
Hidrološki model u SWMM programu izrađen je kao sveden model (eng. *Lumped*), a parametri dobiveni GIS analizom (prvenstveno hrapavost i nagib terena) su kalibrirani usporedbom s protocima dobivenim iz 2D hidrološko-hidrauličkog modela izrađenog u okviru analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica (Poglavlje 5). Sliv je površine 3,1 km², prosječnog nagiba 6,3 %, s 40,7 % nepropusnih površina. Na Slici 7.2.7 prikazana je usporedba protoka dobivenih nakon kalibracije hidrološkog modela i 2D hidrološko-hidrauličkog modela za oborine različitog trajanja i povratnog razdoblja 100 godina. Iz danih prikaza se može zaključiti kako je hidrološki model dovoljno precizan za predmetne analize (vrlo slične vrijednosti vršnih protoka i ukupnih volumena), odnosno za generiranje hidrograma otjecanja sa sliva Vruljica za različite oborine prikazane na Slici 7.1.4. Hidrogrami generirani hidrološkim modelom koristit će se kao ulazni podaci (rubni uvjet) u hidraulički model složenih poplava u parku Vruljica.



Slika 7.2.7. Usporedba rezultata otjecanja oborinskih voda sa sliva Vruljica kalibriranim hidrološkim modelom izrađenim u SWMM računalnom programu te 2D hidrološko-hidrauličkim modelom izrađenim u HEC-RAS računalnom programu.

7.2.3 Hidraulički model parka Vruljica

Dvodimenzionalni hidraulički model izrađen je u HEC-RAS 6.2. računalnom programu (Brunner, 2021.). Glavni detalji vezani uz uspostavu modela opisani su prethodno u Poglavlju 3.2.3. Prostorna domena obuhvaća šire područje parka Vruljice, odnosno dio sliva Vruljice s nadmorskim visinama ispod kote +5,0 m n. m. Proračunska mreža definirana je unutar domene modela, korištena je strukturirana pravokutna mreža širine 4,0 m, koja je modificirana uzduž osi kanala s širinom od 2,0 m (Slika 7.2.8). Komunikacija između kanala i mora definirana je odgovarajućim hidrauličkim elementom (propustom). Osnovne prostorne podloge, uključujući kartu CN brojeva, kartu nepropusnosti podloge i kartu hrapavosti direktno su implementirani u matematički model HEC-RAS na temelju prostornih podloga prikazanih u Poglavlju 3.2.1. Za razliku od modela na mezo razini, u ovom slučaju korišten je digitalni model terena visoke rezolucije (0,5 m) dobiven geodetskom izmjerom terena, odnosno primjenom LiDAR tehnologije.



Slika 7.2.8. Model terena i proračunska mreža model parka Vruljica u HEC-RAS računalom programu.

U okviru modela definirana su dva rubna uvjeta na granicama domene (linijski rubni uvjeti):

- Na sjeveroistočnoj (kopnenoj) granici domene zadan je hidrogram dobiven iz hidrološkog modela (prikazano uz prethodnom potpoglavlju).
- Na jugozapadnoj (morskoj) granici domene zadana je visoka razina mora (vidi sliku 7.1.4).

U svrhu numeričke analize toka vode korišten je nestacionarni 2D proračun te sustav jednadžbi opisan metodom dinamičkog vala (eng. *Shallow Water Equations*) 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 2,0. Ukupno je provedeno 56 računalnih simulacije za različite kombinacije razina mora i jakih oborina (različitog trajanja).

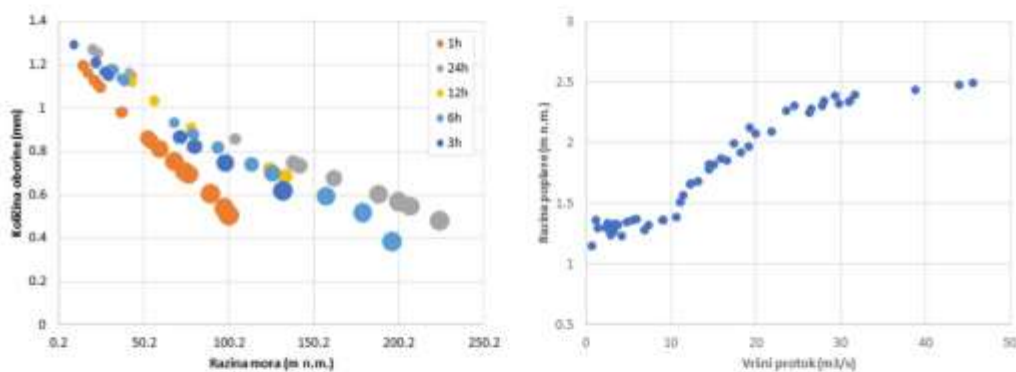
7.3 Rezultati analize složenih poplava u slivu Vruljica

Ukupno je provedeno 56 simulacija za scenarij „sadašnja klima“ i 56 simulacija za scenarij „uz klimatske promjene“. Svaka simulacija definirana je različitom kombinacijom visoke razine mora i jake oborine, odnosno hidrograma otjecanja površinskih voda. Maksimalne razine plavljenja parka Vruljica za svaku kombinaciju razine mora i količine oborine (dotoka površinskih voda) prikazane su na Slici 7.3.1 za scenarij „sadašnja klima“ te na Slici 7.3.2 za scenarij „uz klimatske promjene“. U prvom scenariju maksimalno plavljenje do kote +2,49 m n.m. javlja se za razinu mora +0,51 m n.m. i količinu oborine 100 mm trajanja 1 h, dok se u drugom scenariju maksimalno plavljenje do kote +2,52 m n.m. javlja za razinu mora +1,11 m n.m. i količinu oborine 100 mm trajanja 1 h. Na Slici 7.3.3 prikazan je prostorni obuhvat maksimalnih dubina plavljenja za scenarij „sadašnja klima“.

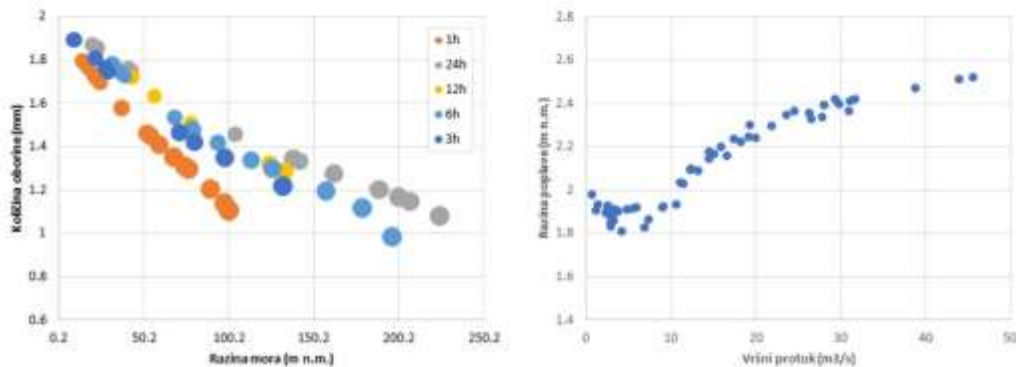
U oba scenarija je primjetno da se maksimalne dubine plavljenja javljaju za maksimalnu vrijednost vršnog dotoka s uzvodnog dijela sliva ($48 \text{ m}^3/\text{s}$), što se može pripisati nedovoljnom protočnom kapacitetu cestovnog propusta za ekstremne oborinske događaje. U ovom kontekstu, visoka razina mora nema posebno naglašen nepovoljan utjecaj na plavljenje jer već sam propust predstavlja „prepreku“ slobodnom istjecanju oborinskih voda iz parka Vruljica u more. Pritom treba napomenuti da visoka razina mora svakako može imati nepovoljan utjecaj pri istjecanju površinskih voda rjeđeg povratnog perioda, odnosno redovnih jakih oborina.

U hidrauličkom smislu, park Vruljica funkcionira kao svojevrsna retencija za prihvata i zadržavanje površinskih voda sa pripadajućeg sliva. Kao moguće rješenje plavljenja parka nameće se

rekonstrukcija cestovnog propusta, odnosno povećanje njegovih dimenzija. Međutim u tom slučaju će visoke razine mora i njihov nepovoljan utjecaj doći do jačeg izražaja te je pri planiranju takvih zahvata neophodno provesti detaljna hidraulička istraživanja potencijalnih varijantnih rješenja uzimajući u obzir vjerojatnost supojave visokih razina mora i jakih oborina.



Slika 7.3.1. Maksimalne razine plavljenja parka Vruljica za: a) različite kombinacije visokih razina mora i jakih oborina (veličina točke odgovara razini plavljenja), b) za vršni protok površinskih voda, prema scenariju "sadašnja klima".



Slika 7.3.2. Maksimalne razine plavljenja parka Vruljica za: a) različite kombinacije visokih razina mora i jakih oborina (veličina točke odgovara razini plavljenja), b) za vršni protok površinskih voda, prema scenariju "uz klimatske promjene".



Slika 7.3.3. Maksimalne dubine poplavljenog područja parka Vruljica za malu vjerojatnost pojavljivanja i scenarij „sadašnja klima“.

8 Analiza onečišćenja oborinskih voda

8.1 Analiza oborinskih voda na području grada Zadra

8.1.1 Uvodno o analizi oborinskih i slivnih voda

Slivne vode su vode nastale na području zahvaćenom padalinama (kiša i snijeg) ili uslijed djelovanja čovjeka. Prirodnim putem, uslijed gravitacije, otjecanje vode odvija se u pravilu u smjeru nižeg terena gdje je to moguće (ako je podloga nepropusna), gotovo vertikalno u slučaju propusne podloge (npr. ravničarski krški dijelovi) ili se stvaraju kratkotrajna umjetna jezera u slučajevima nepropusne ili slabo propusne podloge na ravnom tlu. U konačnici oborinske/slivne vode završavaju u podzemnim spremnicima, rijekama odnosno u moru.

Otjecanje je izuzetno važno jer ne samo da održava rijeke i jezera punima vode, već također mijenja krajolik djelovanjem erozije. Tekuća voda ima ogromnu moć — može pomicati stijene i izrezbariti kanjone; kao što su kanjoni naših većih krških rijeka Zrmanje, Krke i Cetine.

Najveće površinsko otjecanje se naravno događa tijekom oluja, a puno više vode teče i rijekama (i kao otjecanje) tijekom oluja. Otjecanje, naročito u urbanim sredinama, može pokupiti i taložiti štetne zagađivača poput smeća, kemikalija, ulja i metala iz prometa i prljavštine u potoke, jezera i podzemne vode, te na kraju u more. Ceste, parkirališta, gradilišta, nepropisno uskladišten otpad i ilegalna odlagališta potencijalni su izvori zagađivača oborinskih voda. Naročito su onečišćene prve oborinske vode nakon dužeg sušnog razdoblja.

8.1.1.1 Metali u tragovima

Metali su važan čimbenik svakog vodenog okoliša, jer o njima ovisi bioraznolikost vodenog ekosustava. U okolišu su oduvijek prirodno prisutni, a njihova koncentracija regulirana je prirodnim procesima. Osim za održanje života, metali su prisutni i u mnogim drugim procesima unutar nekog vodenog sustava. Koncentracija metala u vodama kontrolirana je atmosferskom precipitacijom i trošenjem stijena i tla, a razvojem ljudske civilizacije njihova koncentracija raste u vodama. Industrija, otpadne vode, kućanski i industrijski otpad i riječni donos doprinose povećanoj koncentraciji metala u moru. Urbani razvoj sve više rezultira povišenim zagađenjima na lokacijama u blizini velikih gradova/tvornica/luka. Zrakom se također prenosi sve više metala koji se ispuštaju u obliku čestica ili para. Mjerenjem koncentracije metala u tragovima pratimo ljudski utjecaj na

lokalnoj i globalnoj prirodnoj skali, jer su koncentracije mnogih porasle zbog pretjerane ljudske eksploatacije prirode i razvoja industrije. Važno je imati na umu da metali nisu biorazgradivi i da jednom uneseni u okoliš zauvijek ostaju njegov dio.

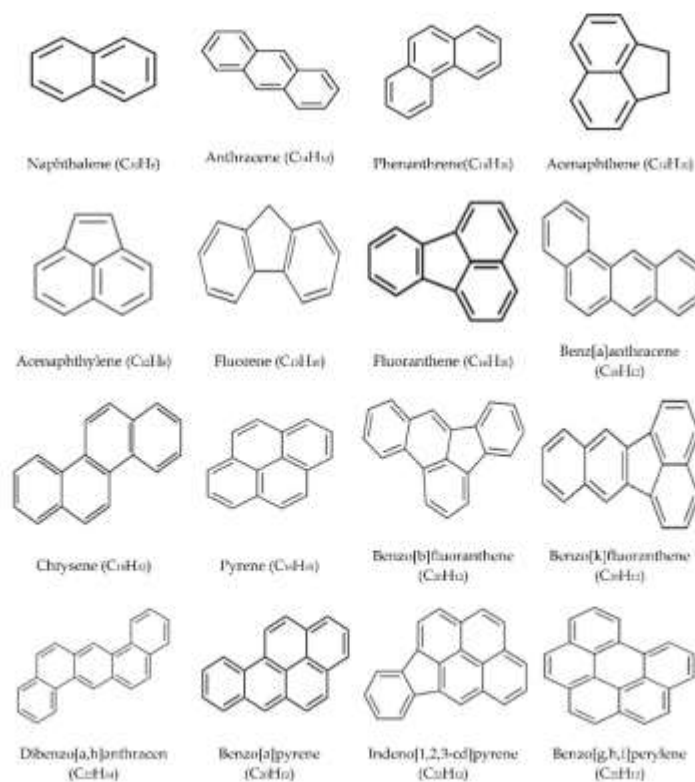
"Ekotoksični metali" su metali koji su u svojoj otopljenoj fazi „otrovni“ za živi svijet. Nekada se više koristio termin „teški metali“, što nije potpuno prikladno, jer su i neki „laki metali“, kao što je recimo Be otrovni, a neki „teški“ kao što je recimo Fe nisu otrovni. Točnije je koristiti izraz „metali u tragovima“ ili „tragovi metala“, jer se nalaze u prirodi u malim koncentracijama ($< 1 \mu\text{g/L}$), važni su za mnoge organizme kao mikronutrijenti, a ako pređu granicu toksičnosti postaju toksični za organizme i tada je prikladniji termin „ekotoksični metali“. Tako npr. kada su Zn i Cu u vodenom sustavu prisutni u tragovima, vrlo su važan faktor u fiziološkom funkcioniranju živih organizama jer reguliraju mnoge biokemijske procese. Međutim, isti metali, ako su prisutni u povećanim koncentracijama mogu imati različite toksične učinke na živa bića unutar vodenog ekosustava, a time posredno i na čovjeka. Neki metali kao što su živa, kadmij i olovo toksični su već kod vrlo niskih koncentracija.

Većina voda sadrži vrlo niske prirodne koncentracije otopljenih metal i svako onečišćenje ugrožava prirodnu ravnotežu vodenog sustava koji uključuje sediment i žive organizme.

8.1.1.2 Polciklički aromatski ugljikovodici - PAU

Policiklički aromatski ugljikovodici (PAU) ili engleski „*Polycyclic aromatic hydrocarbon*“ (PAH) što je više u svakodnevnoj upotrebi, velika su skupina različitih organskih spojeva koji sadrže dva ili više spojenih aromatskih prstenova u rasponu od naftalena s dva prstena i derivata naftalena do složenih prstenastih struktura koje sadrže do 10 prstenova. PAU-ovi s do šest spojenih aromatskih prstenova često su poznati kao "mali" PAU-ovi, dok se oni koji sadrže više od šest aromatskih prstenova nazivaju "veliki" PAU-ovi. PAU-ovi su također klasificirani u alternativne i nealternativne spojeve. Alternativni PAU-ovi su oni spojevi koji se sastoje isključivo od kondenziranih šesteročlanih benzenskih prstenova, dok nealternativni PAU-ovi sadrže i šesteročlane benzenske i peteročlane ugljikove prstenove. Zajedničke strukturne značajke PAU spojeva ilustrirane su na Slici 8.1.1. Razlike u konfiguraciji prstenova mogu dovesti do razlika u svojstvima. U svom najčišćem obliku, PAU su krute tvari niske hlapljivosti na sobnoj temperaturi i variraju u izgledu od bezbojne do bijele ili blijedo žuto-zelene. Relativno su netopivi u vodi i većina se može fotooksidirati i razgraditi na jednostavnije tvari.

PAU-ovi su jedni od najrasprostranjenih organskih zagađivala. To su organski spojevi koji nastaju izgaranjem organske tvari tijekom različitih industrijskih procesa i u domaćinstvu, a građeni su od dva ili više aromatskih prstena. Lipofilni su i slabo topljivi u vodi, nestabilni, osjetljivi na svjetlo, a otporni na toplinu i koroziju.



Slika 8.1.1. Strukturne formule prioriternih PAU-ova

Kao kemijski spoj, PAU je bilo koji spoj građen od ugljika i vodika povezanih u više aromatskih prstenova. Prema tome, spojeva koji su tako građeni može biti beskonačno mnogo. Međutim, samo manji broj pronađen je u prirodi i/ili sintetiziran u laboratoriju, većinom građenih od tri, četiri ili pet prstenova. Iako benzen ima slična kemijska i toksična svojstva kao PAU-ovi, te se može u tom aspektu promatrati kao i PAU-ovi, ne pripada u skupinu PAU spojeva jer ima samo jedan aromatski

prsten. Najjednostavniji složeni aromatski ugljikovodik je naftalen, a građen je od 2 povezana aromatska prstena. Po nekim autorima naftalen također nije PAU spoj, već su to samo oni koji imaju 3 ili više prstenova u strukturi. Fenantren i antracen se sastoje od 3 aromatska prstena pa se smatraju najjednostavnijim PAU-ovima.

8.1.1.3 BTEX - Benzen, Toluena, Etilbenzen i ksilen

Mnogi projekti praćenja zahtijevaju praćenje hlapivih organskih spojeva (HOS), (eng. „*Volatile Organic Compounds*“, VOC). VOCs je zajednički naziv za organske spojeve koji imaju visok tlak pare i postaju plinovi pri sobnom tlaku i temperaturama.

HOS-evi se obično nadziru jer su ključni uzročnici fotokemijskog smoga. Mnogi su opasni za ljudsko zdravlje, a neki su klasificirani kao kancerogeni. Ključni izvori HOS-eva su industrijski procesi (posebno oni koji uključuju otapala), emisije vozila, gubici isparavanjem iz skladišta benzina, pa čak i prirodni izvori poput šumskih požara.

Stručnjaci se često odlučuju za mjerenje grupe HOS-eva, zajednički poznatih kao BTEX, koja se sastoji od benzena, toluena, etilbenzena i ksilena (često se izražavaju kao ukupni ksileni (m+p)). BTEX skup je postao popularan jer ih je jednostavno pratiti zajedno, te daju dobro zaokruženu sliku HOS-eva i prisutni su u većini urbanih područja.

Benzen - Benzen (C₆H₆) je bistra, bezbojna i zapaljiva tekućina slatkastog mirisa na benzin. Benzen se nalazi u okolnom zraku kao rezultat izgaranja goriva, kao što su ugljen, benzin i drvo. Benzen je uobičajen u bezolovnom gorivu, gdje se dodaje kao zamjena za olovo, omogućujući mirniji rad.

Koncentracije benzena u gorivu nekoć su bile čak 20%, ali su sada smanjene na <1% u mnogim zemljama, zbog štetnih utjecaja na zdravlje. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) i Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) klasificiraju benzen kao kancerogene skupine jedan. Dugotrajno izlaganje visokim koncentracijama benzena uzrokuje leukemiju i utječe na crvena i bijela krvna zrnca.

Manje ozbiljni učinci na zdravlje mogu se pojaviti pri nižim koncentracijama, uzrokujući glavobolje, mučninu, pospanost, pa čak i nesvjesticu. WHO nije postavio standard za koncentracije benzena u okolini, navodeći da ne postoji sigurna razina izloženosti. Mnoge zemlje koriste godišnji prosječni standard od 3,6 µg m⁻³.

Toluen - Toluen (C₇H₆), poznat i kao metilbenzen, je bezbojna tekućina, jakog mirisa nalik otapalu. Toluen je jeftin i jednostavan za proizvodnju, a široko se koristi u industrijskim procesima kao

otapalo. Značajne količine toluena koriste se u industrijskim procesima diljem svijeta, s više od 20 milijardi USD ostvarenih prodajom toluena u 2013.

U neindustrijskoj upotrebi, toluen se može naći u benzinu kao pojačivač oktana te u ljepilima, otapalima i smolama.

Etilbenzen - Etilbenzen ($C_6H_5CH_2CH_3$), bezbojna je tekućina, arome poput benzina. Etilbenzol se široko koristi u industrijskim procesima za proizvodnju stirena, koji se zatim koristi za proizvodnju polistirena. Etilbenzen je također prisutan kao otapalo u tintama, bojama i benzinu.

Ksilen - Ksilen (C_8H_{10}) je izraz koji se koristi za opisivanje tri izomera dimetil benzena; m-ksilen, p-ksilen i o-ksilen. Obično se koncentracije svakog zbrajaju kao ukupni ksileni. Ksilen se rafinira iz sirove nafte i bistra je, masna tekućina. Ksilen se široko koristi u proizvodnji plastičnih boca i odjeće od poliestera te kao otapalo s nizom primjena od čišćenja tiskanih ploča do razrjeđivanja boja i lakova.

BTEX je koristan paket za mjerenje. U tipičnim urbanim sredinama prisutno je mnogo HOS-eva, koje emitira sve, od boje do ispušnih plinova vozila. Tipična GC-MS analiza može odrediti mnoge HOS-eva, neki od njih mogu biti ispod granica detekcije analize.

Često je razumnije biti selektivan i pratiti samo BTEX, te koristiti 4 komponente kao pokazatelje koncentracija HOS-a u cjelini, što je uobičajeni pristup.

BTEX daje izvrsnu indikaciju emisija VOC iz niza izvora. Benzen je, na primjer, uobičajeno prisutan u benzinu, ispušnim plinovima vozila i izgaranju krutih i tekućih goriva. U urbanoj sredini obično je prisutan benzen iz ovih izvora. Daje izvrsnu indikaciju dominacije benzinskih vozila u voznom parku i koristan je kao pokazatelj emisija krutih goriva za grijanje doma.

Ostatak BTEX paketa nalazi se u benzinu, ali njihov najveći izvor su industrijske emisije. U stambenim područjima koja graniče s industrijskim korištenjem zemljišta, BTEX paket je koristan za procjenu utjecaja industrije na druge načine korištenja zemljišta. Industrije obično mjere BTEX na svojoj liniji ograde, kako bi smanjile svoje emisije HOS-eva i njihov utjecaj na okolne zajednice.

U područjima sa značajnom proizvodnom industrijom, posebno onom koja koristi ljepila, otapala i boje, mogu biti prisutne veće koncentracije toluena, etilbenzena i ksilena. Praćenje BTEX-a omogućit će njihovu kvantifikaciju i može se koristiti za prepoznavanje zdravstvenih i sigurnosnih problema, dokazivanje usklađenosti s lokalnim propisima i čak procjenu postoji li curenje u infrastrukturi za skladištenje ili obradu.

8.1.2 Metodologija uzorkovanja i mjerenja

U okviru predmetne studije provedeno je uzorkovanje i analiza relevantnih fizikalnih i kemijskih parametara kakvoće oborinskih voda s urbanih površina u slivu Vruljice na području grada Zadra.

8.1.2.1 Uzorkovanje

Prvo uzorkovanje obavljeno je na području grada Zadra 31. ožujka 2022. godine nakon gotovo 100 dana bez intenzivnijih padalina. Uzorkovanje je započeto dva sata nakon početka kiše. Postaje uzorkovanja prikazane su na Slici 8.1.2, a odabrane fotografije na mjestima uzorkovanja na Slici 8.1.3. Drugo uzorkovanje je obavljeno nakon ljetnog sušnog razdoblja 1. rujna 2022. na istim postajama.

Tijekom uzorkovanja površinske vode izmjereni su i fizičko kemijski parametri vode multiparametarskom sondom EXO2 (YSI, Xylem) gdje je lokacija to omogućivala. Uzorci su uzeti direktno pomoću šprice ili pomoću teleskopskog štapa u bocu (Slika 8.1.3). Nakon uzorkovanja, 125 mL uzorka je filtrirano preko 0,22 μm celulozno-acetatnog filtra (Minisart, Sartorius) koristeći filtere u kapsuli i uz pomoć šprice. Nakon filtriranja uzorci su zakiseljeni na $\text{pH} < 2$ dodatkom ultra-čiste HNO_3 (Carl Roth).



Slika 8.1.2. Satelitska Slika s označenim postajama uzorkovanja.



Slika 8.1.3. Fotografije snimljene na odabranim mjestima uzorkovanja.

8.1.2.2 Postupak mjerenja metala u tragovima

Analiza metala u tragovima obavljena je na Institutu Ruđer Bošković, Zavodu za istraživanje mora i okoliša, Laboratoriju za fizičku kemiju tragova.

Koncentracije metala u prvoj seriji uzoraka (ožujak 2022.) izmjerene su masenom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom visoke rezolucije (HR ICP-MS). Za tu svrhu su uzorci zakiseljeni ultračistom HNO₃ (2% v/v), uz dodatak indija kao internog standarda u koncentraciji od 10 µg/L. Zbog kvara HR ICP-MS instrumenta, koncentracije metala u drugoj seriji uzoraka (rujan 2022) mjerene su elektrokemijski (voltametrijom s akumulacijom), uz postupak opisan u nastavku.

Prije mjerenja su uzorci tijekom 24h bili izloženi UV zračenju kako bi se razorili jaki organski kompleksi metala. Za uzorkovanje i čuvanje uzoraka isključivo su korištene „metal free“ bočice od fluorirane plastike (FEP). Određivanje koncentracije otopljenih metala voltametrijskim tehnikama

izvedeno je na uređaju ECOChemie μ AUTOLAB3 multimode potenciostatu (Utrecht, Nizozemska) uz korištenje troelektrodnog sustava Metrohm 663 VA STI (Švicarska).

Mjerenja su izvedena na automatiziranom sustavu koji uključuje uređaj za izmjenu uzoraka (napravljen na LFKT/IRB-u) i birete za doziranje dodataka metala Cavro XE 1000 Modular Digital Pump (Cavro Scientific Instruments, Inc., Sunnyvale, California, SAD), uz pripadajuću software-sku podršku (Slika 8.1.4).



Slika 8.1.4. Automatizirani voltametrijski sustav za određivanje koncentracija Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co.

Koncentracije Cd, Pb, Cu i Zn određene su metodom diferencijalno pulsne voltametrije s anodnim otapanjem (DPASV). Metoda se temelji na predkoncentriranju metala iz otopine u živinu kap procesom redukcije uz stvaranje amalgama. Koncentracije Ni i Co određene su metodom adsorptivne voltametrije s katodnim otapanjem (AdCSV). Kod ove se metode u uzorak dodaje organski ligan (nioksim ili dimetil-glioksim) poznate koncentracije koji s Ni i Co stvara jaki kompleks koji se adsorbira na živinu kap tijekom faze predkoncentriranja. Nakupljeni kompleksi se potom reduciraju, te se mjere karakteristični signali.

Za određivanje koncentracija metala korištena je metoda dodatka standarda, koja uključuje postupno dodavanje poznate količine metala u otopinu i mjerenje, te kreiranje kalibracijskih pravaca koji služe za konačni izračun koncentracija. Granica određivanja iznosi od 1 do 10 ng/L, ovisno o metalu, a kontrola kvalitete mjerenja se provjerava istovremenim određivanjem metala u certificiranom uzorku morske vode CASS-5 (NRC CNRC).

8.1.2.3 Analiza koncentracija PAH i BTEX parametara

Analiza koncentracije PAH-ova i BTEX parametara obavljena je Nastavnom Zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u Zdravstveno-ekološkom odjelu, Odsjeku za kontrolu voda, otpada i ekotoksikologiju, tekućinskom kromatografijom (PAH) i plinskom kromatografijom prema metodi HRN ISO 11423-1:2002 (BTEX).

8.1.3 Rezultati analize kakvoće oborinskih voda na području grada Zadra

8.1.3.1 Metali u tragovima

Koncentracije metala u tragovima izmjerene za dvije serije uzorkovanja dane su u Tablici 8.1.1. Iako oborinske vode ne podliježu kontroli kakvoće sukladno Uredbi o standardu kvalitete voda (NN 96/2019), za usporedbu su u Tablici naznačene njihove prosječne godišnje koncentracije (PGK) za Zn, Cd, Pb, Cu i Ni. U Tablici 8.1.1 su zatamnjena polja u kojima vrijednost koncentracije pojedinog metala prelazi PGK, a za najviše izmjerene koncentracije za Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co su podebljane.

Usporedni prikazi koncentracija Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co na mjernim postajama grafički su prikazani na Slici 8.1.5. Najniže koncentracije gotovo svih metala su izmjerene u oba uzorkovanja na nizvodnim postajama, u moru i u blizini utoka u more, postaje: Z1, Z2, Z3 i Z6. Usporedive koncentracije Zn i Cu su nađene za obje serije uzorkovanja na svim postajama, dok su za Cd i Pb koncentracije bile više u rujnu nego u ožujku na postajama Z5, Z7, Z8 i Z9. Obrnuto od Cd i Pb, znatno više koncentracije Ni i Co su nađene na postajama Z4, Z5, Z7 i Z8 u ožujku nego u rujnu 2022.

Da bi se dobio detaljniji uvid u faktor koncentriranja metala u slivnoj vodi, bilo bi potrebno pratiti i koncentraciju tih metala i u samoj kiši, te temeljem toga izračunati geo-akumulacijski indeks i indeks zagađenja (Islam Shajib et al., 2019).

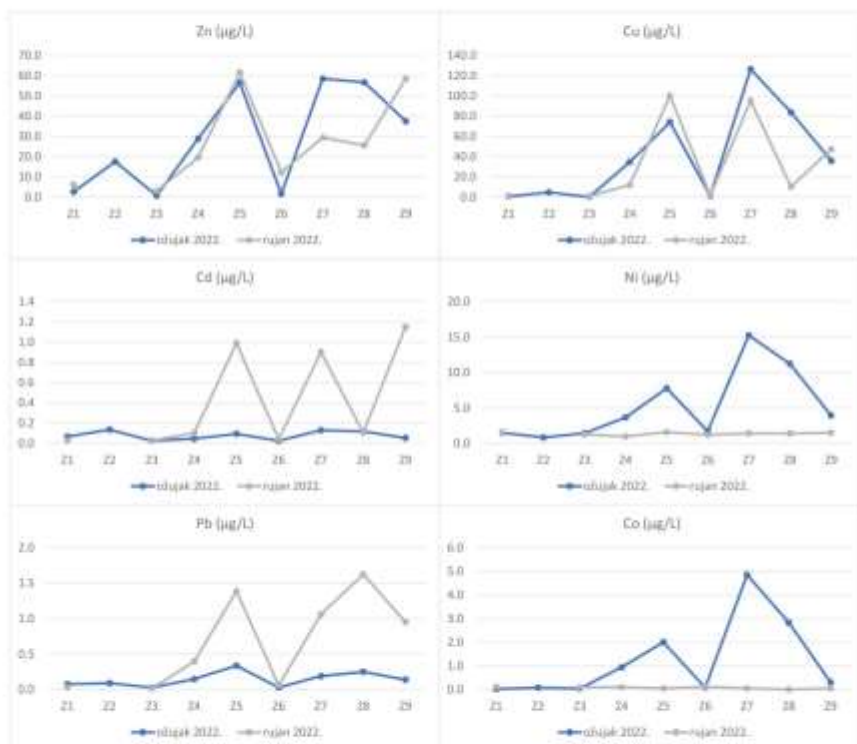
Korelacijska analiza prikazana u Tablici 8.1.2 pokazuje značajne koeficijente korelacije ($p = 0.05$) između navedenih metala, osim za Cd. Prema tome, urbana oborinska voda sakuplja u sličnim omjerima većinu metala koji se smatraju zagađivačima. Pokazano je da Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb i Zn uglavnom potječu od aktivnosti u prometu (Islam Shajib et al., 2019).

Tok vode na „uzvodnim“ postajama nije poznat, te nije moguće odgovoriti na pitanje ima li i koliki je utjecaj slivnih voda na postajama u moru, Z1 i Z2. Utjecaj na uski obalni morski pojas svakako je i pitanje ne samo koncentracije metala nego i količine vode koja dospije u more.

Tablica 8.1.1. Vrijednosti koncentracija otopljenih metala ($\mu\text{g/L}$) izmjerenih u sakupljenim uzorcima na označenim lokacijama. Usporedbe radi, u zagradama su za pojedine metale dane prosječne godišnje koncentracije (PGK) sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda NN 96/2019.

Period	Uzrak -> Element	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
31. 3. 2022	Zn (7,8)	2,67±0,010	17,61±0,654	0,814±0,048	28,97±0,113	56,59±1,643	1,70±0,050	58,35±0,83	36,74±0,298	37,55±0,333
	Cd (0,08)	0,067±0,012	1,135±0,014	0,026±0,001	0,047±0,001	0,094±0,003	0,025±0,004	0,130±0,004	0,119±0,004	0,054±0,003
	Pb (1,2)	0,075±0,004	0,090±0,004	0,027±0,000	0,147±0,001	0,336±0,002	0,029±0,001	0,189±0,000	0,249±0,004	0,138±0,001
	Cu (1,1)	0,894±0,188	4,782±0,268	0,404±0,049	34,81±0,55	74,23±0,51	1,39±0,04	126,47±1,93	83,91±0,86	36,00±0,236
	Ni (4,0)	1,495±0,312	3,839±0,740	1,446±0,006	3,668±0,052	7,786±0,174	1,724±0,049	15,25±0,35	11,22±0,057	3,95±0,012
	Co	0,018±0,014	0,074±0,012	0,046±0,003	0,942±0,014	2,005±0,035	0,081±0,001	4,851±0,071	2,828±0,005	0,31±0,004
	Li	7,55±0,10	45,47±0,17	2,68±0,01	4,63±0,04	7,41±0,017	2,96±0,04	10,28±0,07	9,16±0,06	5,03±0,03
	Rb	4,55±0,07	25,65±0,11	1,91±0,02	4,14±0,02	6,67±0,03	2,18±0,02	9,98±0,01	7,44±0,09	4,76±0,02
	Mo	1,01±0,07	3,56±0,08	0,61±0,02	3,65±0,02	7,70±0,03	0,71±0,01	11,76±0,10	11,04±0,02	4,15±0,03
	Sn	0,015±0,026	3,118±0,032	0,003±0,007	0,177±0,001	0,266±0,003	0,012±0,002	0,170±0,003	0,261±0,005	0,13±0,003
	Sb	0,031±0,010	3,210±0,024	0,033±0,002	1,139±0,004	2,604±0,010	0,063±0,001	3,364±0,007	3,324±0,040	1,31±0,006
	Cs	0,020±0,004	0,084±0,002	0,007±0,000	0,018±0,000	0,030±0,001	0,006±0,000	0,026±0,000	0,042±0,000	0,025±0,001
	Tl	0,066±0,004	0,052±0,002	0,064±0,001	0,023±0,000	0,030±0,000	0,043±0,001	0,033±0,000	0,036±0,001	0,025±0,001
	U	1,084±0,012	1,398±0,014	1,016±0,005	0,549±0,007	0,242±0,002	0,941±0,012	0,623±0,008	0,329±0,001	0,24±0,001
	Al	0,513±0,534	11,04±0,26	3,87±0,09	43,65±0,38	80,42±0,91	3,19±0,2	49,20±1,03	87,67±1,36	69,9±0,83
	Ti	0,104±0,106	3,304±0,074	0,145±0,010	0,730±0,044	1,380±0,050	0,140±0,016	1,836±0,063	1,204±0,047	3,821±0,052
	V	2,012±0,042	4,560±0,224	2,058±0,029	3,205±0,026	5,519±0,136	2,210±0,021	6,307±0,079	8,160±0,045	5,31±0,088
	Sr	424,8±4,8	1807,4±3,7	247,2±2,7	140,4±1,2	98,6±1,6	240,9±0,5	227,3±3,1	123,5±0,70	75,5±0,4
	Ba	22,39±0,19	22,85±0,15	22,94±0,74	42,72±0,64	45,77±0,82	21,08±0,08	72,90±0,93	49,64±0,74	31,8±0,25
	Cr	0,539±0,118	3,815±0,080	0,552±0,018	2,196±0,090	4,805±0,084	0,859±0,024	3,274±0,001	3,079±0,052	9,45±0,044
Mn	1,19±0,09	8,56±0,08	1,07±0,03	69,97±0,88	128,74±1,64	1,87±0,05	274,24±2,38	126,95±0,83	38,12±0,32	
Fe	1,80±0,22	8,30±0,26	3,70±0,09	21,72±0,47	38,78±0,32	2,24±0,07	28,43±0,14	28,26±0,15	16,05±0,05	
As	0,191±0,058	0,640±0,246	0,247±0,076	0,419±0,031	0,808±0,018	0,375±0,065	1,228±0,031	1,049±0,044	0,74±0,083	
1. 9. 2022.	Zn (7,8)	6,200±1,400		3,140±0,120	19,70±1,53	61,59±2,96	12,32±0,59	29,47±0,62	25,63±0,97	38,63±2,03
	Cd (0,08)	0,030±0,004		0,029±0,003	0,102±0,011	0,090±0,009	0,041±0,005	0,109±0,010	0,107±0,019	3,150±0,111
	Pb (1,2)	0,032±0,003		0,015±0,002	0,396±0,018	1,388±0,129	0,061±0,006	1,060±0,094	1,624±0,172	1,953±0,102
	Cu (1,1)	1,115±0,121		1,006±0,074	12,12±1,00	100,25±11,9	1,92±0,17	95,18±4,57	10,41±3,04	47,47±6,92
	Ni (4,0)	1,559±0,188		1,276±0,125	0,987±0,375	1,585±0,325	1,212±0,122	1,421±0,148	1,404±0,378	1,487±0,226
	Co	0,108±0,009		0,097±0,007	0,098±0,023	0,052±0,016	0,109±0,012	0,053±0,013	0,005±0,002	0,046±0,021

U ovim istraživanjima mjerena je koncentracije otopljenih metala (filtrirani uzorak), međutim veće koncentracije se očekuju u čestičnoj frakciji u uzorcima skupljenim na ulici (Islam Shajib et al., 2019). Metali vezani na čestice dodatno se mogu osloboditi u otopljeno stanje dolaskom u morsku sredinu u kojoj je sastav vode drugačiji.



Slika 8.1.5. Usporedni prikaz koncentracija Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co na mjernim lokacijama dva perioda uzorkovanja: ožujak i rujan 2022.

Tablica 8.1.2. Koeficijenti korelacije za odabrane metale i PAU (ožujak 2022.)

Element	Zn	Cd	Pb	Cu	Ni	Co	Al	Mn	Fe	PAU
Zn										
Cd										
Pb	0,908									
Cu	0,929		0,771							
Ni	0,872		0,697	0,985						
Co	0,828			0,972	0,986					
Al	0,916		0,888	0,747	0,682					
Mn	0,847		0,672	0,977	0,966	0,986				
Fe	0,951		0,962	0,859	0,781	0,751	0,893	0,787		
PAU	0,857		0,808	0,794	0,696		0,790	0,744	0,863	

8.1.3.2 PAU i BTEX

Rezultati mjerenja PAU-ova i BTEX koncentracija prikazani su u Tablicama 8.1.3 i 8.1.4. Trend koncentracija PAU-ova po lokacijama uzorkovanja odgovara onima za metale prikazanih na Slici 8.1.5, uz visoki koeficijent korelacije s većinom metala (Tablica 8.1.2). Visoke koncentracije ukupni PAU-ova su izmjerene na lokacijama Z4, Z5, Z7, Z8 i Z9, dok su na postajama Z1, Z3 i Z6 one na razini granice detekcije ili vrlo niske (Z2).

Očekivati je da mjesta s najvećom gustoćom prometa imaju i najviše koncentracije policikličkih aromatskih ugljikovodika, nekih metala povezanih s prometom, alkilfenola i ftalata. Izmjerene koncentracije organskih zagađivala i metala su također i odraz „razrjeđenje“ s obzirom na količinu vode (kiše), te područje sapiranja.

Iako ne bi bilo neočekivano da su u pojedinom uzorcima nađene povišene koncentracije BTEX-a uslijed prometa, izmjerene vrijednosti svih BTEX pokazatelja u svim analiziranim uzorcima su ispod granice detekcije.

Tablica 8.1.3. Koncentracije PAU-ova ($\mu\text{g/L}$) izmjerenih u sakupljenim uzorcima na označenim lokacijama (ožujak 2022.).

Naziv uzoeka	granica kvantifikacije	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
Naftalen	<0,0002	<0,0002	0,00053	<0,0002	0,0034	0,0067	<0,0002	0,028	0,0084	0,023
Acenafilen	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,00097	<0,0002	0,003	0,0011	0,0017
Fluoren	<0,0005	<0,0005	0,00065	<0,0005	0,014	0,04	<0,0005	0,029	0,0066	0,038
Fenantren	<0,0002	0,00053	0,00073	<0,0002	0,039	0,14	0,00046	0,17	0,11	0,12
Antracen	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0011	0,0031	<0,0005	0,0083	0,0043	0,0054
Fluoranten	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,011	0,043	<0,001	0,17	0,095	0,071
Piren	<0,0002	0,00026	0,0034	<0,0002	0,013	0,054	0,00021	0,16	0,11	0,075
Benzo(a)antracen	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	0,0018	<0,0000	0,0047	0,0029	0,004
Keizen	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	0,00034	0,0034	<0,0002	0,023	0,017	0,011
Benzo(b)fluoranten	<0,0005	<0,0005	<0,00050	<0,0005	0,00087	0,0062	<0,0005	0,063	0,034	0,037
Benzo(k)fluoranten	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	0,00065	<0,0002	0,013	0,007	0,0086
Benzo(a)piren	<0,00005	<0,00005	<0,000050	<0,00005	<0,00005	0,0011	<0,00005	0,02	0,0066	0,0096
Dibenzo(a,h)antraceni	<0,0002	<0,0002	<0,00020	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,00062	0,0009	<0,0002
Benzo(g,h,i)perilen	<0,00005	<0,00005	<0,000050	<0,00005	<0,00005	0,00095	<0,00005	0,013	0,0082	0,0064
Indeno(1,2,3cd)piren	<0,0001	<0,0001	<0,00010	<0,0001	<0,0001	0,00068	<0,0001	0,0022	0,0026	0,00061
Acenafilen	<0,010	<0,010	0,10	<0,010	0,69	2,15	<0,010	1,36	0,37	1,33
UKUPNO		0,001	0,101	0,000	0,773	2,453	0,001	2,068	0,785	1,741

Tablica 8.1.4. BTEX koncentracije ($\mu\text{g/L}$) u rujnu 2022.

BTEX	Z1	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9
Benzen	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030
Touljen	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Ksilen (-p,-m)	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Ksilen (-o)	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Etilbenzen	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
UKUPNO	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030	<0,00030

8.2 Istraživanje metala u tragovima u vodama donjeg toka rijeke Neretve

Uz istraživanja kakvoće oborinskih voda na području grada Zadra, u proljeće i ljeto 2022. godine provedena su i istraživanja prostorne raspodjele metala u tragovima u području donjeg toka rijeke Neretve i njenih pritoka (vezano uz pilot područje Metković).

8.2.1 Uzorkovanje

Prostorna raspodjela lokacija uzorkovanja prikazana je na Slici 8.2.1. Uzorci površinske vode su uzeti teleskopskim štapom. Nakon uzorkovanja, 125 mL uzorka je filtrirano preko 0,22 μm celulozno-acetatnog filtra (Minisart, Sartorius) koristeći filtere u kapsuli i uz pomoć šprice. Nakon filtriranja uzorci su u laboratoriju zakiseljeni na $\text{pH} < 2$ dodatkom ultra-čiste HNO_3 (Carl Roth).



Slika 8.2.1. Područje istraživanja rijeke Neretve i njenih pritoka s označenim pozicijama postaja za uzorkovanje vode

8.2.2 Postupak mjerenja metala u tragovima

Analiza metala u tragovima obavljena je na Institutu Ruđer Bošković, Zavodu za istraživanje mora i okoliša, Laboratoriju za fizičku kemiju tragova.

Koncentracije metala u prvoj seriji uzoraka (svibanj 2022.) izmjerene su masenom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom visoke rezolucije (HR ICP-MS). Za tu svrhu su uzorci zakiseljeni ultračistom HNO₃ (2% v/v), uz dodatak indija kao internog standarda u koncentraciji od 10 µg/L.

Zbog kvara HR ICP-MS instrumenta, koncentracije metala u drugoj seriji uzoraka (kolovoz 2022.) mjerene su elektrokemijski (voltametrijom s akumulacijom), uz postupak opisan u nastavku.

Prije mjerenja su uzorci tijekom 24h bili izloženi UV zračenju kako bi se razorili jaki organski kompleksi metala. Za uzorkovanje i čuvanje uzoraka isključivo su korištene „metal free“ bočice od fluorirane plastike (FEP). Određivanje koncentracije otopljenih metala voltametrijskim tehnikama izvedeno je na uređaju ECOChemie µAUTOLAB3 multimode potenciostatu (Utrecht, Nizozemska). Mjerenja su izvedena na automatiziranom sustavu koji uključuje uređaj za izmjenu uzoraka (napravljen na LFKT/IRB-u) i birete za doziranje dodataka metala Cavro XE 1000 Modular Digital Pump (SAD), (Slika 8.1.4).

Koncentracije Cd, Pb, Cu i Zn određene su metodom diferencijalno pulsne voltametrije s anodnim otapanjem (DPASV), dok su koncentracije Ni i Co određene su metodom adsorptivne voltametrije s katodnim otapanjem (AdCSV).

8.2.3 Rezultati analize metala u vodama donjeg toka rijeke Neretve

Brojčane vrijednosti koncentracija metala u tragovima izmjerene na odabranim lokacijama za dva perioda uzorkovanja dane su Tablici 8.2.1, dok su prostorne raspodjele koncentracija za odabrani set metala (Zn, Cd, Pb, Cu, Ni i Co) prikazane na Slikama 8.2.2 i 8.2.3.

Iz prikazanih rezultata može se vidjeti da su u odnosu na prosječne godišnje koncentracije (PGK) propisane u Uredbi o standardu kakvoće voda (NN 96/2019), izmjerene koncentracije svih metala značajno ispod tih vrijednosti. Prema tome, može se konstatirati da su vode donjeg toka rijeke Neretve i njenih pritoka iznimno čiste s obzirom na sadržaj metala u tragovima.

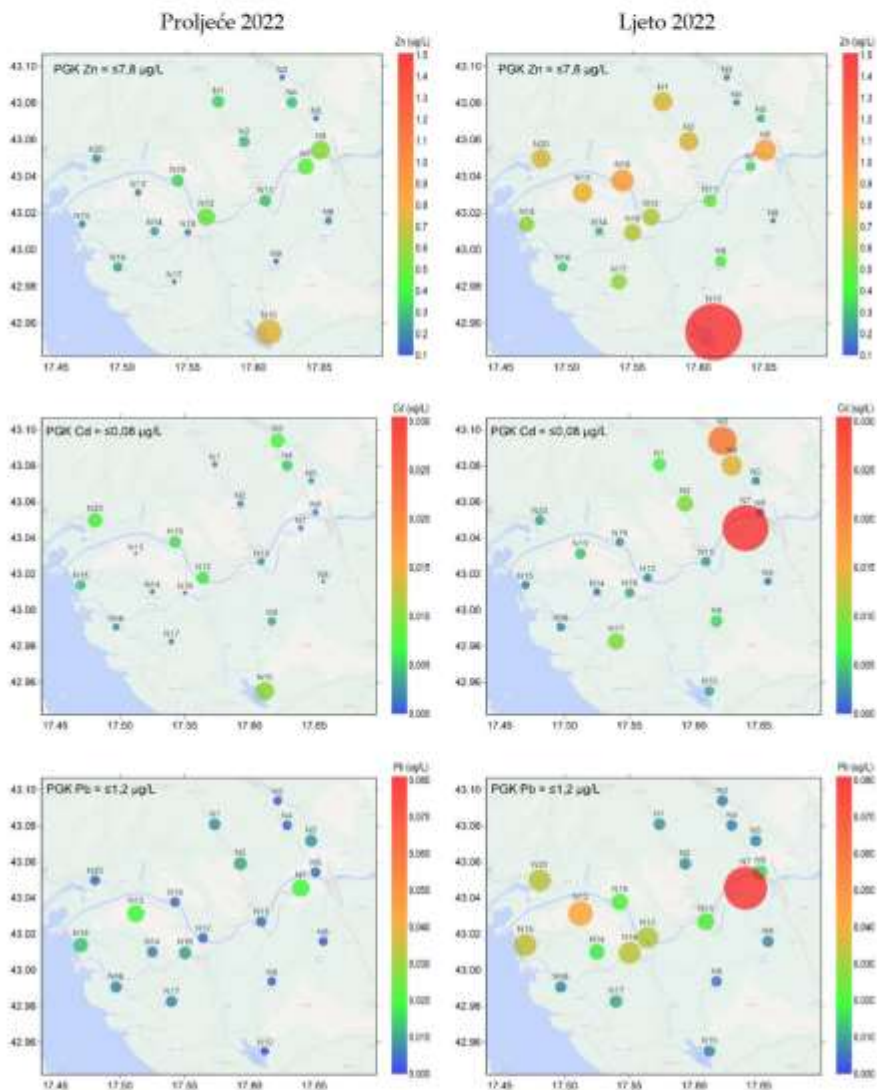
Tablica 8.2.1. Koncentracije otopljenih metala izmjerenih u sakupljenim uzorcima na označenim lokacijama.

Uzorak -> Element	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Zn	0.336e+015	0.296e+015	0.223e+013	0.288e+018	0.125e+004	0.551e+040	0.463e+024	0.181e+006	0.121e+011	0.748e+006
Cd	0.003e+001	0.006e+001	0.008e+001	0.006e+002	0.002e+001	0.003e+001	0.002e+001	0.001e+000	0.004e+001	0.011e+001
Pb	0.008e+000	0.011e+000	0.003e+000	0.003e+000	0.000e+001	0.006e+000	0.010e+001	0.004e+000	0.003e+000	0.002e+000
Cu	0.116e+014	0.139e+013	0.121e+014	0.154e+012	0.305e+029	0.263e+004	0.743e+032	0.221e+010	0.203e+006	0.129e+012
Ni	0.231e+058	0.283e+049	0.482e+049	0.286e+049	0.325e+026	0.171e+065	0.214e+039	0.141e+003	0.157e+036	0.178e+023
Co	0.031e+001	0.028e+002	0.022e+001	0.022e+001	0.061e+002	0.020e+002	0.118e+003	0.034e+000	0.029e+002	0.017e+001
U	8.105e+025	2.614e+018	8.358e+026	3.202e+044	4.038e+038	2.119e+045	4.433e+022	0.623e+007	2.184e+011	0.296e+008
Mn	0.657e+004	0.739e+001	0.495e+015	0.660e+007	2.143e+034	0.579e+000	4.910e+025	0.822e+007	1.210e+012	0.392e+001
Mg	1.343e+029	1.841e+003	1.750e+012	1.024e+014	1.138e+050	0.428e+002	0.513e+003	0.705e+012	0.737e+005	0.415e+001
Sn	0.004e+001	0.006e+001	0.019e+004	0.035e+002	0.002e+002	0.003e+001	0.004e+001	0.004e+001	0.005e+002	0.006e+001
Sp	0.036e+001	0.039e+001	0.036e+001	0.037e+001	0.130e+000	0.048e+002	0.150e+002	0.033e+002	0.034e+001	0.065e+008
Ca	0.021e+001	0.002e+000	0.011e+000	0.008e+000	0.022e+001	0.004e+000	0.006e+000	0.001e+000	0.009e+000	0.011e+000
Tl	0.005e+000	0.008e+000	0.008e+000	0.008e+000	0.007e+000	0.004e+000	0.001e+000	0.009e+000	0.008e+000	0.009e+000
U	0.679e+034	0.817e+029	0.813e+018	0.815e+011	0.751e+008	0.354e+008	0.307e+000	0.154e+005	0.146e+012	0.429e+001
Al	1.728e+044	8.982e+057	0.712e+027	0.918e+048	2.190e+1428	3.687e+302	1.702e+128	0.935e+134	1.367e+221	1.504e+196
Ti	0.099e+006	0.021e+008	0.020e+007	0.025e+001	0.105e+015	0.036e+029	0.109e+033	0.027e+013	0.042e+010	0.009e+010
V	1.544e+014	1.495e+007	1.344e+013	1.444e+007	0.478e+021	0.649e+018	0.362e+010	1.208e+013	1.030e+016	0.825e+023
Se	975.9e13.5	923.3e4.2	901.8e12.5	905.0e12.1	771.0e4.3	945.8e12.2	301.5e1.2	130.6e1.7	222.7e0.6	86.0e1.3
Nb	11.820e+085	12.246e+084	11.904e+030	11.989e+0294	26.753e+0104	14.309e+0378	40.121e+0617	8.580e+0263	8.750e+0116	5.432e+0213
Cr	0.152e+006	0.312e+003	0.980e+015	0.320e+004	0.080e+001	0.284e+019	0.040e+003	0.186e+004	0.182e+011	0.199e+001
Mn	13.994e+098	8.522e+078	0.133e+000	5.811e+019	3.279e+098	2.599e+041	7.940e+173	18.139e+200	15.487e+0340	2.595e+056
Fe	14.490e+2.411	7.171e+0.401	0.024e+000	4.066e+023	26.181e+0.015	1.126e+078	10.967e+3.291	0.580e+0.047	11.917e+0.061	12.128e+0.054
As	0.182e+042	0.264e+022	0.671e+003	0.593e+012	0.777e+013	0.179e+017	0.109e+017	0.186e+017	0.234e+020	0.121e+020

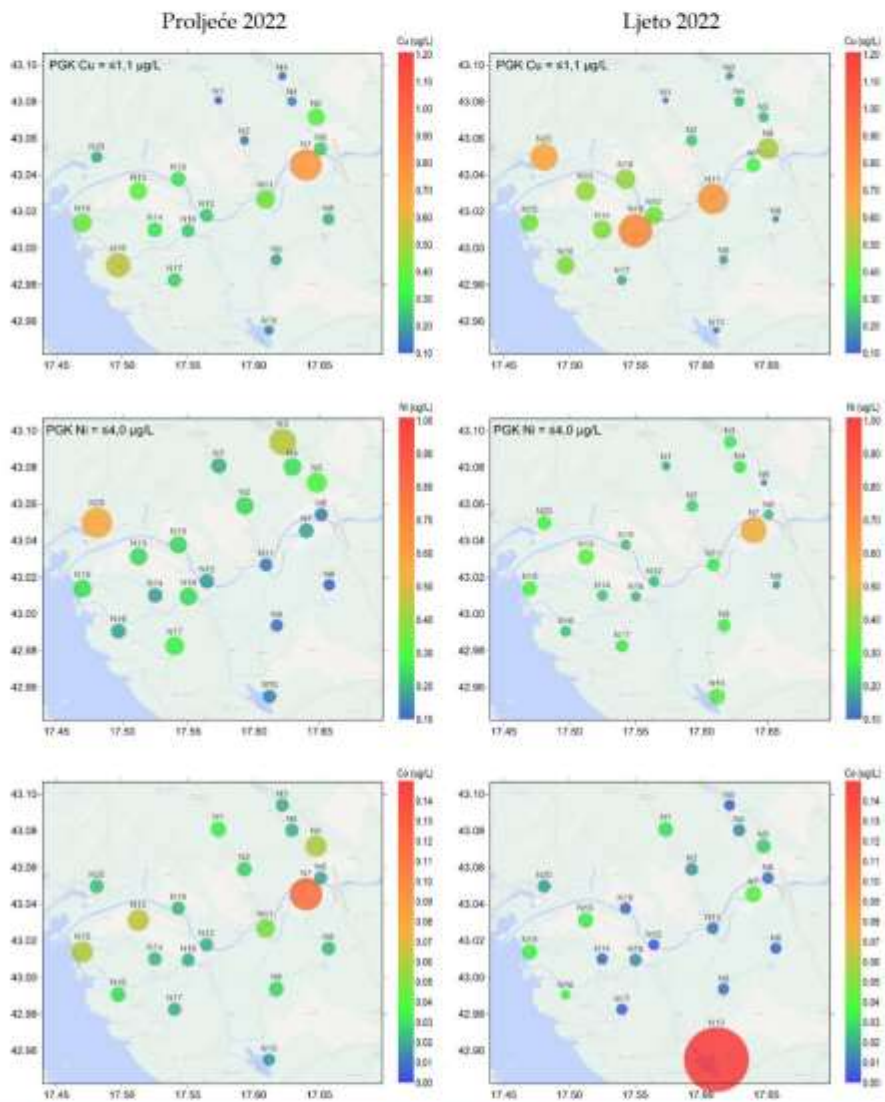
Uzorak -> Element	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Zn	0.743e+052	0.734e+054	0.589e+001	0.199e+017	0.272e+015	0.856e+061	0.332e+042	0.149e+000	0.391e+078	2.133e+182
Cd	0.008e+001	0.011e+001	0.022e+001	0.015e+000	0.004e+003	0.004e+001	0.038e+004	0.003e+000	0.007e+001	0.005e+001
Pb	0.020e+001	0.020e+000	0.009e+002	0.008e+002	0.009e+001	0.017e+001	0.007e+000	0.009e+001	0.007e+001	0.009e+001
Cu	0.121e+026	0.256e+025	0.165e+002	0.233e+047	0.236e+034	0.508e+053	0.331e+076	0.146e+015	0.198e+078	0.138e+027
Ni	0.129e+017	0.237e+016	0.257e+012	0.252e+023	0.123e+017	0.203e+021	0.530e+096	0.154e+016	0.267e+019	0.316e+022
Co	0.036e+003	0.022e+003	0.012e+001	0.020e+003	0.033e+002	0.016e+002	0.044e+003	0.013e+002	0.015e+001	0.149e+027

Uzorak -> Element	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20
Zn	0.317e+005	0.504e+022	0.163e+030	0.220e+011	0.176e+015	0.258e+008	0.994e+015	0.160e+014	0.338e+035	0.231e+014
Cd	0.003e+001	0.007e+001	0.001e+001	0.002e+000	0.005e+001	0.003e+002	0.002e+001	0.001e+001	0.006e+001	0.000e+001
Pb	0.006e+001	0.006e+000	0.019e+000	0.007e+000	0.014e+000	0.008e+000	0.008e+000	0.010e+000	0.005e+000	0.005e+000
Cu	0.432e+009	0.258e+007	0.375e+018	0.293e+009	0.405e+013	0.552e+017	0.703e+017	0.254e+019	0.359e+016	0.207e+011
Ni	0.349e+013	0.205e+034	0.275e+064	0.307e+023	0.290e+049	0.219e+037	0.309e+065	0.382e+035	0.279e+018	0.574e+037
Co	0.051e+002	0.021e+002	0.064e+002	0.024e+000	0.062e+002	0.031e+002	0.021e+003	0.021e+001	0.023e+004	0.026e+001
U	4.417e+050	5.536e+076	4.572e+025	2.386e+018	4.927e+018	4.303e+023	2.700e+041	1.575e+002	11.309e+106	31.100e+148
Nb	2.250e+015	4.748e+024	2.333e+013	1.522e+013	2.667e+001	1.602e+021	1.814e+010	1.047e+004	8.179e+037	16.229e+032
Mn	0.746e+014	1.082e+019	0.851e+007	0.787e+010	0.882e+002	0.866e+004	0.599e+007	0.783e+006	1.169e+006	2.366e+016
Sn	0.003e+001	0.006e+002	0.004e+002	0.004e+002	0.002e+001	0.005e+001	0.002e+001	0.004e+002	0.006e+002	0.011e+001
Se	0.073e+002	0.062e+002	0.075e+003	0.047e+001	0.078e+001	0.062e+002	0.096e+002	0.043e+001	0.065e+001	0.096e+001
Cu	0.005e+000	0.015e+001	0.005e+000	0.006e+000	0.005e+000	0.007e+000	0.004e+000	0.005e+000	0.018e+000	0.044e+001
Ti	0.003e+000	0.004e+000	0.005e+000	0.007e+000	0.004e+000	0.006e+000	0.006e+000	0.007e+000	0.004e+000	0.005e+001
U	0.521e+007	0.514e+006	0.671e+002	0.590e+003	0.643e+009	0.602e+008	0.510e+001	0.619e+003	0.579e+005	0.866e+004
Al	1.159e+123	3.755e+079	1.303e+047	1.842e+056	1.651e+037	1.206e+102	1.329e+063	2.631e+054	4.512e+035	4.108e+139
Ti	0.015e+006	0.021e+011	0.127e+005	0.040e+015	0.076e+008	0.076e+016	0.075e+009	0.087e+009	0.066e+040	0.038e+006
V	0.535e+006	0.734e+025	0.738e+008	0.830e+013	0.588e+007	0.705e+015	0.654e+011	0.925e+014	0.727e+017	2.228e+032
Se	385.7e1.6	632.0e0.7	348.2e0.7	217.8e1.4	387.3e4.3	301.1e3.4	221.7e0.8	164.2e0.3	716.2e8.1	1432.0e7.5
Nb	18.473e+184	13.995e+309	11.897e+270	7.904e+199	17.264e+384	12.381e+028	7.154e+177	7.488e+007	13.992e+126	13.020e+063
Cr	0.162e+009	0.291e+009	0.094e+005	0.135e+010	0.097e+003	0.096e+003	0.073e+012	0.122e+010	0.313e+008	0.278e+005
Mn	1.367e+043	3.037e+077	32.454e+113	3.442e+042	37.971e+678	1.390e+035	2.905e+026	3.333e+035	3.352e+027	3.648e+029
Fe	3.848e+079	2.542e+032	13.115e+070	6.687e+008	12.730e+402	1.445e+086	1.086e+144	6.957e+048	2.326e+011	1.284e+014
Al	0.334e+010	0.251e+090	0.816e+041	0.230e+025	0.445e+022	0.324e+027	0.278e+005	0.213e+015	0.143e+027	0.300e+033

Uzorak -> Element	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17	N18	N19	N20
Zn	0.478e+042	0.653e+047	0.759e+061	0.277e+027	0.577e+015	0.325e+034	0.579e+043	0.657e+044	0.863e+088	0.729e+067
Cd	0.005e+001	0.004e+001	0.006e+001	0.003e+001	0.004e+002	0.004e+002	0.011e+002	0.005e+001	0.004e+001	0.005e+001
Pb	0.023e+003	0.024e+003	0.042e+002	0.019e+002	0.026e+003	0.009e+004	0.012e+007	0.035e+005	0.023e+005	0.035e+000
Cu	0.731e+053	0.420e+079	0.473e+061	0.448e+040	0.412e+038	0.434e+042	0.218e+069	0.814e+071	0.469e+132	0.657e+152
Ni	0.260e+021	0.215e+093	0.823e+025	0.230e+024	0.294e+022	0.228e+024	0.252e+027	0.260e+043	0.268e+021	0.281e+032
Co	0.038e+001	0.011e+002	0.038e+003	0.014e+002	0.038e+003	0.006e+001	0.013e+004	0.021e+004	0.014e+001	0.024e+002



Slika 8.2.2. Razine koncentracija Zn, Cd i Pb u istraživanom području za proljetni i ljetni period. Na grafovima su dane vrijednosti prosječne godišnje koncentracije (PKG) sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda, NN 96/2019



Slika 8.2.3. Razine koncentracija Cu, Ni i Co u istraživanom području za proljetni i ljetni period. Na grafovima su dane vrijednosti prosječne godišnje koncentracije (PKG) sukladno Uredbi o standardu kakvoće voda, NN 96/2019.

S obzirom na članke u novinama i portalima (<https://slobodnadalmacija.hr/vijesti/regija/uzbuna-u-bih-neretva-kod-konjica-zatrovana-teskim-metalima-kakva-je-situacija-u-hrvatskoj-629265>; <https://bljesak.info/gospodarstvo/flash/u-neretvi-pronadena-visoka-kolicina-teskih-metalna/289409>) da je rijeka Neretva u gornjem toku kod grada Konjica zagađena teškim metalima (Cu, Zn i Ni), sa sigurnošću možemo ustvrditi da nema naznaka da su Cu, Zn i Ni povišeni u vodi rijeke Neretve koja utječe u Republiku Hrvatsku. Izmjerene vrijednosti su na razinama uobičajenim za čista krška područja (npr. rijeka Krka i , voda u NP Plitvička jezera).

Detaljni uvid u prostornu raspodjelu koncentracija metala u tragovima (Slike 8.2.2 i 8.2.3) vidljivo je da su sve vrijednosti u „plavom“ i „zelenom“ području, što ukazuje na njihove **iznimno niske koncentracije**. Sporadično se vide blago više koncentracije pojedinih metala na određenim postajama, N7 (Jezero Kutli) i N10 (Jezero u području grad Metković) u odnosu na ostatak postaja. **Međutim, te su koncentracije daleko ispod PGK, i mogu se okarakterizirati kao vrlo blago povišene.**

Iako je u navedenom području vrlo izražena poljoprivredna aktivnost, vrijednosti izmjerenih koncentracija metala ne pokazuju da te aktivnosti imaju utjecaj na kvalitetu vode istraživanog područja.

9 Sustavi prognoziranja poplava u RH

Sustav prognoziranja i upozoravanja odnosno rane najave opasnih vremenskih prilika jedna je od temeljnih komponenata smanjenja rizika od prirodnih nepogoda te jačanja otpornosti na društva na vremenske i klimatske ekstreme. Osnovna namjena takvih sustava je zaštita ljudi, imovine i dobara s ciljem smanjenja šteta od meteoroloških i hidroloških nepogoda koje u Hrvatskoj u prosjeku čine više od 80 % svih šteta i ekonomskih gubitaka od prirodnih nepogoda. Najveći udio šteta u razdoblju do 1981.-2011. godine (44%) odnosi se na sušu i olujne nepogode i tuču (20%). Nakon 2012. godine povećava se udio poplava uzrokovanih ekstremnom oborinom u uzrocima šteta. Primjerice, štete od poplave 2014. godine prelazile su milijardu kuna i bile su najveće u posljednjih 30 godina. U zadnje vrijeme svake godine svjedočimo i poplavlivanju obalnih područja visokim razinama mora što predstavlja rizik za obalna područja kako urbanog tako i poljoprivrednog karaktera. S klimatskim promjenama raste intenzitet ekstremne oborine, razina mora, te posljedično i rizik od poplava, što ukazuje na važnost daljnjeg unapređenja sustava prognoziranja i upozoravanja.

9.1 Sustav prognoziranja i upozoravanja na opasne vremenske prilike

Jedna od temeljnih zadaća DHMZ je upozoravanje na opasne vremenske prilike. Za potrebe rane najave opasnih vremenskih, klimatskih i hidroloških uvjeta, DHMZ provodi prognostičke proračune modelskim sustavom ALADIN-HR koji se koriste kao podloga za sustav upozoravanja i uzbunjivanja, izradu informacija o vremenu te pravovremenu najavu ekstremnih vremenskih uvjeta. Stoga se proces sustava prognoziranja i upozoravanja na DHMZ-u može podijeliti na dvije osnovne komponente:

- Izrada prognoza prognostičkim sustavom ALADIN-HR
- Izrada upozorenja na opasne vremenske prilike

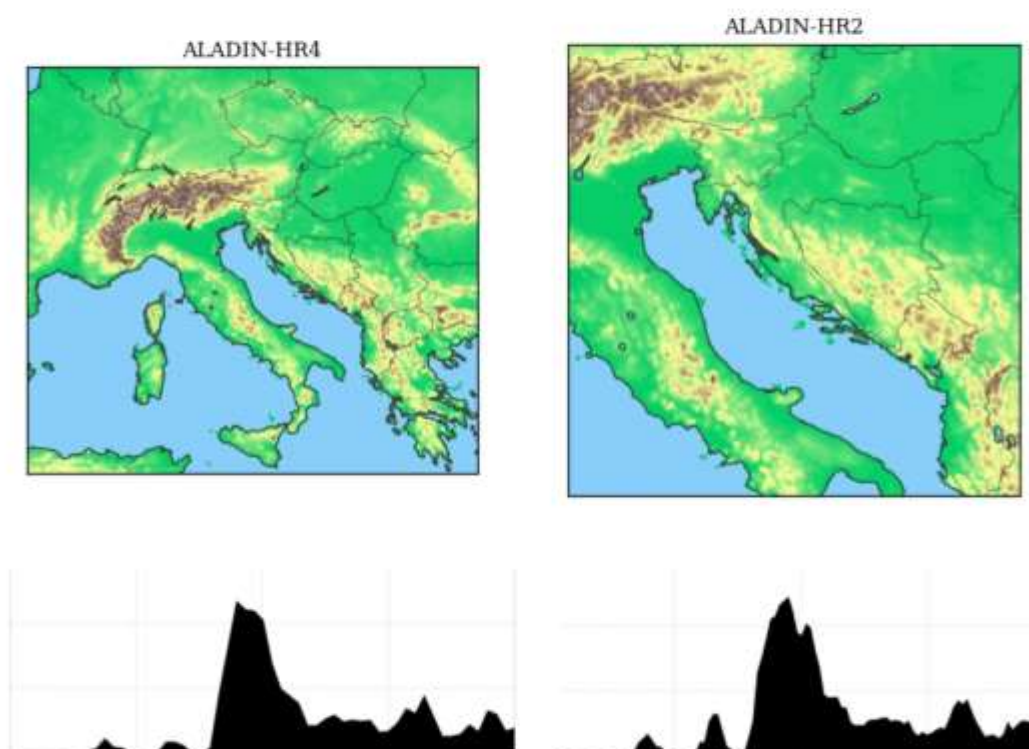
Osnovna komponenta prognostičkog sustava DHMZ-a je numerički model ALADIN (Airee Limiteé Adaptation Dynamique développement InterNational (ALADIN International Team, 1997). ALADIN je spektralni model sa hibridnom vertikalnom koordinatom, koji koristi semi-implicitnu semi-lagrangijansku shemu integracije s dva vremenska koraka. Postoji nekoliko konfiguracija ALADIN modela na DHMZ-u. Osnovna konfiguracija ALADIN-HR4 (Slika 9.1.1) je na horizontalnom koraku mreže od 4 km sa 72 vertikalna nivoa koja od fizikalnih parametrizacija koristi „ALARO paket“ parametrizacija (Termonia, i sur., 2017) koji je razvijen za razlučivost modela koja omogućuje

simulacije konvektivnih procesa („convection permitting resolution“). Takva konfiguracija modela prilagođena je pojavi jake oborine u Hrvatskoj, posebno epizodama kratkotrajnih konvektivnih oborinskih događaja. Vezana za ALADIN-HR4 konfiguraciju je tzv. dinamička adaptacija, konfiguracija koja se izvodi na horizontalnom koraku mreže od 2 km. Model dinamičke adaptacije je osnovni model koji se koristi za operativnu prognozu smjera i brzine prizemnog vjetra.

Sve prognoze modela ALADIN-HR operativno se izrađuju na superračunalu DHMZ-a. Da bi se numeričkim modelom proračunala prognoza za idućih nekoliko dana unaprijed potrebno je poznavati trenutno stanje atmosfere odnosno početne uvjete koji se određuju metodom asimilacije podataka. U postupku asimilacije podataka koriste se brojna meteorološka mjerenja i motrenja nad područjem Hrvatske i okolnih zemalja: prizemna mjerenja (na 2m i 10m), avionska mjerenja, mjerenja polarnih i geostacionarnih satelita te mjerenja meteorološkim balonom (radiosondažna mjerenja). Dnevno na DHMZ za potrebe izrade prognoze vremena modelom ALADIN-HR dolazi oko 400.000 mjernih zapisa. Budući je u modelu ALADIN-HR područje prognoziranja prostorno ograničeno, za proračun su potrebni i meteorološki uvjeti izvan njegove domene (rubni uvjeti) koji se dobivaju od globalnog prognostičkog modela IFS Europskog centra za srednjoročne prognoze vremena (ECMWF).

U operativnoj primjeni proračun modela izvršava se četiri puta dnevno, sa vremenom inicijalizacije 00, 06, 12 i 18 UTC (koordinirano svjetsko vrijeme), te prognostičkih razdoblje od 72 sata unaprijed. Točnost, pravovremenost i pouzdanost se pritom smatraju glavnim odrednicama modela. Na DHMZ-u se najveća moguća točnost osigurava kontinuiranim razvojem i usporedbom modela s mjerenjima, pravovremenost i automatiziranim izvršavanjem operativnih procedura na superračunalu, a visoka pouzdanost stalnim dežurstvom 0-24h svaki dan u tjednu tijekom cijele godine.

U Hrvatskoj su uloge i odgovornosti državnih tijela u kriznim situacijama definirane državnim planom i zakonom, a podrazumijevaju suradnju i koordinaciju između DHMZ-a i Operativnog centra civilne zaštite (OCCZ) primjenom Standardnoga operativnog postupka (SOP) za korištenje vremenskih prognoza DHMZ-a (SOP 2006, NN 174/04)(Renko i sur., 2019). U slučaju vremenske nepogode ili bilo koje druge katastrofe SOP-om se regulira sadržaj prognoza i upozorenja te njihovo prosljeđivanje i interpretacija.

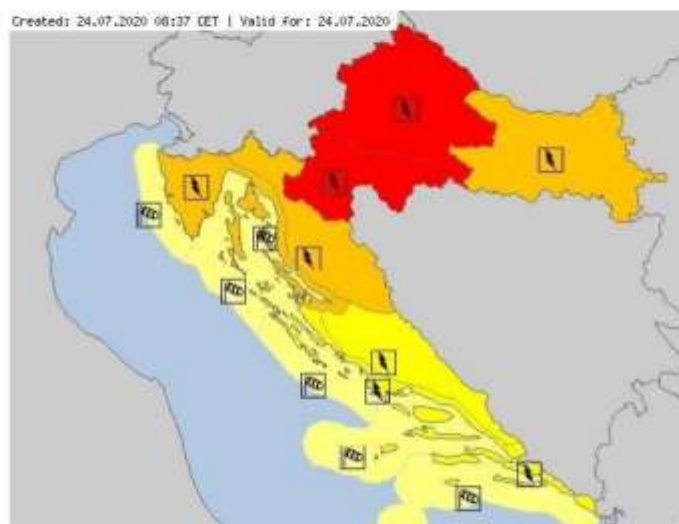


Slika 9.1.1. Područja (domene) za koje se radi proračun prognoze modelom ALADIN-HR te vertikalni presjek kroz planinu Velebit za dvije konfiguracije modela na različitim horizontalnim razlučivostima.

Osim prema OCZZ-u, upozorenja na opasne vremenske prilike se izdaju prema građanima preko web stranice meteo.hr te preko sustava METEOALARM. METEOALARM je projekt europskih meteoroloških službi udruženih u EUMETNET grupaciji koji putem svog web portala objedinjuje službene prognoze i najave opasnih vremenskih pojava 37 nacionalnih meteoroloških službi za potrebe upozoravanja javnosti. Sustav je namijenjen svima koji borave na području Europe, ali i svijetu te je dostupan na 33 jezika. Upozorenja koja DHMZ šalje u međunarodnu razmjenu, ponajprije sustavom METEOALARM, pripremaju se u digitalnom formatu CAP (Common Alerting Protocol) formatu. CAP je digitalni format za slanje upozorenja koji omogućuje istovremenu distribuciju upozorenja putem više komunikacijskih kanala (mobilne mreže, telefaks, radio, televizija

i ostale vrste digitalne komunikacije putem interneta). Kroz METEOALARM upozorenja se izdaju za sljedeće pojave: jaka kiša, snijeg i led, magla, grmljavinska oluja, olujni udari, toplinski valovi, požari, ekstremna hladnoća s mećavom, lavine te visoki valovi.

U Hrvatskoj se odnedavno izdaju i upozorenja na bujične i urbane poplave. Prvo takvo upozorenje izdano je prije poplave u Zagrebu 24.-25. srpnja 2020. godine (Slika 9.1.2). U svojoj operativnoj prognostičkoj službi DHMZ koristi dva hidrološka prognostička sustava za prognozu i ranu najavu bujičnih poplava: Southeast Europe Flash Flood Guidance System (SEEFFGS) i European Flood Awareness System (EFAS). SEEFFGS prognostički sustav pokreće se redovito 4 puta dnevno u Regionalnom centru projekta SEEFFGS-a. U okviru implementacije Globalnog FFGS-a uspostavljeno je 16 regionalnih projekata. Hrvatska sudjeluje u South East Europe FFGS-u koji je nastao suradnjom WMO-a, DHMZ-a i ostalih nacionalnih hidrometeoroloških službi Jugoistočne Europe. EFAS je operativni europski hidrološki prognostički sustav razvijen s ciljem osiguravanja vremena za provedbu pripremnih mjera prije velikih poplava posebice u velikim transnacionalnim riječnim slivovima. Valja spomenuti i model Sava SM2 - operativni hidrološki prognostički sustav upozorenja na poplave za sliv rijeke Save od granice s Republikom Slovenijom do granice s Republikom Srbijom.



Slika 9.1.2. Meteorološko upozorenje na obilnu oborinu tijekom poplave u Zagrebu 24-25. srpnja 2022.

Upozorenja za pojavu bujičnih poplava na DHMZ-u izrađuju se četiri puta dnevno do 6 sati unaprijed i prosljeđuju se nadležnim tijelima za obranu od poplava. Rezultati mjerenja se dijele na dijagnostičke produkte koji su namijenjeni analizi hidrometeorološke situacije svakog sliva, prognostičke produkte koji daju prognoziranu količinu oborine za pojedino slivno područje i smjernicu na bujičnu poplavu, produkte alarma na bujičnu poplavu i dodatne produkte poput količina vode u snijegu i količina otopljenog snijega na svakom pojedinom slivu. Konačno, upozorenja za visoke razine mora se na DHMZ-u službeno ne izdaju, no u takvim se meteoroloških situacijama kroz medije najavljuje mogućnost njihova učinka.

Boje na kodiranoj karti za upozorenja predstavljaju razinu rizika. Crvena naznačuje vrlo opasne vremenske pojave koje mogu prouzročiti veliku materijalnu štetu i opasne su za živote, potom slijede narančasta i žuta ovisno o intenzitetu nepogode, a zelena znači da se ne previđaju opasne vremenske neprilike. Granice razina se razlikuju od regije do regije, obzirom da vremenske neprilike ne uzorkuju jednake poremećaje i štete na svim područjima. Isto tako postoje razlike između razina upozorenja obalnih i kopnenih područja budući da se vrednuju drugačiji kriteriji i njima popratne posljedice.

9.2 Unapređenje sustava prognoziranja i upozoravanja

S obzirom da su upozorenja na opasne vremenske prilike jedna od temeljnih zadaća DHMZ-a, sustav prognoziranja i upozoravanja sustavno se unapređuje. Velik dio razvojnih aktivnosti provodi se u okviru znanstvene jedinice DHMZ-a koji je osim operativne i akreditirana znanstvena organizacija (u registru znanstvenih organizacija od 1976. godine). Temeljna aktivnost znanstvene jedinice DHMZ-a, u kontekstu sustava prognoziranja i upozoravanja, je razvoj modela ALADIN-HR u okviru ACCORD (A Consortium for CONvection-scale modelling Research and Development) konzorcija. ACCORD je u osnovi je projekt suradnje zemalja članica na području numeričke prognoze vremena (NWP). Osnovni zadaci projekta su: (i) razvoj NWP sustava i njegova primjena na ograničenom geografskom području, (ii) rad na maloj domeni i velikoj prostornoj rezoluciji kako bi se prognozirali atmosferski procesi značajni za finu skalu (npr. kratkotrajne oborine i grmljavinska nevremena, lokalni vjetar, zone konvekcije), te (iii) razvoj vrhunskog modela za operativnu numeričku prognozu vremena tako da svi partneri učestvuju u istraživanju i razvoju modela sa svrhom da svaki učesnik projekta može koristiti dobivene rezultate.

Područje Sredozemlja, karakterizirano specifičnim i kompleksnim orografskim obalnim karakteristikama te smješteno na raskrižju dominantnih vremenskih sustava (ciklona), posebno je podložno utjecaju klimatskih promjena. To se ujedno manifestira kroz velik broj i intenzitet lokalnih oluja te grmljavinskih nevremena kojima svjedočimo. Kao njihova posljedica, nerijetko dolazi do značajne materijalne štete na gradskim infrastrukturama uslijed plavljenja uzrokovanog ekstremnim količinama oborine ili zbog udara olujnog vjetra. Atmosferske strukture odgovorne za takve ekstremne meteorološke uvjete nerijetko su dimenzija nekoliko kilometara ili manje te nisu razlučive s trenutnom konfiguracijom ALADIN modela (horizontalna razlučivost 4 km). Da bi se takve pojave mogle adekvatno prognozirati, potrebno je povećati horizontalnu razlučivost ALADIN modela s 4 km na barem 1 km što uzrokuje potrebu za povećanjem računalnih resursa. Trenutno superračunalo DHMZ-a BullSequana XH2000 nabavljeno 2020. godine ima od oko 11.000 jezgri, no u kontekstu prognoze i upozorenja pokriva samo 8% potreba. Značajno povećanje računalnih resursa planira se realizirati kroz financijsku omotnicu 2021-2027.

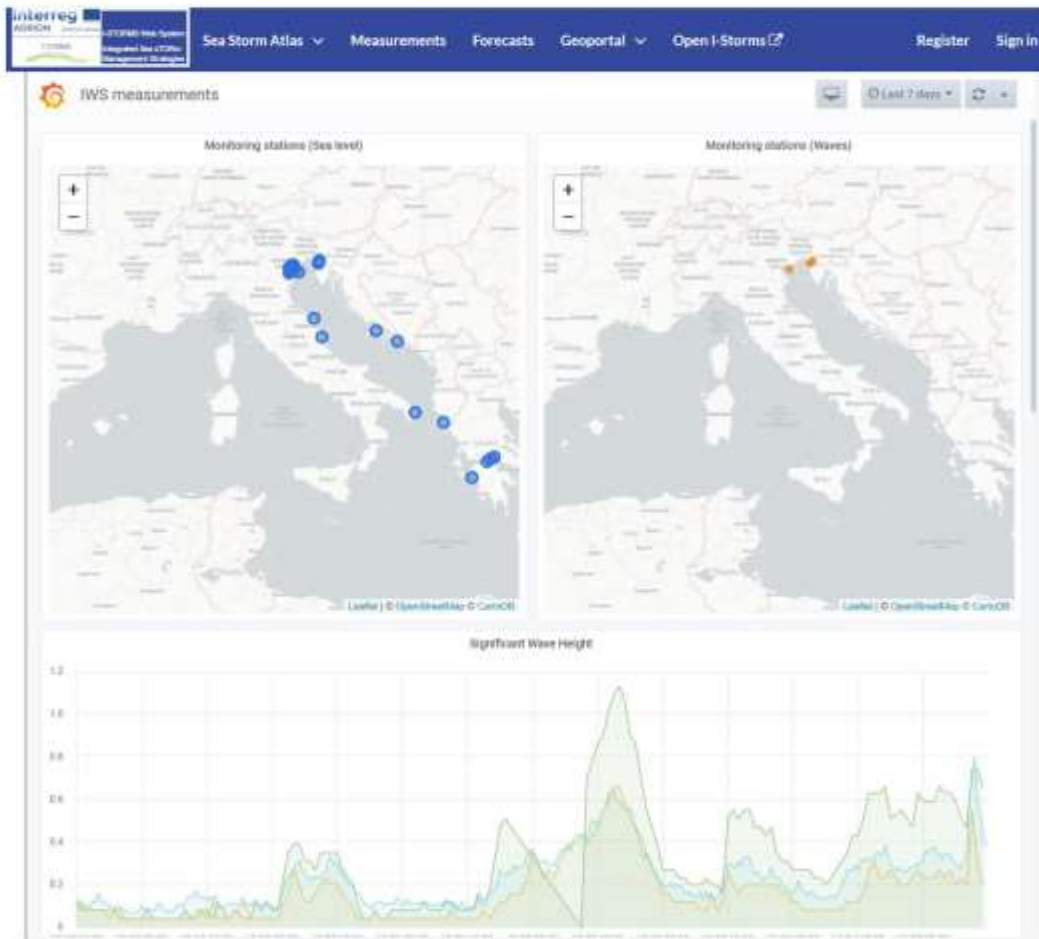
Osim unapređenja samog modela, nekoliko komponenti razvoja prognostičkog sustava ima potencijal značajno poboljšati numeričku prognozu vremena. Posebno se tu ističe važnost novih radarskih mjerenja, koja od 2022. godine pokrivaju područje cijele Hrvatske. Ta mjerenja će omogućiti će bolje početne uvjete za numeričku prognozu putem asimilacije podataka te direktno utjecati na točnost prognoze oborine u iduća 3 dana. Zatim, radarskim mjerenjima imaju svoju moguću primjenu i za metode neposrednog praćenja i vrlo kratkoročne prognoze vremena (npr. nekoliko sati unaprijed) kao i metoda naknadne obrade (*postprocessinga*, kalibracije) za dodatno lokaliziranje prognoze, što su razvojni pravci DHMZ-a za idućih nekoliko godina.

U području Hrvatske za točnost numeričke prognoze ključan je i razvoj združenih komponenti atmosfera-tlo-more. Naime, kako stanje tla (npr. vlažnost tla, sastav) utječe na otjecanje oborine i poplave na kopnu, tako i stanje mora (razina mora, valovi) utječe na poplavljanje obalnog područja. Trenutno su u završnoj fazi razvoja dvije združene komponente novog prognostičkog sustava koje će se implementirati u operativnu primjenu: 1) model valova Wind Wave Model te u kasnijoj fazi model Wave Watch 2) model tla SURFEX koji npr. značajno unapređuje opis urbanog krajobraza. Znanje i iskustva sa korištenjem modela olujnog uspora za simuliranje razine mora u Hrvatskoj postoje u više istraživačkih grupa, no nedostaju aktivnosti vezane za punu operativnu primjenu ovih modela. Slično je i sa uspostavom oceanografskog sustava na skali Jadrana i priobalnih područja hrvatskog dijela Jadrana oceanografskim modelima, te sa uspostavom modela drifta i dinamike naftnog zagađenja.

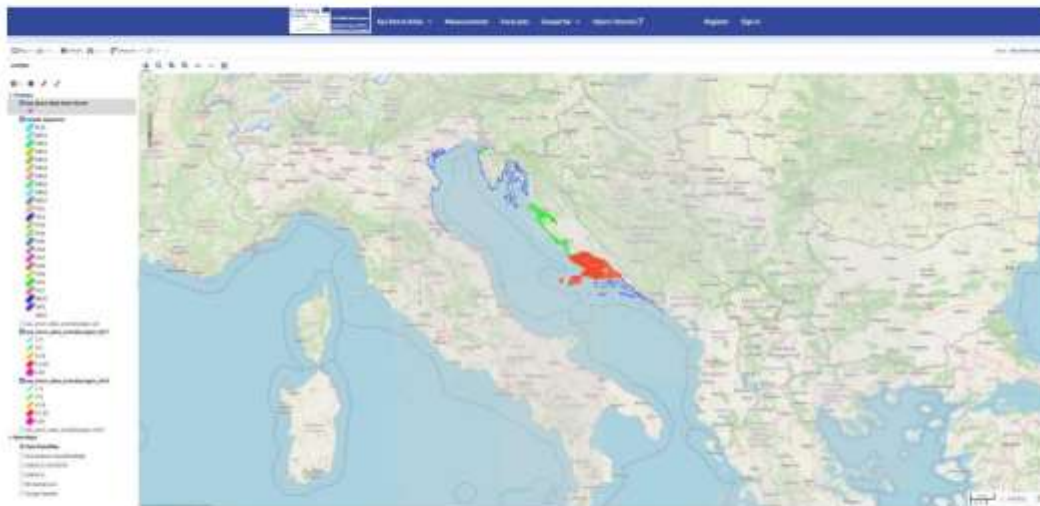
Korak naprijed prema operativnoj primjeni ovih modela napravio je projekt I-STORMS koji je razvio interoperabilnu informacijsku platformu - geoportal za oceanografska mjerenja i prognostičke modele cirkulacije mora za potrebe ranih upozorenja na mogućnosti plavenja mora (<https://istorms.adrioninterreg.eu/>). Navedeni geoportal sastoji se od centralnog I-STORMS portala (<https://www.seastorms.eu/>, Slika 9.2.1), portala s mjerenjima IWS Measurements (<https://iws.seastorms.eu/dashboards/>, Slika 9.2.2) u kojem su dani povijesni i aktualni podaci o razinama mora i valovima, atlasa Sea Storm (https://iws.seastorms.eu/sea_storm_atlas/map, Slika 9.2.3) koji sadrži katastar povijesnih poplava s mora, te prognostičkog modula TMES u kojem su dane prognoze oceanografskih parametara (<https://iws.seastorms.eu/tmes/>, Slika 9.2.4).



Slika 9.2.1. I-STORMS geoportal (<https://www.seastorms.eu>)



Slika 9.2.2. Geoportal IWS Measurements (<https://iws.seastorms.eu/dashboards/>)



Slika 9.2.3. Sea Storm Atlas (https://iws.seastorms.eu/sea_storm_atlas/map)



Slika 9.2.4. Prognostički modul TMES (<https://iws.seastorms.eu/tmes/>)

Što se tiče sustava prognoziranja i upozoravanja, jedan od razvojnih ciljeva je povećati broj regija za koja se izdaju upozorenja (sada osam), odnosno uskladiti regije upozorenja s administrativnih granicama županija i pripadnih civilnih službi. Drugo, kako bi mogli poduzeti odgovarajuće mjere za smanjenje rizika od vremenskih i hidroloških pojava, nadležne službe i javnost trebaju razumjeti na koji način predstojeća vremenska nepogoda može utjecati na njihov život, imovinu te infrastrukturu i ekonomiju zajednice (Renko et al., 2019). Kvalitetnija veza između same meteorološke pojave i razumijevanja što ona može prouzročiti na određenom prostoru i u određeno vrijeme može se premostiti izdavanjem upozorenja koja će se zasnivati na mogućem utjecaju opasne vremenske pojave na društvo, ljudske živote, imovinu i gospodarstvo, tzv. *impact-based* upozorenja. Pri tome, učinke ekstremnih vremenskih prilika treba promatrati kako u fizikalnom tako i socio-ekonomskom kontekstu. Primjer takvog upozorenja utjecaja predstavlja utjecaj obilne i intenzivne kiše na promet tijekom prometne gužve u urbanom području. Usmjeravanje sustava upozoravanja prema takvim vrstama upozorenja koja imaju veći potencijal da umanje posljedice opasnih vremenskih prilika je već u tijeku i nastaviti će se idućih godina.

10 Probabilistički model prognoziranja pluvijalnih poplava u Zadru

10.1 Uvodno o modelima prognoziranja pluvijalnih poplava

Jedan od ciljeva projekta STREAM je razviti model prognoziranja pluvijalnih poplava za urbano područje Grada Zadar. Prognostički model temelji se na 20-godišnjim podacima prikupljenim iz novinskih izvješća i kontinuiranim meteorološkim podacima visoke razlučivosti. U tu svrhu provedena je analiza dva pristupa izradi modela za prognoziranje pluvijalnih poplava:

- Model koji se temelji na definiranju praga kritičnih količina oborine te
- Model koji se temelji na strojnom učenju.

U prvom pristupu definira se prag količine oborina za različita trajanja koji opisuje kritične vrijednosti koje ako budu nadmašene mogu uzrokovati plavljenje urbanog područja. U drugom pristupu koriste se različiti modeli strojnog učenja čiji osnovni zadatak je da skupove količina oborina različitog trajanja klasificiraju u događaje koji uzrokuju plavljenje (poplavni događaji) i događaje koji ne uzrokuju plavljenje (neplavni događaji).

Za početak daje se pregled novinskih izvještaja po pluvijalnim poplava na području Zadra, nakon toga daje se pregled osnovnih sezonskih (međugodišnjih) karakteristika oborina u Zadru, potom pregled potencijalnih rješenja i pristupa te rezultati analize točnosti i pouzdanosti predloženih rješenja za prognoziranje pluvijalnih poplava.

Treba napomenuti da su u okviru testiranja predloženih rješenja korišteni izmjereni podaci o oborinama, ali je model namijenjen da koristi meteorološke prognoze, što može umanjiti učinkovitost modela. Prognoze za koji je postavljen predloženi pristup temelji se na modelu ALADIN Državnog hidrometeorološkog zavoda, čiji proizvodi uključuju, među ostalim, XML datoteke meteograma (vremenskog tijeka meteoroloških parametara) koji su dostupni 72 sata unaprijed za sve veće gradove u Republici Hrvatskoj.

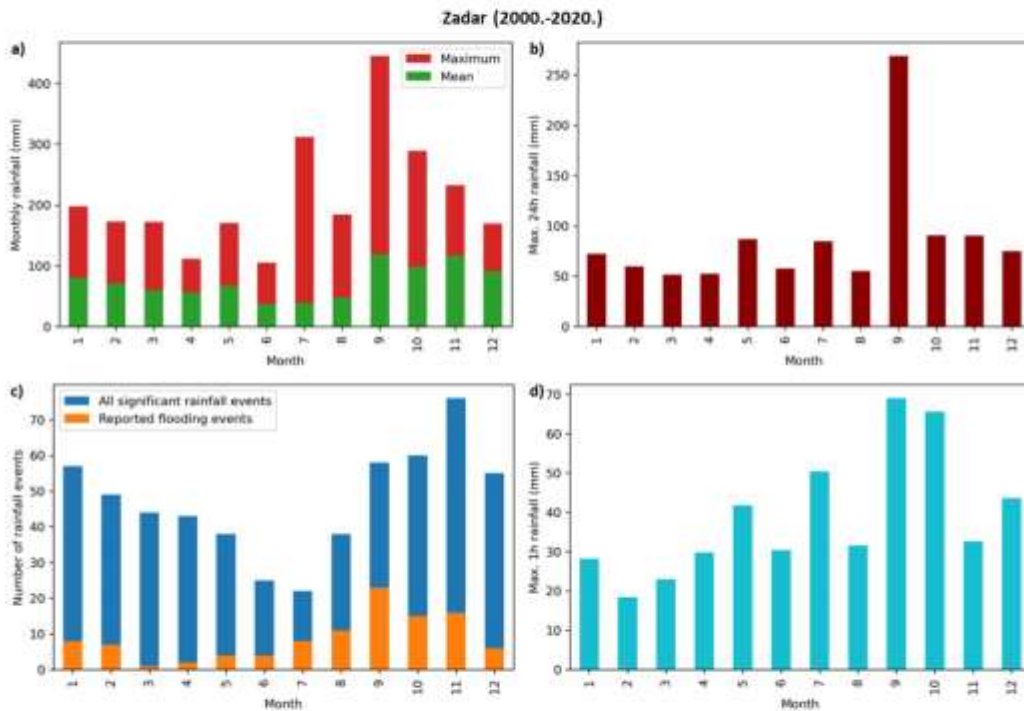
10.2.2 Obrada podataka

Količine oborina u Zadaru mjere se službenim ombrografom na meteorološkoj postaji Zadar. Podaci imaju vremensku rezoluciju od 5 minuta i preciznost 0,1 mm. U svrhu predmetne analize korišteni su kontinuirani vremenski zapisi 5-minute količine oborine zabilježeni u razdoblju od 2000. – 2020. Pritom su određene i satne, dnevne i mjesečne količine oborina za preliminarnu analizu oborinskog režima na predmetnom području.

Na Slici 10.2.2. prikazana je međugodišnja raspodjela maksimalnih (i srednjih) mjesečnih, dnevnih i satnih oborina, kao i broj poplava evidentiranih u Biltenu. Srednje mjesečne oborine imaju najviše vrijednosti tijekom jeseni (rujan – prosinac), dok se maksimalne mjesečne vrijednosti uz jesen javljaju i tijekom ljeta (srpanj). Maksimalne dnevne oborine su relativno ravnomjerno raspoređene po mjesecima, pritom se svakako ističe ekstremni događaj iz rujna 2017. godine, koji je izazvao velik poplave te uzrokovao znatnu materijalnu štetu ([https:// www.eumetsat.int/flash-floods-zadar-and-surrounding-areas](https://www.eumetsat.int/flash-floods-zadar-and-surrounding-areas)). Kada se promatraju maksimalne satne oborine, tada se najveće vrijednosti javljaju tijekom rujna, listopada i srpnja., što pokazuje određenu međusobnu povezanost s maksimalnih mjesečnim količinama.

Promatrajući broj kišnih događaja, može se općenito zaključiti kako se najveći broj kišnih događaja u promatranom razdoblju dogodio u studenom te ostalim jesenjim mjesecima (rujan do prosinac), međutim promatrajući broj jakih kišnih događaja koji su rezultirali poplavama, najveći broj se događa u rujnu te potom u listopadu i studenom. Prema Biltenu gotovo svake godine jedna poplava u rujnu prouzroči pluvijalnu poplavu u Zadru.

Ombrografski podaci su potom obrađeni za daljnju analizu – prognozu poplava. U prvom koraku izdvojeni su pojedinačni pljuskovi (kišni događaji) koji su identificirani kao kišni događaji omeđeni razdobljem od 12 sati bez oborine. Iz niza kišnih događaja za daljnju analizu odabrani su oni događaji koji sadrže barem 10 mm oborine. Nakon navedena dva korak preostalo je 565 relevantnih oborina od ukupno 1456 kišnih događaja koji su zabilježeni tijekom razdoblja od 2000. do 2020. godine. Na Slici 10.2.3 prikazani su sve zabilježene i odabrane oborine s prikazom histograma i odnosa između količine oborine i trajanja oborine. Treba naglasiti da kišni događaji mogu potrajati i po nekoliko dana, iako je većina trajanja ispod 12 sati. Kao i prethodno, jedan događaj koji odskače od preostalih s gotovo 300 mm oborine u nešto manje od 40 sati je ekstremna oborina iz rujna 2017. godine.

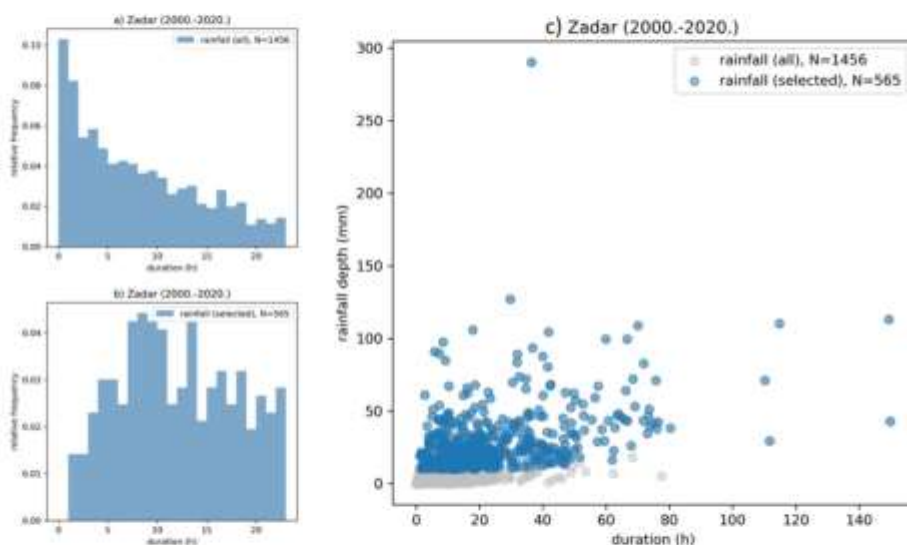


Slika 10.2.2. Međugodišnja statistika oborina u Zadru (2000.-2020.): a) srednja i maksimalna mjesečna količina oborine, b) maksimalna dnevna količina oborine, c) broj svih događaja i onih koji su prouzročili poplavu te d) maksimalna jednosatna količina oborine.

Za svaki odabrani kišni događaj, maksimalna dubina padalina $H_{max}(t)$ za svako razmatrano trajanje t (vremenska skala) izračunata je pomoću sljedećeg izraza:

$$H_{max}(t) = \max_j \left\{ \sum_{k=1}^{t/5} H_5(k), \dots, \sum_{k=1+j}^{t/5+j} H_5(k), \dots, \sum_{k=1+(1440-t)/5}^{1440/5} H_5(k) \right\} \quad (10.1)$$

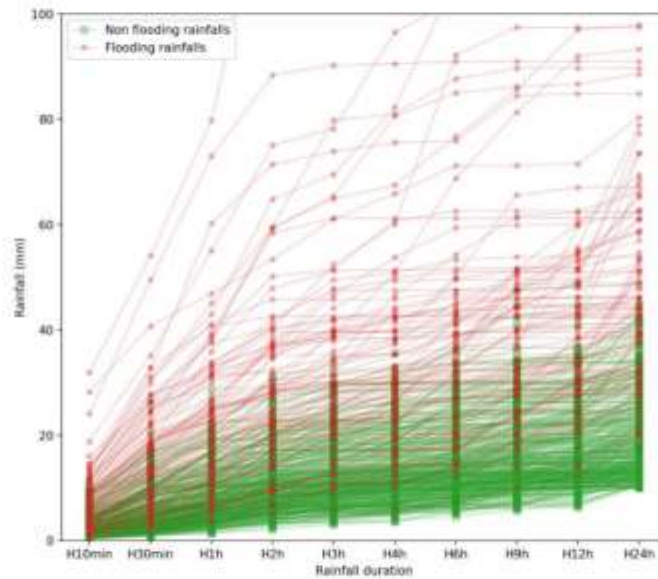
gdje $j = 0, 1, \dots, N$, s $N = (1440-t)/5$ broj sumiranih količina oborina za svako trajanje, H_5 je dubina oborina od 5 minuta, a t su trajanja oborina. Treba naglasiti da svaka stavka u zagradi jednadžbe (10.1) predstavlja t -min količinu oborina akumuliranu iz k 5-minutnih količina, a H_t je tada najveća vrijednost svih kumulativnih oborina za odabrano trajanje.



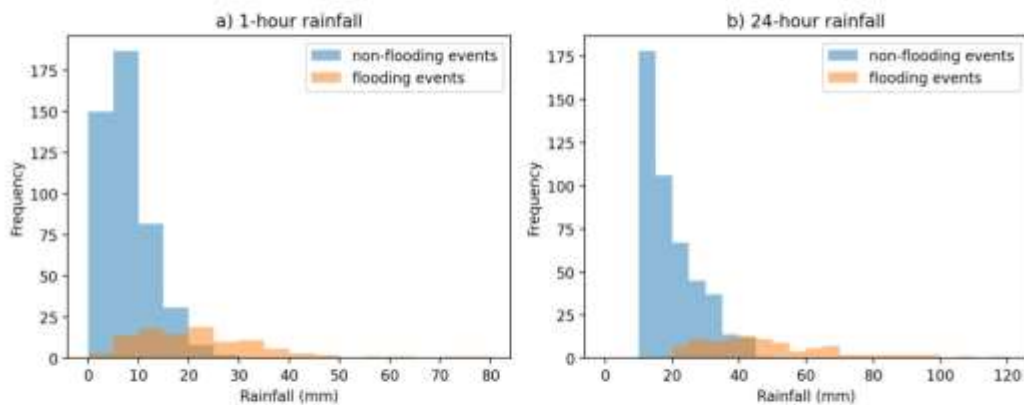
Slika 10.2.3. Pojedinačni oborinski događaji u Zadru (2000.-2020.): a) histogram trajanja za sve oborinske događaje, b) histogram trajanja za značajne (odabrane) oborinske događaje i c) ukupna dubina oborina u odnosu na trajanje za sve i odabrane oborinske događaje.

Slika 10.2.4 prikazuje krivulje dubine i trajanje za sve odabrane kišne događaje različitog trajanja klasificirane kao poplavni ili neplavni događaji na temelju prikupljenih i obrađenih vijesti. Glavni izazov kod klasificiranja ovih događaja na temelju količine oborina je visok postotak preklapanja poplavnih i neplavnih događaja za sva razmatrana trajanja. Ovo je dodatno ilustrirano na Slici 10.2.5 histogramima količina oborina za reprezentativno kratko trajanje (1 sat) i dugo trajanje (24 sata). Prikazani rezultati sugeriraju da se i poplavni i neplavni događaji mogu dogoditi kada je 1-satna količina padalina u rasponu od 0-30 mm, a 24-satna dubina oborina u rasponu od 20-50 mm, što otežava odabir odgovarajućeg praga za prognoziranje poplava na temelju količine oborine.

Za daljnju analizu, odnosno model prognoze pluvijalnih poplava, koriste se oborine trajanja 3, 6, 12 i 24 sata, s obzirom da DHMZ javno objavljuje prognoze u koracima od 3 sata (https://meteo.hr/proizvodi.php?section=podaci¶m=xml_korisnici).



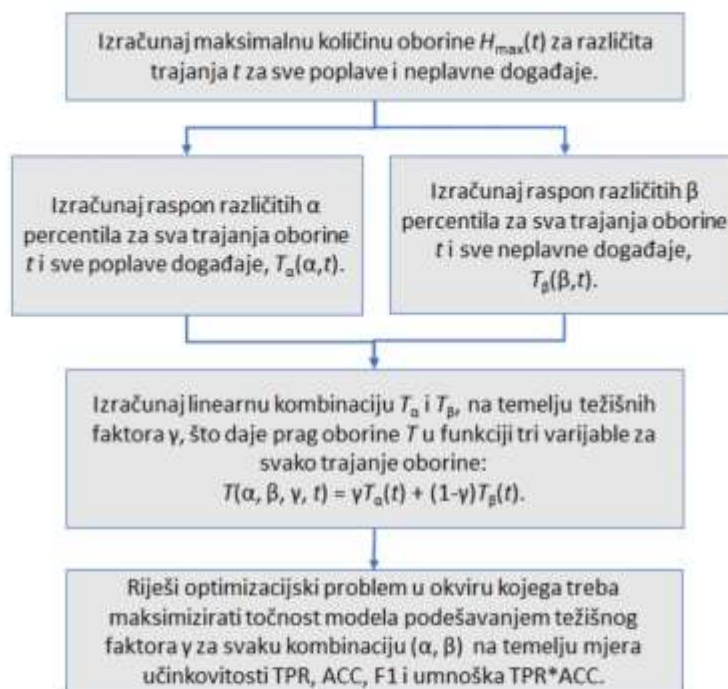
Slika 10.2.4. Krivulje trajanja i dubine za sve odabrane kišne događaje različitog trajanja klasificirane kao poplavni (crvena boja) i neplavni (zelena boja) događaji na temelju novinskih izvješća iz Biltena.



Slika 10.2.5. Histogram poplavnih i neplavnih količina oborina trajanja 1 i 24 sata.

10.2.3 Pristup 1: Model praga kritične količine oborina

Konvencionalan i jednostavan pristup za prognozu poplava je prag kritične količine oborine (eng. *critical rainfall threshold*) (Martina i sur., 2006; Yang i sur., 2016; Tian i sur. sur., 2019; Ke i sur., 2020.). Prag kritične količine oborine definiran je jednom količinom oborine ili nekoliko različitih količina za različita trajanja oborine (tzv. krivulja praga kritične količine oborine), iznad koje se smatra da je izgledno da će doći do poplave (Ke i sur., 2020). Navedeni pristup učestalo se koristi za predviđanje klizišta (Giannecchini i sur., 2012; Hong i sur., 2018), pronosa nanosa (Pan i sur., 2018) i bujičnih poplava (Zhai i sur., 2018). Uobičajeni pristup je da se prognozirana količina oborine uspoređuje s unaprijed definiranim pragom; u slučaju da količina oborine prelazi prag proglašava se upozorenje na poplave.



Slika 10.2.6. Dijagram toka za procjenu krivulje praga kritične količine oborina za pluvijalne poplave (modificirano prema Ke i sur., 2020.)

U predmetnoj studiji koristi se metodologija autora Ke i sur. (2020) za prognoziranje pluvijalnih poplava uz neke manje izmjene. Krivulja praga kritičnih količina oborine definirana je maksimalnim količinama oborine za različita odabrana trajanja. Treba naglasiti da dobivene krivulja nije kumulativne krivulja oborine, već niz diskretnih vrijednosti maksimalnih količina za svako trajanje (slično standardnim HTP krivuljama). Nadalje, usvojena je pretpostavka da će se pluvijalna poplava dogoditi kada promatrana maksimalna količina oborine bilo kojeg razmatranog trajanja premaši krivulju praga kritične količine oborina. Dijagram toka s glavnim koracima za procjenu krivulje praga kritičnih oborina prikazan je na Slici 10.2.6. Konkretno, u ovoj analizi, parametri α i β u rasponu su od 0,0 – 0,5 odnosno 0,5 – 1,0, dok je γ u rasponu od 0,0 – 1,0.

10.2.4 Pristup 2: Model strojnog učenja

Metode strojnog učenja (eng. *Machine Learning*, ML), posebno metode nadziranog učenja, su algoritmi koji se treniraju na podskupu podataka, a zatim testiraju na drugom podskupu podataka kako bi se potvrdila njihova točnost za buduće podatke. Općenito, nadzirane metode ML koriste se za klasifikaciju (prepoznavanje kategorije kojoj objekt pripada) ili probleme regresije (predviđanje međuodnosna između dviju vrijednosti). Predviđanje poplava tipičan je problem klasifikacije – procjena pripada li pojedinačna oborina (ili širi skup hidroloških varijabli) kategoriji „poplavnih događaja“ ili „neplavnih događaja“, odnosno prognozira se hoće li određena oborina uzrokovati plavljenje ili neće. S obzirom na veličinu podataka (količine oborina) i binarni ishod, u predmetnoj analizi odabrano je testirano 10 klasifikacijskih ML algoritama iz pet glavnih ML kategorija: a) linearni modeli, b) strojevi s potpornim vektorima (eng. *Support Vector Machines*, SVM), c) diskriminantna analiza (eng. *Discriminant Analysis*, DA), d) stabla odlučivanja (eng. *Decision Trees*, DT), i e) najbliži susjedi (eng. *Nearest Neighbours*, NN) (vidi Tablicu 10.2.1). Svi ML algoritmi implementirani su u Python programskom jeziku koristeći paket *scikit-learn* (Pedragosa i sur., 2011.).

10.2.5 Kriteriji za procjenu točnosti modela

Za sve razmatrane pristupe skup podataka je slučajnim odabirom podijeljen na podskupove za treniranje i testiranje u omjeru 70:30, što je rezultiralo s 395 događaja za treniranje i 170 događaja za testiranje.

Točnost i pouzdanost oba modela ocijenjena je pomoću nekoliko pokazatelja. Budući da se radi o problemu binarne klasifikacije, očekuju se samo četiri moguća ishoda:

- Stvarno pozitivan (TP) – model je ispravno identificirao poplavni događaj

- Stvarno negativan (**TN**) – model je ispravno identificirao događaj bez poplave
- Lažno pozitivno (**FP**) – događaj koji nije uzrokova poplavu je pogrešno identificiran kao poplavni događaj
- Lažno negativan (**FN**) – poplavni događaj pogrešno identificiran kao događaj bez poplave

Na temelju broja ova četiri ishoda nadalje se računa nekoliko pokazatelja:

- Osjetljivosti **TPR** = $TP / (TP + FN)$
- Specifičnost **TNR** = $TN / (TN + FP)$
- Pozitivna prediktivna vrijednost **PPR** = $TP / (TP + FP)$
- Negativna prediktivna vrijednost **NPR** = $TN / (TN + FN)$
- Preciznost **ACC** = $(TN + TP) / (TN + TP + FN + FP)$
- F1 rezultat **F1** = $2 * (TPR * PPR) / (TPR + PPR)$

Uz ove klasične pokazatelje bodovanja, također je proračunat i umnožak osjetljivosti i preciznosti TPR i ACC kao kombiniranu mjeru TP R_ACC.

Tablica 10.2.1. Metode strojnog učenja primijenjene za prognozu pluvijalnih poplava

Br.	Kategorija modela	Model	Parametri
0	Linearni model	<i>Logistička regresija</i>	Bez penala
1	Strojevi s potpornim vektorima	<i>Klasifikacija pomoću potpornih vektora</i>	Linearni kernel
2			Kvadratni kernel
3			Kubni kernel
4	Diskriminantna analiza	<i>Linearna</i>	SVD rješavač
5			<i>Kvadratna</i>
6	Stabla odlučivanja	<i>Klasifikacija pomoću stabla odlučivanja</i>	8 čvorova
7			18 čvorova
8	Najbliži susjedi	<i>Klasifikacija pomoću k-broja susjeda</i>	3 susjeda
9			Euklidska udaljenost
			15 susjeda
			Euklidska udaljenost

10.3 Rezultati modela prognoziranja pluvijalnih poplava u Zadru

10.3.1 Točnost model praga kritične količine oborina

Koristeći podskup podataka za treniranje koji se sastoji od 76 kišnih događaja koji su uzrokovali plavljenje i 319 događaja koji nisu uzrokovali plavljenje provedena je Monte Carlo analiza različitih kombinacija parametara α , β i γ . Iz skupa od nekoliko tisuća kombinacija odabrane su tri najbolje krivulje praga kritične količine oborina, koje imaju najbolju vrijednost prema jednoj od promatranih mjera točnosti. Vrijednosti najbolje tri krivulje za trajanja 3, 6, 12 i 24 sata prikazane su u Tablici 10.3.1. Ove tri krivulje su potom primijenjene na podskupu za testiranje koji se sastoji od 29 kišnih događaja koji su uzrokovali plavljenje i 141 kišnog događaja koji nisu uzrokovali plavljenje. Točnost svake od triju odabranih krivulja procijenjena je pomoću prethodno navedenih mjera točnosti, što je zbirno prikazano matricom zabune (eng. *confusion matrix*) na Slici 10.3.1. Uz to, usporedba krivulja količine i trajanja oborine (poplavni i neplavni događaji) s tri izvedene krivulje praga kritične količine oborine ilustrirana je na Slici 10.3.2.

Sve tri krivulje imaju točnost (ACC) između 0,84 i 0,93 (Tablica 10.3.2). Krivulja br. 0 ima najbolju specifičnost (TNR) i pozitivnu prediktivnu vrijednost (PPR), međutim ima nisku osjetljivost. Krivulja br. 1 ima najveću točnost (ACC) i F1 rezultat, međutim ima nešto nižu pozitivnu prediktivnu vrijednost (PPR). Krivulja br. 2 ima najvišu osjetljivost i negativnu prediktivnu vrijednost te kombiniranu ocjenu. Pojednostavljeno rečeno, krivulja br. 0 ima visoko postavljen prag, stoga ako se dogodi oborina iznad tog praga vrlo je velika vjerojatnost da će se poplava i dogoditi, međutim također je i znatan broj događaja kada se poplava može dogoditi, a ovim pragom ona neće biti predviđena. S druge strane, krivulja br. 2 ima nisko postavljen prag i daje konzervativne prognoze, vrlo je visoka vjerojatnost da će svaka poplava biti predviđena ovom krivuljom, međutim u osom slučaju moguć je visok broj „lažnih uzbuna“. Krivulja br.1 ima prag postavljen između druge dvije krivulje, što je čini svojevrsnim kompromisom između „lažnih uzbuna“ i „propuštenih poplava“. Treba također istaknuti da i za najviši prag količine oborina imaju povratni period manji od jedne godine.

Tablica 10.3.1. Pragovi kritične količine oborine (mm) različitog trajanja za najbolje tri krivulje.

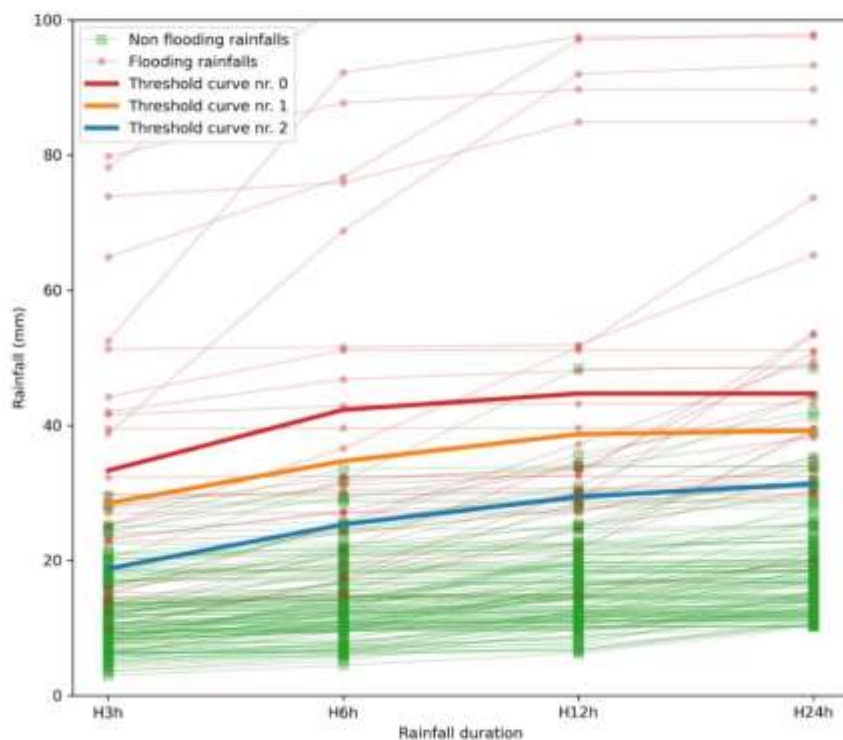
Krivulja	H _{3h}	H _{6h}	H _{12h}	H _{24h}
0	33.3	42.3	44.7	44.7
1	28.5	34.7	38.7	39.2
2	18.8	25.3	29.4	31.4

Tablica 10.3.2. Parametri i mjere točnosti za najbolje tri krivulje praga kritične količine oborine.

Krivulja	α	β	γ	TPR	TNR	PPR	NPR	ACC	F1	TPR_ACC
0	0.0	1.0	0.0	0.59	0.99	0.94	0.92	0.92	0.72	0.54
1	0.18	1.0	0.35	0.76	0.96	0.81	0.95	0.93	0.79	0.71
2	0.1	1.0	0.7	0.93	0.82	0.51	0.98	0.84	0.66	0.78



Slika 10.3.1. Matrica zabune za tri najbolje krivulje praga kritične količine oborine.



Slika 10.3.2. Krivulje praga kritične količine oborine za različita trajanja i poplavni i neplavni događaji.

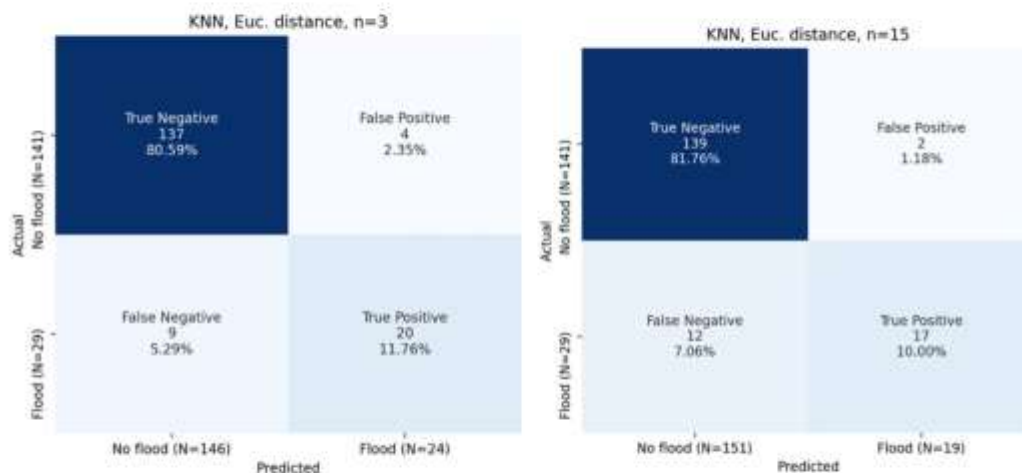
10.3.2 Točnost modela strojnog učenja

Modeli strojnog učenja (ML) trenirani su i testirani pomoću istog skupa podataka kao i model kritičnog praga. Nakon treniranja, učinkovitost svakog modela procijenjena je prema mjerama točnosti. Matrice zabune za sve modele prikazane su na Slikama 10.3.3 – 10.3.5, a mjere točnosti dane su u Tablici 10.3.3. Učinkovitost svih modela temeljenih na kombinaciji mjera ACC i TPR prikazana je na Slici 10.3.6. Svi ML modeli imaju točnost između 0,87 i 0,94, što je vrlo slično točnosti modela praga kritičnih količina oborine. Tri najbolja modela ML-a su diskriminantna analiza

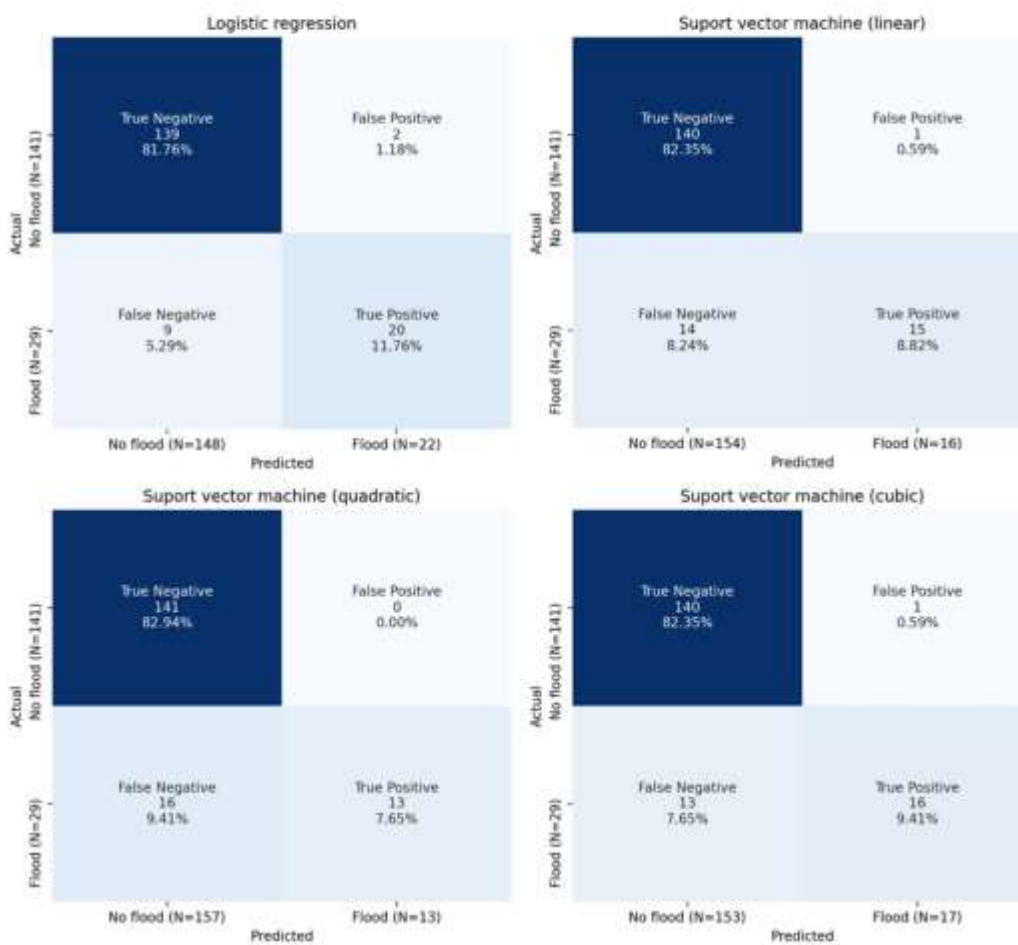
(kvadratna), logistička regresija i najbliži susjedi (0, 5 i 8). **Najbolji model je kvadratna diskriminativna analiza** s točnošću od 0,94 i rezultatom F1 od 0,89. Ovaj model je imao 24 pogotka (TP), 5 promašaja (FN) i samo 5 lažnih alarma (FP), što implicira da se 83% poplava može točno predvidjeti pomoću ovog modela. U usporedbi s klasičnim pristupom krivulje praga kritičnih količina oborine, pristup strojnog učenja pokazao se kao bolje i pouzdanije rješenje.

Tablica 10.3.3. Mjere točnosti za različite tipove i modele strojnog učenja.

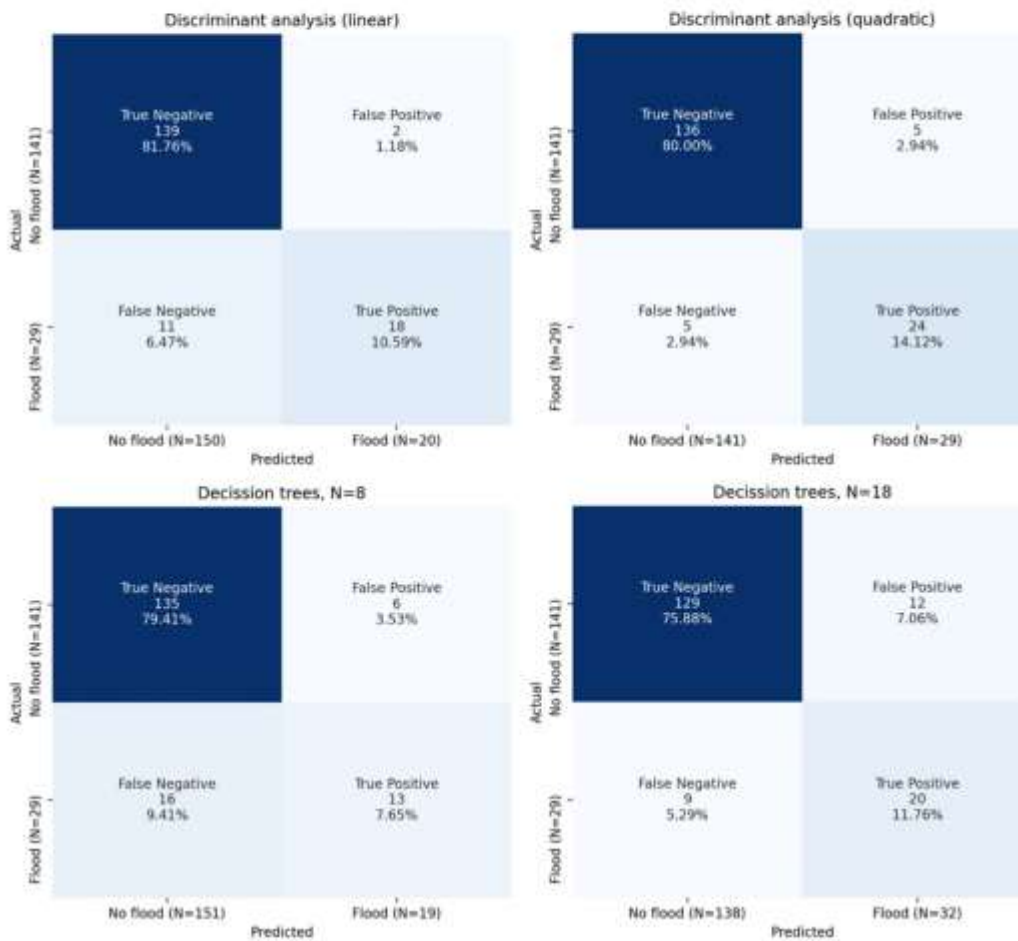
ML model	FN	FP	TN	TP	TPR	PPR	ACC	F1	TPR_ACC
0 Logistička regresija	9	2	139	20	0.69	0.99	0.94	0.81	0.65
1 SVM (linearni)	14	1	140	15	0.52	0.99	0.91	0.68	0.47
2 SVM (kvadratni)	16	0	141	13	0.45	1.00	0.91	0.62	0.41
3 SVM (kubni)	13	1	140	16	0.55	0.99	0.92	0.71	0.51
4 Diskriminativna analiza (linearna)	11	2	139	18	0.62	0.99	0.92	0.76	0.57
5 Diskriminativna analiza (kvadratna)	5	5	136	24	0.83	0.96	0.94	0.89	0.78
6 Stabla odlučivanja, N=8	16	6	135	13	0.45	0.96	0.87	0.61	0.39
7 Stabla odlučivanja, N=18	9	12	129	20	0.69	0.91	0.88	0.79	0.60
8 Najbliži susjedi, k=3	9	4	137	20	0.69	0.97	0.92	0.81	0.64
9 Najbliži susjedi, k=15	12	2	139	17	0.59	0.99	0.92	0.74	0.54



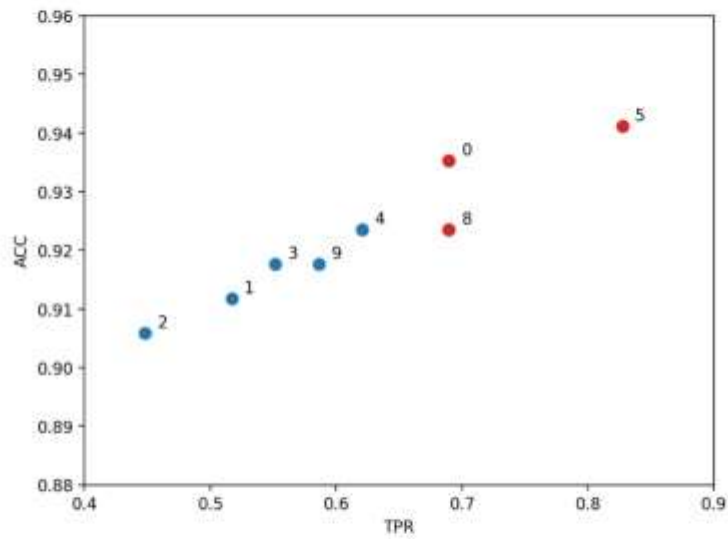
Slika 10.3.3. Matrica zabune za najbliže susjede (eng. *Natural Neighbours*).



Slika 10.3.4. Matrica zabune za logističku regresiju (eng. *logistic regression*) i različite tipove strojeva potpornih vektora eng. (*Support Vector Machine*).



Slika 10.3.5. Matrica zabune za dva tipa modela diskriminantne analize (Eng. *Discriminant analysis*) i dva tipa stabala odlučivanja (eng. *Decision trees*).



Slika 10.3.6. Omjer između preciznosti i osjetljivosti za različite tipove ML modela.

11 Zaključci i preporuke

U okviru predmetne studije provedena je sveobuhvatna analiza urbanih poplava u Zadru kroz sljedeće grupe analiza:

- Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u urbanom dijelu naselja Zadar.
- Analiza opasnosti i rizika od poplava s mora u priobalnom dijelu naselja Zadar.
- Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u slivu Vruljica.
- Analiza složenih poplava u Zadru i dijelu sliva Vruljice.
- Analiza onečišćenja oborinskih voda na području naselja Zadar.
- Prognoziranje pluvijalnih poplava na području naselja Zadar.

Iz provedenih i prikazanih analiza proizlaze sljedeći zaključci:

- Analiza urbanih poplava na podlogama više razlučivosti i veće detaljnosti rezultirale su znatno preciznijim i pouzdanijim kartama opasnosti i rizika od poplava. Stoga se predlaže da se i na ostalim pilot područjima provedu detaljnije analize opasnosti i rizika od poplava na podlogama visoke rezolucije, prvenstveno na digitalnom modelu terena minimalno rezolucije 1,0 m ili bolje.
- 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, koje se za područje Hrvatske biti uskoro dostupne kroz projekt *Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa*.
- 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 na području grada Zadra. Ista preporuka vrijedi i za ostala pilot područja, ali i za cjelokupno područje Republike Hrvatske.
- 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.
- Vezano uz poplava s mora nužno je nastaviti s mareografskim mjerenjima na postojećim mareografskim postajama za što precizniju informaciju o epizodama ekstremnih razina mora. Sadašnja mjerenja provode se u inkrementima od 1 h. Predlaže se unapređenje monitoringa na mareografskim postajama uz vremenski inkrement mjerenja od 1 min, a što bi omogućilo praćenje i modeliranje meteoroloških tsunamija (šćiga) na Jadranu.
- Upotrebom novih satelitskih snimaka Sentinel misija moguće je razviti model za prostorno mjerenje razine mora na području cijelog Jadrana u blizu realnom vremenu. Pristup navedenim satelitskim snimcima potpuno je besplatan. Predlaže se razvoj i implementacija sustava prostornog monitoringa razine mora u blizu realnom vremenu, a koji će biti integralni dio sustava ranog upozorenja od poplave mora za područje cijelog Jadrana. Implementacija autonomnog sustava znatno će unaprijediti razinu spremnosti i mogućnost pravovremenog odgovora na krizna stanja na moru i kopnu.
- Procjene poplava s mora, pogotovo u pogledu prelijevanja ekstremnih valova mogle bi se unaprijediti s pouzdanijim podacima izmjerenih visina valova na moru. U okviru projekta METMONIC, DHMZ trenutno postavlja pet meteorološko-oceanografskih plutača na području Jadrana (Kvarner, Blitvenica, Viški kanal, Palagruža, Molunat), što će svakako unaprijediti buduće analize poplava mora. Predlaže se provesti analize opasnosti i rizika od poplava mora za preostala tri priobalna pilot područja projekta STREAM.
- Analiza složenih poplava je omogućila sagledavanje svih potencijalnih uzroka poplava te njihovog međudjelovanja. Predlaže se na svim pilot područjima projekta STREAM provesti analize složenih poplava vezano uz sustave za odvodnju oborinskih voda te visoke razine vode u recipijentima (mora u slučaju Poreča, Zadra, Biograda na Moru i Splita, rijeke Like u slučaju Gospića, odnosno mora i rijeke Neretva u slučaju Metkovića).
- Aktivnosti provedene u okviru ove studije prikazale su mogućnost razvoja sustava prognoziranja poplava na temelju novinskih članaka i prognoziranih oborina. Međutim, navedeni model omogućava samo prognoziranje vjerojatnosti pojave poplave. Stoga se

predlaže razviti prognostički model na temelju niza modelskih analiza pri čemu će se korištenjem metoda strojnog učenja omogućiti prognoziranje detaljnijih informacija, kao što su prostorni obuhvata poplave te dubine i brzine vode za svaku prognoziranu oborinu.

- Provedene analize kakvoće vode pokazale su relativno niske koncentracije onečišćujućih tvari, stoga se preporuča nastaviti redovni monitoring kakvoće površinskih voda s različitim tipova urbaniziranih površina (stambene, komercijalne, industrijske) u različitim dijelovima godine kako bi se dobio detaljniji uvid u kakvoću vode i razinu onečišćenja. Posebnu pažnju posvetiti tzv. prvom pljusku koji nosi najveće koncentracije onečišćenja. Također, preporuča se povezati kakvoću vode s količinama pale oborine putem modelskih analiza. Na ovaj način omogućit će se i pouzdanije planiranje i upravljanje oborinskom odvodnjom te odabir optimalnih mjera za ublažavanje posljedica pluvijalnih poplava prema integralnom pristupu.

12 Literatura

- ALADIN Consortium web page, <http://www.umr-cnrm.fr/aladin/spip.php?article36>, 29-12-2021
- ALADIN International Team, (1997). The ALADIN project: Mesoscale modelling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research. *WMO Bull.*, 46, p. 317–324.
- Androžec, V., Beg-Paklar, G., Dadić, V., Djakovac, T., Grbec, B., Janeković, I., Krstulović, N., Kušpilić, G., Leder, N., Lončar, G., Marasović, I., Precali, R., Šolić, M. (2009): The Adriatic Sea Monitoring Program - Final Report, Zagreb.
- Babister M. & Barton C. (2012): Australian Rainfall & Runoff: Project 15 - Two Dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains.
- Benetazzo, A., Fedele, F., Carniel, S., Ricchi, A., Buccignani, E., Sclavo, M. (2012.): Wave climate of the Adriatic Sea: a future scenarij simulation, *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(6), str. 2065–2076.
- Berbić, J., Ocvirk, E., Carević, D., Lončar, G. (2016.): Application of neural networks and support vector machine for significant wave height prediction, *Oceanologia*, 59 (3), str. 331-349.
- Bonaldo D, Buccignani E, Pomaro A, Ricchi A, Sclavo M, Carniel S. (2020.): Wind waves in the Adriatic Sea under a severe climate change scenarij and implications for the coasts, *Int. J. Climatol.*, 40, str. 5389-5406. <https://doi.org/10.1002/joc.6524>
- Bretschneider, C., L. (1952.): The generation and decay of wind waves in deep water, *Trans. Am. Geophys. Union*, 33(3), str. 381-389.
- Brunner, G.W. (2021): HEC-RAS 6.0 2D User's Manual.
- Brzović, N. (1999.): Factors affecting the Adriatic cyclone and associated windstorms, *Contributions to Atmospheric Physics*, str. 72, 51-65.
- Brzović, N., Strelec-Mahović, N. (1999.): Cyclonic activity and severe jugo in the Adriatic, *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, 24, str. 653-657.
- 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.
- Conte, D., Lionello, P. (2013.): Characteristics of large positive and negative surges in the Mediterranean Sea and their attenuation in future climate scenarios, *Global and Planetary Change*, 111, str. 159–173.
- Cordoneanu, E., Geleyn, J.F. (1998.): Application to local circulation above the Carpathian-Black Sea area of a NWP-type meso-scale model, *Contributions to Atmospheric Physics*, 71, str. 191-212.

- Courtier, P.C., Freydier, J.F., Geleyn, F., Rochas, M. (1991.): The ARPEGE project at METEO-FRANCE, Proceedings from the ECMWF workshop on numerical methods in atmospheric models, str. 193-231.
- Croatian Meteorological and Hydrological Service, <https://meteo.hr/>, 29-12-2021
- 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
- Donelan, M.,A. (1977.): A simple numerical model for wave and wind stress prediction, National Water Research institute manuscript, Burlington, Canada, 28 str.
- 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.
- EUMETSAT, Flash floods in Zadar and surrounding areas, <https://www.eumetsat.int/flash-floods-zadar-and-surrounding-areas>, 29-12-2021
- EXCIMAP (2007): Handbook on good practices for flood mapping in Europe, European exchange circle on flood mapping.
- Giannecchini, R., Galanti, Y., & D'Amato Avanzi, G. (2012). Critical rainfall thresholds for triggering shallow landslides in the Serchio River Valley (Tuscany, Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(3), 829-842.
- Giorgi, F., Lionello, P. (2008.): Climate change projections for the Mediterranean region, *Global and Planetary Change*, 63, str. 90–104.
- Građevinski fakultet u Zagrebu (2022.): Studija upravljanja rizicima od poplava mora (VEPAR), Zagreb.
- Gräler, B., Van Den Berg, M. J., Vandenberghe, S., Petroselli, A., Grimaldi, S., De Baets, B., & Verhoest, N. E. C. (2013). Multivariate return periods in hydrology: a critical and practical review focusing on synthetic design hydrograph estimation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(4), 1281-1296.
- Hercbach, H., Janssen, P., A., E. (1999.): Improvement of the short-fetch behaviour in the Wave Ocean Model (WAM), *J. Atmos and Ocean Tech.*, 16, str. 884-892.
- 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.

- Hong, M., Kim, J., & Jeong, S. (2018). Rainfall intensity-duration thresholds for landslide prediction in South Korea by considering the effects of antecedent rainfall. *Landslides*, 15(3), 523-534.
- 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).
- Hydroexpert (2005.): Studija vjetrovalne i valne klime ispred luke Zadar - Gaženica, Zagreb, 2005.
- Institut IGH (2018): Regulacija vodotoka Ričine u Zadru – IV faza, Glavni projekt, Split.
- Ivatek-Šahdan, S.; Tudor, M. (2004.): Use of high-resolution dynamical adaptation in operational suite and research impact studies, *Meteorol. Z.*, 13, str. 99-108.
- Janssen, P., A., E., M. (1991.): Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting, *Journal of Physical Oceanography*, 21, str. 1631-1642.
- Janssen, P., A., E., M. (1992): Experimental evidence of the effect of surface waves on the airflow, *Journal of Physical Oceanography*, 22, str. 1600-1604.
- Janssen, P., A., E., M. (1998): On the effect of ocean waves on the kinetic energy balance and consequences for the initial dissipation technique, *Journal of Physical Oceanography*, 30, str. 1743-1756.
- Johnson, H., K. (1998.): On modeling wind-waves in shallow and fetch limited areas using method of Holthuijsen, Booij and Herbers, *Journal of Coastal Research*, 14(3), 917-932.
- Johnson, H., K., Kofoed-Hansen (2000.): Influence of bottom friction on sea surface roughness and its impact on shallow water wind wave modeling, *Journal of Physical Oceanography*, 30, str. 1743-1756.
- Kahma, K., K., Calkoen, C., J., (1992.): Reconciling discrepancies in the observed growth of wind-generated waves, *Journal of Physical Oceanography*, 22(12), str. 1389-1405.
- Kalin, K. C., Nimać, I., Patalen, L., & Pasaric, Z. (2021). Spatio-temporal analysis of short-term rainfall extremes in Croatia (No. EMS2021-311). Copernicus Meetings.
- Katalinić, M. (2019.): Disertacija, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 131 str.
- Ke, Q., Tian, X., Bricker, J., Tian, Z., Guan, G., Cai, H., ... & Liu, J. (2020). Urban pluvial flooding prediction by machine learning approaches—a case study of Shenzhen city, China. *Advances in Water Resources*, 145, 103719.
- J., Cavaleri, M., Donelan, K., Hasselman, S., Hasselman, K., Janssen, P., A., E., M. (1994.): Dynamic of modeling of ocean surface waves, Cambridge university press, Cambridge, 532 str.
- Lamb, H. (1932): *Hydrodynamic*, 6th edn, Dover publications, New York, pp738.
- Lončar, G., Leder, N., Duplančić Leder, T., Carević, D. (2019a.): Wave Energy Disbalance as Generator of Extreme Wave Occurrence in Semi-Enclosed Coastal Waters (Example of Rijeka Bay—Croatia), *J. Mar. Sci. Eng.*, 7, 420, 15 str.

- Lončar, G., Šreng, Ž., Miličević, H., Ostojić, S. (2019b.): Increase of wave height due to transition in wind direction – example: Rijeka bay, *Electronic journal of the Faculty of Civil Engineering Osijek - e-GFOS*, 18, str. 57-70
- Lončar, G., Carević, D., Ocvirk, E., (2011.): Numerical and physical modelling studies for the port of Split”, *Proceedings of the institution of civil engineers-maritime engineering*, 164 (3), str. 95-114
- Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V. (2010a.): Usporedba modeliranih i mjerenih površinskih vjetrovnih valova”, *Građevinar*, 62(3), str. 45-55.
- Lončar, G., Ocvirk, E., Kunštek, D. (2010b.): Numerical analysis of significant wave height of 5-year return period in the southern Adriatic, *Tehnički vjesnik*, 17 (4), str. 389-395.
- Lončar, G., Ocvirk, E., Andročec, V. (2010c.): Analiza generiranja površinskih vjetrovnih valova u kanalskom području istočnog Jadrana, *Hrvatske vode*, 18 (72), str. 117-128.
- Martina, M. L. V., Todini, E., & Libralon, A. (2006). A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning. *Hydrology and earth system sciences*, 10(3), 413-426.
- Maxime L. D. Nicolas. (2022). *pycop: a Python package for dependence modeling with copulas (0.0.7)*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7030034>
- Merz, B., Thieken, 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.
- METEOALARM, <https://meteoalarm.org/>, 29-12-2021
- Miles, O., M. (1957.): On the generation of surface waves by shear flows, *Journal of Fluid Mechanics*, 3, str. 185-204.
- NRCS (2016): Manning's n Values for Various Land Covers to use for Dam Breach Analyses by NRCS in Kansas.
- Ocvirk, E. (2010.): *Disertacija*, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 229 str.
- Oesper, L., Merico, D., Isserlin, R., & Bader, G. D. (2011). WordCloud: a Cytoscape plugin to create a visual semantic summary of networks. *Source Code for Biology and Medicine*, 6(1), 7.
- Pan, H. L., Jiang, Y. J., Wang, J., & Ou, G. Q. (2018). Rainfall threshold calculation for debris flow early warning in areas with scarcity of data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(5), 1395-1409.
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, 2825-2830.
- Phillips, O., M. (1957.): On the generation of waves by turbulent wind, *Journal of Fluid Mechanics*, 2, str. 417-445.
- 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.
- Renko, T., Mikuš Jurković, P., Kalin, L., Hojsak, T., Mokorić, M. i Kozarić, T. (2019). Sustav upozorenja na opasne vremenske pojave u Sektoru za vremenske i pomorske analize i prognoze Državnog hidrometeorološkog zavoda. Hrvatski meteorološki časopis, 54/55 (54/55), 3-23. <https://doi.org/10.37982/hmc.54.55.1.1>
- 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.
- Tariqul Islam Shajib, Hans Christian BruunHansen, Tao Liang, Peter E.H olm, (2019): Metals in surface specific urban runoff in Beijing, Environmental Pollution, 248, 584-598
- Te Chow, V. (2010). Applied hydrology. Tata McGraw-Hill Education.
- Termonia, P. i dr., 2017. The ALADIN System and its Canonical Model Configurations AROME CY41T1 and ALARO CY40T1. Geoscientific Model Development Discussions, 2017, p. 1–45.
- 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.
- Tian, X., Schleiss, M., Bouwens, C., & van de Giesen, N. (2019). Critical rainfall thresholds for urban pluvial flooding inferred from citizen observations. Science of the Total Environment, 689, 258-268.
- Tootoonchi, F., Sadegh, M., Haerter, J. O., Rätty, O., Grabs, T., & Teutschbein, C. (2022). Copulas for hydroclimatic analysis: A practice-oriented overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 9(2), e1579.
- 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.
- WorldPop (www.worldpop.org - School of Geography and Environmental Science, University of Southampton; Department of Geography and Geosciences, University of Louisville; Departement de Géographie, Université de Namur) and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University (2018). Global High Resolution Population Denominators Project - Funded by The Bill and Melinda Gates Foundation (OPP1134076). <https://dx.doi.org/10.5258/SOTON/WP00675>
- USACE (2021): Creating Land Cover, Maning'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.

Yang, T. H., Hwang, G. D., Tsai, C. C., & Ho, J. Y. (2016). Using rainfall thresholds and ensemble precipitation forecasts to issue and improve urban inundation alerts. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(12), 4731-4745.

Zhai, X., Guo, L., Liu, R., & Zhang, Y. (2018). Rainfall threshold determination for flash flood warning in mountainous catchments with consideration of antecedent soil moisture and rainfall pattern. *Natural Hazards*, 94(2), 605-625.

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

2. Very high-resolution flood hazard for Metković – case study

Through the process of processing spatial data at the meso level for the area of the city of Metković, it was observed that due to the terrain specifications, there is a problem of processing height data, i.e. the inability to distinguish between water and land surfaces, and the need for more precise height data (LiDAR) arose.

The analysis of the danger and risk of pluvial floods in the sub-basin of the city of Metković was carried out in accordance with the methodology proposed and elaborated within the Study of the assessment of the danger and risk of floods due to heavy precipitation and the action of the sea in pilot areas in Croatia (D 3.2.1.).

Flood risks were assessed through hydrological-hydraulic simulations of surface runoff of stormwater. The basic basis for the mentioned simulations is the precipitation defined by the design rain for different probabilities. Detailed high-resolution spatial maps were collected and a digital terrain model and land use model were generated.

The flood analysis was carried out in the HEC-RAS computer program with the aim of calculating the two-dimensional non-stationary flow of surface water, that is, the generation of pluvial floods. The result of the flood hazard analyzes are maps of water depth and velocity, as well as hazard levels for each observed probability.

WP3 Creating flood knowledge documents

Very high-resolution flood hazard for Metković – case study

Zadar, travanj, 2023.

1 Uvod

1.1 Sadržaj izvještaja

U predmetnom izvještaju dokumentirane su aktivnosti vezano uz analizu opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića. Navedena aktivnost obrađena je i predstavljena kroz sljedeća poglavlja:

- Poglavlje 2: **Uvodno o pluvijalnim poplavama.** U ovom poglavlju dan je pregled problematike pluvijalnih poplava s pregledom zakonodavnog okvira te specifičnosti pluvijalnih poplava. Također su dane definicije pojmova vezanih uz rizike od poplava te je predstavljen konceptualni model procjene pluvijalnih poplava.
- Poglavlje 3: **Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića.** U ovom poglavlju dan je metodološki okvir procjene opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava. Također je detaljno razrađena i opisana metodologija za procjenu opasnosti od poplava i rizika od poplava na mikro razini detaljnosti. U okviru metodologije prikazan je postupak prikupljanja i generiranja potrebnih podloga, definirani su scenariji te je opisana uspostava matematičkog modela poplava. Nakon toga prikazuju se i rezultati te karte opasnosti i karte rizika pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića.
- Poglavlje 4: **Zaključak.** U ovom poglavlju sažeti su svi bitni zaključci proizašli iz analize pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića te su predložene određene preporuke za buduća istraživanja i moguća unaprjeđenja.

2 Uvodno o pluvijalnim poplavama

2.1 Zakonodavni okvir

Procjena opasnosti i rizika od poplava u okviru projekta STREAM 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 njezinim komponentom **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:

- poplava male vjerojatnosti ili scenariji ekstremnih događaja,
- poplave srednje vjerojatnosti te
- poplave velike vjerojatnosti.

Za svaki scenarij, karte opasnosti trebaju prikazati:

- opseg poplava,
- dubinu vode ili vodostaj,
- 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:

- okvirni broj potencijalno pogođenih stanovnika,
- vrsta gospodarske aktivnosti na potencijalno pogođenom području,
- 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 u RH

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.

2.2.1 Specifičnosti pluvijalnih poplava

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 međuodnose pojmova 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 kanalizacijski 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.“ (Zakon o vodama, 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 od poplava**. 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 definira 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.

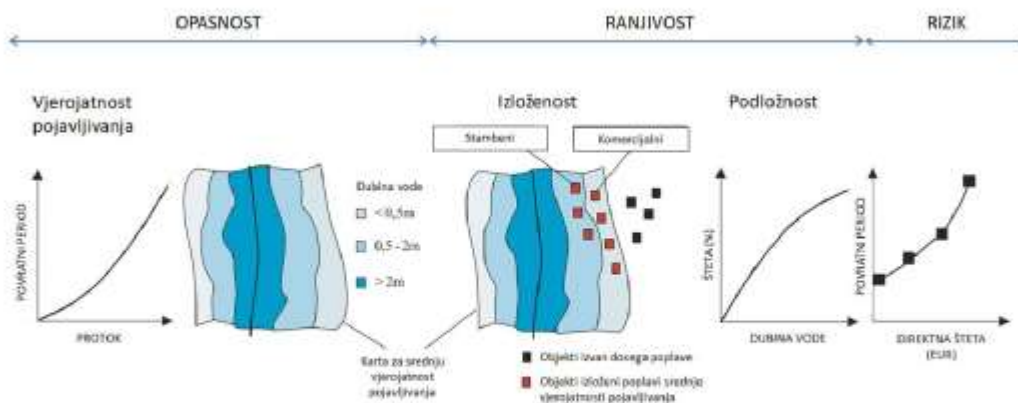
Izloženost E je definirana kao vjerojatnost da će receptor biti izložen poplavi (vezano uz opasnost od poplave) te može poprimiti vrijednost u rasponu od 0 do 1. U praksi se izloženost češće izražava direktno kao kombinacija vrijednosti elementa i izloženosti.

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 podložnost (i izloženost) 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). U nastavku se daje jedna od često korištenih definicija ranjivosti stanovništva.

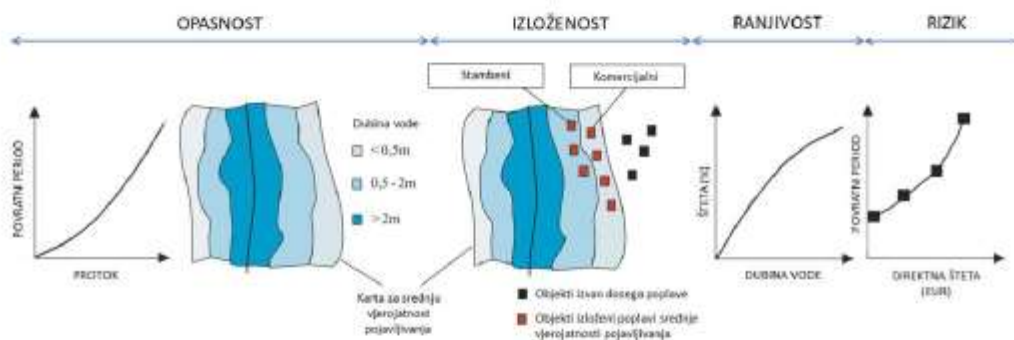
„**Ranjivost** je skup okolnosti određenih fizičkim, društvenim, ekonomskim i okolišnim čimbenicima ili procesima koji povećavaju podložnost pojedinca, zajednice, imovine ili sustava na štetne posljedice opasnosti“ (UNISDR, 2009).

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

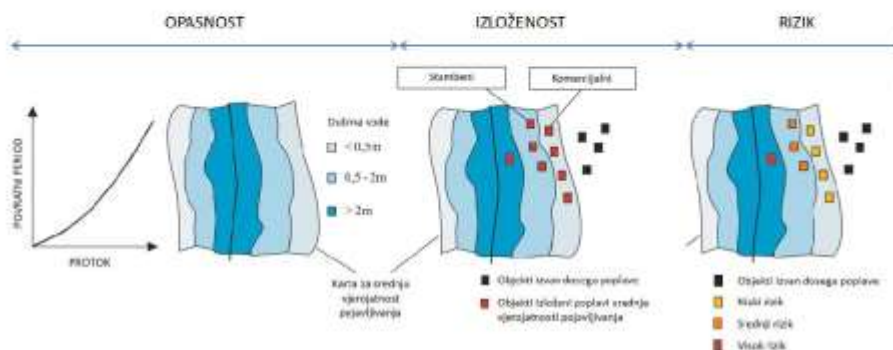


Slika 2.3.1 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti i ranjivosti (izloženost i podložnost), modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.

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.

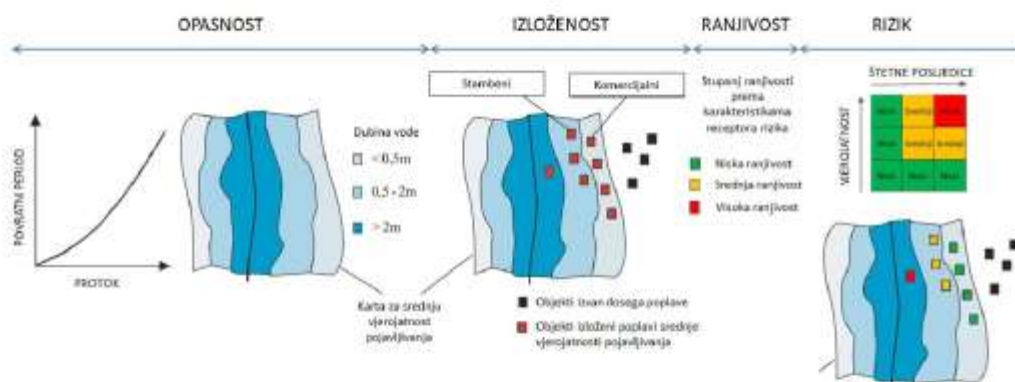


Slika 2.3.2 Koncept rizika od poplava kao kombinacija opasnosti, izloženosti i ranjivosti, modificirano prema Merz (2007.). Rizik je izražen kvantitativno kao vjerojatnost očekivanih šteta.



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

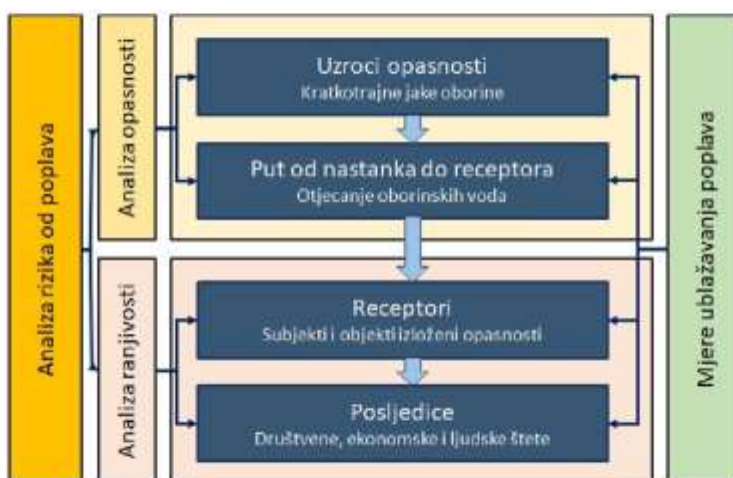
Također, treba napomenuti da je prethodno prikazani pristup vezan uz kvantitativnu procjenu rizika od poplava, međutim, rizik se može izraziti i kvalitativno. U pojednostavljenom pristupu se često zanemaruje podložnost te se koristi samo opasnost i izloženost, a rizik se izražava opisnim ili brojčanim 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).



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

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).

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.

3 Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića

3.1 Metodološki okvir procjene opasnosti i rizika od poplava

Analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića provedena je u skladu sa metodologijom predloženom i razrađenom u okviru Studije procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj (projekt STREAM) (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB d.d., DHMZ, 2022.).

Procjena rizika od poplava uslijed jakih oborina – pluvijalnih poplava – u predmetnoj studiji provedena je u skladu sa Zakonom o vodama (NN 66/2019), Direktivom o poplavama (EC 2007/60/EZ) te Priručnikom o kartiranju poplava (EXCIMAP, 2007). 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 receptora poplava. Izloženost prikazuje identificirane receptore koje se nalaze unutar obuhvata poplave za svaku promatranu vjerojatnost. Fokus ovog izvještaja s obzirom na specifičnosti pilot područja i razinu istraživanja je na građevinama i poljoprivrednim površinama.

Rizik je procijenjen na osnovu kombinacije razine opasnosti i izloženosti te prikazuje razinu rizika (razine R0 – R4) svake izložene građevine i poljoprivredne površine.

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 (građevine i poljoprivredne površine).

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, namjena korištenja zemljišta, kulturna baština, zaštićena područja, javne usluge i lokacije objekata koje mogu prouzročiti onečišćenje.			×
Posljedica	Procjene razine rizika za građevine i poljoprivredne površine s obzirom na razinu opasnosti od poplava, vjerojatnost pojave poplava i kartu namjene korištenja zemljišta.		×	

3.2 Metodologija analize opasnosti od pluvijalnih poplava

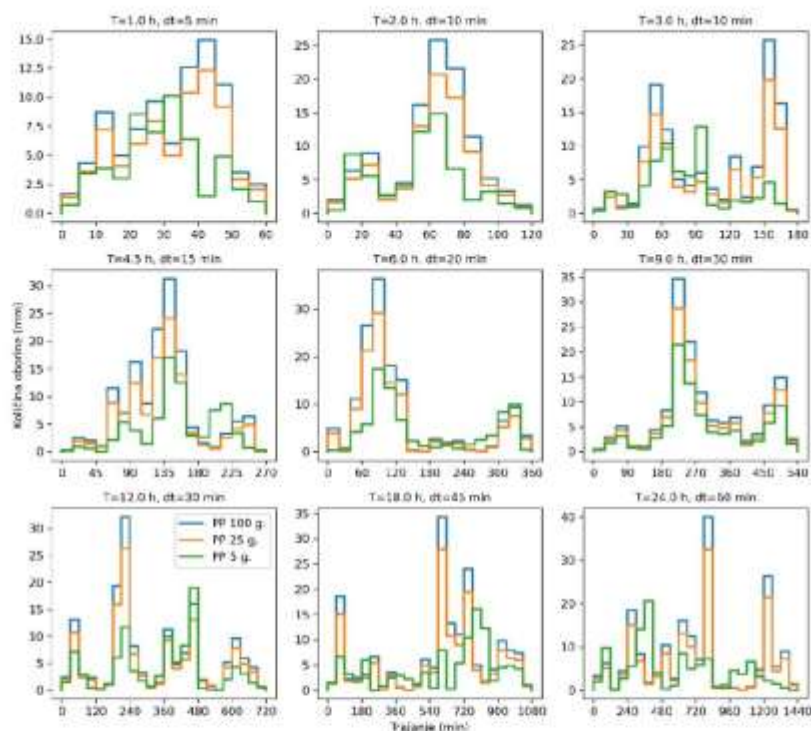
3.2.1 Priprema podloga za procjenu opasnosti od poplava

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 Studije procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj (projekt STREAM) (Građevinski fakultet u Rijeci, VPB d.d., DHMZ, 2022.). U knjizi 1 navedene studije definirane su HTP krivulje (količina – trajanje –

vjerojatnost oborine) za pet ombrografskih postaja vezanih uz odabrana pilot područja. Za predmetne analiza korišteni su podaci s postaje Ploče, za koju su dostupni podaci iz razdoblja 1961. – 2020. Konačan rezultat analize oborina su pluviogrami projektnog pljuskaja kojima su definirane sintetičke oborine različitog trajanja za tri vjerojatnosti (povratni period 5, 25 i 100 godina). Primjer dobivenih rezultata oblika projektnog pljuskaja (pluviogrami) za postaju Ploče prikazan je na Slici 3.2.1.



Slika 3.2.1 Primjer sintetičke oborine – pluviogram projektnog pljuskaja – za pilot područje Metković.

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, prikupljene su i generirane prostorne podloge. U Tablici 3.2.1 dan je pregled svih prikupljenih i generiranih prostornih podloga s opisom i izvorom.

Tablica 3.2.1 Pregled prikupljenih i generiranih prostornih podloga za potrebe procjene opasnosti od plujljanih poplava

Podloga	Tip podatka	Izvor
Digitalni model terena (DMT)	Rasterski, rezolucija 0,5 m	Generirano na temelju podataka prikupljenih s bespilotnom letjelicom DJI Matrice M300 i LiDAR senzorom.
Karta zemljišnog pokrova	Vektorski i rasterski, rezolucija 0,5 m	Generirano na temelju podataka prikupljenih bespilotnom letjelicom Trinity F90+ i MicaSense RedEdge-MX Dual multispektralnim senzorom.
Karte nepropusnosti podloge	Rasterski, rezolucija 0,5 m	Generirano na temelju Karte zemljišnog pokrova, modela vegetacijskog indeksa NDVI, modela nagiba terena i modela topografskog indeksa vlažnosti.
Karta hrapavosti podloge	Rasterski, rezolucija 0,5 m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova prema tabličnim vrijednostima iz literature.
Karta infiltracije (CN brojevi krivulje)	Rasterski, rezolucija 0,5 m	Generirano na temelju karte zemljišnog pokrova, i karte hidrološke grupe tla prema tabličnim vrijednostima iz literature.

Digitalni model terena rezolucije 0,5 m izrađen je od strane stručnog tima Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru. Prikupljanje podataka obavljeno je uz pomoć bespilotne letjelice DJI Matrice M300 i LiDAR senzora. Obradom podataka u softverima DJI Terra i Spatix, generiran je digitalni model terena za istraživano područje.

Karta zemljišnog pokrova rezolucije 0,5 m izrađena je od strane stručnog tima Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru. Kao ulazni podatak za potrebe generiranja karte zemljišnog pokrova, korišten je multispektralni snimak. Prikupljanje podataka za potrebu izrade multispektralnog modela obavljeno je uz pomoć bespilotne letjelice Trinity F90+ i MicaSense RedEdge-MX Dual multispektralnog senzora.

Karta nepropusnosti podloge rezolucije 0,5 m izrađena je od strane stručnog tima Odjela za geografiju Sveučilišta u Zadru. Metodom GIS-MCDA višekriterijskih analiza koje uključuju kartu zemljišnog pokrova, model vegetacijskog indeksa NDVI (Rouse i sur., 1974), model nagiba terena i model topografskog indeksa vlažnosti generirana je karta nepropusnosti za istraživano mikro područje.

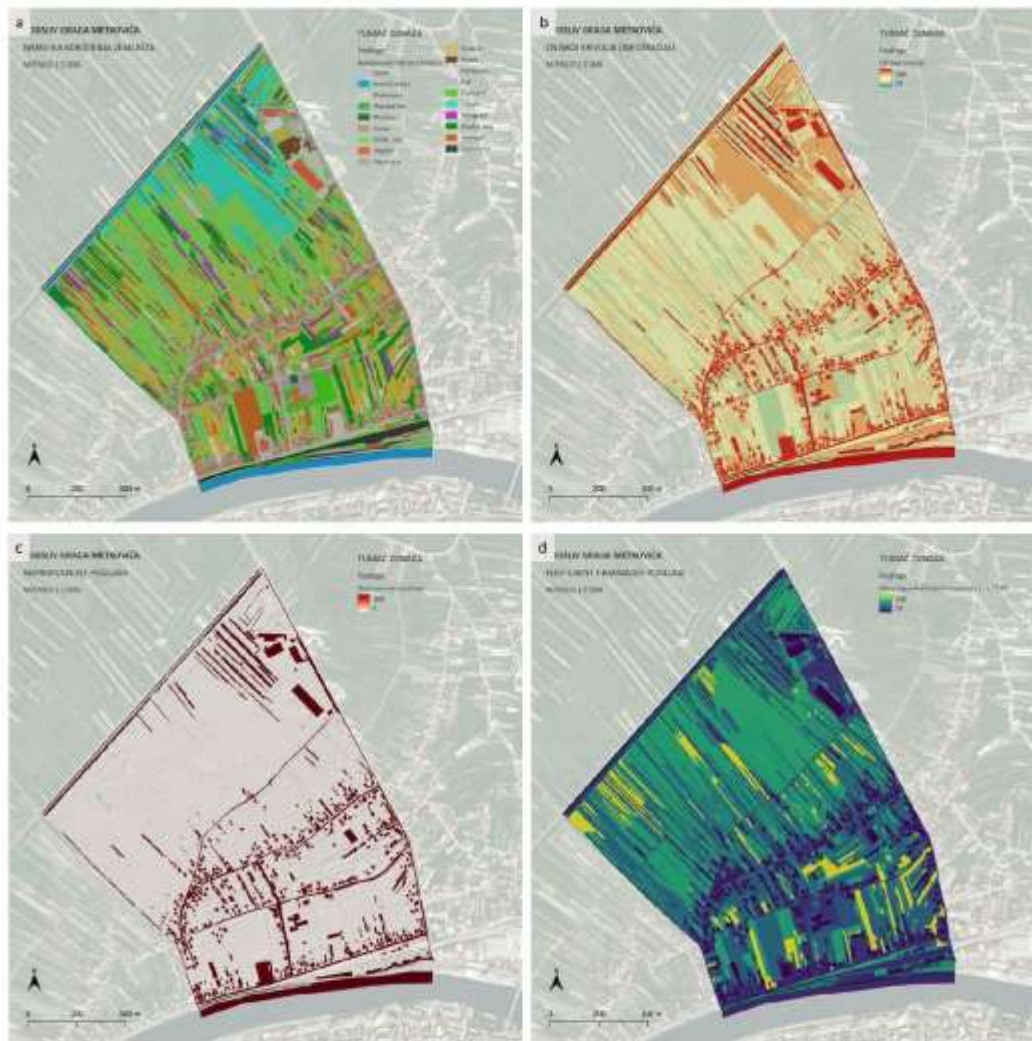
Za procjenu hrapavosti i infiltracije korištena je karta pokrova zemljišta. S obzirom da ne postoje unificirane i opće prihvaćene vrijednosti hrapavosti podloge s obzirom na klase zemljišnog pokrova, provedena je analiza koeficijenta hrapavosti iz različitih izvora (Burek i sur., 2014; USACE, 2021;

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). Infiltracijski kapacitet podloge opisan je CN brojem krivulje prema NRCS metodologiji (USDA, 2017; Hong i Adler, 2008) te su svakoj klasi pokrova zemljišta pridodane odgovarajuće vrijednosti. U Tablici 3.2.2 dan je prikaz usvojenih vrijednosti Manningovog koeficijenta hrapavosti i CN brojeva krivulja za usvojenu hidrološku grupu tla C.

Tablica 3.2.2 Manningov koeficijent hrapavosti i CN broj krivulje (infiltracija) za hidrološku grupu tla C za svaku klasu pokrova zemljišta.

Klasa	n	CN
Ceste	0.026	98
Put	0.032	85
Kanali(voda)	0.026	100
Makadam	0.032	85
Mandarine	0.057	67
Masline	0.057	67
Niska_veg	0.091	75
Objekti	0.01	98
Okucnice	0.032	85
Oranice	0.054	79
Otpad	0.032	85
Plastenici	0.01	98
Travnjaci	0.048	69
Trscak	0.094	86
Vinograd	0.057	67
Visoka_veg	0.138	75
Vocnjaci	0.057	67
Zeljeznica	0.032	85
Nasip	0.032	85

Na Slici 3.2.2 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 Manningovog koeficijenta hrapavosti i karte infiltracije opisane CN brojem krivulje. Treba napomenuti da su s ciljem postizanja što realnije simulacije otjecanja oborinskih voda u urbanim sredinama, a uzimajući u obzir mogućnosti koje pružaju podloge visoke rezolucije, provedene dvije dodatne prilagodbe (unaprjeđenja) podloga.



Slika 3.2.2 Prostorne podloge za procjenu opasnosti od poplava (detalj): a) Urban Atlas pokrov zemljišta b) CN broj krivulje , c) nepropusnost podloge (%) i d) Manningov koeficijent hrapavosti ($10^{-3} \text{ m}^{-1/3}\text{s}$)

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 3.2.3.

Tablica 3.2.3 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%

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%).

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:

- Definiranje digitalnog modela terena
- Definiranje prostornih parametara procesa infiltracije
- Definiranje prostorne gustoće izgrađenosti (nepropusnosti)
- Definiranje prostorne raspodjele hrapavosti
- Definiranje prostorne domene modela i generiranje proračunske mreže

- f) Definiranje rubnih uvjeta
- g) Definiranje parametara numeričkog proračuna
- h) Definiranje scenarija

Na Slici 3.2.3 prikazan je primjer definiranog digitalnog modela terena i proračunske mreže uz satelitski snimak izdvojenog područja. Sve podloge, uključujući i digitalni model terena, karta CN brojeva, karta nepropusnosti podloge i karta hrapavosti direktno su implementirani u matematički model HEC-RAS na temelju prostornih podloga prikazanih u poglavlju 3.2.1.

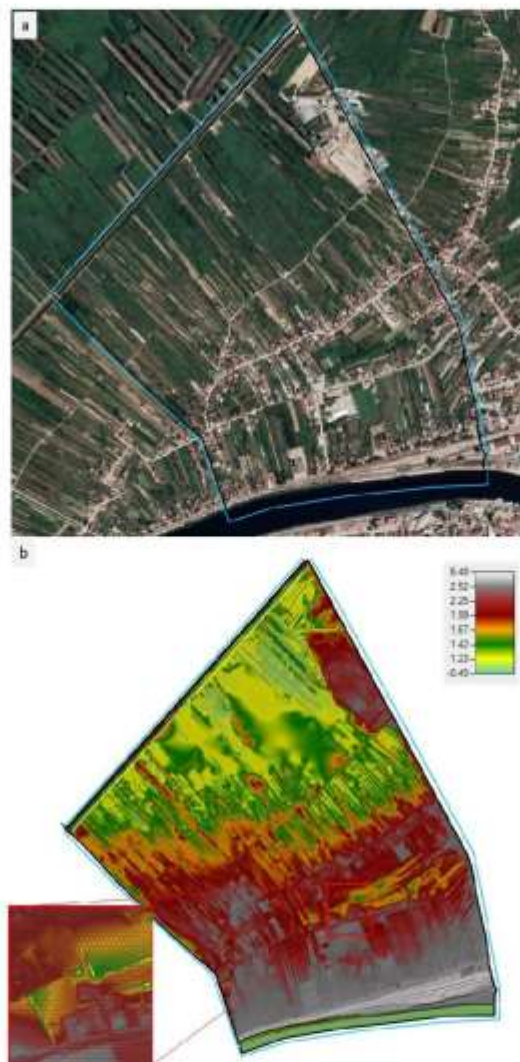
Prostorna domena modela odgovara površini sliva. Proračunska mreža definirana je unutar domene modela, pri čemu je korištena strukturirana heksagonalna mreža širine 5,0 m (Slika 3.2.3b).

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

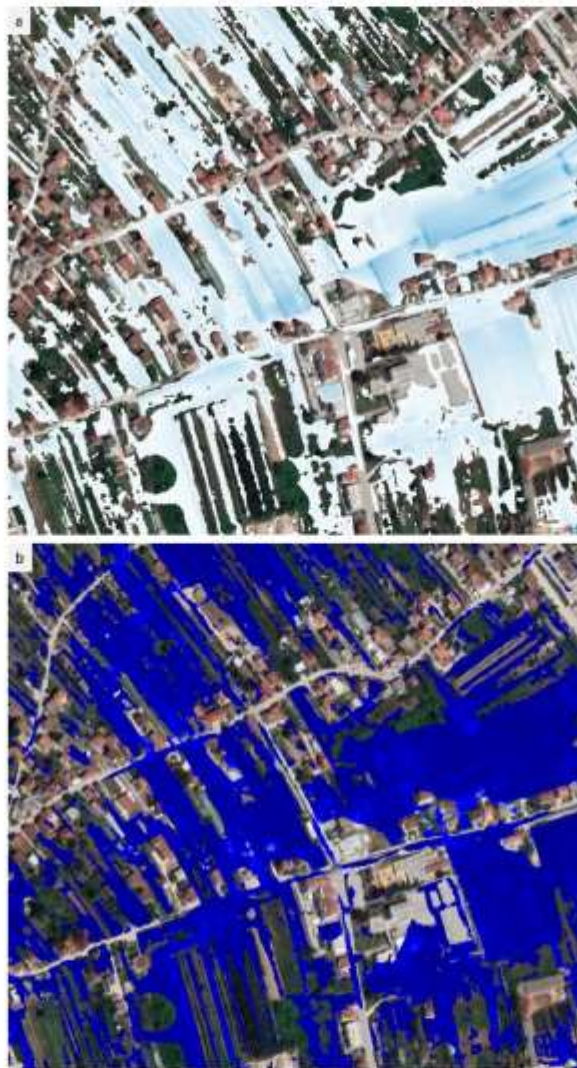
- Na kopnenoj granici domene zadan je uvjet normalnog toka uz prosječni nagib terena.
- Na „riječnoj“ granici domene zadana je visoka razina mora (+0,5 m n.m.).
- Po površini domene definirana je prostorno homogena, ali vremenski varijabilna oborina u obliku pluviograma (projektni pljusak, poglavlje 3.2.1.1).

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.

Provedena je analiza tri scenarija (Tablica 3.2.3), a za svaki scenarij provedeno je pet proračuna za trajanja oborine od 1, 3, 6, 12, 24 sata. Rezultat simulacije je vremenski zapis dinamike površinskog otjecanja, a rezultati se daju u obliku maksimalnih zabilježenih dubina i brzina vode (Slika 3.2.4). Konačan rezultat je dan u obliku anvelope maksimalnih vrijednosti svih navedenih parametara za svaki pojedini scenarij (tri rezultata za svako pilot područje).



Slika 3.2.3 Primjer definiranih prostornih podloga u HEC-RAS modelu: a) satelitska snimka dijela sliva, b) digitalni model terena s proračunskom mrežom.



Slika 3.2.4 Primjer rezultat HEC-RAS proračuna: a) prostorna raspodjela dubina, b) prostorna raspodjela brzina.

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 3.2.5 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 dodatni 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.

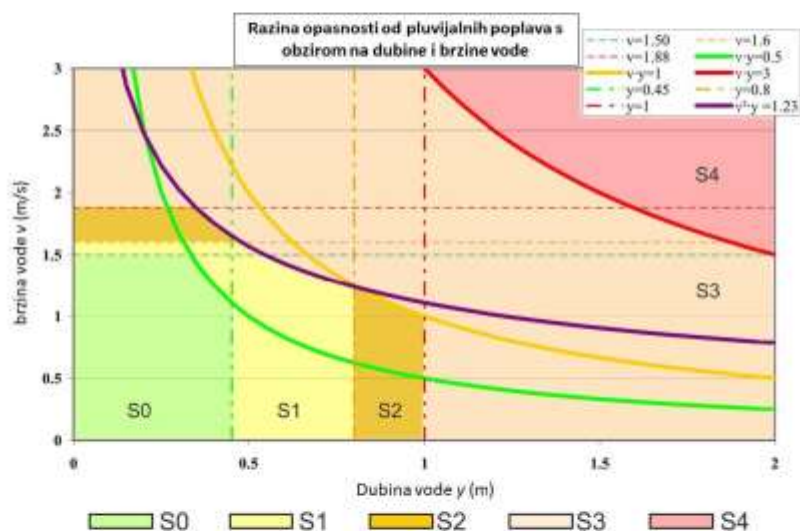
Procjena razine opasnosti u predmetnoj studiji provodi se prema SUFRI metodologiji, koja je proizašla kao rezultat europskog projekta *Sustainable Strategies of Urban Flood Risk Management* (Escuder-Bueno i sur., 2011). U okviru ovog projekta definirane su održive strategije upravljanju poplavnim rizicima, 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 (γv) i parametre klizanja ($v^2 y$). Kriteriji za procjenu razine opasnosti prikazani su u Tablici 3.2.4 te na Slici 3.2.6.



Slika 3.2.5 Primjer odabranih indikatora opasnosti od pluvijalnih poplava: dubina vode, brzina vode i razina opasnosti.

Tablica 3.2.4 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 Umjeren 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.	≥ 1,00	≥ 1,88	≥ 1,00	≥ 1,23
S4 Vrlo visoka opasnost. Mogu se očekivati strukturalna oštećenja građevina.	≥ 1,00	≥ 1,88	≥ 3,00	≥ 1,23

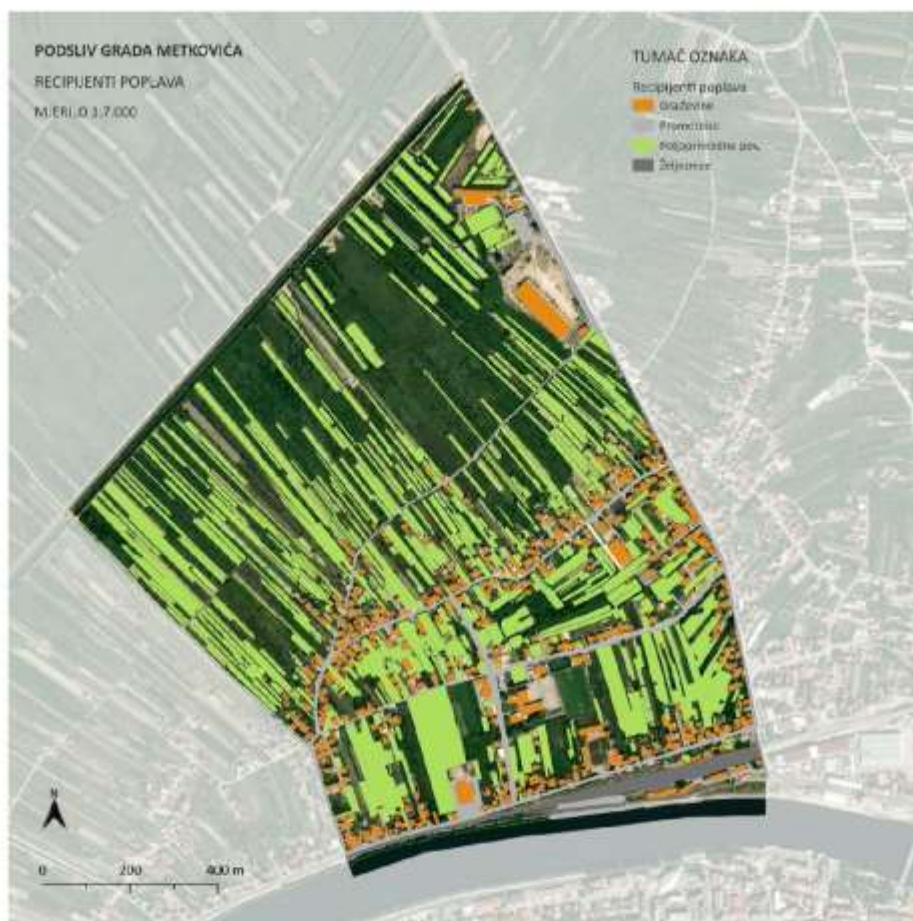


Slika 3.2.6 Grafički prikaz uvjeta za proračun razine opasnosti (modificirano prema SUFRI, 2011)

3.3 Metodologija analize rizika od pluvijalnih poplava

3.3.1 Prostorne podloge za procjenu rizika od poplava

Na temelju izrađene karte pokrova zemljišta izdvojeni su poligoni građevina, poljoprivrednih zemljišta i prometnica za koje je provedena procjena rizika (Slika 3.3.1).



Slika 3.3.1 Izdvojeni poligoni građevina, prometnica i poljoprivrednih površina na pilot području.

3.3.2 Analiza ranjivosti – izloženost receptora poplavama

U okviru analize ranjivosti provedena je 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 (slika 3.3.1):

- Građevine
- Prometnice
- Poljoprivredne površine

3.3.3 Kvalitativna analiza rizika – procjena razine rizika

Kvalitativna analiza rizika od poplava provedena je sa ciljem procjene razine rizika R , koja se definira kao kombinacija razine opasnosti od poplava S_i te izloženosti receptora riziku s obzirom na vjerojatnost pojave p_i , prema sljedećem izrazu:

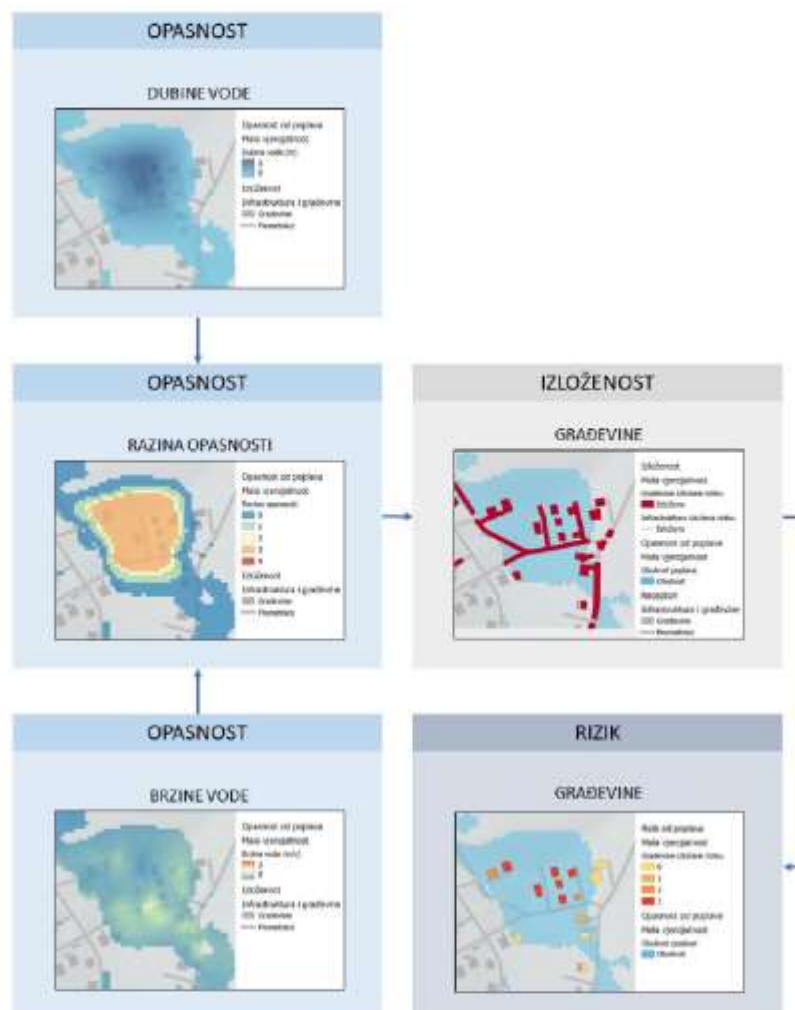
$$R = \frac{\sum_{i=1}^3 p_i S_i}{\sum_{i=1}^3 p_i} \quad (3.1)$$

gdje je R razina rizika za pojedini receptor, S_i razina opasnosti za pojedini receptor, p_i vjerojatnost za scenarij male ($i=1$), srednje ($i=2$) i velike ($i=3$) vjerojatnosti pojave jakih oborina. Dobivene vrijednosti razine rizika se potom klasificiraju u četiri klase rizika (Tablica 3.3.1).

Razina rizika procijenjena je za sve građevine. Za razliku od makro razine nije procijenjena razina rizika za prometnice, zbog previsoke rezolucije. Naime, na mezo razini dobivena je prostorna distribucija dubine i brzine vode te razine opasnosti po površini prometnice, pa se isto prikazuje u rasterskom obliku. Shema metodologije i primjer karata procjene razine rizika prikazana je na Slici 3.3.2 za građevine.

Tablica 3.3.1 Klase rizika definirane kao kombinacija izloženosti i razine opasnosti.

Razina rizika R	Klasa rizika	
$0,0 < R \leq 1,0$	R0	Neznatan rizik
$1,0 < R \leq 2,0$	R1	Niski rizik
$2,0 < R \leq 3,0$	R2	Umjereni rizik
$3,0 < R \leq 4,0$	R3	Visoki rizik



Slika 3.3.2 Shematski prikaz koncepta kvalitativne analize rizika – procjena razine rizika za građevine.

3.4 Rezultati analize opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava

3.4.1 Opasnost od pluvijalnih poplava

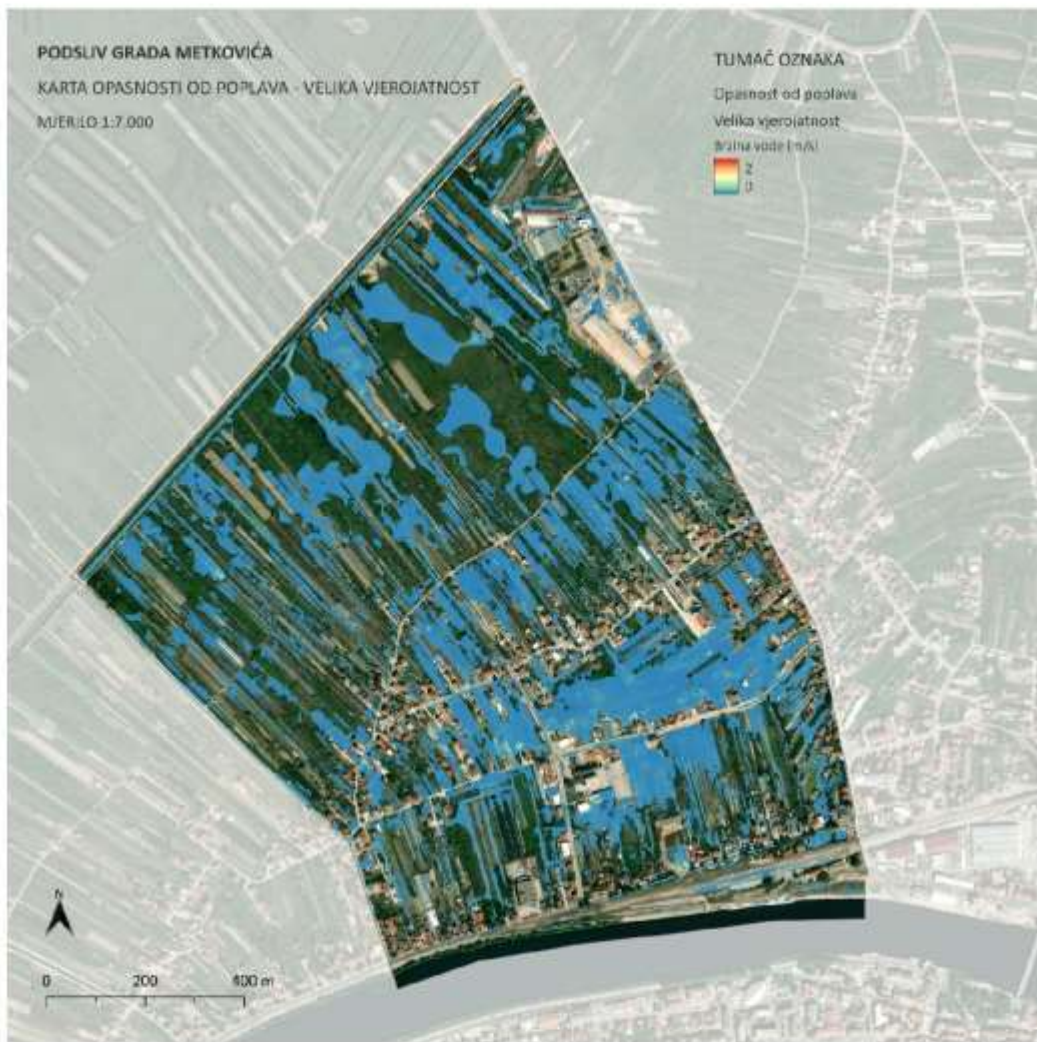
Procjena opasnosti od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića provedena je za tri scenarija, odnosno za malu, srednju i veliku vjerojatnost, koje odgovaraju vjerojatnosti godišnjeg premašenja od 1, 4 i 20 %. Karte opasnosti od pluvijalnih poplava prikazuju prostornu raspodjelu dubina, brzina i razine opasnosti za svaku navedenu vjerojatnost. Na Slikama 3.4.1 – 3.4.3. prikazane su karte opasnosti za veliku vjerojatnost, na Slikama 3.4.4 – 3.4.6 za srednju vjerojatnost te na Slikama 3.4.7 – 3.4.9 za malu vjerojatnost.

Iz danih prikaza može se okarakterizirati osnovni proces generiranja pluvijalnih poplava na ovom pilot području 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. Predmetni podsliv omeđen je desnim obrambenim nasipom uz korito rijeke Neretve sa južne strane, prometnicom Metković-Vid s istočne strane, nasipom Jerkovac sa sjeveroistočne strane te lokalnom prometnicom sa zapadne strane. Ovo područje djelomično je naseljeno s velikim udjelom poljoprivrednih zemljišta različite namjene. U južnom dijelu sliva, uz rijeku Neretvu, izgrađenost je gušća, dok se u sjeveroistočnom dijelu sliva pretežito nalaze poljoprivredna zemljišta (maslinici, vinogradi, voćnjaci, trajni nasadi, itd) te tršćaci okomito na glavni odvodni kanal. Uz sami sjeveroistočni rub podsliva nalazi se obrambeni nasip i melioracijski kanal Jerkovac kojim se prikupljaju sve površinske vode. Naime, iako je teren vrlo male vertikalne raščlanjenosti i pretežito je ravan, primjetan je blagi pad od nasipa uz rijeku Neretvu do nasipa Jerkovac, što definira i glavni smjer površinskog toka vode.

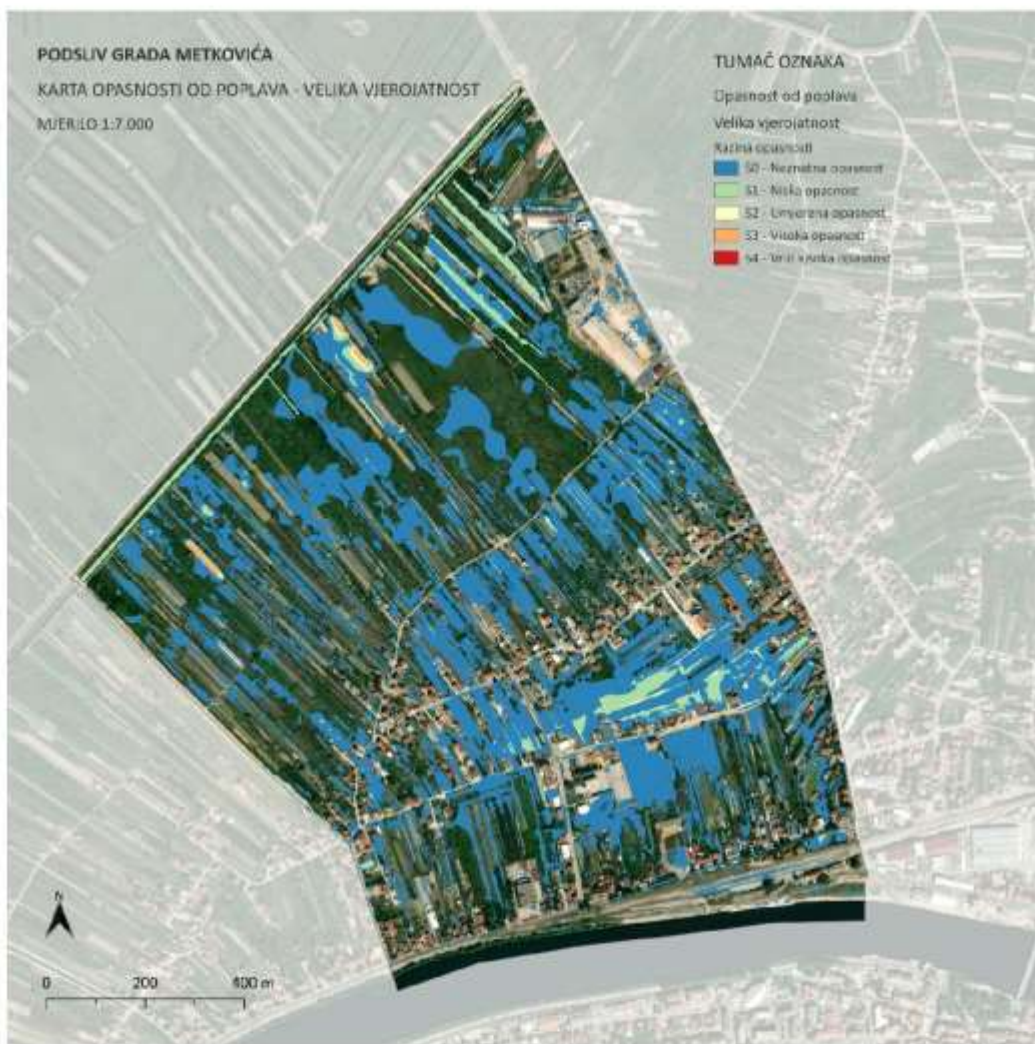
Većina prometnica unutar urbaniziranog područja izgrađena je na nasipima ili prirodno izdignutim područjima. Stambeni objekti su također izgrađeni na višim kotama uz prometnice. Na ovaj su se način u prirodnim depresijama koje su omeđene prometnicama formirali „bazeni“ unutar kojih se oborinske vode 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.



Slika 3.4.1 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za veliku vjerojatnost.



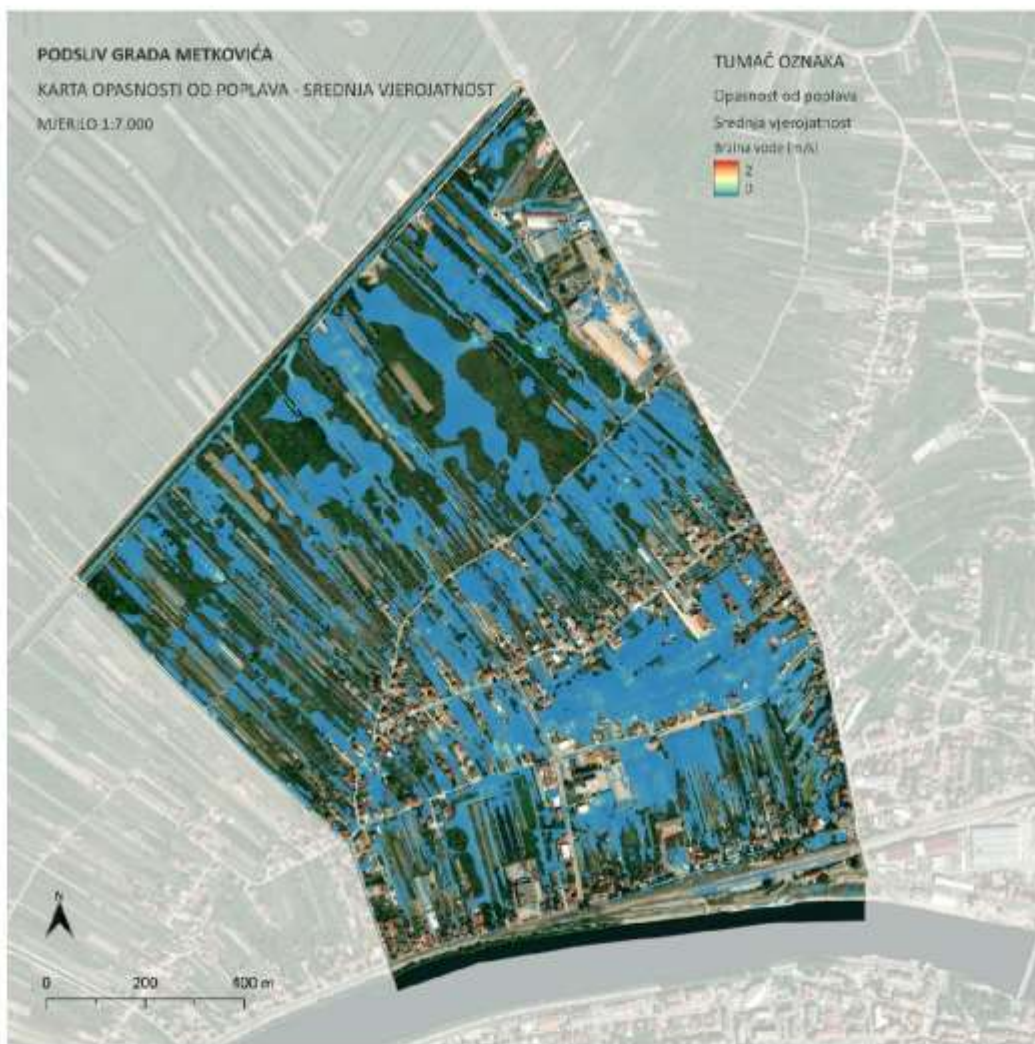
Slika 3.4.2 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za veliku vjerojatnost.



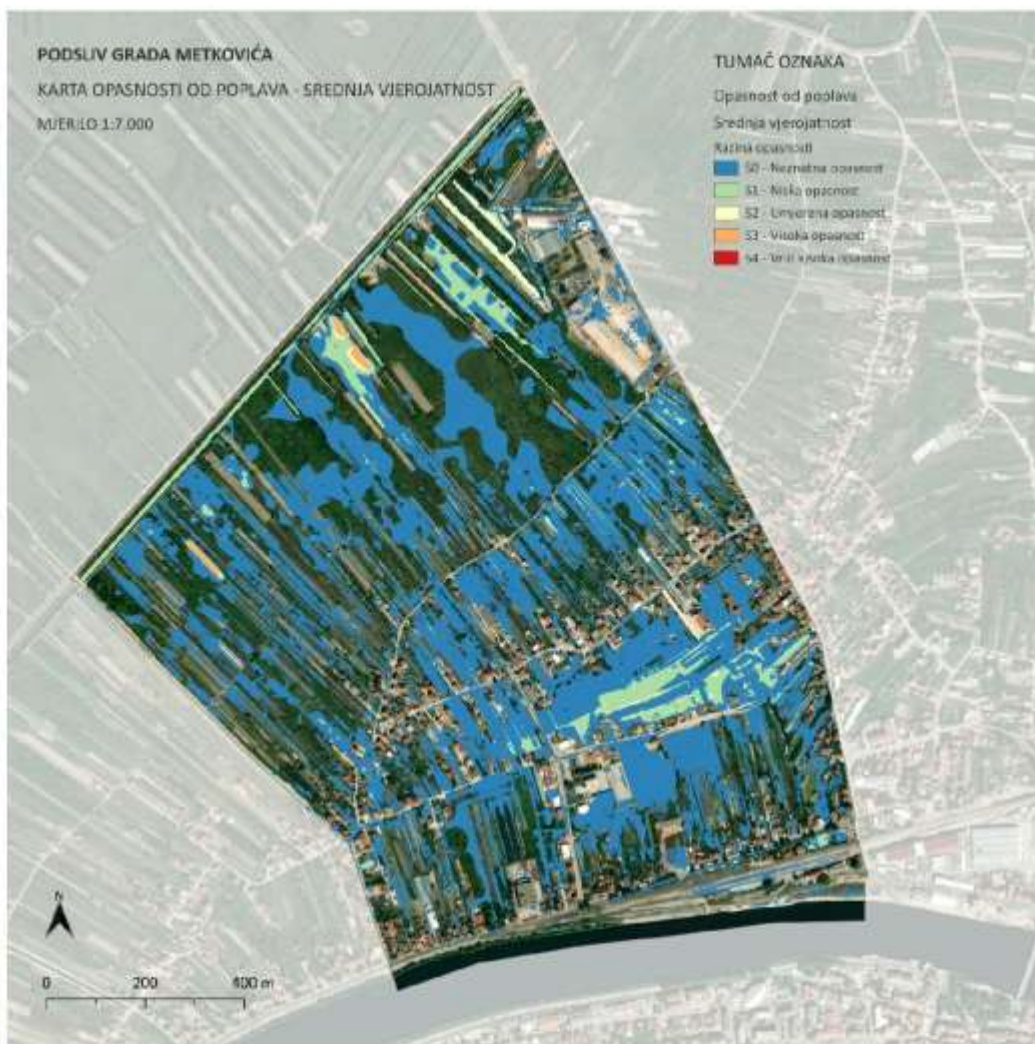
Slika 3.4.3 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za veliku vjerojatnost.



Slika 3.4.4 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za srednju vjerojatnost.



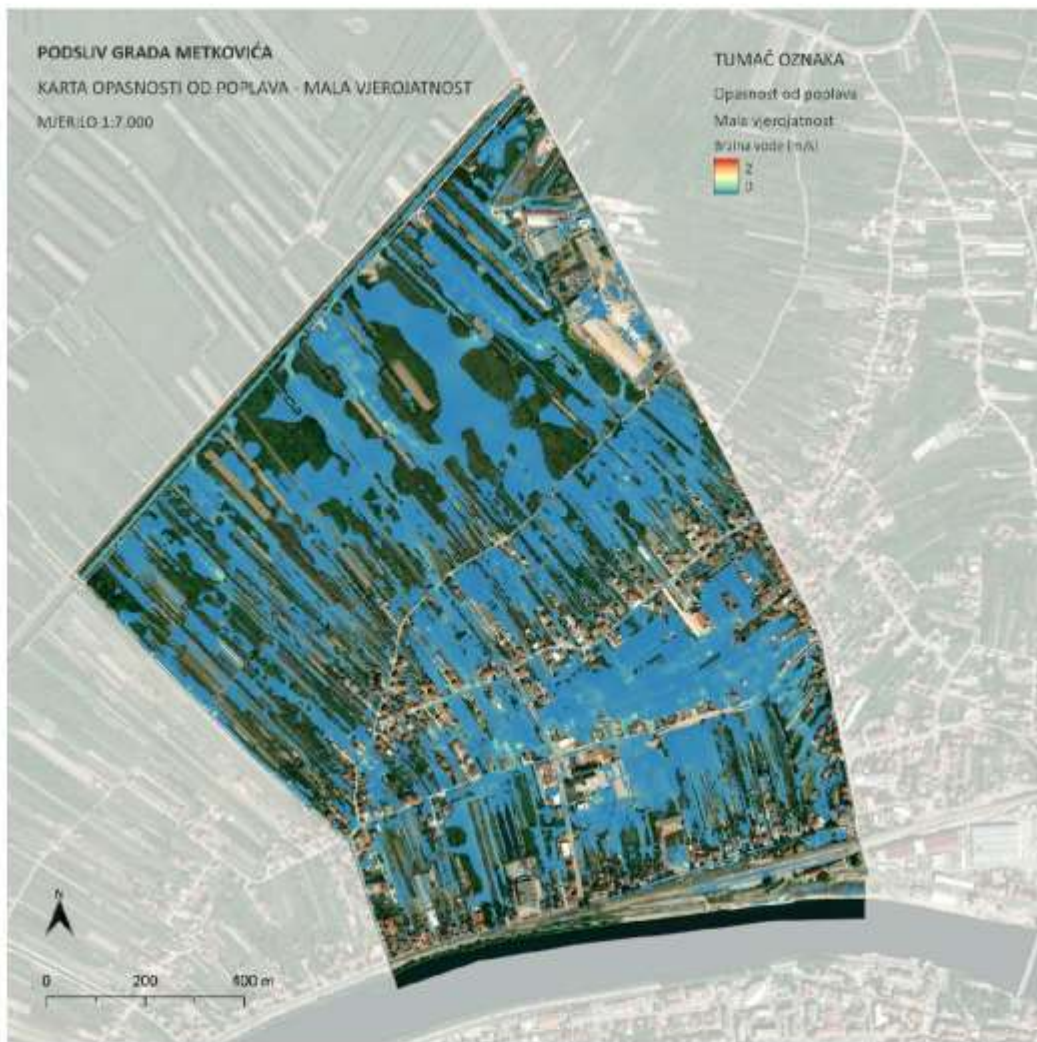
Slika 3.4.5 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za srednju vjerojatnost.



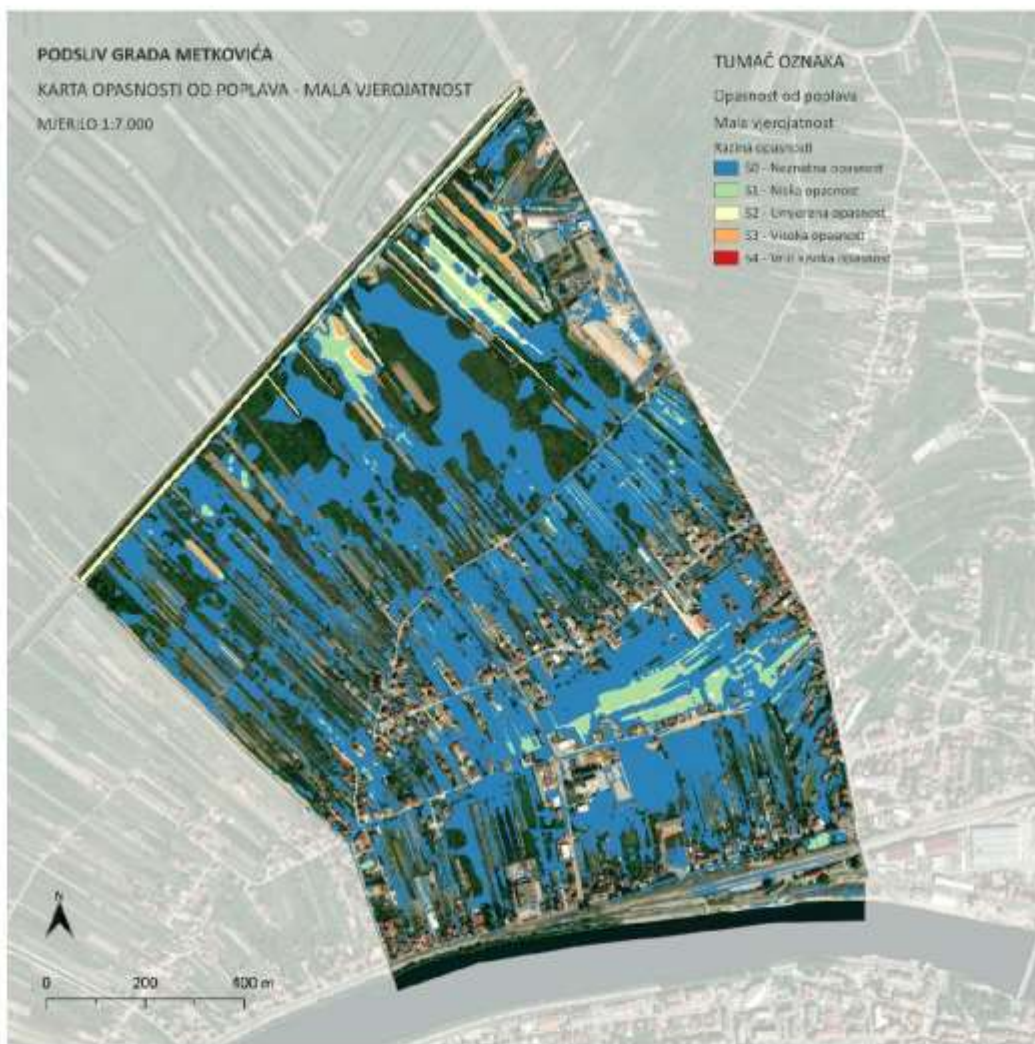
Slika 3.4.6 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za srednju vjerojatnost.



Slika 3.4.7 Karta opasnosti od poplava – dubina vode - za malu vjerojatnost.



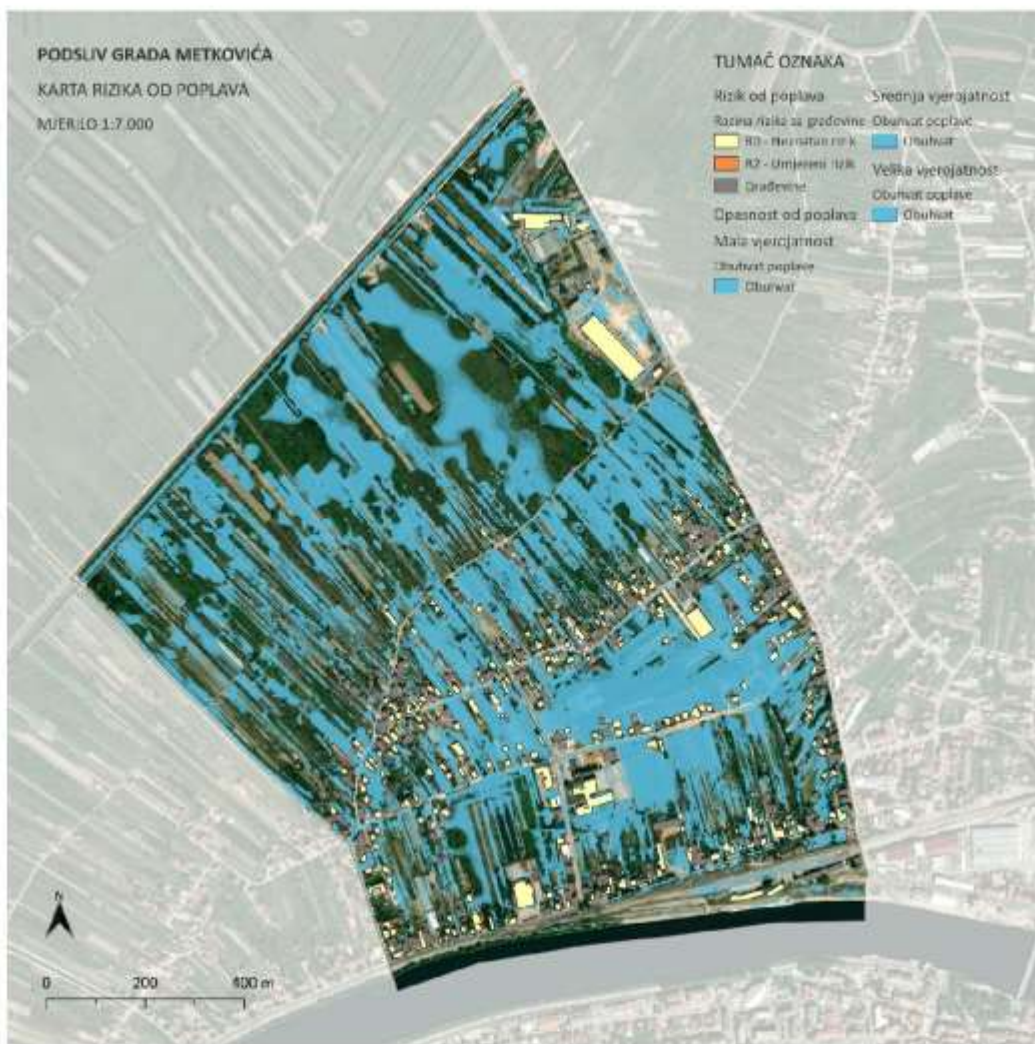
Slika 3.4.8 Karta opasnosti od poplava – brzina vode - za malu vjerojatnost.



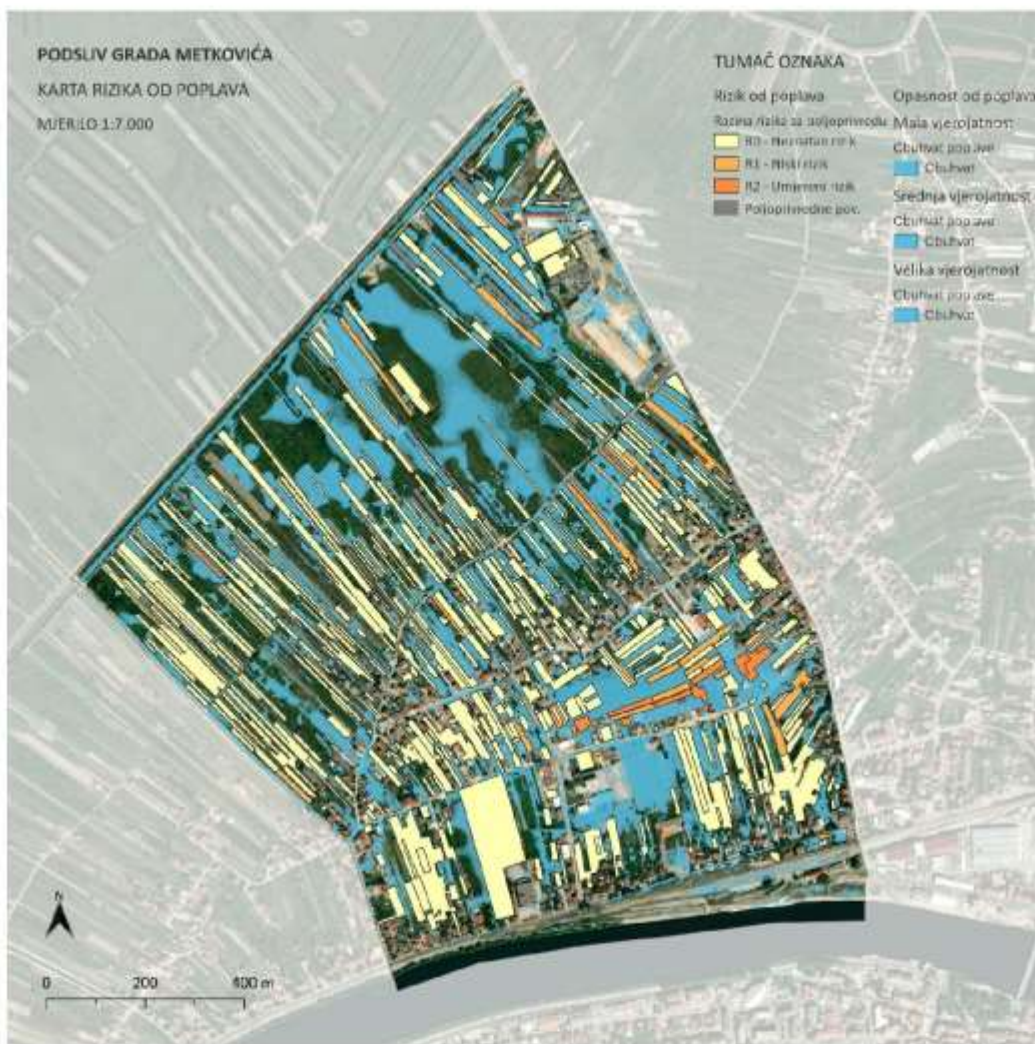
Slika 3.4.9 Karta opasnosti od poplava – razina opasnosti - za malu vjerojatnost.

3.4.2 Rizik od pluvijalnih poplava

Na osnovu provedenih analiza opasnosti i izloženosti identificiran je i rizik od poplava na podslivu grada Metkovića. Na Slici 3.4.10 prikazane su razine rizika za građevine, a na Slici 3.4.11 razine rizika za poljoprivredna zemljišta. Rizik od pluvijalnih poplava za stambene objekte je neznatan, osim za jedan objekt koji je smješten na nižoj koti. S druge strane, rizik od poplava za poljoprivredna zemljišta je primjetno viši u odnosu na stambene objekte, pri čemu najvišu razinu rizika imaju poljoprivredna zemljišta smješšana između Jadranske i Zagrebačke ulice te zemljišta na sjevernom rubu podsliva. Iako najveći broj poljoprivrednih zemljišta ima neznatan rizik do poplava, određena zemljišta imaju umjereni rizik od pluvijalnih poplava. Niti jedno poljoprivredno zemljište nije identificirano s visokom razinom rizika.



Slika 3.4.10 Karta rizika od poplava – razina rizika za građevine - za malu vjerojatnost.



Slika 3.4.11 Karta rizika od poplava – direktne štete - za malu vjerojatnost.

4 Zaključak

U okviru predmetne studije provedena je analiza opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u podslivu grada Metkovića. U tu svrhu prikupljene su detaljne prostorne podloge visoke rezolucije te generirani digitalni model terena i model korištenja zemljišta. Analiza poplava provedena je u HEC-RAS računalnom programu s ciljem proračuna dvodimenzijskog nestacionarnog tečenja površinskih voda, odnosno generiranja pluvijalnih poplava. Rezultat provedenih analiza u GIS okruženju su karte opasnosti i karte rizika od poplava.

Pojava pluvijalnih poplava na predmetnom području pored topografije terena i hidroloških uvjeta znatno je uvjetovano izgrađenim hidromelioracijskim sustavom i sustavom obrane od poplava (kanalima i nasipima). Predmetni podsliv vrlo je male visinske raščlanjenosti i pretežito je ravan, primjetan je blagi pad od nasipa uz rijeku Neretvu do nasipa Jerkovac, što i definira glavni smjer površinskog otjecanja oborina. Najveće dubine vode javljaju se u neizgrađenim područjima između prometnica. Brzine vode su vrlo male zbog blagih nagiba terena, a najviše razine opasnosti se javljaju u područjima najvećih dubina voda. Rizik od pluvijalnih poplava na ovom pilot području je relativno nizak. Za stambene objekte, rizik je neznatan, dok je za poljoprivredna zemljišta rizik nešto viši, pri čemu najvišu razinu rizika imaju poljoprivredna zemljišta smješтана između Jadranske i Zagrebačke ulice te zemljišta na sjevernom rubu podsliva.

Iz provedenih i prikazanih analiza proizlaze sljedeći općeniti zaključci i preporuke:

- Analiza urbanih poplava na podlogama više razlučivosti i veće detaljnosti rezultirale su znatno preciznijim i pouzdanijim kartama opasnosti i rizika od poplava u odnosu na prethodne analize. Stoga se predlaže da se i na ostalim pilot područjima provedu detaljnije analize opasnosti i rizika od poplava na podlogama visoke rezolucije, prvenstveno na digitalnom modelu terena minimalno rezolucije 0,5 m ili bolje.
- 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, koje se za područje Hrvatske biti uskoro dostupne kroz projekt *Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa*.
- 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. Uz to, monitoring razina voda u glavnim

kanalima bi znatno olakšao buduće analize poplava i osigurao pouzdanija rješenja mjera za ublažavanje poplava.

- 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. U tu svrhu je potrebno izraditi geodetsku snimku cjelokupnog sustava odvodnje, uključujući okna i cjevovode.

5 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.
- Chow, V. T (2010). *Applied Hydrology*. MacGraw-Hill, Inc.
- 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.
- Građevinski fakultet u Rijeci, VPB d.d., DHMZ (2022.): Studija procjene opasnosti i rizika od poplava uslijed jakih oborina i djelovanja mora na pilot područjima u Hrvatskoj (projekt STREAM). Rijeka, 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): Plan upravljanja vodnim područjima 2022. – 2027., Zagreb.
- 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.
- NRCS (2016): Manning's n Values for Various Land Covers to use for Dam Breach Analyses by NRCS in Kansas.
- RAINMAN (2020): Policy brief - Integrating pluvial flood risk management into flood risk management plans according to the EU Floods Directive and beyond.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351, 309
- 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.

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.

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

Conclusion

The development of flood risk and flood hazard maps for the cities of Zadar, Split, Metković, Poreč, Gospić, and Biograd na Moru, along with the case study on very high-resolution flood hazard in Metković, represents a significant step towards enhancing flood preparedness and risk management in these areas of Croatia. By creating these detailed maps, authorities and stakeholders gain valuable insights into the specific flood risks and hazards faced by each location. This information allows for the formulation of targeted strategies and measures to mitigate the impacts of floods and protect vulnerable communities and infrastructure. The inclusion of a case study on very high-resolution flood hazard in Metković further enhances the understanding of local flood dynamics and provides a comprehensive assessment of the potential risks. This case study serves as a valuable reference for future flood risk management efforts and informs decision-making processes to minimize the impacts of flooding in the area.