

# Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke

---

**Bilić, Marta Marija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:794564>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Marta Marija Bilić**

**Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke  
uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke**

**Diplomski rad**

**Rijeka, 2020.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Sveučilišni diplomski studij  
Hidrotehnika  
Inženjerstvo obalnih građevina**

**Marta Marija Bilić  
JMBAG: 0114027804**

**Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke  
uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke**

**Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2020.**

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema diplomskog rada

**PROCJENA OPASNOSTI OD SLOŽENIH POPLAVA U CENTRU GRADA RIJEKE USLIJED  
KOMBINIRANOG DJELOVANJA MORA I RIJEKE  
ASSESSMENT OF COMPOUND FLOOD HAZARDS IN THE RIJEKA CITY CENTER FROM A  
COMBINED ACTION OF THE SEA AND THE RIVER**

Kandidatkinja: **MARTA MARIJA BILIĆ**

Kolegij: **INŽENJERSTVO OBALNIH GRAĐEVINA**

Diplomski rad broj: **H-2020-13**

**Zadatak:**

U diplomskom radu potrebno je provesti procjenu opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke. Složene poplave na ovom području čine riječne poplave i poplave s mora. Procjenu opasnosti od poplava treba provesti prema Europskoj Direktivi o poplavama. Simulacije poplava treba provesti u HEC-RAS hidrauličkom modelu koristeći nestacionarne 2D analize. Model terena je potrebno izraditi u GIS okruženju na temelju dostupnih podloga (topografske karte, Hrvatske osnovne karte te geodetskih snimaka poprečnog presjeka Rječine i Mrtvog kanala). Na temelju provedenih hidrauličkih analiza potrebno je izraditi karte opasnosti od poplava za tri različite vjerojatnosti pojavljivanja. Pritom, za svaku vjerojatnost treba uzeti u obzir različite kombinacije protoka Rječine i razine mora.

**Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.**

**Mentor:**

doc. dr. sc. Nino Krvavica,  
dipl. ing. građ.

## **IZJAVA**

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.



---

Marta Marija Bilić

U Rijeci, 8. rujna 2020.

## IZJAVA

Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta

### **Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci**

Voditelj projekta     prof. dr. sc. Nevenka Ožanić  
Šifra projekta         RC.2.2.06-0001  
Financijer projekta   Europski fond za regionalni razvoj (EFRR)  
                                  Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH  
Pravna nadležnost     Republika Hrvatska

U Rijeci, 9. rujna 2020.

Mentor:

Doc. dr. sc. Nino Krvavica,  
dipl. ing. građ.

## ZAHVALA

Ovim putem želim se zahvaliti mentoru doc. dr. sc. Ninu Krvavici na pruženoj podršci i pomoći, velikom trudu i strpljenju za sve moje brojne upite i nedoumice.

Prije svega zahvaljujem se svojoj obitelji i svom dragom, koji su mi pružali neograničenu podršku kroz cijeli studij. Zahvaljujem se svim prijateljima i prijateljicama koji su mi obilježili ove studentske godine, bez njih ne bi bilo ni upola ovako zabavno. Posljednja zahvala ide mom Tončiju, koji zaslužuje ovu diplomu isto koliko i ja.

## Sažetak

Cilj ovog diplomskog rada je izraditi procjenu opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke. Procjena opasnosti vrši se preko izrade karata opasnosti od složenih poplava za tri poplavna scenarija (visoka, srednja i niska vjerojatnost pojavljivanja) i jednog ekstremnog događaja. Obzirom da se radi o složenim poplavama, nije jednostavno definirati povratni period poplave uzrokovane morem i rijekom, pa su za svaki poplavni scenarij napravljene dvije simulacije u kojima je jedan od uzroka poplave dominantnog karaktera, dok je drugi veće vjerojatnosti pojavljivanja. Za izradu karata opasnosti od složenih poplava, napravljen je model terena u GIS okruženju. Na modelu terena, napravljen je hidraulički proračun u HEC-RAS programu i kao rezultat dobivene su simulacije poplava za sve poplavne scenarije iz kojih su izrađene karte opasnosti od složenih poplava za područje grada Rijeke. Prema Direktivi 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima potrebno je napraviti prethodnu procjenu poplavnih rizika, te se za područja značajnog poplavnog rizika moraju napraviti karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava. Područje grada Rijeke spada u zonu vrlo visokog poplavnog rizika te su za njega prethodno napravljene karte opasnosti i karte rizika od poplava u skladu s Direktivom o poplavama, ali u relativno grubom mjerilu. Karte opasnosti od poplava izrađene u sklopu ovoga diplomskog rada izrađene su u većem mjerilu uz uvažavanje različitih izvora poplava. Nove karte također pokazuju kako riječko područje ima visoku opasnost od poplava, pogotovo uz samu obalu i oko korita rijeke Rječine gdje se razvijaju najveće brzine toka, kao i najveće dubine vode.

**Ključne riječi:** karte opasnosti od poplava, fluvijalne poplave, obalne poplave, složene poplave, hidraulički proračun, grad Rijeka, Direktiva o poplavama



## **Abstract**

The aim of this thesis is to assess the compound flood hazards in the city center of Rijeka resulting from combined actions of coastal and river flood sources. Flood hazard is illustrated by hazard maps of compound floods for three flood scenarios (high, medium and low probability of occurrence) and one extreme event. Given that these are compound floods, it is not easy to define the return period of floods caused by the sea and the river, so for each flood scenario two simulations were made in which one of the causes of floods is dominant, while the other is more likely to occur. In order to make the hazard maps of compound floods, a digital terrain model was derived in a GIS environment. The hydraulic modelling was performed in the HEC-RAS program. As a result, compound floods were simulated for all scenarios and based on those simulations hazard maps of compound floods for the city of Rijeka were generated. According to the EU Flood Directive 2007/60 / EC on the assessment and management of flood risks, it is necessary to make a preliminary assessment of flood risks, and for areas of significant flood risk, flood hazard and risk maps should be prepared. The area of the city of Rijeka was previously assessed as zone of very high flood risk and flood hazard and risk maps were made for for this area in accordance with the Directive, but in a relatively small scale. Maps prepared as part of this thesis were made in a larger scale while considering different flood sources. New maps also indicate high flood hazards for the city of Rijeka, especially along the coastline and for the area near the Rječina channel where the highest flow velocities as well as the greatest water depths can be expected.

**Key words: flood hazard maps, fluvial floods, coastal floods, compound floods, hydraulic modelling, city of Rijeka, Flood Directive**

## Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POPLAVE</b> .....	<b>3</b>
2.1. Riječne poplave .....	4
2.2. Pluvijalne poplave.....	5
2.3. Bujične poplave .....	6
2.4. Obalne poplave.....	7
<b>3. URBANE POPLAVE</b> .....	<b>8</b>
3.1. Urbane poplave riječnog (fluvijalnog) porijekla.....	8
3.2. Urbane poplave kišnog (pluvijalnog) porijekla.....	8
<b>4. EU DIREKTIVA O POPLAVAMA</b> .....	<b>9</b>
4.1. Preliminarna procjena poplavnih rizika.....	10
4.2. Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava.....	11
4.3. Planovi upravljanja poplavnim rizicima .....	11
4.4. EU Direktiva o poplavama u Hrvatskoj .....	12
4.4.1. <i>Smjernice u vezi s tehničkim aspektima izrade karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava (Smjernice broj 1)</i> .....	13
4.4.2. <i>Smjernice u vezi s procjenom rizika od poplava i štetnim posljedicama poplava (Smjernice broj 2)</i> .....	13
4.4.3. <i>Smjernice u vezi s objedinjenom procjenom postojećih i planiranih građevinskih mjera za obranu od poplava (Smjernice broj 3)</i> .....	14
4.4.4. <i>Smjernice u vezi s metodologijom za procjenu potencijalnih učinaka klimatskih promjena na rizike od poplava (Smjernice broj 4)</i> .....	14

4.4.5. <i>Smjernice u vezi sa sudjelovanjem javnosti i dionika u upravljanju rizicima od poplava (Smjernice broj 5)</i> .....	14
4.4.6. <i>Smjernice u vezi s izradom planova upravljanja rizicima od poplava (Smjernice broj 6)</i> .....	15
<b>5. KARTE OPASNOSTI OD POPLAVA I RIZIKA OD POPLAVA</b>	<b>17</b>
5.1. Karte opasnosti od poplava.....	19
5.2. Karte rizika od poplava.....	22
<b>6. SLOŽENE POPLAVE USLIJED KOMBINIRANOG DJELOVANJA MORA I RIJEKE</b>	<b>25</b>
<b>7. OPIS PODRUČJA</b>	<b>29</b>
7.1. Rijeka .....	29
7.2. Rijeka Rječina .....	31
7.3. Mrtvi kanal .....	33
7.4. Kvarnerski zaljev .....	34
7.5. Jadransko more.....	35
<b>8. POSTOJEĆE ANALIZE OPASNOSTI OD POPLAVA U GRADU RIJECI</b> .....	<b>38</b>
8.1. Prethodna procjena rizika od poplava.....	38
8.2. Karte opasnosti od poplava.....	45
<b>9. METODOLOGIJA PRORAČUNA</b>	<b>48</b>
9.1. Generiranje modela terena .....	48
9.1.1. <i>Topografska karta (TK25)</i> .....	49
9.1.2. <i>Hrvatska osnovna karta (HOK)</i> .....	50
9.1.3. <i>Digitalna ortofoto karta (DOF)</i> .....	51
9.1.4. <i>QGIS</i> .....	51
9.1.5. <i>Model terena</i> .....	52

<b>9.2.</b>	<b>Hidrološka analiza Rječine .....</b>	<b>54</b>
9.2.1.	<i>Hidrološka stanica Tvornica papira.....</i>	<i>55</i>
9.2.2.	<i>Hidrološke obrade velikih voda na slivu Rječine.....</i>	<i>57</i>
9.2.3.	<i>Hidrogrami velikih voda .....</i>	<i>61</i>
<b>9.3.</b>	<b>Razine mora.....</b>	<b>63</b>
<b>9.4.</b>	<b>Hidraulički proračun (HEC-RAS) .....</b>	<b>64</b>
<b>9.5.</b>	<b>Procjena opasnosti (hazarda) od poplava.....</b>	<b>66</b>
<b>10.</b>	<b>REZULTATI .....</b>	<b>69</b>
10.1.	Model terena.....	69
10.2.	Simulacije složenih poplava u centru Rijeke.....	70
10.3.	Opasnost od složenih poplava u gradu Rijeci.....	78
<b>11.</b>	<b>DISKUSIJA I ZAKLJUČCI .....</b>	<b>83</b>
<b>12.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>84</b>

## POPIS SLIKA

- Slika 1. Usporedba broja događaja elementarnih nepogoda i materijalne štete u EU koja je nastala kao posljedica prirodnih nepogoda [1].
- Slika 2. Prikaz poplavljenog područja uz rijeku Savu nastalo 2014. godine [4].
- Slika 3. Centar Zadra potopljen 2017. godine uslijed ogromne oborine [24].
- Slika 4. Bujična poplava u Jordanu [6].
- Slika 5. Obalna poplava u gradu Rijeci u studenom 2019. [7].
- Slika 6. Karta opasnosti od poplava za područje Karlovca [10].
- Slika 7. Karta rizika od poplava za veliku vjerojatnost pojavljivanja [10].
- Slika 8. Prikaz složenih poplava između 1870. i 2016. godine gdje su crvenim označene složene poplave i godine nastanka svih 23 poplava [14].
- Slika 9. Acqua alta u Veneciji 1966.godine [25].
- Slika 10. Položaj Republike Hrvatske (tamnija plava boja) na karti među zemljama članicama Europske unije (svijetlo plava boja) [26].
- Slika 11. Položaj Grada Rijeke na karti Republike Hrvatske [27].
- Slika 12. Centar Grada Rijeke i Jadransko more [28].
- Slika 13. Sliv Rječine sa ucrtanim bitnim elementima [16].
- Slika 14. Donji tok Rječine [29].
- Slika 15. Akumulacija i brana Valići [30].
- Slika 16. Područje novog korita Rječine, Delte i Mrtvog kanala [16].
- Slika 17. Karta Kvarnerskog zaljeva [31].
- Slika 18. Podjela Jadranskog mora na tri dijela: sjeverni, srednji i južni dio [32].
- Slika 19. Dva glavna vodna područja Republike Hrvatske i podslivovi [33].
- Slika 20. Karta prethodne procjene razine rizika od poplava (verificirana) [11].
- Slika 21. Grad Rijeka na karti prethodne procjene razine rizika od poplava [11].
- Slika 22. Karta prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava [11].
- Slika 23. Riječko područje na karti prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava [11].
- Slika 24. Karta uzroka i mehanizma plavljenja [11].
- Slika 25. Riječko područje na karti uzroka i mehanizama plavljenja [11].

- Slika 26. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja za područje grada Rijeke [11].
- Slika 27. Karta opasnosti od poplava za veliku vjerojatnost pojavljivanja za područje grada Rijeke [11].
- Slika 28. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja na riječkom području sa prikazanim razredima dubine vode [11].
- Slika 29. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja na riječkom području sa prikazanim razredima dubine vode [11].
- Slika 30. Topografska karta (TK25) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.
- Slika 31. Hrvatska osnovna karta (HOK) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.
- Slika 32. Digitalna ortofoto karta (DOF) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.
- Slika 33. Obuhvat, izohipse, izobare i točke na podlozi digitalne ortofoto karte iz QGIS-a.
- Slika 34. Model terena bez korita Rječine i Mrtvog kanala iz QGIS-a.
- Slika 35. Digitalni model terena centra Grada Rijeke iz HEC-RAS programa.
- Slika 36. Vodokazni profil hidrološke stanice Tvornica papira za razdoblje 2007.-2011. [16].
- Slika 37. Protočna krivulja Rječine u profilu Tvornice papira prema DHMZ-u [16].
- Slika 38. Niz maksimalnih godišnjih protoka na dionici od hidrološke stanice Drastin do Tvornice papira [16].
- Slika 39. Vjerojatnost pojavljivanja maksimalnih godišnjih protoka različitih povratnih razdoblja na h. s. Tvornica papira na Rječini [16].
- Slika 40. Tablica maksimalnih protoka  $Q_{maxp}$  i odgovarajućih volumena  $V_p$  velikih vodnih valova Rječine u karakterističnim profilima [16].
- Slika 41. Hidrogram velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu [16].
- Slika 42. Veliki vodni valovi različitih povratnih perioda u profilu hidrološke stanice Tvornica papira.
- Slika 43. Uzvodni i nizvodni rubni uvjet za simulaciju ekstremnog događaja u HEC-RAS-u.
- Slika 44. Model terena centra Grada Rijeke iz HEC-RAS-a.
- Slika 45. Rezultat simulacije poplave za ekstremni događaj sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

- Slika 46. Rezultat simulacije poplave za ekstremni događaj sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 47. Rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 48. Rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 49. Rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 50. Rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 51. Rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 52. Rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 53. Rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 54. Rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 55. Rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 56. Rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 57. Rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.
- Slika 58. Rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.
- Slika 59. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavlivanja.
- Slika 60. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim brzinama toka.
- Slika 61. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim dubinama vode.
- Slika 62. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.

- Slika 63. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.
- Slika 64. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.
- Slika 65. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.
- Slika 66. Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.
- Slika 67. Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.



## 1. UVOD

Poplave su prirodne pojave s velikim posljedicama za društvo i okoliš. Plavljenje ima veliki utjecaj na društvo, osobito ako poplave utječu na veliki broj ljudi i različite ljudske aktivnosti u urbaniziranim i gospodarski značajnim područjima. Poplave uzrokuju indirektnu i/ili direktnu štetu u poljoprivredi, energetici, na infrastrukturi, objektima i drugom te predstavljaju rizik za onečišćenje okoliša, za život i zdravlje ljudi. Indirektna šteta nakon poplave, sa značajnim i dugotrajnim posljedicama, teško je procijeniti. Poplave direktno djeluju negativno na gospodarstvo, turizam i prehrambenu industriju kao i na stanovništvo. U nekim slučajevima poplave imaju pozitivne učinke, poput obogaćivanja podzemnih voda u sušnim područjima, poboljšanja plodnosti tla i biološke raznolikosti površinskih voda. Uzroci pojave poplava mogu biti prirodni ili antropogeni ili kombinacija navedenih [3].

Poplave se mogu dijeliti prema raznim kriterijima, no smatra se da postoje četiri tipa poplava: fluvijalne, pluvijalne, bujične i obalne poplave. Kada se veliki protok u rijekama pojavi istovremeno sa olujnim usporom s mora, to rezultira većim vodostajem nego kada bi se te dvije pojave dogodile zasebno i taj fenomen se naziva složena poplava. Do nedavno, ove dvije vrste poplava proučavale su se zasebno, no nekoliko velikih složenih poplava dovelo je do proučavanja istih kao cjeline, te se razvio interes za istraživanjem složenih poplava [14].

Za vrijedne urbane sredine, izrađuju se 2D matematički simulacijski modeli poplava kojima se simuliraju poplave, brzine i visine vode, te izrađuju karte opasnosti i planovi upravljanja rizicima od poplava. Unutar zemalja Europske unije (EU) poplavama se upravlja sukladno Direktivi o poplavama (Direktiva 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima) [1].

Direktivom se želi uspostaviti okvir za procjenu i upravljanje poplavnim rizicima s ciljem smanjenja štetnih posljedica poplava u zemljama EU na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost. Za učinkovito sprečavanje poplava i ublažavanje posljedica poplava potrebna je, ne samo koordinacija između država članica, nego i suradnja s trećim zemljama. Potrebno je izraditi karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava koje prikazuju moguće štetne posljedice povezane s različitim scenarijima

poplava kako bi se što lakše moglo doći do informacija za određivanje prioriteta i odluka u upravljanju poplavnih rizika. Da bi se izbjegli i smanjili štetni učinci poplava na nekom području, treba izraditi planove upravljanja poplavnim rizicima [9].

Cilj ovog diplomskog rada je napraviti procjenu opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke. To će se postići izradom modela terena u GIS okruženju na kojem će se provesti hidraulički proračun u HEC-RAS programu koji će rezultirati simulacijama poplava. Procjena opasnosti od složenih poplava napraviti će se za tri poplavna scenarija i jedan ekstremni događaj putem izrade karata opasnosti od poplava za navedene poplavne scenarije i ekstremni događaj.

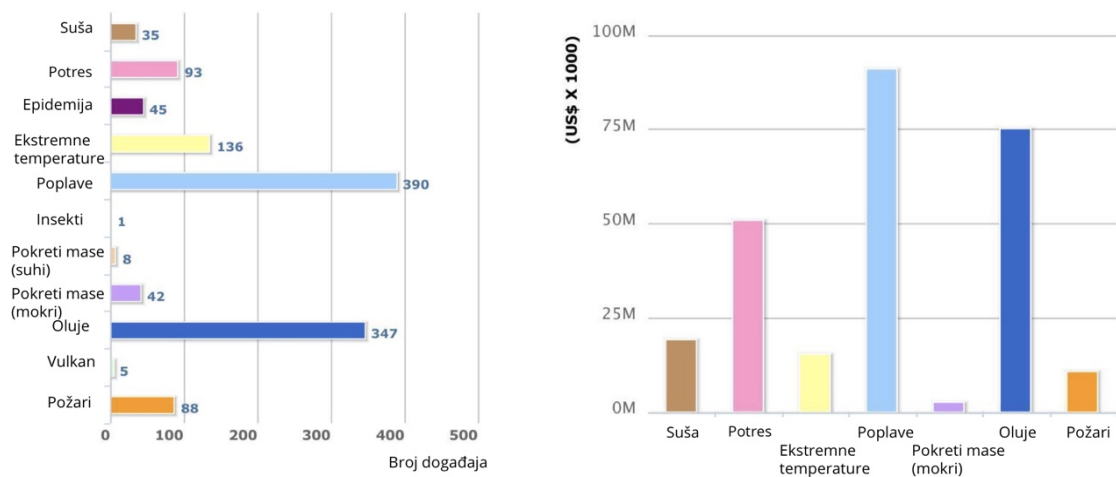
## 2. POPLAVE

Pojam poplava označuje privremenu prekrivenost zemljišta vodom. Poplavljeno zemljište inače nije prekriveno vodom, no iz više mogućih razloga dolazi do plavljenja [1].

Poplave mogu uzrokovati [2]:

- **prirodne pojave** kao što su nepovoljne meteorološke prilike (obline kiše i oluje), izlivanje vodotoka iz korita uslijed stvaranja prirodne prepreke u koritu (led, plutajući materijal...) i naglo podizanje morske razine u priobalnim područjima uslijed tsunamija, tropskih ciklona ili uragana
- **antropogene aktivnosti** kao što su krčenje šuma, oštećenje ili rušenje hidrotehničkih objekata, nepravilno rukovanje istima, izgradnja objekata, itd.
- **kombinacija** antropogenih i prirodnih pojava.

Poplave, u usporedbi s drugim prirodnim nepogodama, utječu na iznimno velik broj ljudi i uzrokuju jako velike ekonomske i socijalne štete [2]. Na slici 1 je prikazana usporedba broja događaja i materijalne štete koje su prouzročile elementarne nepogode u zemljama Europske Unije (EU) u razdoblju od 1980.-2008. godine te se jasno vidi da su poplave najčešća elementarna nepogoda koja stvara najviše materijalne štete [1].



Slika 1. Usporedba broja događaja elementarnih nepogoda i materijalne štete u EU koja je nastala kao posljedica prirodnih nepogoda [1].

Poplave mogu imati veliki utjecaj na društvo, odnosno na veliki broj ljudi i različite ljudske aktivnosti u urbaniziranim i gospodarski značajnim područjima. One uzrokuju direktne i indirektno štete u poljoprivredi, prometu, energetici, infrastrukturi, objektima i predstavljaju rizik za onečišćenje okoliša, za život i zdravlje ljudi. Indirektnu štetu nakon poplave je teško procijeniti, no jasan je negativan utjecaj na gospodarstvo i turizam pogođenih područja, kao i negativan psihološki utjecaj na ljude koji su pretrpjeli takvu katastrofu. No nisu sve poplave štetne, već neke svojom pojavom obogate podzemnu vodu u sušnim područjima, poboljšaju plodnost tla i biološku raznolikost površinskih voda jer se poplavom transportiraju hranjive tvari i dolaze na nova područja [3].

Poplave se mogu dijeliti prema raznim kriterijima, no smatra se da postoje četiri tipa poplava: **fluvijalne, pluvijalne, bujične i obalne poplave** [2].

### **2.1. Riječne poplave**

**Riječne, odnosno fluvijalne, poplave** nastaju izlivanjem vode iz korita vodotoka te se događaju zbog obilne kiše tijekom duljeg vremenskog perioda ili zbog topljenja leda i snijega čime se podiže razina vode u koritu i dolazi do izlivanja vode. Uslijed takvih poplava može doći do pucanja pregrada i nasipa čime se događaju štete na jako velikom području. Za ovakav tip poplave karakteristično je da se podiže razina vode u svim okolnim vodotocima, a ne samo u jednom, te iz tog razloga bude zahvaćeno jako veliko područje. U nizinskim područjima je rast vodostaja usporen te su razine niže, ali zato poplava traje duže. U brdovitim područjima se razina vode podiže brzo u odnosu na kišni događaj [2].

Na slici 2 prikazano je poplavljeno područje uz rijeku Savu u istočnoj Hrvatskoj iz 2014. godine. Poplava je uzrokovana obilnom kišom koja je padala deset dana te je podigla protoke na razine koje prethodno nisu bile zabilježene. Vrijednost prosječnog protoka rijeke Save kod Županje je 1000- 1100 m<sup>3</sup>/s, a u trenucima prije poplave protok je iznosio rekordnih 5500 m<sup>3</sup>/s. Na slici su strelicama označena mjesta puknuća nasipa te poplavljeno područje sa nazivima okolnih sela [4].



Slika 2. Prikaz poplavljenog područja uz rijeku Savu nastalo 2014. godine [4].

## 2.2. Pluvijalne poplave

**Pluvijalne**, odnosno **kišne**, poplave nastaju uslijed intenzivnih oborina te su neovisne o riječnim poplavama. Često se događaju u urbanim sredinama gdje uzrokuju velike štete. Značajne su za stare gradske jezgre gdje nema mjesta za efikasno odvođenje naglih kiša pa visina vode jako brzo raste i stvara veliku štetu nekretninama i ulicama [1]. Događaju se u kombinaciji sa obalnim i riječnim poplavama. Ovakva vrsta poplava generira manje razine vode od npr. riječnih poplava, no izrazito je destruktivna i ostavlja veliku štetu za sobom [2].

Dva su mehanizma nastanka kišnih poplava. Prvi je da intenzivna kiša saturira urbani sustav odvodnje te se voda ne može odvesti i ostaje na ulicama, a drugi je da voda otječe sa okolnih brda jer ona ne mogu apsorbirati svu količinu pale oborine [2].

Na slici 3 prikazan je potopljeni centar grada Zadra u poplavi 2017. godine. Poplava se dogodila zbog obilne oborine od  $340 \text{ l/m}^2$  (do 14h) koja je taj dan smjestila Zadar na sam vrh svjetske ljestvice po količini pale oborine. Šteta koja je nastala iznosi 322 milijuna kuna, a uglavnom se odnosi na infrastrukturu [5].



Slika 3. Centar Zadra potopljen 2017. godine uslijed ogromne oborine [24].

### **2.3. Bujične poplave**

Bujične poplave su iznimno destruktivne i opasne poplave koje nastaju u vrlo kratkom vremenu i sa sobom nose ogromnu količinu vode i nanosa. Nastaju uslijed ekstremnih oborina formirajući bujice koje imaju vrlo velike brzine tečenja [2].

Na slici 4 prikazana je bujična poplava koja se dogodila u Jordanu 2018. godine. Razina vode se podigla do četiri metra na nekim mjestima te je jedanaest ljudi poginulo, a još dvadeset ozlijeđeno [6].



Slika 4. Bujična poplava u Jordanu [6].

## 2.4. Obalne poplave

**Obalne** poplave su poplave koje zahvaćaju područja uz obale mora, oceana ili drugih velikih vodenih površina, a nastaju kao posljedica ekstremnih plima uzrokovanih olujnim nevremenom. Visoke plime, tsunamiji i olujni uspori generiraju obalne poplave. Izrazito su devastirajuće i ostavljaju velike materijalne štete, a ponekad i gubitke ljudskih života [2].

Obzirom na nastalu štetu dijele se na tri razine: poplavu malih, srednjih i velikih razmjera. Poplava malih razmjera stvara neznatnu do malu eroziju obale bez značajnih oštećenja. Poplava srednjih razmjera stvara vidljivu eroziju obale i uzrokuje manje materijalne štete, dok poplava velikih razmjera donosi ozbiljnu opasnost za ljudske živote i materijalna dobra i oštećuje infrastrukturu i objekte, kao i obalu [2].

U studenom 2019. u gradu Rijeci je zbog velike plime poplavio dio centra grada. Na slici 5 prikazana je ulica koja je potopljena morem [7].



Slika 5. Obalna poplava u gradu Rijeci u studenom 2019. [7].

### **3. URBANE POPLAVE**

Urbane poplave su rezultat ljudskih zahvata na određenom području te se najčešće javljaju kod intenzivnih oborina kratkoga trajanja jer tada površinsko otjecanje premašuje drenažni kapacitet kanalizacijskog sustava [3].

Mogu biti kišnog (pluvijalnog) ili riječnog (fluvijalnog) porijekla [1].

#### **3.1. Urbane poplave riječnog (fluvijalnog) porijekla**

Kod riječnih poplava nastaje problem u povećanim dotocima sa šireg slivnog područja radi čega se podiže vodostaj vodotoka te se izljeva van korita. Takvo izlijevanje može stvoriti veliku opasnost za ljudske živote, imovinu i objekte. Uzrok fluvijalnih poplava leži u nekontroliranoj urbanizaciji čime se smanjuje prostor vodenog toka i inundacija te se povećavaju brzine tečenja sa reguliranjem vodotoka [1].

Da bi se zaštitilo od poplava, u urbanim sredinama se grade regulacijske građevine visoke razine sigurnosti koje mogu prihvatiti protoke rijetke pojavnosti. Osim regulacijskih radova u urbanoj sredini, grade se i retencije čija je funkcija spljoštenje poplavnog vodnog vala. Kada su u pitanju vrijedne urbane sredine, izrađuju se i matematički modeli kojima se simuliraju poplave, brzine i visine vode, te se izrađuju karte opasnosti i planovi upravljanja rizicima od poplava [1].

#### **3.2. Urbane poplave kišnog (pluvijalnog) porijekla**

Urbane poplave kišnog porijekla se događaju upravo zbog ekstremnih kišnih oborina. Kada u vrlo malenom vremenskom periodu padne velika količina oborine, nijedan sustav oborinske odvodnje nije u mogućnosti prihvatiti tu količinu vode te se počinje dešavati površinsko tečenje. Ulice se pretvaraju u bujice, dok se depresije ispunjavaju vodom i plave [1].

Urbane poplave često se javljaju zbog podkapacitiranosti, nedovršenosti ili nefunkcionalnosti sustava mješovite javne odvodnje. Podkapacitiranost se odnosi na nemogućnost prihvata oborina većih od 5-godišnjeg povratnog perioda [1].



## 4. EU DIREKTIVA O POPLAVAMA

Direktiva Europskog parlamenta i vijeća o procjeni i upravljanju rizicima od poplava (2007/60/EZ) donešena je 23. listopada 2007. Svrha ove Direktive je uspostaviti okvir za procjenu i upravljanje poplavnim rizicima s ciljem smanjenja štetnih posljedica poplava u zemljama EU na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost. Za učinkovito sprečavanje poplava i ublažavanje posljedica poplava potrebna je ne samo koordinacija između država članica nego i suradnja s trećim zemljama [8].

Širom Zajednice EU javljaju se različite vrste poplava, poput riječnih poplava, bujičnih poplava, poplava u gradovima i poplava obalnih područja uzrokovanih visokim razinama mora. U različitim državama i regijama EU mogu varirati i štete koje nastaju uslijed poplava. Ciljeve u pogledu upravljanja poplavnim rizicima trebaju odrediti same države članice jer svaka ima posebne karakteristike područja što se tiče poplava i opasnosti koje ona nosi. Države članice bi se posebno trebale suzdržati od poduzimanja mjera ili sudjelovanja u akcijama koje značajno povećavaju rizik od pojave poplave u drugim državama članicama ako te mjere nisu koordinirane i ako se dotične države članice nisu međusobno usuglasile oko rješenja [8].

U kontekstu upravljanja poplavama važna su dva načela: načelo supsidijarnosti i solidarnosti. Načelo solidarnosti se temelji na jednakoj podjeli odgovornosti kod upravljanja poplavnim rizicima duž vodotoka i na donošenju odluka koje su korisne i dobre za sve zemlje. Načelo supsidijarnosti se temelji na tome da se odluka treba donositi na razini cijelog sliva vodotoka, a ne na razini pojedine članice EU [8].

Direktiva kaže da je potrebno osigurati izradu karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava koje prikazuju moguće štetne posljedice povezane s različitim scenarijima poplava kako bi se što lakše moglo doći do informacija za određivanje prioriteta i odluka u upravljanju poplavnih rizika.

Da bi se izbjegli i smanjili štetni učinci poplava na nekom području, trebalo bi osigurati planove upravljanja poplavnim rizicima. Planovi upravljanja poplavnim rizicima trebali bi biti usredotočeni na sprečavanje, zaštitu i pripravnost. U planovima bi trebalo razmotriti mogućnost zadržavanja ili obnove poplavnih područja, kao i mjere za

sprečavanje i smanjivanje štetnih posljedica za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost [8].

#### **4.1.Preliminarna procjena poplavnih rizika**

Dok prvo poglavlje Direktive sadrži opće odredbe, drugo poglavlje definira preliminarnu procjenu poplavnih rizika. Za svako vodno područje ili dio međunarodnog vodnog područja koji se nalazi na prostoru države članice, provodi se preliminarna procjena poplavnih rizika. Ona se provodi na temelju dostupnih informacija ili povijesnih podataka i studija o dugoročnim kretanjima [8].

Procjena mora obuhvaćati [8]:

- karte vodnog područja u odgovarajućem mjerilu sa pripadnim granicama slivova, podslivova i obalnih područja s prikazom topografije i namjenom zemljišta
- opis poplava koje su se dogodile u prošlosti koje su imale velike štetne posljedice za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarstvo. Vjerojatnost sličnih poplavnih događaja nije zanemariva, pa treba sadržavati i opis prostora koje su poplave prekrile i puteve otjecanja poplavnih voda, kao i procjenu štete koja je nastala
- opis većih poplava u prošlosti, kada je moguće predvidjeti da će pojava slične poplave u budućnosti izazvati velike štetne posljedice
- procjenu potencijalnih štetnih posljedica budućih poplava za okoliš, zdravlje ljudi, gospodarstvo i kulturnu baštinu uzimajući u obzir topografiju, položaj vodotoka i njegove karakteristike (hidrološke, geomorfološke), učinkovitost postojeće infrastrukture za zaštitu od poplava, prirodne retencije, položaj naselja...

Na temelju preliminarne procjene poplavnih rizika, za svako vodno područje ili dio međunarodnog vodnog područja, država članica utvrđuje područja za koja se smatra da postoji rizik od poplava ili je vjerojatno da bi taj rizik mogao nastati [8].

## **4.2.Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava**

Države članice EU na razini vodnog područja izrađuju karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava za područja za koja se preliminarnom procjenom rizika utvrdilo da postoji rizik od poplava ili je vjerojatno da bi taj rizik mogao nastati [8].

**Karte opasnosti od poplava** obuhvaćaju geografska područja koja mogu biti poplavljena poplavama male vjerojatnosti (ekstremni događaj), srednje vjerojatnosti (vjerojatnost se ponavlja u periodu  $\geq 100$  godina) i velike vjerojatnosti po potrebi. Za svaku od tih skupina poplava potrebno je navesti opseg poplava, vodostaj ili dubinu vode i brzinu toka ili protok po potrebi [8].

**Karte rizika od poplava** prikazuju moguće štetne posljedice poplava malih, srednjih i velikih vjerojatnosti koje su izražene kao približan broj potencijalno ugroženih stanovnika, vrsta gospodarstva na potencijalno ugroženom području, postrojenja koja bi mogla prouzročiti onečišćenje u slučaju poplave i potencijalno pogođena zaštićena područja koja su utvrđena Direktivom [8].

## **4.3.Planovi upravljanja poplavnim rizicima**

Na temelju karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava se izrađuju planovi upravljanja poplavnim rizicima koji su usklađeni na razini vodnog područja ili jedinice upravljanja nekog sliva. Svaka država postavlja svoj cilj za upravljanje poplavnim rizikom za određeno područje, a cilj je smanjenje svih mogućih štetnih posljedica koje poplave nose. U planovima upravljanja poplavnim rizicima naglasak je na sprečavanje, zaštitu, pripravnost, sustave ranog upozorenja i prognoze poplava da bi se što bolje i efikasnije upravljalo istima. Mogu obuhvaćati promicanje prakse održivog korištenja zemljišta, poboljšanja retencije vode i kontrolirano plavljenje određenih područja u slučaju poplave [8].

Po načelu solidarnosti, plan u jednoj državi članici ne smije postaviti mjere koje će svojim učinkom znatno povećati rizik od poplava uzvodno ili nizvodno u drugim državama na istom riječnom slivu. Za svaki sliv je potrebno izraditi jedan plan koji će se

usuglasiti među svim državama u kojima se dijelovi sliva nalaze ili ukoliko se nalazi u samo jednom državi onda ona sama izrađuje i provodi plan [8].

#### **4.4.EU Direktiva o poplavama u Hrvatskoj**

Gospodarenje vodama u Republici Hrvatskoj uređeno je Zakonom o vodama (Narodne novine – NN 153/09) i Zakonom o financiranju vodnog gospodarstva (NN 153/09). Dužnost Hrvatskih voda je da provedu preliminarnu procjenu rizika od poplava, izrade karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava te da naprave planove upravljanja rizicima od poplava. Twinning projekt su pokrenule Republika Hrvatska i Europska komisija, s ciljem da se Zakon o vodama što bolje provede te da se izrade karte opasnosti i karte rizika. Rezultat projekta je niz smjernica koje daju jasne upute kako u Hrvatskoj provoditi Direktivu o poplavama [9]:

1. smjernice u vezi s tehničkim aspektima izrade karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava,
2. smjernice u vezi s procjenom rizika od poplava i štetnim posljedicama poplava,
3. smjernice u vezi s objedinjenom procjenom postojećih i planiranih građevinskih mjera za obranu od poplava,
4. smjernice u vezi s metodologijom za procjenu potencijalnih učinaka klimatskih promjena na rizike od poplava,
5. smjernice u vezi sa sudjelovanjem javnosti i dionika u upravljanju rizicima od poplava
6. smjernice u vezi s izradom planova upravljanja rizicima od poplava.

Da bi Plan upravljanja poplavnim rizicima bio kvalitetno napravljen i imao uspješnu provedbu, treba uzeti u obzir opasnost, rizik i upravljanje rizicima od poplava. Moraju se pripremiti karte opasnosti i rizika od poplava, te se mora odrediti procjena rizika. Naposljetku, potrebno je napraviti razvoj plana upravljanja koji sadržava program mjera koje se trebaju provesti [9].

Da bi cijeli ovaj proces bio uspješan, on treba se napraviti u sinergiji s dionicima i javnošću. Sudjelovanje dionika i javnosti je vrlo bitno u svim koracima izrade Plana. Također, klimatske promjene imaju utjecaja na poplave te je bitno uzeti ih u obzir

prilikom izrade Plana. Svaki od ovih individualnih problema, detaljnije je razrađen u smjernicama gdje se točno i precizno definira ponašanje u skladu s njim [9].

#### ***4.4.1. Smjernice u vezi s tehničkim aspektima izrade karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava (Smjernice broj 1)***

Prije same izrade karata treba sagledati **organizaciju rada, prikupljanje podataka i informiranje javnosti** [9].

Što se tiče organizacije rada, prvo se trebaju odrediti odgovornosti koje se odnose na izradu karata. Najbitnije je odabrati vrstu ili vrste poplava koje će se obrađivati. Potom se određuje tko su mogući korisnici karata te se sukladno tome određuju vrsta karata, potrebni podaci i sadržaj [9].

Izostanak povijesnih podataka ili nedovoljna točnosti istih nije rijedak slučaj, pa se mora utvrditi metoda kojom će se ti podaci dobiti. Podaci se mogu dobiti usmenom predajom od lokalnog stanovništva, modeliranjem oborina i otjecanja ili kod lokalnih stručnjaka. Na temelju tih podataka se rade tri poplavna scenarija: niski, srednji i visoki. Za svaki od navedenih scenarija se rade karte opasnosti i karte rizika, kao i druge karte ako za njima postoji potreba [9].

Najbitnija preporuka u ovim smjernicama je sudjelovanje i informiranje javnosti tijekom postupka izrade karata opasnosti i rizika. Ako javnost sudjeluje u procesu izrade karata, one time postaju puno dostupnije i razumljivije široj populaciji, te se time istodobno i informira i educira građanstvo [9].

#### ***4.4.2. Smjernice u vezi s procjenom rizika od poplava i štetnim posljedicama poplava (Smjernice broj 2)***

Svrha ovog dokumenta je pomoć u identifikaciji područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava, a takvih u Hrvatskoj ima oko 2000. Dostupne karte opasnosti i rizika od poplava za tri poplavna scenarija su osnovni podaci koji se koriste za analizu rizika od poplava [9].

Korišten je pristup u tri koraka gdje se u prvom koraku razlučuju područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava s prihvatljivim i neprihvatljivim rizikom. Ovakva klasifikacija se radi u GIS okruženju obzirom da je takvih područja mnogo. U drugom

koraku se rangiraju područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava s neprihvatljivim rizicima ovisno o poplavnom scenariju, dok se u trećem koraku izrađuju mjere za područja s neprihvatljivim rizicima. Mjere treba analizirati da budu što efikasnije, a istovremeno što ekonomičnije [9].

#### ***4.4.3. Smjernice u vezi s objedinjenom procjenom postojećih i planiranih građevinskih mjera za obranu od poplava (Smjernice broj 3)***

U planu upravljanja poplavnim rizicima trebaju biti građevinske i ne-građevinske mjere da bi se postiglo smanjenje rizika od poplava. Neke mjere služe smanjenju opasnosti, dok se druge bave smanjenjem ranjivosti. To mogu biti mjere za smanjenje hidrauličkog opterećenja, smanjenje poplavnih područja, preusmjeravanje nasipa, skretanje vodotoka ili kontrole poplava u gornjim ili donjim tokovima rijeka [9].

Građevinske mjere ovise o dostupnom prostoru za skladištenje, cijeni nekretnina, režimu poplava, postojećoj infrastruktura... Donesene mjere nisu univerzalne i iako su prikladne u nekom slivnom području, možda neće odgovarati za drugo slivno područje te je svaki slučaj specifičan i jedinstven [9].

#### ***4.4.4. Smjernice u vezi s metodologijom za procjenu potencijalnih učinaka klimatskih promjena na rizike od poplava (Smjernice broj 4)***

Na području EU se primjenjuje Direktiva o poplavama za sve kopnene i priobalne vode. Za upravljanje poplavnim rizicima treba obratiti pažnju na posljedice klimatskih promjena na poplave jer dugoročno gledajući rade veliku razliku. U Hrvatskoj je prilagodba klimatskim promjenama relativno nova tema, pa je po tom pitanju napravljeno vrlo malo [9].

#### ***4.4.5. Smjernice u vezi sa sudjelovanjem javnosti i dionika u upravljanju rizicima od poplava (Smjernice broj 5)***

Direktiva o poplavama potiče aktivno sudjelovanje u procesu i potiče države članice da izvješćuju širu javnost o rezultatima svake faze projekta. Uz osnovne dionike, poželjno je što više informirati javnost pošto poplavni događaji imaju ogroman utjecaj na stanovništvo. Utjecaj poplava je najčešće negativan, te je bitno iskoristiti svaku priliku za

educirati i osvijestiti građane o upravljanju rizicima o poplavama. Korištenje društvenih mreža također može biti prilika za dobivanje informacija u realnom vremenu, za edukaciju i za dodatno uključivanje građanstva u upravljanje rizicima od poplava [9].

#### ***4.4.6. Smjernice u vezi s izradom planova upravljanja rizicima od poplava (Smjernice broj 6)***

U posljednjim Smjernicama su prikazani koraci za pripremu Plana upravljanja poplavnim rizicima. Identificiranje nadležnih tijela, koordinacija između Okvirne direktive o vodama i Direktive o poplavama, zaključak Preliminarne procjene rizika od poplava, zaključci karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, drugi korisni izvori informacija za Karte rizika od poplava, opis odgovarajućih ciljeva, sažetak mjera i određivanje njihovog prioriteta, sažetak mjera informiranja javnosti i konzultacija i međunarodna koordinacija su elementi koji su potrebni da bi se napravio efikasan Plan [9].

Prvo je potrebno je izabrati nadležno tijelo koje će se baviti ovim pitanjem te je potrebno odlučiti može li se isto nadležno tijelo baviti svim dijelovima upravljanja rizicima od poplava ili će se obaveze podijeliti po različitim sektorima [9].

Prema zahtjevima EU Direktive o poplavama, planovi upravljanja poplavnim rizicima i planovi upravljanja riječnim slivom moraju biti usklađeni da se ne bi dogodilo da mjere na jednom dijelu sliva rade više štete nego koristi drugom dijelu. Ukoliko postoje mjere koje proturječe, potrebno je razmotriti te planove i naći novo rješenje koje će odgovarati svima [9].

Prethodna procjena razine rizika od poplava je provedena za svaki sliv te su određena područja na kojima postoji potencijalno značajan rizik od poplava. Procjena štetnih posljedica poplava na zdravlje ljudi, okoliš, gospodarske aktivnosti i kulturnu baštinu vrlo je bitna te se izvedeni zaključci iz preliminarne procjene rizika od poplava moraju uvrstiti u Plan upravljanja poplavnim rizicima [9].

Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava moraju se pripremiti za gore navedena područja u skladu s Direktivom. Karte rizika od poplava prikazuju elemente rizika, poput bolnica, zrakoplovnih luka, škola, elektropostrojenja, odnosno sve vrijedne elemente koji mogu nastradati poplavom. Na temelju karata opasnosti i rizika se izvode

zaključci i koriste se u Planu upravljanja poplavnim rizicima. Osim što se karte rizika koriste za odabir mjera, mogu se koristiti i za druge svrhe, npr. prostorno planiranje [9].

Da bi se napravio Plan upravljanja poplavnim rizicima mogu se koristiti i drugi izvori informacija, podataka iz sektora civilne zaštite, prostornog planiranja, lokalnih zajednica... Kada se odabiru mjere, vrlo je bitno iskustvo lokalnog stanovništva i njihovo poznavanje lokalnih uvjeta, a kada je riječ o međunarodnim riječnim slivovima, trebalo bi koristiti informacije od tijela i vladinih organizacija iz susjednih država [9].

Glavna svrha Direktive je da se odrede ciljevi za upravljanje rizicima od poplava u ugroženim područjima. Neki od mogućih ciljeva su podizanje svijesti javnosti u pogledu upravljanja poplavnim rizicima, optimiziranje upravljanja kriznim situacijama tijekom poplava, reduciranje rizika na održivi način [9]...



## 5. KARTE OPASNOSTI OD POPLAVA I RIZIKA OD POPLAVA

Karte poplava koriste se za različite namjene i koriste ih različite struke, no one predstavljaju temelj upravljanja poplavnim rizicima. Da bi učinkovito upravljali poplavnim rizicima potrebno je poznavanje glavnih opasnosti i rizika u cijelom vodnom područja. Bitno je poznavanje vrsta poplava (rijeke, priobalne vode, jezera, površinsko otjecanje i poplave uzrokovane podzemnim vodama), vjerojatnost određenog pojavljivanja poplave, poplavne magnitude izražene kao poplavne površine, dubine vode ili brzine protoka i vjerojatnu magnitudu štete (život, vlasništvo, gospodarska aktivnost...). Kartama poplava se prikazuju informacija o opasnostima, ranjivostima i rizicima na određenim područjima te se koriste za podizanje javne svijesti, u sektoru osiguranja, upravljanje poplavnim rizicima, za planiranje hitnih situacija i planiranje i upravljanje zemljištem. Ovisno čemu su poplavne karte namijenjene, svaka kategorija poplavnih karata ima posebne zahtjeve u pogledu sadržaja, mjerila, preciznosti ili ciljane skupine kojoj je namijenjena. Što se tiče sadržaja, karte poplava mogu obuhvaćati različite poplavne površine i različite razine opasnosti i rizika. Kada se govori o mjerilu, karte poplava mogu sadržavati pregled velikih područja sa manjom količinom preciznih informacija ili detaljne informacije za usko područje. Kada se određuje kojoj skupini će ta poplavna karta biti namijenjena, to može biti za stručnjake, vladajuća tijela ili za opću javnost. Što se tiče složenosti, one mogu biti jednostavne i lakorazumljive ili složene namijenjene točno određenim stručnjacima [10].

Tablica 1 prikazuje pregled različitih mjerila, uporabe karata poplava, njihove složenosti i sadržaja koji se nalazi na kartama poplava [10].

Razina/mjerilo	Upotreba karata poplava	Publika/složenost	Sadržaj karata poplava
<p><b>Nacionalna</b></p> <p>1:100 000 – 1:1 000 000</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planiranje u velikom mjerilu/ prioritizacija mjera upravljanja poplavnim rizicima/ strategije na nacionalnoj razini</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- donosioci odluka</li> <li>- lakorazumljive, jednostavne mape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poplavne površine</li> <li>- poplavni rizici</li> <li>- mjesta ranjivosti okoliša</li> <li>- imovina pod rizikom</li> <li>- okvirna ranjivost</li> <li>- rizik zagađenja</li> </ul>
<p><b>Regionalna</b></p> <p>1:25 000 – 1:100 000</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- planiranje/ prioritizacija mjera upravljanja poplavnim rizicima/ strategije na regionalnoj razini</li> <li>- upravljanje poplavnim rizikom unutar riječnog područja</li> <li>- utvrđivanje strateških zona pohrane poplava (područja zadržavanja, područja uz rijeku koja često plave)</li> <li>- sudjelovanje javnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- donosioci odluka</li> <li>- tehničke službe</li> <li>- direktno pogođeni ljudi/ opća javnost</li> <li>- lakorazumljive, jednostavne mape</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poplavne površine</li> <li>- poplavni rizici</li> <li>- mjesta ranjivosti okoliša</li> <li>- imovina pod rizikom</li> <li>- ranjivost</li> <li>- rizik zagađenja</li> </ul>
<p><b>Lokalna</b></p> <p>1:2 000 – 1:25 000</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- planiranje, dizajniranje i evaluacija lokaliziranih/ specifičnih mjera upravljanja poplavama</li> <li>- sudjelovanje javnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- donosioci odluka</li> <li>- tehničke službe</li> <li>- direktno pogođeni ljudi/ opća javnost</li> <li>- moguće složene karte (stručnjaci)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- poplavne površine</li> <li>- dubina vode</li> <li>- ako je potrebno drugi parametri poplave</li> <li>- ranjivost</li> <li>- rizik (procjena ekonomskog stanja)</li> <li>- utjecaji na okoliš</li> </ul>

Kartiranje poplava nije egzaktna znanost, te karte i njihova preciznost ovise o stručnosti osobe koja ih izrađuje. Upravo zbog toga karte imaju nesavršenosti i mane. Karte poplava pokazuju aproksimiraju model poplave koja bi se dogodila u stvarnosti za određeni povratni period, a taj je model nepouzdan zbog same nepreciznosti modela i aproksimacije koje se koriste u metodama proračuna. Potrebno je shvatiti i uzeti u obzir

navedene greške i nepreciznosti kako bi se razumjelo koliko karta vjerodostojno pokazuje ono što se može vidjeti u stvarnosti. Do nepouzdanosti karata može doći zbog (ne)preciznosti digitalnog modela terena, preciznosti sjecišta vodnih puteva, nepouzdanosti kartiranja zbog utvrđivanja granica područja koja su sklona poplavama... Sve te nepouzdanosti su međusobno povezane jer se rezultati jednog koraka koriste kao ulazni podaci za idući korak s čime se nepouzdanost samo povećava [10].

Prije samog prikupljanja, pripreme podataka i pripreme karata, potrebno je definirati određene stvari vezano uz karte opasnosti i rizika od poplava. Dok se ne definira sadržaj, svrha i upotreba, mjerilo, preciznost i ciljana skupina kojoj je namijenjena karata ne može se ni početi sa prikupljanjem podataka jer oni ovise o svim parametrima karte. Kada se odrede početni podaci vezani uz kartu, može se započeti utvrđivanje podataka koji nedostaju i uspostavljanje procesa kojima će se ti podaci dopuniti [10].

Utvrđena područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava bit će polazišna točka za pripremu karata poplava u skladu sa zahtjevima Direktive o poplavama. Potrebno je pripremiti karte poplava za sva utvrđena područja s potencijalno značajnim rizikom od poplava, dok za ona područja koja to nisu se karte ne rade. Prostorne površine s potencijalno značajnim rizikom od poplava bit će prikazane na karti opasnosti od poplava i karti rizika od poplava i razlikovat će se od područja nesklona značajnim poplavnim rizicima definiranim Direktivom o vodama. Za područje s potencijalno značajnim rizikom od poplava odrediti će se vrste poplave koja je relevantna za plavljenje tog područja (riječna, bujična, poplava priobalnih područja, podzemna...) [10].

### **5.1. Karte opasnosti od poplava**

Karte opasnosti od poplava sadrže prikaz mogućnosti razvoja određenih poplavnih scenarija za različite vjerojatnosti pojavljivanja [11].

Prema EU Direktivi o poplavama, karte opasnosti od poplava pokrivaju zemljopisna područja koja bi mogla biti poplavljena koristeći se s najmanje tri scenarija: mala, srednja i velika vjerojatnost nastanka poplave. Za svaki scenarij će stupanj poplave, dubina vode ili razina vode, i prema potrebi brzina protoka, moraju biti prikazani na kartama [12].

Karte opasnosti od poplava uključuju povijesne, kao i potencijalne buduće poplavne događaje različite vjerojatnosti, koji ilustriraju intenzitet i veličinu opasnosti u odabranom mjerilu. Na osnovi njih se vrše razmatranja i donose odluke o uporabi zemljišta, obrani građevina od poplava i podiže se svijest o opasnostima poplava i što boljoj pripremljenosti za buduće događaje [12].

Prvi korak za izradu karata opasnosti od poplava je sakupljanje i obrada podataka o opasnostima od poplava, odnosno informacije o poplavnim površinama, dubini vode ili vodostaju, brzini toka. Prije početka procesa prikupljanja i pripreme podataka, potrebno je ustanoviti koji podaci nedostaju. Za podatke nije dovoljno da postoje, već da su to kvalitetni i precizni podaci koji su neophodni za izvedbu simulacija poplava. Na temelju dostupnih podataka i kvalitete tih podataka se određuje mjerilo i njena detaljnost, jer se time definira za koju će potrebu služiti ta karta [10].

Kod definiranja sadržaja i vrste karata opasnosti od poplava, treba uzeti u obzir **ciljanu skupinu ili upotrebu karte, mjerilo karte, projekciju i koordinatni sustav, granice karte, vrstu i scenarije poplava, poplavne površine, dubinu vode i brzinu toka...** [10]

Ciljana skupina koja će koristiti kartu opasnosti od poplava može biti opća javnost ili obrazovani kadar na malim područjima koji će na temelju njih lokalno planirati. Ukoliko su to karte za javnost, one su jednostavnije i manjeg mjerila (npr. 1:10 000- 1:25 000), a ako su za lokalno planiranje, sadržaj je prilagođen potrebama planiranja i mjerilo je veće (npr. 1:2000- 1:10 000) [10].

Direktiva o poplavama traži karte isključivo za područja potencijalno značajnog poplavnog rizika, no poželjno bi bilo prikazati opasnost od poplava i u područjima koja nemaju potencijalno značajan rizik od poplava (ako za ta područja postoje podaci) jer se u suprotnom može steći pogrešan dojam da izvan područja potencijalno značajnog poplavnog rizika nema opasnosti od poplava [10].

Bitno je definirati označavanje poplava različite vrste na karti (hoće li se označavati sve isto ili različito svaku vrstu), kao i koji će se koordinatni sustav koristiti. Scenariji poplava prema zahtjevima Direktive o poplavama su poplave male vjerojatnosti ili scenariji ekstremnih događaja, poplave srednje vjerojatnosti (povratni period veći od 100 godina) i poplave velike vjerojatnosti na područjima gdje je to potrebno [10].

Što se tiče dubine vode (razine vode), njene vrijednosti se mogu izvesti iz hidrauličkog proračuna za riječne poplave, iz statističkih analiza ili iz opažanja. Za mora i jezera se primjenjuju statističke metode, a za rijeke numerički modeli. Karta opasnosti od poplava koja prikazuje dubine vode daje informacije o dubini poplave u metrima ili centimetrima na određenoj lokaciji za definirani povratni period tog poplavnog scenarija [10].

EU Direktiva o poplavama zahtijeva karte koje prikazuju brzinu toka, i to u 9 klasa. Kompliciranije je dobiti informaciju o brzini toka nego informaciju o dubini vode, jer se informacija o brzini toka može izvesti samo iz 2D simulacija poplava [10].

Da bi se karte što jednostavnije i što ispravnije koristile, one trebaju biti pregledne i jasne. Moraju sadržavati osnovne informacije, a to su: naslov karte i jasno naznačen sadržaj (poplavne površine, brzina toka...), lokacija karte kao dio sliva ili države, legenda (lako čitljivi simboli i sheme boja), izvor podataka, datum prikupljenih podataka i datum publikacije... [10]

Na slici 6 prikazana je karta opasnosti od poplava izrađena za potrebe Plana upravljanja poplavnim rizicima 2016.- 2021 za Karlovac. Označene su mala vjerojatnost, srednja vjerojatnost i velika vjerojatnost poplave za to područje, kao i vodena površina. Navedeni su izvori podataka, kao i kada je karta napravljena. Prikazane su granice područja potencijalno značajnog rizika od poplava te dodatne informacije o nasipima i Topografska karta u mjerilu 1:25 000 [10].

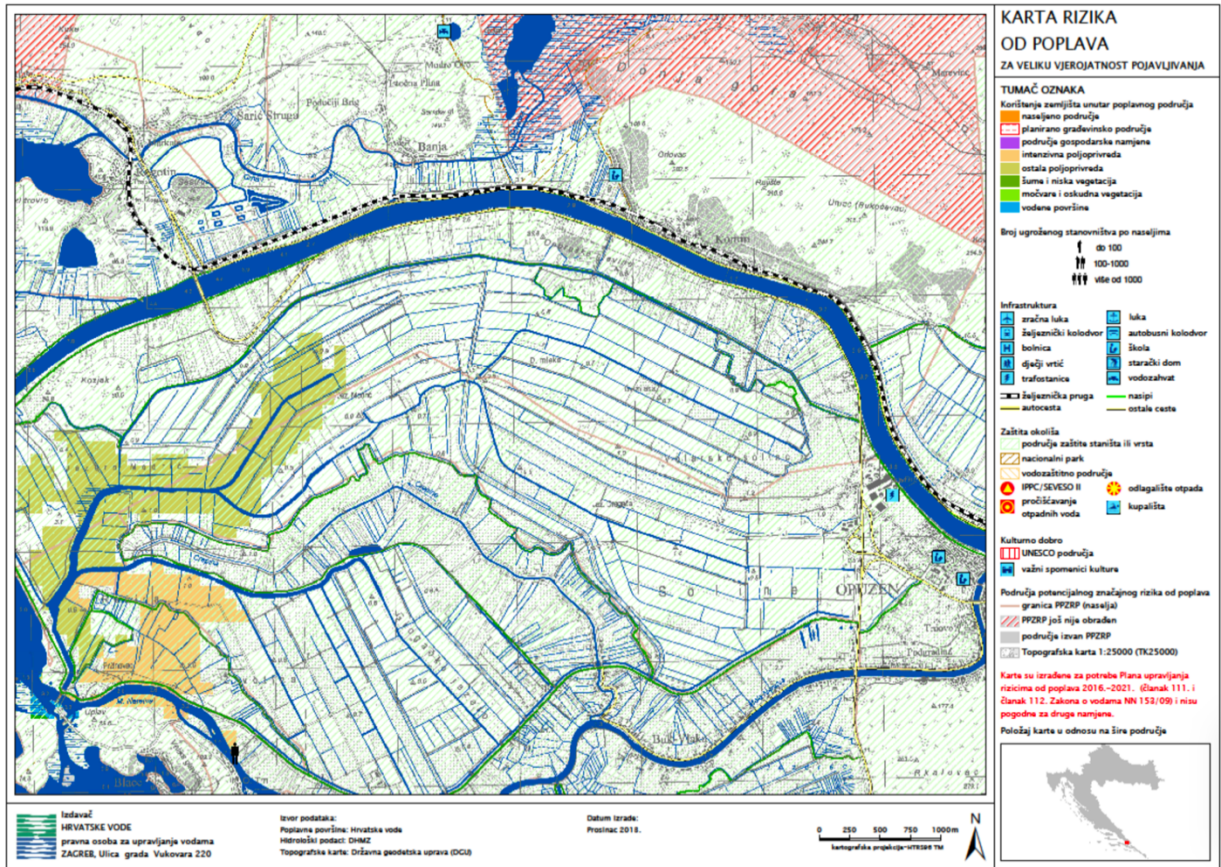


povećavaju osjetljivost pojedinca, zajednice, imovine ili sustava na posljedice i opasnosti [13].

Kod rizika od poplava je moguće kartirati informacije o potencijalnim štetnim posljedicama, rizik i individualni parametar ranjivosti „vrijednost“ o populaciji, ekonomskoj imovini i aktivnosti (infrastruktura, privatna imovina) i pitanju okoliša. Direktiva o poplavama ne zahtijeva rizik direktno, već ranjivost. Kombinacija opasnosti i ranjivosti bi predstavljala rizik u ovom slučaju, pošto je to složenije od samo opasnosti. Kartiranjem ugroženih dobara daju se informacija (parametar ranjivosti) o populaciji, dobrima, gospodarskoj aktivnosti i pitanjima vezanima uz okoliš, potencijalno pogođenima poplavom [10].

Kod definiranja vrste i sadržaja karte rizika od poplava, vrijede ista pitanja i pretpostavke kao i kod karata opasnosti od poplava (vidi poglavlje 5.1.). Osim tih informacija, nužno je definirati receptore rizika koji će biti prikazani na karti, a to su: ljudsko zdravlje, gospodarska aktivnost, okoliš i kulturna baština [10].

Na slici 7 prikazana je karta rizika od poplava za veliku vjerojatnost poplavlivanja napravljena u sklopu Plana upravljanja rizicima od poplava 2016.- 2021. Prikazana su zemljišta različite namjene unutar poplavnog područja (naseljeno, vodene površine, šume, intenzivna poljoprivreda...), broj ugroženog stanovništva po naseljima, elementi infrastrukture (željeznice, ceste, bolnica, vrtić...), zaštita okoliša i kulturno dobro. Označena je granica područja potencijalnog značajnog rizika od poplava, kao i izvor podataka, datum izrade karte i ostale bitne informacije [10].



Slika 7. Karta rizika od poplava za veliku vjerojatnost pojavljivanja [10].



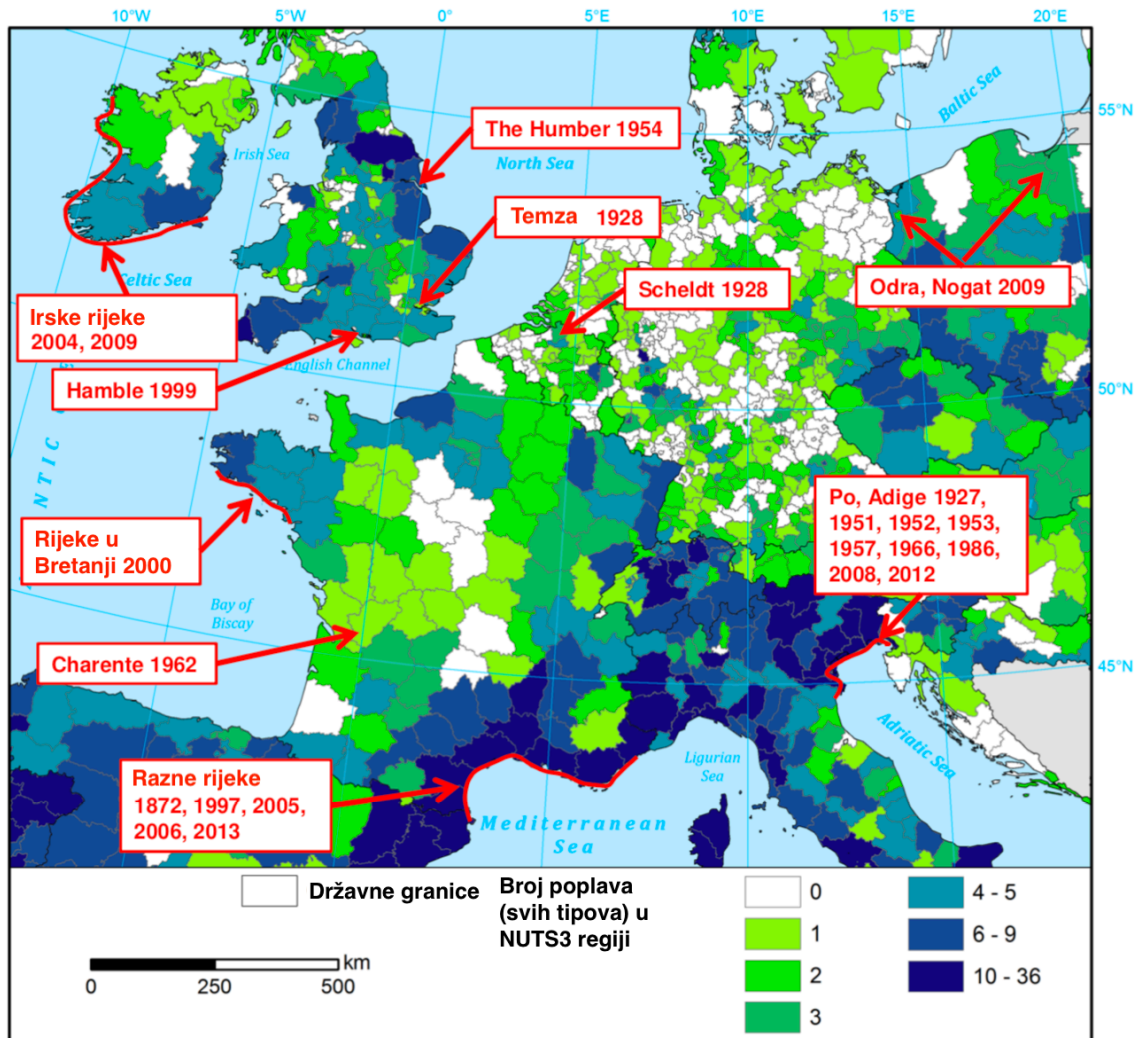
## 6. SLOŽENE POPLAVE USLIJED KOMBINIRANOG DJELOVANJA MORA I RIJEKE

Složene poplave nastaju kada se veliki protok u rijekama pojavi istovremeno sa olujnim usporom s mora, što rezultira većim vodostajem nego kada bi se te dvije pojave dogodile zasebno. Posljedično, veliki vodostaji izazivaju poplavu. Ovaj učinak kombiniranog djelovanja dvaju ili više izvora poplava treba proučavati lokalno zbog njegovog ograničenog geografskog opsega. Stoga je potrebno najprije kvantificirati ukupnu vjerojatnost zajedničkog pojavljivanja olujnih uspora (uključujući valove) i unutarnjih pojava koji uzrokuju poplavu (visoki riječni protoci i ekstremne oborine). Potrebno je analizirati ovisnost ovih hidrometeoroloških pojava kako bi se identificirala područja s najvećim potencijalom za pojavu složenih poplava. Dakle, složena poplava će se definirati kao svaka pojava i ekstremnih nivoa mora i visokih riječnih protoka ili ekstremnih oborina u isto vrijeme i na istom mjestu [14].

Istovremena pojava oluje povratnog perioda 10 godina i velike vode u rijekama povratnog perioda 10 godina neće se dogoditi svakih tih istih 10 godina, već je povratni period takvog događaja puno veći. Da bi se takav događaj dogodio, povratni period je uglavnom manji od 500 godina duž većine obala južne i zapadne Europe, a na krajnjem sjeveru kontinenta (Island, Norveška, sjeverno Baltičko more) i uz Crno more znatno je veći, iznad 1000 godina. Upravo toliki veliki povratni period istodobnog događanja te dvije pojave karakterizira složene poplave [14].

Prije su se ove pojave proučavale zasebno i nije se previše pažnje pridavalo povezivanju ovih fenomena. No, u kolovozu 2017. godine dogodila se tropska oluja i zbog naglog porasta morske razine i ekstremnih oborina nastala je poplava koja je prouzročila štetu od 150 milijardi dolara u Houstonu tijekom uragana Harvey. U SAD-u, uz obale izvan puta uragana, vrlo je mala ovisnost između obalnih vodostaja i obilnih oborina. Klima Europe znatno se razlikuje od klime američke obale, koju često pogađaju tropske oluje, kao što je bio slučaj u Houstonu. Očekuje se da će klimatske promjene posvuda povećati razinu opasnosti kroz povećanu razinu mora, i ekstremne oborine. Istodobno, nekoliko velikih europskih gradova smještenih u riječnim ušću skloni su obalnim poplavama, poput Antwerpena, Hamburga, Londona i Rotterdama [14].

Povijesni podaci o prošlim poplavnim događajima u Europi otkrivaju da su se složene poplave događale na mnogim lokacijama, samo nisu bile prepoznate kao takve. Prema bazi podataka HANZE (Historical Analysis of Natural Hazards in Europe), od 1564 poplava koje su se dogodile u 37 europskih zemalja između 1870. i 2016. godine, 23 (1,5%) su složene poplave, zabilježene u šest zemalja (slika 8) [14].



Slika 8. Prikaz složenih poplava između 1870. i 2016. godine gdje su crvenim označene složene poplave i godine nastanka svih 23 poplava [14].

Najveći broj složenih poplavnih događaja, čak njih devet, zabilježen je duž najsjevernije obale Jadranskog mora, odnosno talijanske regije Veneto i Friuli-Venezia Giulia. Poplave su nastale 1927., 1951., 1952., 1953., 1957., 1966., 1986., 2008. i 2012. godine.

Obalna poplava u Veneciji koja se dogodila 4. studenog 1966. (pojava lokalno poznata kao acqua alta), tijekom koje je dosegnut najviši vodostaj ikada zabilježen do tada, čak 194 cm, dogodila se istodobno s pojavom visoke vode u slivu rijeke Po koja je poplavila 137 km<sup>2</sup>. Obje poplave zajedno, rezultirale su s ukupno 25 smrtnih slučajeva, a nekoliko tisuća ljudi je bilo pogođeno tim katastrofičnim događajima [14].

Na slici 9 prikazana je katastrofična poplava (acqua alta) u Veneciji 1966. godine.



Slika 9. Acqua alta u Veneciji 1966.godine [25].

Složene poplave nisu strane ni sredozemnoj obali Francuske te ih se tamo dogodilo 5. 1872. godine se porast morske razine poklopio sa 8 dana intenzivne kiše, čime se dogodila poplava koja je uzrokovala 18 smrtnih slučajeva. U prosincu 1997. godine u blizini ušća rijeke Rone se dogodila složena poplava zbog četverodnevne oborine od čak 669 mm i olujnog uspora koji je izazvao porast morske razine. Ostale tri poplave dogodile su se 2005., 2006. i 2013. godine uslijed intenzivnih oborina od 200 mm koje su pale unutar 24 sata, i u kombinaciji sa jakim vjetrovima i porastom razine mora prouzročili složene poplave. Na zapadnoj obali Francuske, uz rijeku Charente, 1962.

godine dogodila se složena poplava u kojoj je pogođeno 1600 osoba. U pokrajini Bretanji 2000. godine se dogodila poplava te je 600 ljudi pogođeno tom katastrofom. Obje složene poplave na zapadnoj obali Francuske su se dogodile uslijed pojave oluje u jako vlažnom razdoblju, zbog čega je razina vode u rijekama bila povišena duže vrijeme [14].

## 7. OPIS PODRUČJA

Područje koje je analizirano u ovom diplomskom radu uključuje centar grada Rijeke i vodne resurse koji se tamo nalaze. Grad Rijeka nalazi se u Republici Hrvatskoj kao treći grad po veličini. Na slici 10 prikazan je položaj Republike Hrvatske na karti Europe gdje su svijetlo plavom bojom označene države članice Europske unije, a Republika Hrvatska je označena tamnijom plavom bojom.



Slika 10. Položaj Republike Hrvatske (tamnija plava boja) na karti među zemljama članicama Europske unije (svijetlo plava boja) [26].

### 7.1. Rijeka

Grad Rijeka treći je grad po veličini u Republici Hrvatskoj te administrativno središte Primorsko-goranske županije. Grad Rijeka se nalazi na zapadu Hrvatske, na sjevernoj obali Riječkog zaljeva, kao dijela većeg Kvarnerskog zaljeva u Jadranskom moru. Na slici 11 prikazana je karta sa označenim položajem Grada Rijeke u Republici Hrvatskoj.



Slika 11. Položaj Grada Rijeke na karti Republike Hrvatske [27].

Centrom grada Rijeke prolazi korito rijeke Rječine i staro korito poznatije kao Mrtvi kanal. Ušće rijeke Rječine, koje je nekada služilo kao luka, nalazi se u centru grada, gdje se ulijeva u Jadransko more u Kvarnerski zaljev [15].

Na slici 12 prikazan je centar Grada Rijeke i Jadransko more koje ga okružuje.

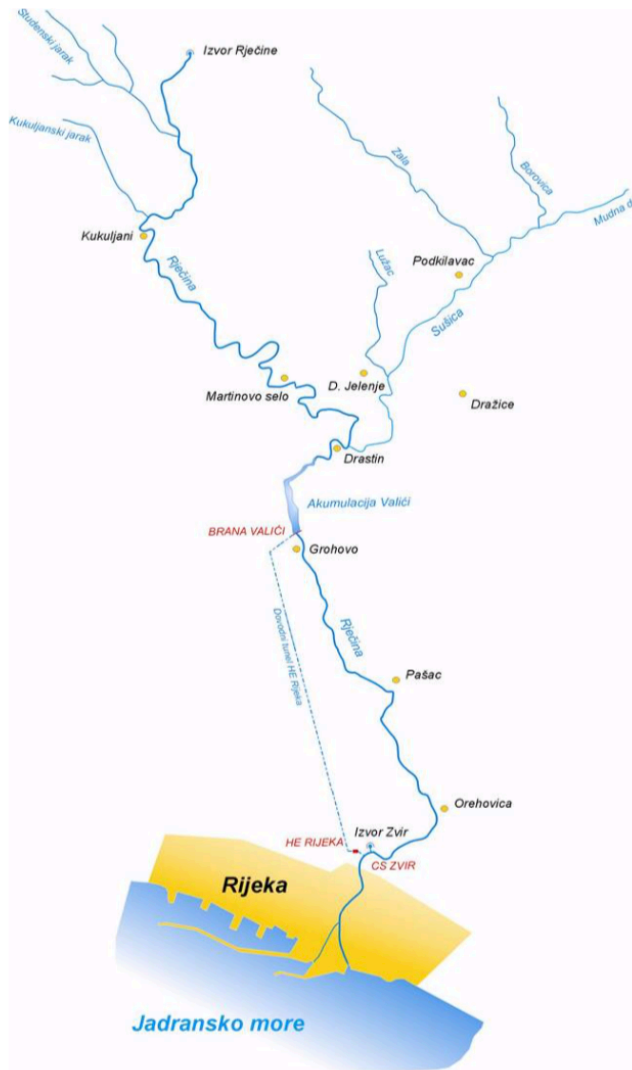


Slika 12. Centar Grada Rijeke i Jadransko more [28].

## 7.2. Rijeka Rječina

Vodotok Rječina karakterističan je primjer priobalnog vodotoka sa bujičnim karakteristikama, tipičan za priobalni krški dio Hrvatske. Duljina vodotoka od izvorišta koje je u podnožju planinskog masiva Obruča, do ušća u Riječki zaljev je 18,3 km. Izravni orografski sliv je površine 218 km<sup>2</sup>, dok je površinu podzemnog sliva vrlo teško odrediti zbog krške prirode područja [16].

Na slici 13 prikazan je sliv Rječine sa obilježenim izvorom, pritocima i ostalim bitnim elementima poput brana, akumulacija, crpnih stanica, itd. [16]

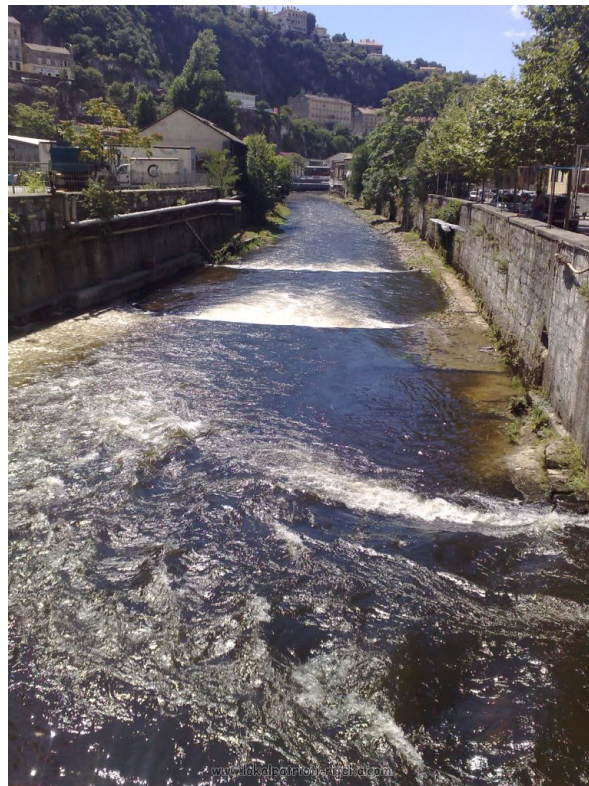


Slika 13. Sliv Rječine sa ucrtanim bitnim elementima [16].

Glavni protok u vodotoku daje sam izvor, a od pritoka najistaknutije su lijeve pritoke Studenski i Kukuljanski jarci, kao i desna pritoka Sušica. U donjem dijelu toka nalazi se izvor Zvir koji se koristi za potrebe vodoopskrbe, a samo preljevne vode Zvira doprinose ukupnom protoku Rječine. Protok Rječine izrazito oscilira tijekom godine, te se najmanji protok od  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  bilježi u profilu neposrednog izvorišta obično u tijeku ljetnih mjeseci u trajanju od oko 30 dana, a u kišnom razdoblju Rječina naglo nabuja. Najveći protok od  $439 \text{ m}^3/\text{s}$  zabilježen u profilu ušća u more na dan katastrofalne poplave 19. rujna 1898. godine [16].

Obilježja toka Rječine različita su u gornjem i donjem dijelu toka. U gornjem toku je uzdužni pad veći, čak 1,8 % u gornjem i 3,0 % u srednjem dijelu. Korito je dijelom usječeno u kanjon, a pokosi obala su nestabilni. U donjem toku uzdužni je pad korita blag i iznosi 0,36 %, a oko rijeke se nalaze značajne četvrti Grada Rijeke i porječje koje se širi u deltu na ušću u Jadransko more. Regulirani dio Rječine u donjem toku prolazi kroz samu gradsku jezgru i nad njime je sagrađeno sedam mostova [16].

Na slici 14 nalazi se regulirani donji tok Rječine pri ulazu u centar grada.

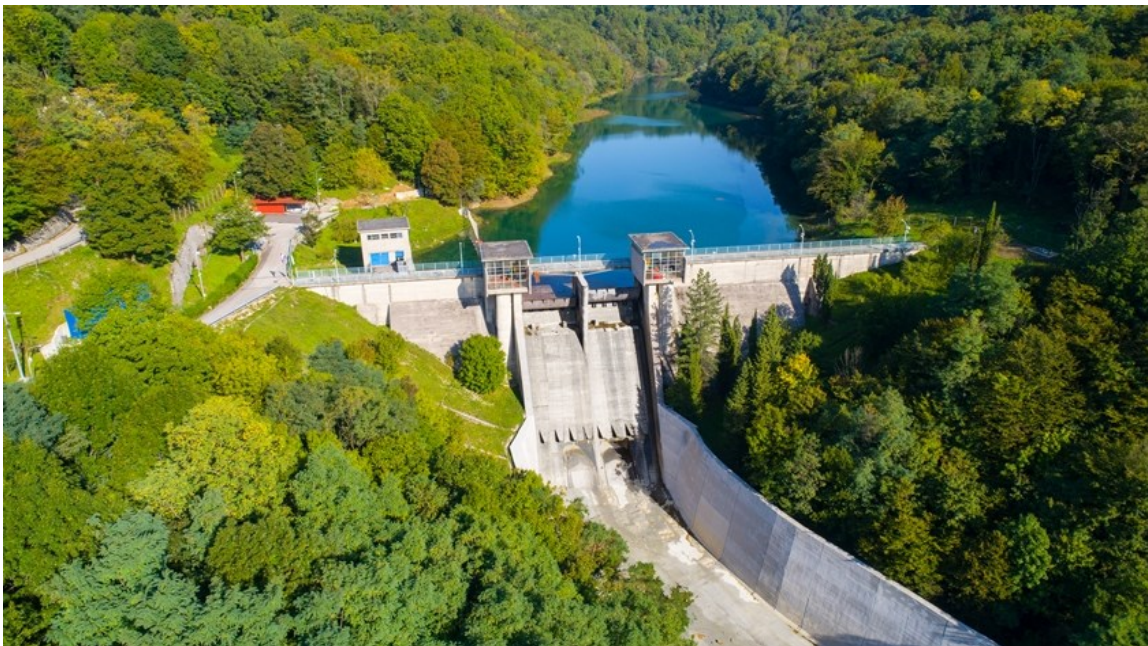


Slika 14. Donji tok Rječine [29].



Akumulacija Valići smještena je uzvodno od naselja Grohovo, te se koristi za dovod vode tunelom do Hidroelektrane Rijeka koja se nalazi u samom centru grada u Vodovodnoj ulici. Dovodni tunel ima maksimalnu propusnost od 12 m<sup>3</sup>/s. Oscilacija morske razine stvara uspor u tečenju s uspornom linijom na približno 1 km od mora [16].

Na slici 15 prikazana je akumulacija Valići i istoimena betonska gravitacijska brana.



Slika 15. Akumulacija i brana Valići [30].

### **7.3.Mrtvi kanal**

Rječina je stoljećima poplavlivala riječko područje, te se nakon jedne iznimno jake poplave krenulo u regulaciju Rječine. Iskopalo se novo korito po pravcu koji rijeka prirodno bira kod najviših vodostaja, te je uz veliko ulaganje novo korito dovršeno 1855. godine. U staro korito puštena je morska voda, čime je nastao Mrtvi kanal [16].

Mrtvi kanal dugačak je 530 m, a dubok je u prosjeku od 4 do 5 m te služi za privez čamaca i brodica. Preko njega pružaju se tri mosta [17].

Nakon radova iz 1855. godine između Mrtvog kanala i novog korita Rječine ostao je trokutasti teren koji je dobio naziv Delta. Uz daljnje nasipavanje Delte dodatno se produžavalo novo korito Rječine.

Na slici 16 prikazano je područje novog korita Rječine, Delte i Mrtvog kanala.



Slika 16. Područje novog korita Rječine, Delte i Mrtvog kanala [16].

#### **7.4. Kvarnerski zaljev**

Kvarnerski zaljev je zaljev u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora i nalazi se između Istre i Hrvatskog primorja. Otočnim nizovima razdijeljen je na Riječki zaljev, Velebitsko-vinodolski kanal i Kvarnerić. Riječki zaljev predstavlja sjeverni dio Kvarnerskog zaljeva, Velebitsko-vinodolski kanal je dio između obale Hrvatskog primorja i otoka Krka, Paga i Raba, dok je Kvarnerić područje između otoka Krka, Paga i Raba s jedne strane i Cresa i Lošinja s druge strane. Kvarner je ime za prostor između otoka Cresa i Lošinja i istarske obale [18].

Kvarnerski zaljev je vrlo razveden te je prosječne dubine 50 m, dok je u Riječkom zaljevu dubine do 60 m. U Kvarneriću je maksimalna dubina 104 m i nalazi se na istoku Cresa, dok je Kvarnerski zaljev najdublji u kanalu između otoka Plavnika i Cresa gdje

dubina iznosi 114 m. Prosječna amplituda plime i oseke u Gradu Rijeci iznosi 0.3 m, dok je maksimalna zabilježena iznosila 1.35 m [18].

Na slici 17 prikazana je karta područja Kvarnerskog zaljeva.



Slika 17. Karta Kvarnerskog zaljeva [31].

## 7.5. Jadransko more

Jadransko more je dio Sredozemnog mora. Dugačko je oko 700 km te je prosječna širina mora 380 km. Proteže se na površini od 138 595 m<sup>2</sup>, a obalna linija dugačka je 7911 km, od čega je 74% u Hrvatskoj. Ostatak istočne obale podijeljen je na još 5 država osim Hrvatske: Sloveniju, Bosnu i Hercegovinu, Crnu Goru, Albaniju i Grčku, dok je zapadna obala od 1272 km u potpunosti pripala Italiji [19].

Jadransko je more podijeljeno u tri dijela, odnosno tri geografske cjeline s obzirom na dubine i ostale karakteristike: sjeverni, srednji i južni dio. Južni dio vezan je uz Sredozemno more koje ulazi kroz Otrantska vrata i čini najdublji dio Jadrana s

Južnojadranskom kotlinom dubine od čak 1233 m. Zauzima oko 41 % ukupne površine Jadrana i prostire se do Palagruškog praga [19].

Odavde počinje srednji dio, znatno plići iako i dalje jako dubok, u kojem dubine ne prelaze stotinu metara, osim u Jabučkoj kotlini gdje pada do dubine od 275 metara. Od spojnice Ancone i Karlobaga počinje sjeverni, najplići dio, s dubinama oko 50 m i završava duboko u kopnu Europe kod Trsta i Venecije. Dubina se smanjuje prema sjeveru, a srednja vrijednost od 252 metra ne daje realnu sliku jer sjeverno od Jabučke kotline dubine ne prelaze stotinu metara [19].

Slika 18 prikazuje podjelu Jadranskog mora na tri cjeline: južni, srednji i sjeverni.



Slika 18. Podjela Jadranskog mora na tri dijela: sjeverni, srednji i južni dio [32].

U Jadranskom moru su morske mijene slabo izražene i miješanog su tipa, što znači da imaju poludnevni ritam tijekom punog Mjeseca i mlada, a dnevni ritam tijekom prve i zadnje četvrti. Poludnevni plimni val ponaša se slično strujama, ulazeći iz Sredozemnog mora na istočnoj obali, a izlazeći na zapadnoj. Njegova je amplituda najveća na sjevernom Jadranu. Dnevni plimni val nastupa skoro istodobno u cijelom Jadranskom moru, a amplituda mu je najveća na njegovu sjevernom dijelu (18 cm) [19].

Valovi se javljaju uglavnom kao posljedica vjetrova, pa ovise o tome koji vjetar puše, dok njihova jačina ovisi o obliku obale i njezinoj izloženosti. S prosječnim visinama između 0,5 i 1,5 m, valovi na Jadranu ne mogu se usporediti s tropskim. Najviši zabilježeni val na

Jadranu bio je visine od 10,8 m, nastao kao posljedica dugotrajnoga olujnog juga. Tijekom nevremena mogu biti vrlo jaki, ugrožavati barke i objekte uz obalu. Najčešće površinske valove na Jadranu uzrokuju bura i jugo zimi, te sjeverozapadni vjetar ljeti. Jugo u pravilu stvara mnogo veće valove, dok bura, iako ima veće brzine vjetra, stvara niže, zapjenjene valove [19].

Slanost u površinskom sloju Jadranskog mora prosječno iznosi 38,30 ‰, a nešto je manja na sjeveru zbog pritjecanja velikih talijanskih rijeka koje razrjeđuju more. Budući da se more nalazi u relativno suhom području s mnogo sunca i malo dotoka slatke vode rijekama, ono je slanije u odnosu na svjetska mora. Jadran je umjereno toplo more u čijim najvećim dubinama temperatura ne pada ispod 10- 12 °C, a ljeti temperatura površine mora dosegne i više od 25 °C [19].

Sezonski, javlja se fenomen koji se zove termoklina. To je granica između dvaju slojeva kod kojih se temperatura naglo spušta (ili podiže). Kako temperatura utječe na gustoću vode, tako su i dva stupca različite gustoće te se gotovo i ne miješaju. Termoklina nastaje zbog zagrijavanja površinskog sloja vode. U proljeće se sa sve jačim zagrijavanjem formira sezonska termoklina, koja zahvaća dubine između 10 i 20 m. Tijekom ljeta termoklina postaje izraženijom, uz temperature pri površini između 22 i 26 °C. Ljeti se prva termoklina zapaža na dubinama između 3 i 5 m, iduća na oko 12 m, a sljedeća na 18 m, dok su na dubini većoj od 30 m temperature uglavnom konstantne tijekom cijele godine. Na jesen se more opet počinje hladiti, pa termoklina slabi te se produbljuje do dubine od oko 100 m. Zimi ona iščezava te ponovno dolazi do miješanja slojeva mora [19].

## **8. POSTOJEĆE ANALIZE OPASNOSTI OD POPLAVA U GRADU RIJECI**

Prethodna procjena rizika od poplava izrađena je na temelju odredbi Zakona o vodama te vrijedi za razdoblje od 2016. do 2021. godine za cijelu Republiku Hrvatsku, pa tako i za riječko područje. U sklopu prethodne procjene rizika od poplava napravljene su karte prethodne procjene rizika od poplava gdje je grad Rijeka označen crvenom bojom i nalazi se u kategoriji vrlo velikog (1A) rizika od poplava. Karte prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava također označavaju riječko područje ružičastom bojom koja simbolizira područje značajnog rizika od poplava. Karte uzroka i mehanizama plavljenja definiraju uzroke i mehanizme kojima se poplave na određenom području događaju, te su za riječko područje mogući svi uzroci (fluvijalne, poplave uslijed rušenja brane i obalne poplave od mora) i svi mehanizmi nastanka poplava te one mogu nastati na nezaštićenim područjima, uslijed gubitka funkcionalnosti sustava, uslijed nedovoljnog stupnja zaštite i uslijed blokade puteva otjecanja [11].

Karte opasnosti od poplava su izrađene u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava za scenarije plavljenja određene Direktivom 2007/60/EZ. Karte opasnosti od poplava napravljene su za 3 specifična poplavna scenarija (visoka, srednja i niska vjerojatnost pojavljivanja) u mjerilu 1:25 000, za ona područja koja su u Prethodnoj procjeni rizika od poplava određena kao područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava. U Prethodnoj procjeni rizika od poplava zaključeno je da je riječko područje ugroženo, te su se napravile karte opasnosti od poplava za visoku, srednju i nisku vjerojatnost pojavljivanja, kao i karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja [11].

### **8.1. Prethodna procjena rizika od poplava**

Prethodna procjena rizika od poplava izrađena je na temelju odredbi Zakona o vodama ("Narodne novine", br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13) i na temelju donesenih dokumenata u suradnji s Europskom unijom. Prethodnu procjenu rizika od poplava su izradile Hrvatske vode u sklopu izrade Plana upravljanja rizicima od poplava, gdje je prethodna procjena rizika prvi korak pri izradi Plana. On je sastavni dio Plana upravljanja vodnim

područjima te je stupio na snagu početkom 2016. godine nakon što ga je Vlada usvojila. Plan vrijedi 5 godina, odnosno u razdoblju od 2016. do 2021. godine [33].

Za vodno područje rijeke Dunav i za jadransko vodno područje su posebno provedene prethodne analize rizika. Na slici 19 prikazana su dva glavna vodna područja Republike Hrvatske i njihovi podslivovi [33].



Slika 19. Dva glavna vodna područja Republike Hrvatske i podslivovi [33].

U slivovima na istarskom i primorskom području, zaštita od poplava bazira se na zaštitu urbanih sredina, turističkih područja, prometnica i poljoprivrednih površina od bujičnih poplava pošto su one najčešće u ovom području. Na kvarnerskom području opasnost predstavljaju klizišta koja vrlo lako mogu zatrtati vodotok i time izazvati velike štete i poplave ogromnih razmjera. U kanjonu Rječine i Vinodolskoj dolini je moguć upravo takav scenarij [33].

Prethodna procjena rizika od poplava izrađena je na temelju podataka koji su lako dostupni, te sadrži [33]:

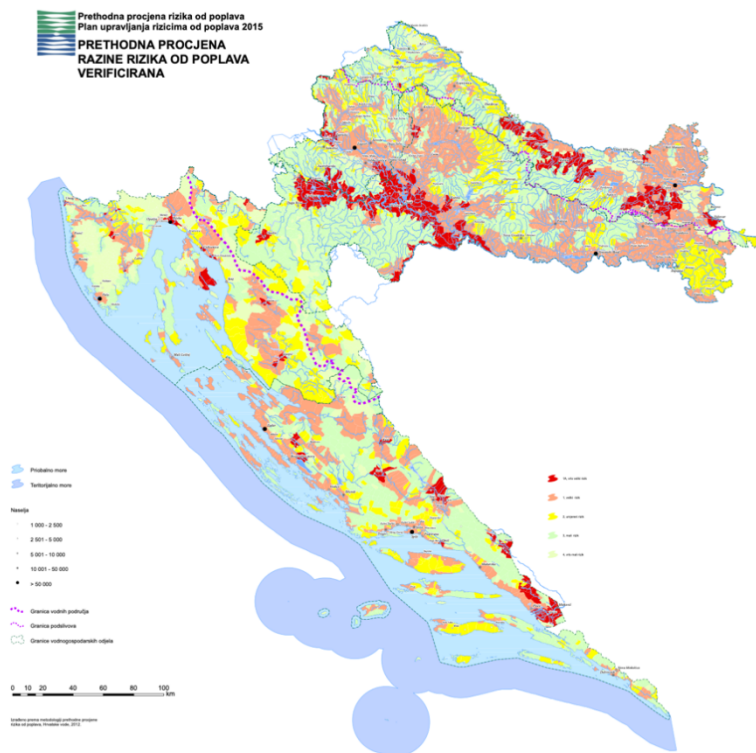
- Karte vodnog područja s granicama riječnih slivova, podslivova i priobalnih područja, s prikazom topografije i korištenja zemljišta,
- Prikaz povijesnih poplava i onih koje su imale značajne štetne učinke na sve aspekte života i za koje je vjerojatnost sličnih budućih događaja i dalje relevantna, te prikaz značajnih poplava u prošlosti, kada se mogu predvidjeti značajne štetne posljedice sličnih budućih događaja,
- Procjenu mogućih štetnih posljedica budućih poplava za zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost.

Osnovni kriteriji za proglašavanje određenog područja područjem sa značajnim rizicima od poplava prilagođeni su tome kako će se to područje obraniti od poplava i različitom pristupu koji mora biti što efikasniji, a istovremeno ekonomski isplativ. Potrebno je realno sagledati područje sa svim njegovim aspektima, te potom donijeti odluku u kojoj će se osmisliti kako to područje što efikasnije zaštititi od poplava, a istovremeno da je ekonomski prihvatljivo. Područja sa značajnim rizicima od poplava uključuju sva područja za koje je prethodnom procjenom ocijenjen vrlo veliki (1A), veliki (1) i umjereni (2) rizik od poplava [33].

Vrlo veliki (1A) rizik je rizik kada područje ne posjeduje nikakav obrambeni mehanizam od poplave. On zahtijeva izradu detaljnih karata ugroženosti i rizika od poplava, a po potrebi. Veliki (1) rizik od poplava zahtijeva izradu detaljnih karata ugroženosti i rizika od poplava. Umjereni (2) rizik od poplava zahtijeva izradu karata ugroženosti i rizika od poplava indikativnog karaktera, a ukoliko bude bilo potrebno mogu se napraviti i detaljne karte ugroženosti i rizika od poplava [33].

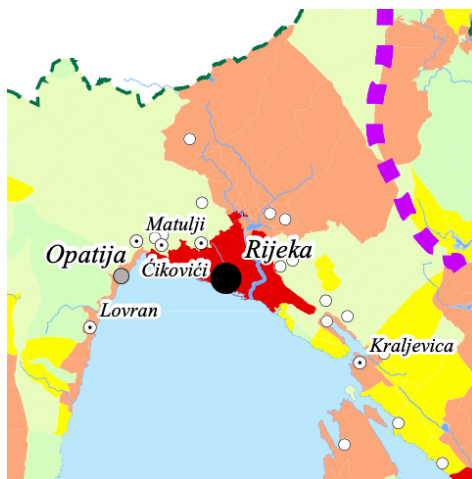
Na slici 20 prikazana je karta prethodne procjene rizika od poplava (verificirana) sa označenim vrlo velikim (1A – crvena boja), velikim (1- narančasta boja), umjerenim (2 - žuta boja), malim (3 – tamnija zelena boja) i vrlo malim (4 – svjetlija zelena boja) rizikom.





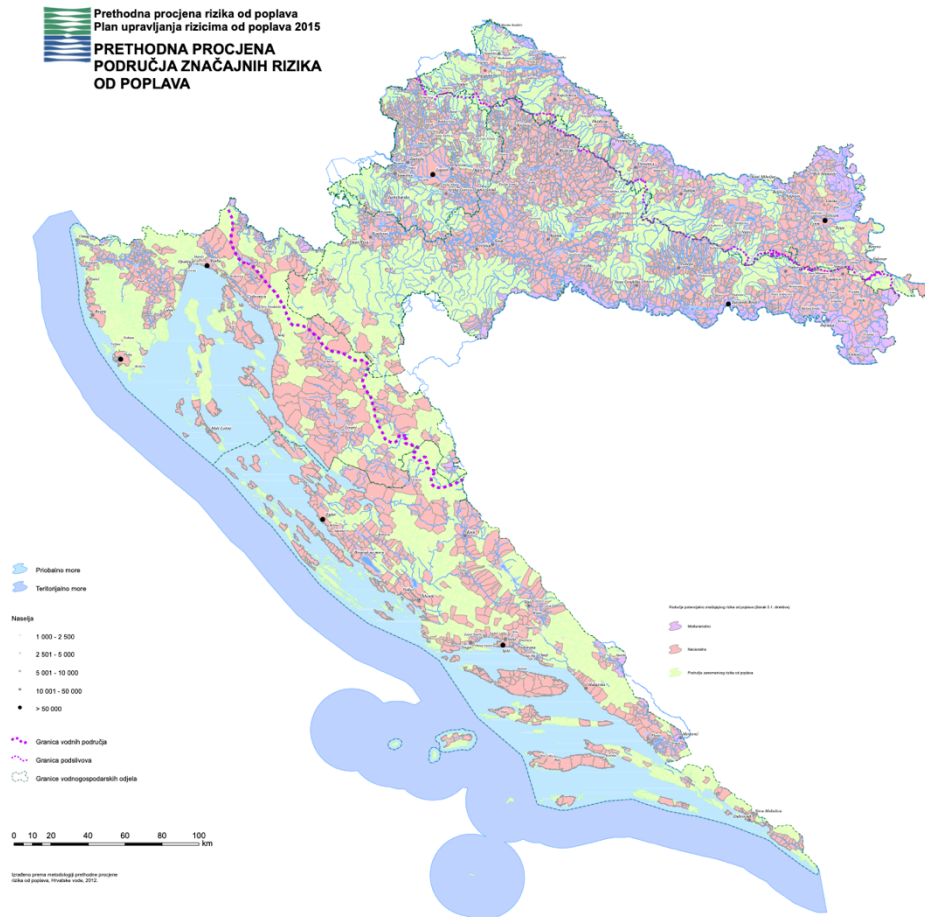
Slika 20. Karta prethodne procjene razine rizika od poplava (verificirana) [11].

Na slici 21 uvećano je područje grada Rijeke na karti prethodne procjene razine rizika od poplava gdje se jasno vidi da je za Rijeku procijenjen vrlo veliki rizik od poplava i spada u kategoriju 1A.



Slika 21. Grad Rijeka na karti prethodne procjene razine rizika od poplava [11].

Karta prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava definira područja značajnog rizika koja su međunarodna (ljubičasta boja), nacionalna (ružičasta boja) i područja zanemarivog rizika (zelena boja) i ona je prikazana na slici 22.



Slika 22. Karta prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava [11].

Riječko područje označeno je ružičastom bojom na karti prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava čime je svrstano u kategoriju nacionalnog područja značajnog rizika te je prikazano na slici 23.



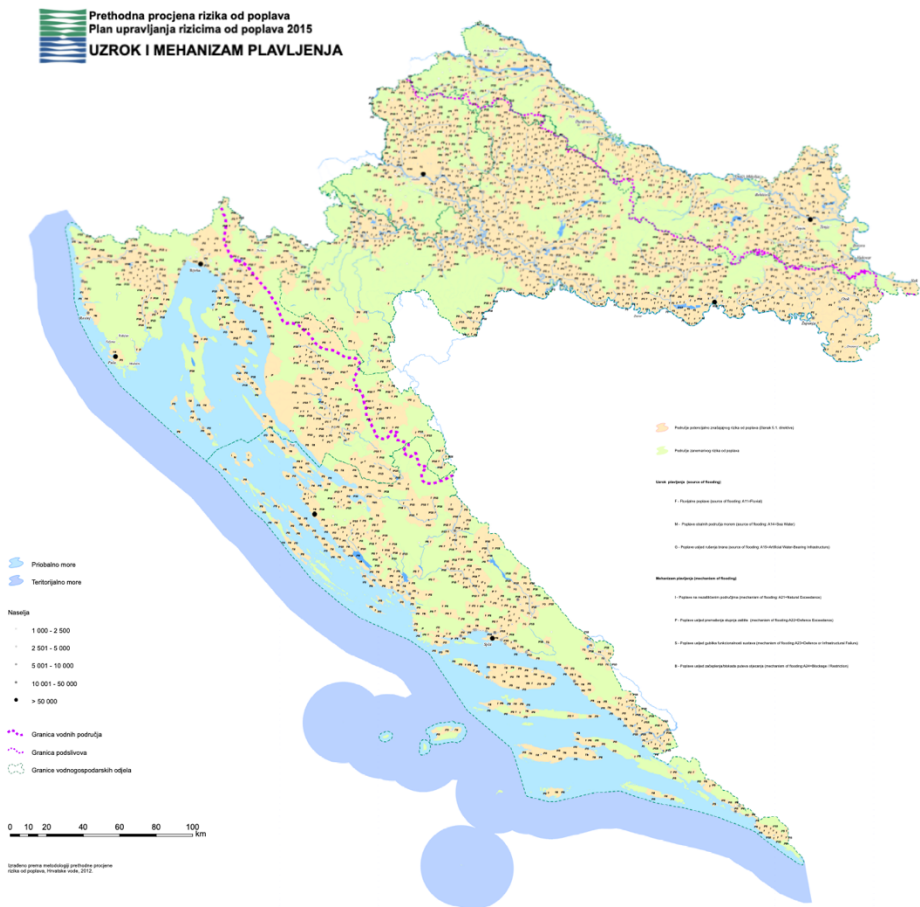
Slika 23. Riječko područje na karti prethodne procjene područja značajnih rizika od poplava [11]

Uzroci plavljenja dijele se na fluvijalne poplave, poplave obalnih područja morem i na poplave uslijed rušenja brana. Mehanizam poplava dijeli se na 4 kategorije: poplave na nezaštićenim područjima, poplave uslijed premašenja stupnja zaštite, poplave uslijed gubitka funkcionalnosti sustava i poplave uslijed blokade/ začepljenja puteva otjecanja [11].

Na karti koja prikazuje uzroke i mehanizam plavljenja, oni su označeni slovima [11]:

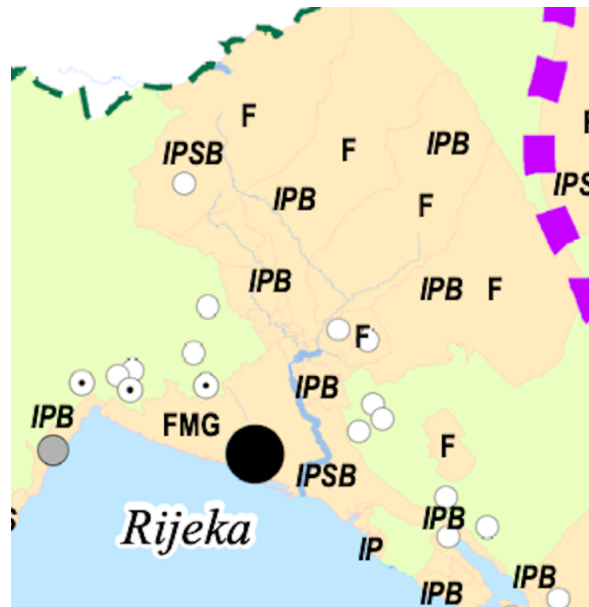
- F- fluvijalne poplave
- M- poplave obalnih područja morem
- G- poplave zbog rušenja brane
- I- poplave na nezaštićenim područjima
- P- poplave zbog premašenja stupnja zaštite
- S- poplave zbog gubitka funkcionalnosti sustava
- B- poplave zbog začepljenja ili blokade puteva otjecanja.

Na slici 24 prikazana je karta uzroka i mehanizama plavljenja za područje Republike Hrvatske na kojoj su područja potencijalno značajnog rizika od poplava označena narančastom bojom, dok su ona zanemarivog rizika od poplava označena zelenom bojom.



24. Karta uzroka i mehanizma plavljenja [11].

Na području grada Rijeke uzroci poplava su fluvijalne poplave (F), poplave obalnih područja morem (M) i poplave uslijed rušenja brane (G). Kao i uzroci, svi mehanizmi plavljenja se mogu dogoditi na riječkom području, pa tako poplave mogu nastati na nezaštićenim područjima (I), uslijed premašenja stupnja zaštite (P), uslijed gubitka funkcionalnosti sustava (S) i uslijed začepljenja puteva otjecanja (B). Na slici 25 prikazano je područje grada Rijeke sa označenim simbolima uzroka i mehanizma poplava.



Slika 25. Riječko područje na karti uzroka i mehanizama plavljenja [11].

## 8.2. Karte opasnosti od poplava

Karte opasnosti od poplava su izrađene u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava za scenarije plavljenja određene Direktivom 2007/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava [11].

Karte opasnosti od poplava napravljene su za 3 poplavna scenarija (visoka, srednja i niska vjerojatnost pojavljivanja) u mjerilu 1:25 000, za ona područja koja su u Prethodnoj procjeni rizika od poplava određena kao područja sa potencijalno značajnim rizicima od poplava. Analize su izrađene za oko 30.000 km<sup>2</sup>, što čini više od polovice državnog kopnenog teritorija [11].

Karte opasnosti napravljene su za scenarij [11]:

- Poplave visoke vjerojatnosti pojavljivanja
- Poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja
- Poplave niske vjerojatnosti pojavljivanja uključujući poplave uslijed mogućih rušenja nasipa na većim vodotocima te rušenja visokih brana.

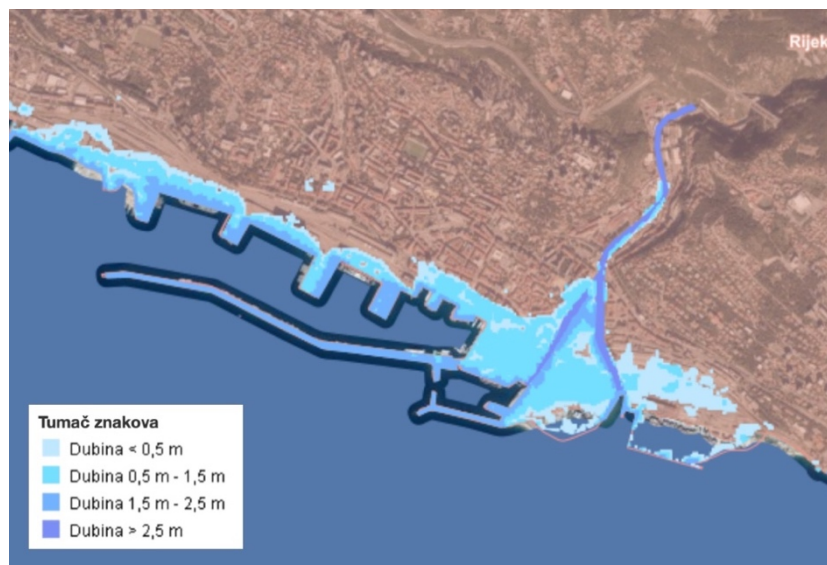
Za izradu karata opasnosti od poplava korištene su topografske karte Državne geodetske uprave (DGU), hidrometeorološke podloge Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ) i mareografske podloge Hrvatskog hidrografskog instituta [11].

Karte opasnosti od poplava napravljene su za područja sa potencijalno značajnim rizikom od poplava, te se u ta područja ubraja i riječko područje. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja na podlozi topografske karte za područje grada Rijeke prikazana je na slici 26.



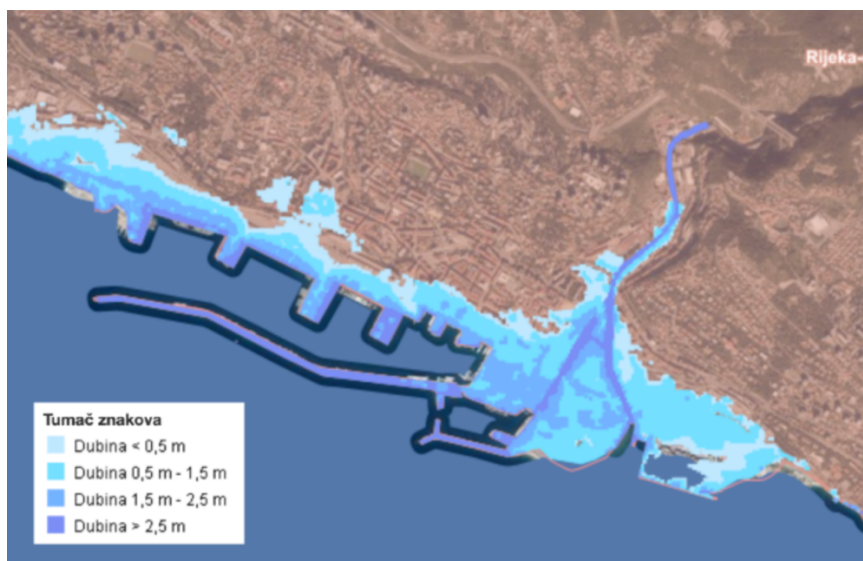
Slika 26. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja za područje grada Rijeke [11].

Karta opasnosti od poplava za veliku vjerojatnost pojavljivanja za područje grada Rijeke napravljena je u sklopu Plana upravljanja rizicima od poplava, te je prikazana na podlozi digitalne ortofoto karte i nalazi se na slici 27.



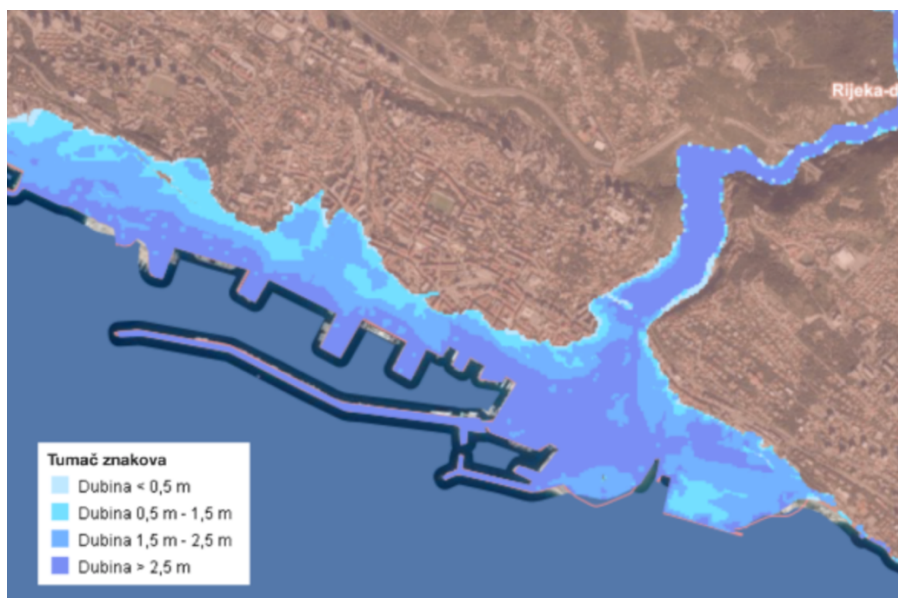
Slika 27. Karta opasnosti od poplava za veliku vjerojatnost pojavljivanja za područje grada Rijeke [11].

Na slici 28 prikazana je karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja na riječkom području sa označenim razredima dubine vode.



Slika 28. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja na riječkom području sa prikazanim razredima dubine vode [11].

Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim dubinama vode za područje grada Rijeke nalazi se na slici 29.



Slika 29. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja na riječkom području sa prikazanim razredima dubine vode [11].

## 9. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Predmet ovog diplomskog rada je izrada karata opasnosti od složenih poplava u centru Grada Rijeke i procjena opasnosti od složenih poplava za navedeno područje uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke. Za provedbu takvog istraživanja prvo je potrebno generirati model terena koristeći hrvatske osnovne karte, topografske karte i digitalne ortofoto karte u GIS okruženju. Nakon izrade digitalnog modela terena, potrebno je prikupiti hidrološke i mareografske podatke za područje Rječine kako bi se utvrdili mjerodavni protoci i razine mora za određene povratne periode. Hidraulički proračun je izrađen u računalnom programu HEC-RAS za visoku, srednju i nisku vjerojatnost pojavljivanja, kao i za jedan ekstremni događaj. Rezultat proračuna su karte opasnosti od složenih poplava, njih 9. Za svaki scenarij napravljena je karta opasnosti sa prikazanim brzinama i karta opasnosti sa prikazanim dubinama, te je posebno napravljena karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavlivanja.

### 9.1. Generiranje modela terena

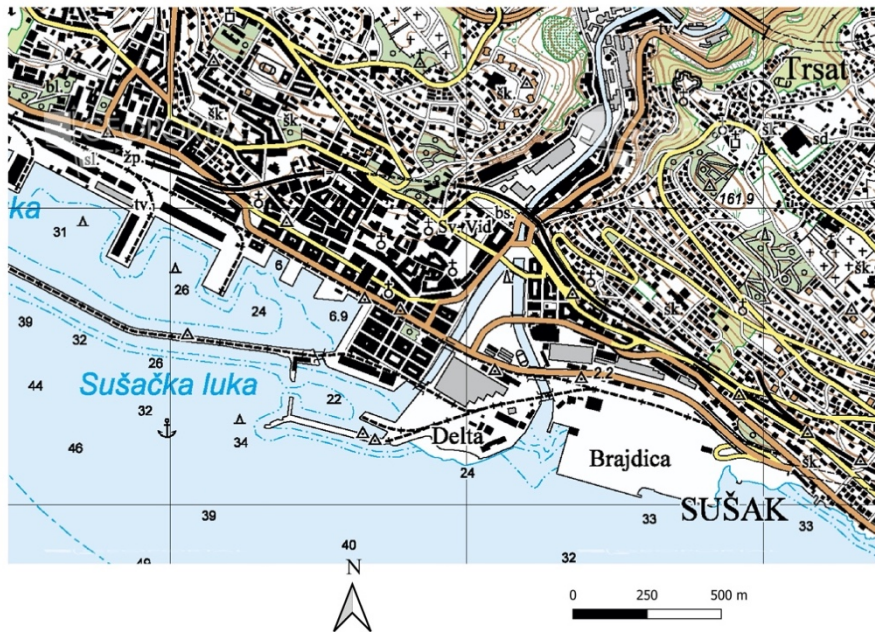
Da bi se provele simulacije i proračuni kojima će biti procijenjena opasnost od složenih poplava u centru Grada Rijeke, potrebno je generirati model terena. Digitalni model terena vjerno prikazuje Zemljinu površinu kao skup točaka koje imaju određen položaj i visinu i za potrebe ovog diplomskog rada, napravljen je uz pomoć topografske karte, hrvatske osnovne karte i digitalne ortofoto karte. Generiranje modela terena je provedeno u računalnom programu QGIS verzije 3.10.9 'A Coruña'. QGIS je besplatan računalni program koji je omogućuje vizualizaciju, uređivanje, stvaranje i analiziranje geopodataka. Koristeći QGIS određen je obuhvat unutar kojeg će biti provedene simulacije, ucrtane su točke, slojnice i izobate pomoću kojih je generiran model terena rastera 2 x 2 m bez korita Rječine i Mrtvog kanala. Profili Mrtvog kanala i Rječine ubačeni su u model terena putem računalnog programa HEC-RAS i na taj način je generiran finalni model terena.



### 9.1.1. Topografska karta (TK25)

Topografska karta (TK25) je službena državna karta, odnosno kodirana slika prirodnih i izgrađenih objekata zemljine površine koja se izrađuje za cjelokupno područje Republike Hrvatske. Izrađena je u mjerilu 1:25 000 na temelju aerofotogrametrijskog snimanja, topografskih podataka i digitalnog modela reljefa. Glavne skupine objekata koje su prikazane na TK25 su stalne točke geodetske osnove, građevinski i drugi objekti, vodovi i objekti vezani uz vodove, prometnice i objekti vezani uz promet, vegetacija i vrste zemljišta, vode i objekti vezani uz vode, visinska predstava terena i reljefni oblici, državna granica, okvir i opis karte s koordinatnom mrežom te zemljopisna imena. Ovakva vrsta karte se koristi u poslovima prostornog planiranja, idejnog planiranja i projektiranja infrastrukturnih objekata, stručnoj uporabi u javnom i privatnom upravljanju, planiranju i održavanju, akcijama spašavanja za turističke i rekreativne aktivnosti... Od 2011. godine TK25 se izrađuje u novoj podjeli na listove te u novoj kartografskoj projekciji HTRS96/TM na elipsoidu GRS80 [20].

Na slici 30 prikazana je topografska karta (TK25) za područje centra Grada Rijeke.

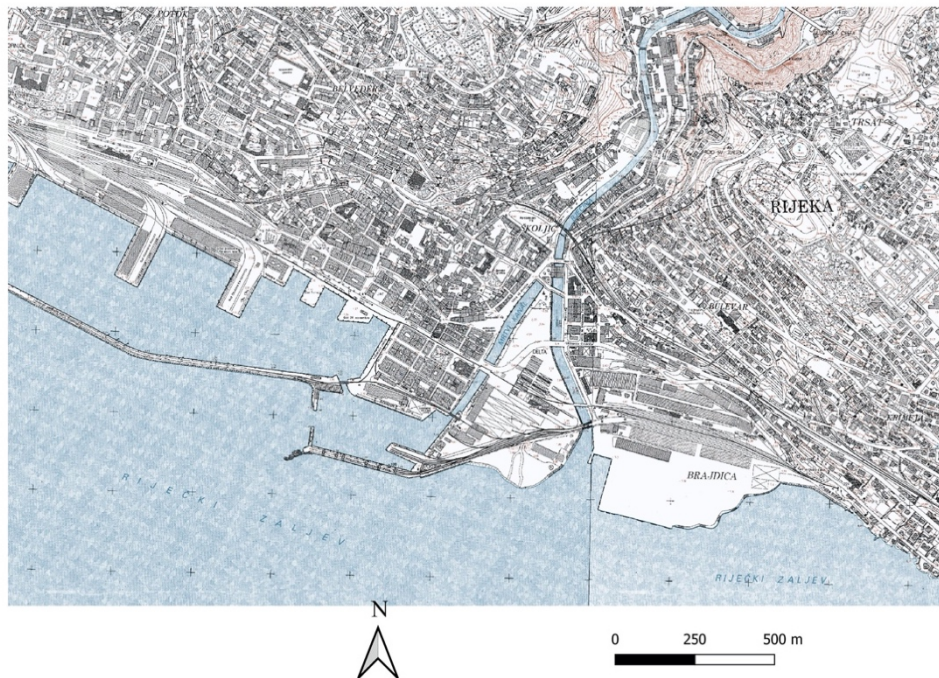


Slika 30. Topografska karta (TK25) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.

### 9.1.2. Hrvatska osnovna karta (HOK)

Hrvatska osnovna karta (HOK) je osnovna službena državna karta i izrađuje se u mjerilu 1:5000. Službena državna karta kodirana je slika prirodnih i izgrađenih objekata zemljine površine koja se izrađuje za cjelokupno područje Republike Hrvatske. Hrvatska osnovna karta, prijašnjeg naziva Osnovna državna karta, izrađivala se od 1954. do 2009. godine kada su zadnji listovi karte pušteni u službenu uporabu. Cijeli teritorij Republike Hrvatske prekriven je s 9802 lista HOK-a. Osnovni izvornik za izradu HOK-a je aerofotogrametrijsko snimanje krupnijeg mjerila, a podaci na karti su prikazani s minimalnim stupnjem generalizacije. HOK se koristi u poslovima detaljnog prostornog planiranja, idejnog planiranja i projektiranja infrastrukturnih objekata, stručnoj uporabi u javnom i privatnom upravljanju, planiranju i održavanju, akcijama spašavanja te za turističke i rekreativne aktivnosti i sl. Od 2011. godine listovi HOK-a se izrađuju u novoj podjeli na listove te u novoj kartografskoj projekciji HTRS96/TM na elipsoidu GRS80 [20].

Na slici 31 prikazana je hrvatska osnovna karta (HOK) za područje Grada Rijeke.

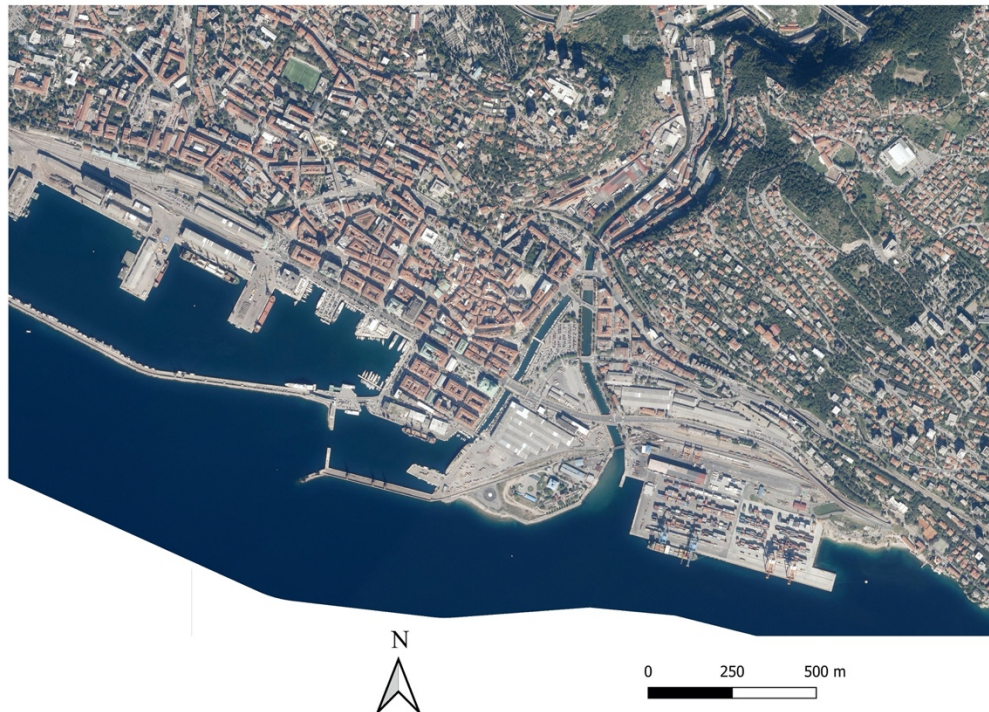


Slika 31. Hrvatska osnovna karta (HOK) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.

### 9.1.3. Digitalna ortofoto karta (DOF)

Digitalna ortofoto karta (DOF) je službena državna karta i izrađuje se u mjerilu 1:5000 (DOF5) za cjelokupno područje Republike Hrvatske. Digitalna ortofotokarta izrađena je prevođenjem digitalne aerofotogrametrijske snimke iz centralne u ortogonalnu projekciju uz upotrebu digitalnog modela reljefa odgovarajuće točnosti [20].

Na slici 32 prikazana je digitalna ortofoto karta (DOF) za područje Grada Rijeke.



Slika 32. Digitalna ortofoto karta (DOF) centra Grada Rijeke iz QGIS-a.

### 9.1.4. QGIS

QGIS je računalni GIS program otvorenog koda koji omogućuje vizualizaciju, upravljanje, uređivanje i analiziranje geopodataka [21].

GIS, odnosno geografski informacijski sustav, obuhvaća bazu podataka, geometrijske podatke i računalno temeljenu vezu između njih. To je informatička tehnologija koja kombinira geoprostorne podatke s ostalim vrstama podataka i vizualizira ih na kartama. Prednosti GIS-a su u efikasnijem upravljanju prostornim resursima, integraciji podataka,

efikasnijoj komunikaciji informacija na temelju vizualizacije informacija, automatizaciji djelatnosti (izrada karata i planiranje ruta) i u prostornom modeliranju [22].

Kao i ostale GIS aplikacije, QGIS omogućuje stvaranje karata s većim brojem slojeva koji se koriste za različite projekcije karata. Karte se mogu generirati od vektorskih slojeva ili od rasterskih slojeva [21].

### 9.1.5. Model terena

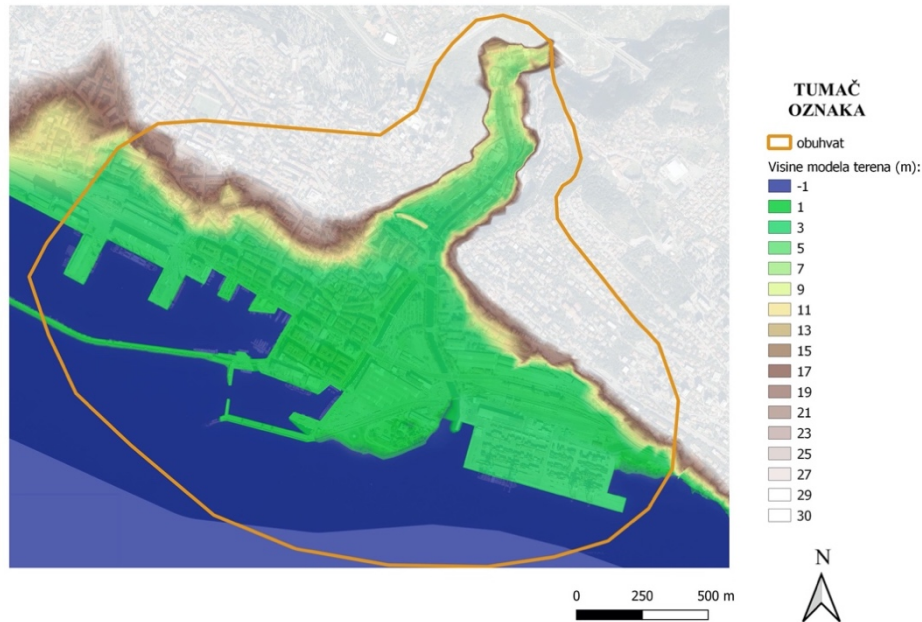
Prethodno navedene karte služe kao podloge za izradu digitalnog modela terena u QGIS-u. Da bi se model terena napravio, idući korak je odrediti obuhvat područja. Obuhvat predstavlja područje u kojem će se provoditi procjena opasnosti od složenih poplava. Unutar granica obuhvata potrebno je digitalizirati visinske točke, izohipse i izobate iz kojih će se generirati model terena.

Na slici 33 prikazan je obuhvat narančastom bojom, točke zelenom bojom i izohipse i izobate crvenom bojom na podlozi digitalne ortofoto karte.



Slika 33. Obuhvat, izohipse, izobare i točke na podlozi digitalne ortofoto karte iz QGIS-a.

Iz ovih podataka je generirana prva verzija modela terena koja u sebi ne sadrži korita Mrtvog kanala i Rječine. Model terena sa obuhvatom koji ne sadrži korita na podlozi digitalne ortofoto karte prikazan je na slici 34.

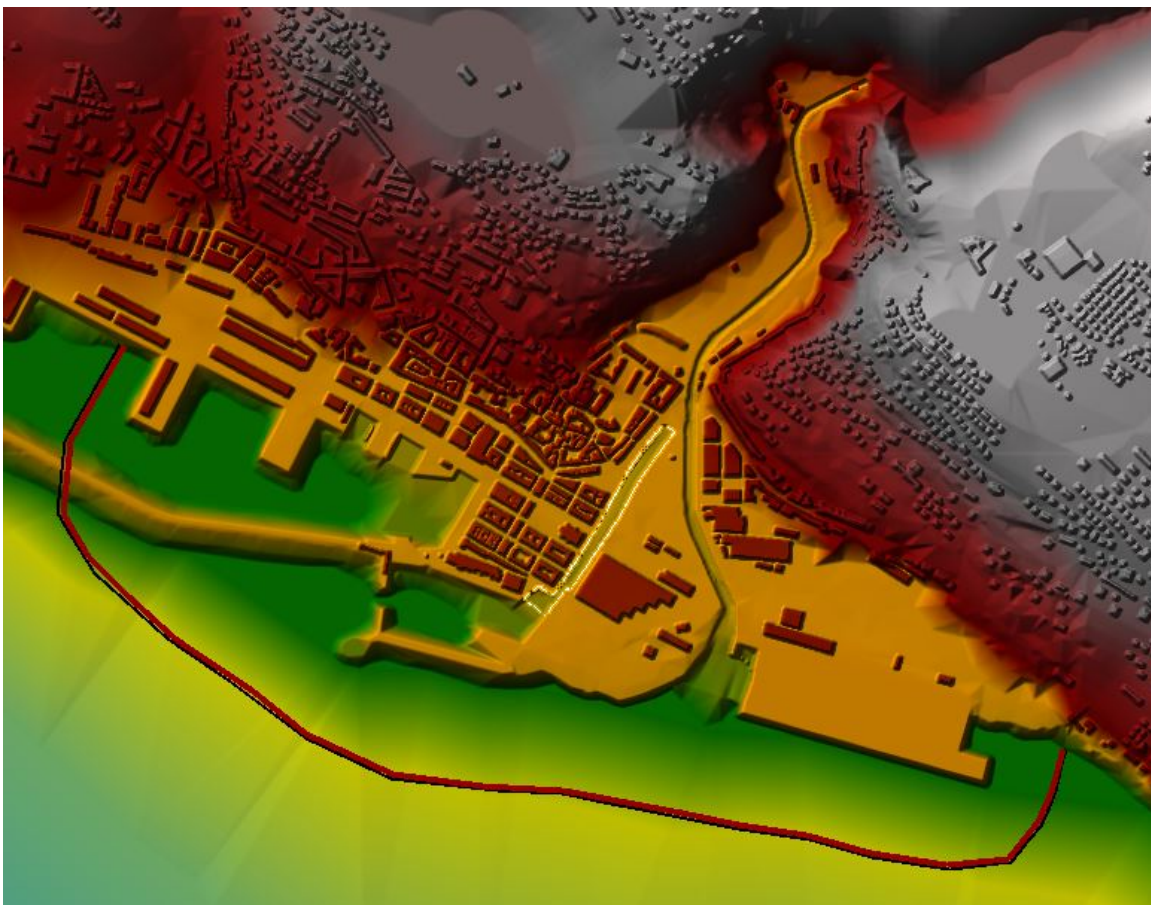


Slika 34. Model terena bez korita Rječine i Mrtvog kanala iz QGIS-a.

Da bi model terena bio potpun, potrebno je utisnuti korita Rječine i Mrtvog kanala. Poprečni presjeci Mrtvog kanala preuzeti su iz već postojeće studije [34], dok su presjeci Rječine preuzeti su iz studije [35]. Poprečni profili uneseni su u model terena putem HEC-RAS računalnog programa (vidi poglavlje 9.4.).

Zgrade i objekti uključeni su kao lokalna izdignuća terena, na pozicijama poligona koji su rasterizirani i nadodani na postojeći model terena. Poligoni su dobiveni iz Open Street Map izvora.

Konačni izgled modela terena centra Grada Rijeke nakon što su uneseni poprečni profili korita Rječine i Mrtvog kanala, kao i zgrade bez kojih model terena ne bi bio realan prikazan je na slici 35.



Slika 35. Digitalni model terena centra Grada Rijeke iz HEC-RAS programa.

## 9.2. Hidrološka analiza Rječine

Cjelokupna hidrološka analiza Rječine preuzeta je iz studije Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine- Knjiga 2: Hidrološke analize. Hidrološka mjerenja na slivu Rječine provedena su na vodotocima Rječina i Sušica. Na Rječini su aktivne hidrološke stanice Izvor Rječine, Zoretići, Martinovo Selo uzvodno, Drastin, Grohovo i Tvornica papira, a na vodotoku Sušica nalazi se hidrološka stanica Dražice. Podaci su pohranjeni u bazu HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske [16].

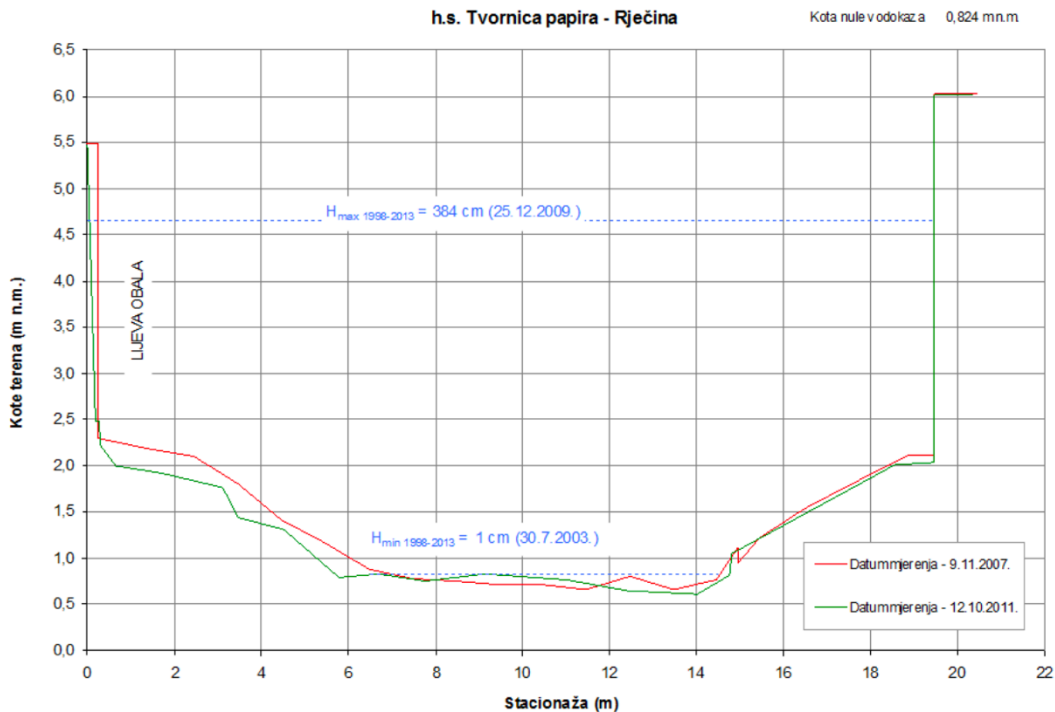
Za potrebe ovog diplomskog rada mjerodavna je hidrološka stanica Tvornica papira na Rječini pošto je to najbliža hidrološka stanica području centra Grada Rijeke. Proračun maksimalnih godišnjih protoka i volumena velikih vodnih valova različitih povratnih

razdoblja na aktivnim hidrološkim stanicama na slivu Rječine preuzet je iz [16] te su ti podaci korišteni za generiranje Goodrichovih hidrograma velikih vodnih valova. Podaci o Rječini korišteni su za uzvodni rubni uvjet u simulacijama poplava u HEC-RAS-u.

### 9.2.1. Hidrološka stanica Tvornica papira

Hidrološka stanica Tvornica papira počela je s radom kao limnigrafska stanica sa tlačnim limnigrafom, 18.02.1998. godine, s kotom nule vodokaza "0"=0,564 m n/m. Vodokaz je trodjelni vertikalni, te je smješten na desnoj obali. 01.09.2002. skinut je limnigraf radi radova u koritu, te je stanica ponovno započela s radom 27.05.2003. godine. Od tada se razmatra kao novo stanje, a nova kota nule od novog početka rada je "0" = 0,824 m n/m. Krivulje protoka nakon prekida u radu definirane su tek za razdoblje nakon 2010. godine. Mjerenje malih voda vrši se uzvodno od mosta, a mjerenje velikih voda vrši se s mosta, te se dobivenoj vrijednosti dodaje se protok hidroelektrane Rijeka [16].

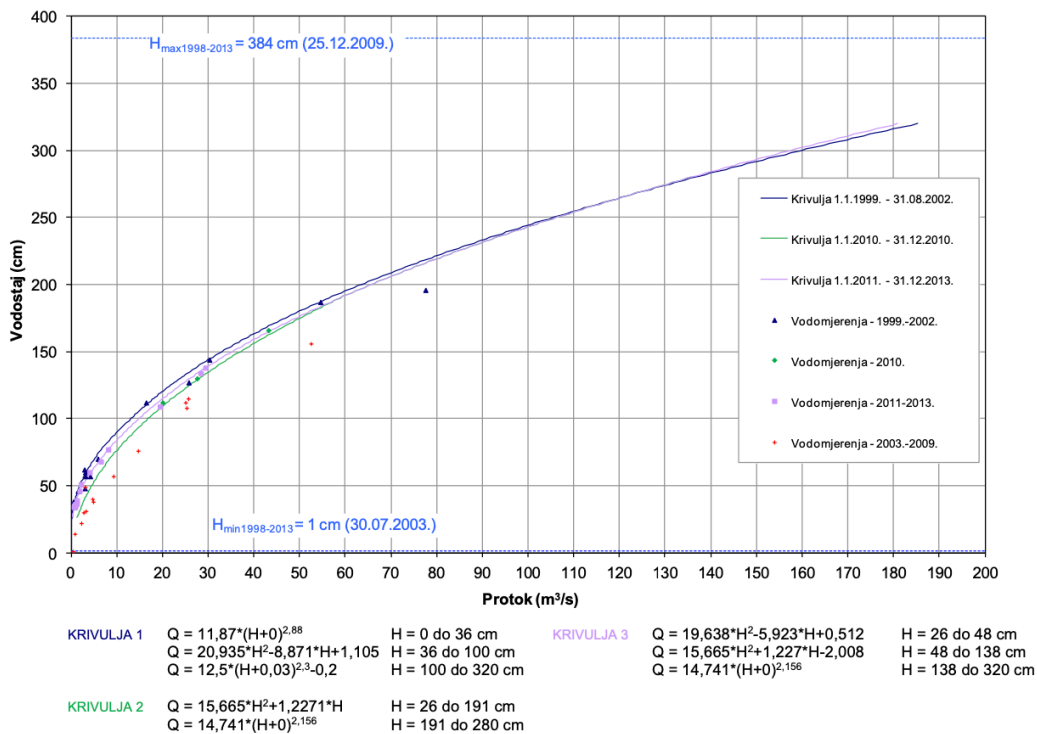
Na slici 36 prikazan je vodokazni profil hidrološke stanice Tvornica papira za razdoblje od 2007. do 2011. godine.



Slika 36. Vodokazni profil hidrološke stanice Tvornica papira za razdoblje 2007.-2011. [16].

U razdoblju 1998.-2013. godine na ovoj hidrološkoj stanici obavljeno je ukupno 48 mjerenja protoka u rasponu vodostaja od 1 do 196 cm. Na temelju rezultata mjerenja DHMZ je definirao 3 krivulje protoka. Najniži vodostaj izmjeren u razdoblju 1998.-2013. godine je 1 cm, a najviši 384 cm [16].

Na slici 37 prikazana je protočna krivulja Rječine u profilu Tvornice papira prema DHMZ-u.



Slika 37. Protočna krivulja Rječine u profilu Tvornice papira prema DHMZ-u [16].

Na vodni režim Rječine, osim prirodnih uvjeta, velik utjecaj ima ljudska aktivnost na slivu i vodotocima. S obzirom na vrlo kratko razdoblje mjerenja, utjecaj klimatskih promjena se teško može pouzdano utvrditi. Od aktivnosti čovjeka najznačajniji utjecaj na vodostaje ima uređenje sliva, izgradnja akumulacijskog bazena Valići, te zahvati i odvođenje vode za vodoopskrbu i hidroelektranu [16].

Velike vode se najčešće javljaju u jesenskom i zimskom razdoblju. Najduže trajanje malih voda općenito je od lipnja do listopada, iako se sniženje vodostaja do najniže zapažene vrijednosti može dogoditi i u zimskom dijelu godine. Oscilacije protoka unutar



godine su vrlo izražene jer se velike vode javljaju iznenada, a traju kratko i uzrokuju visoke vodostaje. Srednji godišnji protoci su relativno niski, a protoci donjeg toka Rječine na području grada Rijeke osim o dotoku ovise i o kolebanju razine mora. Obradeni su raspoloživi dnevni podaci protoka za pojedine hidrološke stanice i formirani su nizovi maksimalnih godišnjih protoka za raspoloživo razdoblje. Izvor podataka za hidrološke obrade je baza hidroloških podataka HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda [16].

Za analizu maksimalnih protoka korišteni su raspoloživi podaci na svim aktivnim hidrološkim stanicama na Rječini (h. s. Izvor Rječine, h. s. Zoretići, h. s. Martinovo Selo uzv, h. s. Drastin, h. s. Grohovo i h. s. Tvornica papira), te na pritoci Sušica (h. s. Dražice). Korišteni su i podaci mjerenja protoka Rječine sa stanice Martinovo Selo ukinute krajem 2012. godine i premještene uzvodno na stabilniji profil na lokaciju mosta u Brnelićima (h.s. Martinovo Selo uzvodno), kao i s ukinute stanice Kukuljani. Također su analizirani i maksimalni protoci na ukinutim profilima na slivu Sušice (h. s. Podkilavac i h. s. Lukeži na Sušici, h. s. Podkilavac i h. s. Lužac na Lušcu i h. s. Podkilavac na Gonjuši), iako su nizovi podataka kratki [16].

### ***9.2.2. Hidrološke obrade velikih voda na slivu Rječine***

Na temelju raspoloživih izmjerenih podataka s hidroloških stanica definirane su velike vode na slivu Rječine kroz statističke analize vjerojatnosti pojave vodnih valova zadanih povratnih razdoblja. Provedeni proračun maksimalnih godišnjih protoka i volumena velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja na aktivnim hidrološkim stanicama na slivu Rječine preuzet je iz [16].

Izravno slivno područje koje pripada hidrološkim stanicama određeno je na osnovi topografske karte u mjerilu 1 : 25 000 te se u njega ne ubraja podzemni dio sliva izvora Rječine. Hidrološka stanica Drastin ima površinu izravnog sliva od 45,5 km<sup>2</sup>, a hidrološka stanica Tvornica papira zauzima površinu od 53, 52 km<sup>2</sup> [16].

Na temelju usvojenog niza maksimalnih godišnjih protoka na hidrološkoj stanici Tvornica papira (slika 28 -zatamnjena polja) određeni su maksimalni godišnji protoci Rječine u tom profilu različitih povratnih razdoblja [16].

Slika 38 prikazuje niz maksimalnih godišnjih protoka na dionici od hidrološke stanice Drastin do Tvornice papira.

god	h.s. DRASTIN	h. s. GROHOVO	Usvojeni preljevi na brani Valiči	h. s. TVORNICA PAPIRA raspoloživo u HIS-u	preljev Zvir	h. s. TVORNICA PAPIRA nadpunjeno korelacijom sa h.s. DRASTIN
1979					20,2	
1980		90,1			15,4	
1981		102			16,2	
1982		129			17,7	
1983		65,8			14	
1984		82,9				
1985		76,7			17	
1986		75,9			13,2	
1987		79,7			18	
1988		49			12,4	
1989		234			11	
1990	115	57,2	94		11,1	132,3
1991	120	63,2	99			138,0
1992	110	57,8	89			126,7
1993	98,6	44,6	77,6			113,8
1994	95,6	45,2	74,6			110,5
1995	111		90			127,8
1996	107		86			123,3
1997	121		100			139,1
1998	163	88,9	142			186,4
1999	80,6	43,7	59,6	95,2		
2000	116	43,7	95	115		134*
2001	120	42,1	99	162		
2002	91,1	48,1	70,1	83		106*
2003	88,9	43,4	67,9			102,9
2004	113	57,8	92			130,1
2005	85,8	41,2	64,8			99,4
2006	108	43,4	87			124,4
2007	66,3	14,5	45,3			77,4
2008	85,8	39,3	64,8			99,4
2009	170	75,1	149			194,3
2010		52,5		132		
2011	84,3	43	63,3	105		
2012		44		180		
2013	91,1	42,4	70,1	101		

Slika 38. Niz maksimalnih godišnjih protoka na dionici od hidrološke stanice Drastin do Tvornice papira [16].

Vjerojatnost pojavljivanja definirana je prema izrazu Čegodajeva i preuzeta iz [16]:

$$p = \frac{m - 0,3}{n + 0,4}$$

Gdje je:

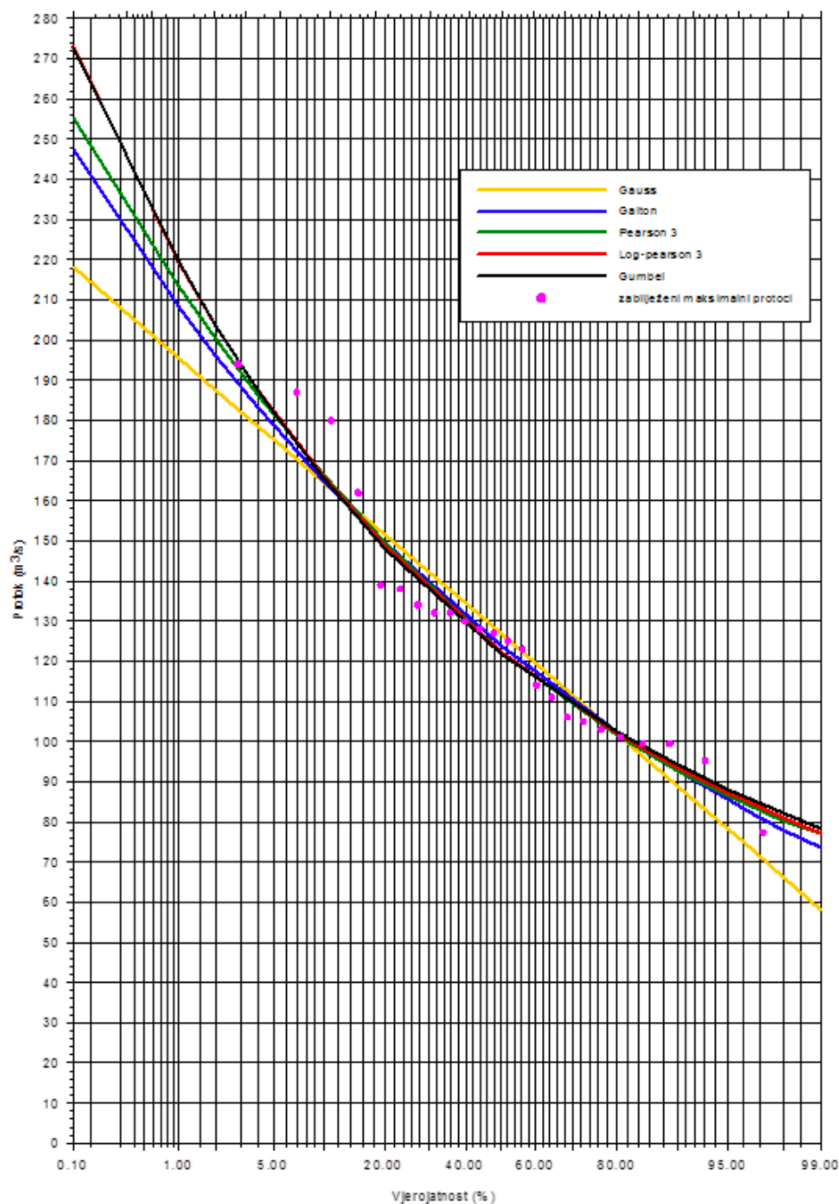
p - vjerojatnost pojavljivanja m-te vrijednosti u vremenskom nizu maksimalnih godišnjih protoka

m - redni broj člana slučajnog uzorka u opadajućem nizu maksimalnih godišnjih protoka

n - ukupni broj članova vremenskog niza maksimalnih godišnjih protoka [16]

Za odabir najboljeg slaganja ulaznih proračunskih podataka s empirijskom raspodjelom analizirane su sljedeće teorijske funkcije vjerojatnosti: Gaussova funkcija raspodjele, Log-normalna ili Galtonova funkcija raspodjele, Pearson III funkcija raspodjele, Log-Pearson III funkcija raspodjele i Gumbelova raspodjela. Dobiveni maksimalni godišnji protoci Rječine u profilu Drastin i Tvornica papira različitih povratnih razdoblja ocijenjeni su kao nisko određeni u usporedbi sa zabilježenim maksimalnim protocima. Najveći izračunski podaci imaju znatno veća povratna razdoblja od onih koja im prema formuli Čegodajeva pripadaju. S obzirom da se radi o kratkim nizovima u kojima su ekstremi ovisni o pouzdanosti ekstrapoliranih dijelova protočnih krivulja, a područje koje se brani od velikih voda je u pojedinim dijelovima gusto naseljeno, neophodno je biti na strani veće sigurnost kod definiranja mjerodavnih velikih voda [16].

Na slici 39 prikazana je vjerojatnost pojavljivanja maksimalnih godišnjih protoka različitih povratnih razdoblja na h. s. Tvornica papira na Rječini.



Slika 39. Vjerojatnost pojavljivanja maksimalnih godišnjih protoka različitih povratnih razdoblja na h. s. Tvornica papira na Rječini [16].

Analizom srednjih dnevnih protoka na hidrološkim stanicama na Rječini ustanovljeno je da izolirani veliki vodni valovi u tim profilima, prosječno traju 12 dana. Velike vode Rječine definirati će se maksimalnim godišnjim protocima i hidrogramima velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja [16].

Na slici 40 prikazana je tablica maksimalnih protoka  $Q_{maxp}$  i odgovarajućih volumena  $V_p$  velikih vodnih valova Rječine u karakterističnim profilima [16].

Profil	A(km <sup>2</sup> )	PR (god)	5000	2000	1000	500	200	100	50	25	10	5	2
h.s. Drastin	155,5	Q (m <sup>3</sup> /s)	297,7	277,8	255,8	240,5	221	205,9	188,1	173	150,8	134	109,7
		V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	141,6	131,8	123,8	116	105,6	97,78	89,92	81,99	71,32	62,87	50,11
		λ	0,545	0,546	0,536	0,537	0,542	0,546	0,542	0,547	0,548	0,552	0,567
nizvodno od brane	157	Q (m <sup>3</sup> /s)			234,79	219,51	199,95	184,91	167,1	152	129,85	112,97	88,67
		V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )			102,03	94,23	83,83	76,01	68,15	60,22	49,55	41,1	28,34
		λ			0,596	0,604	0,618	0,631	0,636	0,654	0,679	0,713	0,811
h.s. Tvornica papira	163,52	Q (m <sup>3</sup> /s)	346	322,9	300,3	281,1	257,2	238,9	221,1	203	176,1	157,1	128,5
		V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	165,7	154,2	144,85	135,72	123,55	114,4	105,21	95,93	83,44	73,56	58,63
		λ	0,541	0,543	0,537	0,537	0,54	0,541	0,545	0,548	0,547	0,553	0,568

Slika 40. Tablica maksimalnih protoka  $Q_{\max}$  i odgovarajućih volumena  $V_p$  velikih vodnih valova Rječine u karakterističnim profilima [16].

### 9.2.3. Hidrogrami velikih voda

Hidrogrami velikih vodnih valova Rječine u karakterističnim profilima određeni su na osnovi maksimalnih protoka  $Q_{\max}$  i volumena vodnih valova različitih povratnih razdoblja  $V_p$  iz tablice koja je prikazana na slici 30 te su preuzeti iz [16]. Trajanje velikih vodnih valova je 12 dana pa baza hidrograma iznosi  $t_B = 12$  dana. Oblik hidrograma je usvojen prema Goodrichu pa je vrijeme podizanja  $t_p = 3$  dana [16].

Osnovni elementi za konstrukciju su maksimalni protok  $Q_{\max}$ , vrijeme podizanja  $t_{p1}$  i vremenska baza hidrograma  $t_B$ . Izrazi pomoću kojih se konstruira ovakav hidrogram glase:

$$Q_i = y(t) \times Q_{\max}$$

$$y = 10^{\frac{-\lambda(1-x)^2}{x}}$$

Gdje je:

$x$  apscisa hidrograma i računa se prema izrazu gdje je  $t_p$  vrijeme zakašnjenja:

$$x = \frac{t_p}{t_{p1}}$$

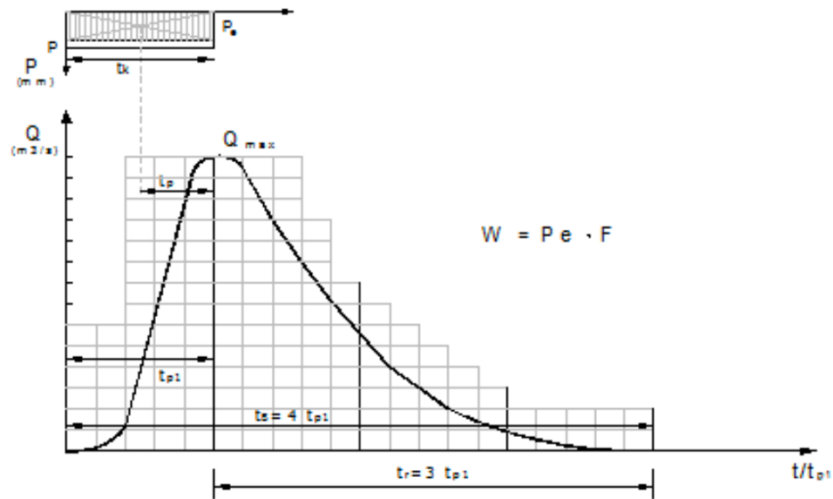
$t_{p1}$  vrijeme podizanja vodnog vala i računa se prema izrazu gdje je  $t_k$  trajanje kiše:

$$t_{p1} = 0,5 \times t_k + t_p$$

$\lambda$  koeficijent oblika vodnog vala i računa se prema izrazu

$$\lambda = \frac{Q_{\max} \times t_{p1}}{V}$$

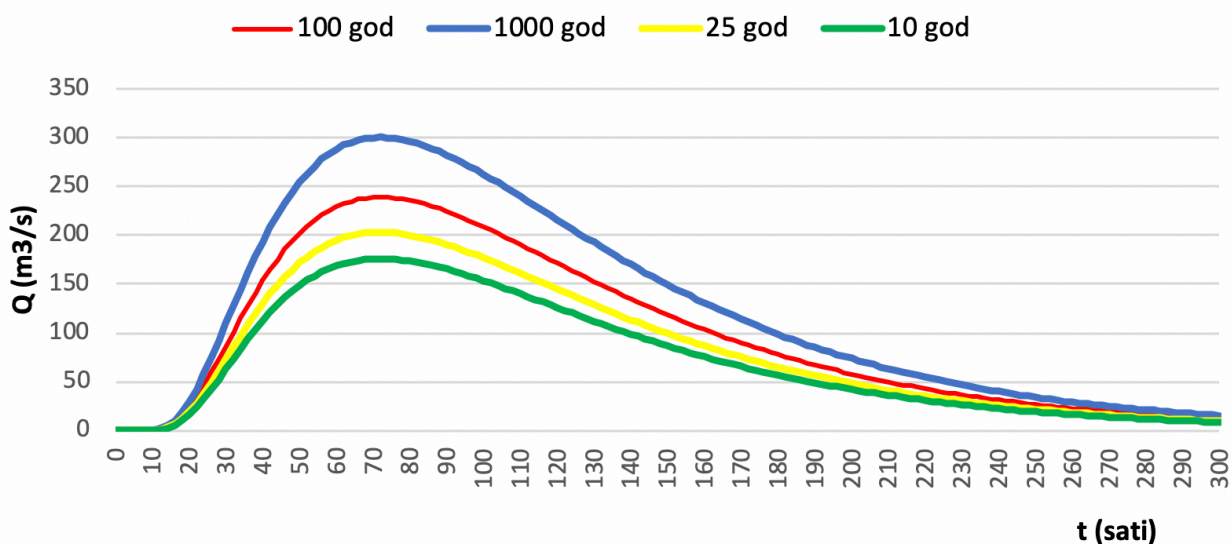
Na slici 41 prikazan je Goodrichev hidrogram velikog vodnog vala sa pripadajućim elementima [16].



Slika 41. Hidrogram velikog vodnog vala prema R. D. Goodrichu [16].

Slika 42 prikazuje velike vodne valove različitih povratnih perioda (10, 25, 100 i 1000 godišnji povratni period) koji su korišteni za hidraulički proračun u HEC-RAS-u za profil na hidrološkoj stanici Tvornica papira. Usvojeni su maksimalni protoci, volumeni i koeficijenti oblika iz tablice sa slike 30. za različite povratne periode te su prema tome konstruirani hidrogrami [16].

## Veliki vodni valovi različitih povratnih razdoblja u profilu h.s. Tvornica papira



Slika 42. Veliki vodni valovi različitih povratnih perioda u profilu hidrološke stanice Tvornica papira.

### 9.3. Razine mora

Kao rubni uvjet na izlazu iz domene prema moru, u simulacijama poplava u HEC-RAS-u, postavljaju se podaci o poznatoj razini mora. Definirane su referentne razine mora koje su korištene u svim simulacijama poplava, te su morske mijene zanemarene.

Visoke razine mora preuzete su iz studije Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine [16], gdje su dobivene na temelju mareografskih podataka za period 1967-2011.

Za potrebe simulacija korišteni su podaci o razinama mora za područje Rijeke i Opatije za povratni period 10, 25, 100 i 1000 godina, te za ekstremni događaj je na razinu mora od 1000 godišnjeg povratnog perioda dodano 60 cm podizanja mora uslijed klimatskih promjena.

*U tablici 2 prikazani su povratni periodi i razine mora za područje Rijeke i Opatije [16].*

Povratni period [g.]	Razina mora [m n.m.]
10	1,09
25	1,18
50	1,23
100	1,30
200	1,35
250	1,38
500	1,43
1000	1,47

#### **9.4. Hidraulički proračun (HEC-RAS)**

Hidraulički proračun izrađen je u računalnom programu HEC-RAS verzije 5.0.7., punog naziva "Hydrologic Engineering Centers River Analysis System". Razvijen je u Sjedinjenim Američkim Državama od strane vojske, a u komercijalne svrhe pušten je 1995. godine. Njegova primarna svrha je jednodimenzionalno modeliranje otvorenih vodotoka, rijeka i kanala. HEC-RAS radi proračune vodnih lica kod stacionarnih uvjeta toka i kod nestacionarnih uvjeta toka u otvorenim vodotocima [23].

U ovom diplomskom radu u HEC-RAS-u je osim hidrauličkog proračuna nestacionarnog tečenja, rađeno i unošenje poprečnih profila Mrtvog Kanala i Rječine da bi se postigao konačan izgled terena sa svim pripadajućim elementima.

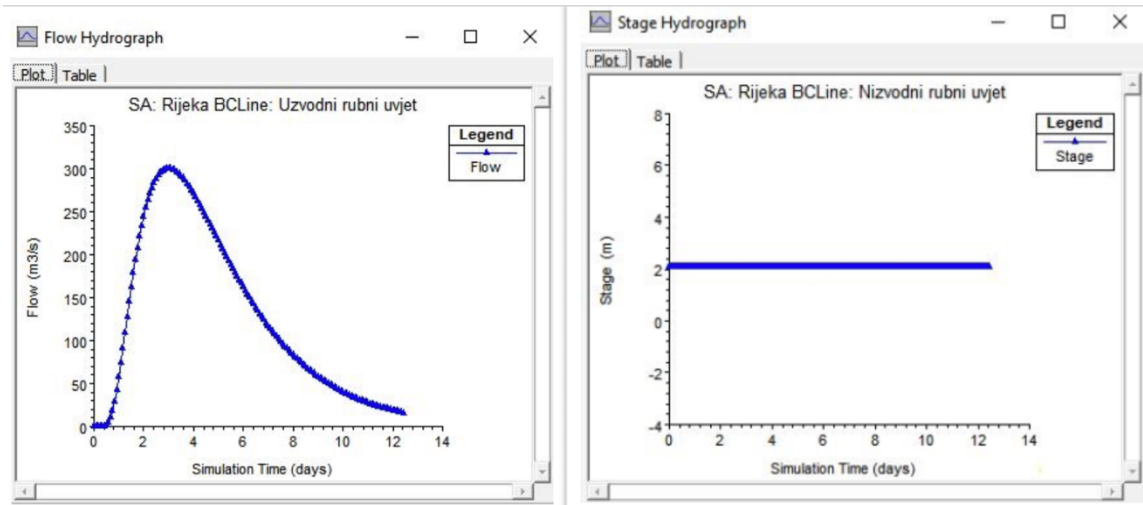
Hidraulički proračun nestacionarnog tečenja zahtijevao je prvenstveno definiranje veličine i oblika računalne mreže ćelija unutar kojih će se proračunavati nestacionarno tečenje, odnosno poplava. Ćelije su veličine 10 x 10 m, te ih je mreža ukupno sadržavala preko 25 000.

Rubni uvjeti zadani su uzvodno i nizvodno. Uzvodni rubni uvjet odnosi se na Rječinu i zadan je u obliku hidrograma, odnosno velikog vodnog vala po Goodrichu. Nizvodni rubni uvjet je razina Jadranskog mora te je zadana zanemarujući plimu i oseku.

Trajanje simulacije iznosi 298 sati, te je za uzvodni rubni uvjet interval između unesenih podataka 2 sata, a za nizvodni rubni uvjet 1 sat.



Na slici 43 prikazani su podaci uzvodnog rubnog uvjeta (Rječine) i nizvodnog rubnog uvjeta (mora) za simulaciju ekstremnog događaja u HEC-RAS-u.



Slika 43. Uzvodni i nizvodni rubni uvjet za simulaciju ekstremnog događaja u HEC-RAS-u.

Kada se rade karte opasnosti od poplava, obično se rade za tri scenarija. Scenarij visoke vjerojatnosti opasnosti od poplave modelira poplavu na povratni period od 25 godina. Scenarij srednje vjerojatnosti od poplave modelira poplavu od 100 godina povratnog perioda, dok scenarij niske vjerojatnosti podrazumijeva poplavu od 1000 godišnjeg povratnog perioda [10].

S obzirom da plavljenje područja Rijeke uzrokuju složene poplave, odnosno poplave koje imaju dva glavna uzroka- Jadransko more i rijeku Rječinu, nije se mogao jednoznačno odrediti povratni period za oba uzroka. Primjerice, jasno je da poplava koju bi uzrokovao protok Rječine 100-god. povratnog perioda uz istovremenu razinu mora 100-god. povratnog perioda značajno premašuje poplavu 100-god. povratnog perioda. Stoga su za svaku vjerojatnost napravljene po dvije analize, gdje je u svakoj od analiza jedan uzrok poplave imao dominantni karakter, dok je drugi uzrok bio veće vjerojatnosti pojavljivanja.

Ukupno je napravljeno 7 simulacija, po 2 simulacije su napravljene za svaki od scenarija vjerojatnosti pojavljivanja poplave (visoka, srednja i niska vjerojatnost), te je jedna simulacija napravljena za ekstremni događaj koji pretpostavlja istovremeno djelovanje niske vjerojatnosti oba uzroka uz prognozirano podizanje razine mora od 60 cm.

Kombinacije povratnih perioda za svaki od uzroka poplave i pripadajuća vjerojatnost prikazana je u Tablici 3.

*Tablica 3 prikazuje scenarije visoke, srednje i niske vjerojatnosti poplave i povratne periode mora i Rječine uzete za svaku simulaciju.*

	Povratni period (g)	
	More	Rječina
Visoka vjerojatnost	10	25
	25	10
Srednja vjerojatnost	25	100
	100	25
Niska vjerojatnost	100	1000
	1000	100
Ekstremni događaj	1000+60 cm	1000

Kao rezultat hidrauličkog proračuna u HEC-RAS-u, dobiju se maksimalne dubine i brzine poplavljenog područja, te se one prikazuju na modelu terena. Dobiveni podaci o poplavljenim površinama se prebace u QGIS, gdje se u konačnici dobiju karte opasnosti od složenih poplava u centru Grada Rijeke.

### **9.5. Procjena opasnosti (hazarda) od poplava**








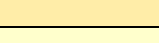
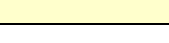
Preliminarnom procjenom rizika od poplava se određuju područja potencijalno značajnog rizika od poplava. Riječko područje smatra se područjem potencijalno značajnog rizika od poplava te se za njega trebaju napraviti karte opasnosti od poplava, karte rizika od poplava te posljedično plan upravljanja poplavnim rizicima.

Izradom karata opasnosti od poplava u sklopu ovog diplomskog rada, potvrđeno je postojanje opasnosti od poplava na području centra Grada Rijeke. Za svaki scenarij gdje su postojale dvije varijante povratnih perioda mora i Rječine, napravljena je jedna karta opasnosti koja obuhvaća točke sa najvećim iznosima brzina/dubina iz obje simulacije te je na taj način karta reprezentativna za oba slučaja. Napravljena je karta opasnosti od

poplava po vjerojatnosti pojavljivanja za visoku, srednju i nisku vjerojatnost poplavlivanja.




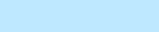
Za izradu karata opasnosti od poplava, korištene su smjernice za izradu karata iz [10]. Za izradu karata opasnosti od poplava gdje su prikazane brzine, korišteni su točno zadani rasponi brzina, kao i točno zadane boje za označavanje svaki od tih raspona. Brzina je raspoređena u 9 razreda te je za svaki razred pridružena boja definirana RGB formatom [10].

*Tablica 4 prikazuje razrede brzine toka i pripadajuće boje u RGB formatu (prema [10]).*

Brzina toka [m/s] razredi:	Crvena boja (R)	Zelena boja (G)	Plava boja (B)	Izgled boje
> 2	128	0	38	
1.75-2	189	0	38	
1.5-1.75	227	26	28	
1.25-1.5	252	78	42	
1-1.25	253	141	60	
0.75-1	254	178	76	
0.5-0.75	254	217	118	
0.25-0.5	255	237	168	
<0.25	255	255	204	



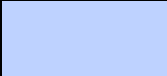
Za izradu karti opasnosti od poplava na kojima se prikazuju dubine, korištene su iste smjernice. Dubina vode je raspoređena u 4 kategorije sa pripadajućim bojama.

*Tablica 5 prikazuje razrede brzine toka i pripadajuće boje u RGB formatu (prema [10]).*

Dubina vode [m] razredi:	Crvena boja (R)	Zelena boja (G)	Plava boja (B)	Izgled boje
> 2.5	122	142	245	
1.5-2.5	115	178	255	
0.5-1.5	115	223	255	
<0.5	190	232	255	

Treći tip karte koji je napravljen je karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja koja je također napravljena prema spomenutim smjernicama. Ta karta u sebi sadrži poplavne površine visoke, srednje i niske vjerojatnosti te su i njima dodijeljene odgovarajuće standardizirane boje.

*Tablica 6. prikazuje poplavne površine i pripadajuće boje u RGB formatu (prema [10]).*

Poplavne površine	Crvena boja (R)	Zelena boja (G)	Plava boja (B)	Izgled boje
Visoka vjerojatnost	0	169	230	
Srednja vjerojatnost	115	178	255	
Niska vjerojatnost	190	210	255	

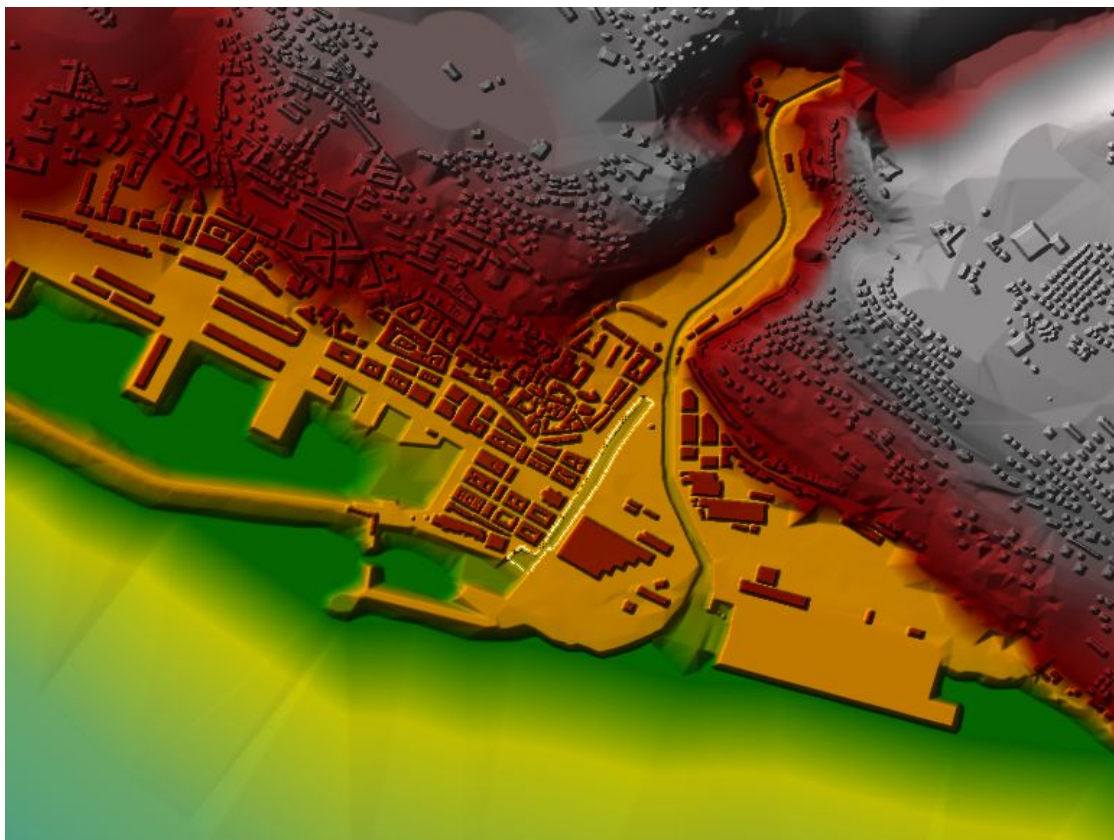
Karte će biti prikazane u idućem poglavlju Rezultati.

## 10.REZULTATI

Kao rezultat prvog dijela ovog diplomskog rada dobiven je model terena koji je vjeran prikaz terena na kojem su provedene simulacije poplava. Kao rezultat simulacija, dobivene su brzine i dubine u točkama koje su poplavljene. U QGIS-u su potom izrađene karte opasnosti od poplava za svaki scenarij, kao i karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavlivanja.

### 10.1. Model terena

Model terena je realan prikaz područja na kojem su vršene simulacije poplava. On prikazuje korita Rječine i Mrtvog kanala, zgrade u centru Grada Rijeke i obalnu liniju mora. Na slici 44 prikazan je gotov model terena u HEC-RAS-u sa svim svojim značajkama.



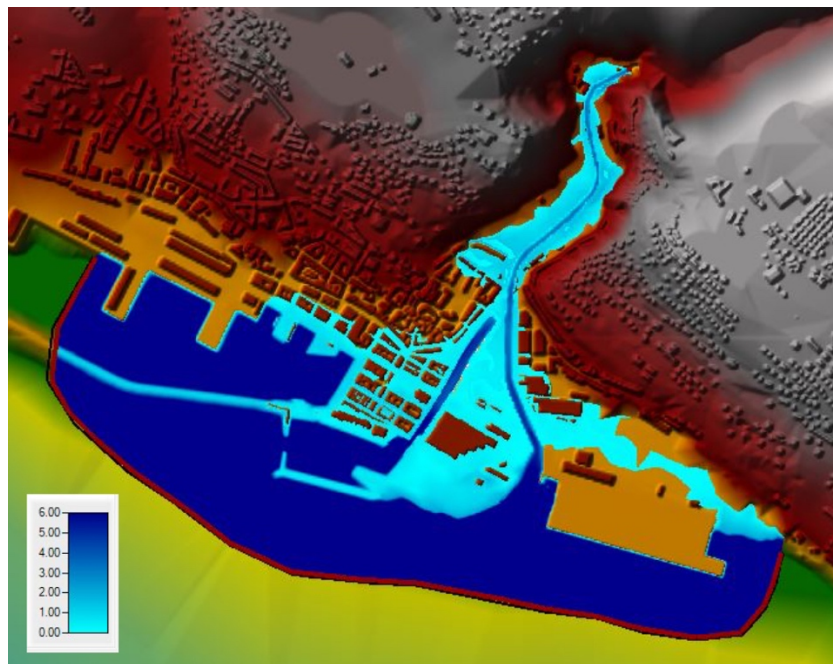
Slika 44. Model terena centra Grada Rijeke iz HEC-RAS-a.

## 10.2. Simulacije složenih poplava u centru Rijeke

Kao rezultat hidrauličkog proračuna u HEC-RAS-u, dobivene su simulacije složenih poplava. Plavljenje područja Rijeke uzrokuju složene poplave, odnosno poplave koje uzrokuju i Jadransko more i rijeka Rječina, povratni period za oba uzroka nije mogao biti jednoznačno određen. Zbog toga su za svaku vjerojatnost (nisku, srednju i visoku) napravljene po dvije analize, gdje je u svakoj od analiza jedan uzrok poplave imao dominantni karakter, dok je drugi uzrok bio manje vjerojatnosti pojavljivanja. Također, jedna simulacija napravljena je za ekstremni događaj koji pretpostavlja istovremeno djelovanje niske vjerojatnosti oba uzroka uz prognozirano podizanje razine mora od 60 cm.

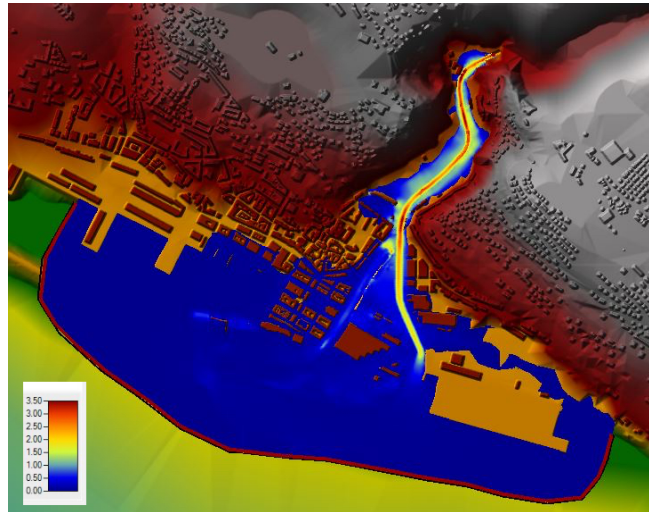
Rezultati simulacija su prikazani na modelu terena, te prikazuju maksimalne vrijednosti brzina toka i dubina vode na promatranom području.

Na slici 45 prikazan je rezultat simulacije poplave na modelu terena, odnosno maksimalne dubine vode (m), koju uzrokuje ekstremni događaj. Za ekstremni događaj uzeti su 1000-god. povratni periodi i za more i za rijeku, te je za more dodatno prognozirano podizanje razine mora od 60 cm.



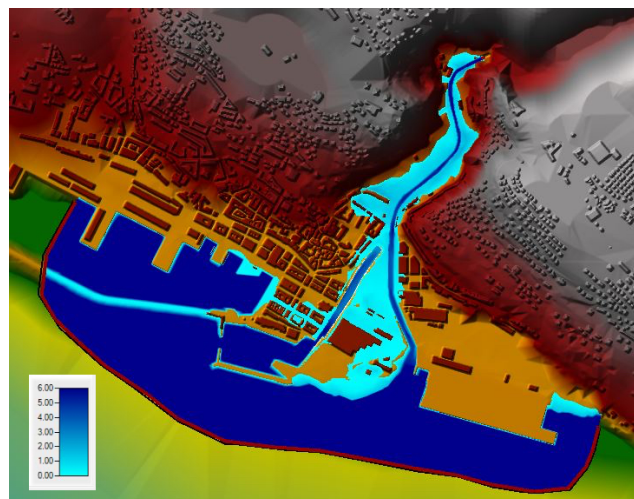
Slika 45. Rezultat simulacije poplave za ekstremni događaj sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 46 prikazan je rezultat simulacije poplave na modelu terena, odnosno maksimalne brzine toka (m/s), koju uzrokuje ekstremni događaj. Za ekstremni događaj uzeti su 1000-god. povratni periodi i za more i za rijeku, te je za more dodatno prognozirano podizanje razine mora od 60 cm. Na slici je vidljivo da su najveće brzine razvijene u koritu Rječine.



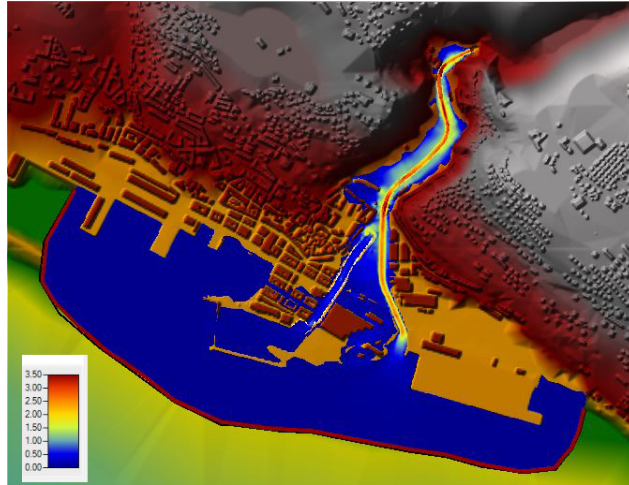
Slika 46. Rezultat simulacije poplave za ekstremni događaj sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

Na slici 47 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji uzet je 1000-god. povratni period za rijeku, dok je za more uzet 100-god. povratni period. U ovom slučaju, dominantno je plavljenje uz korito Rječine.



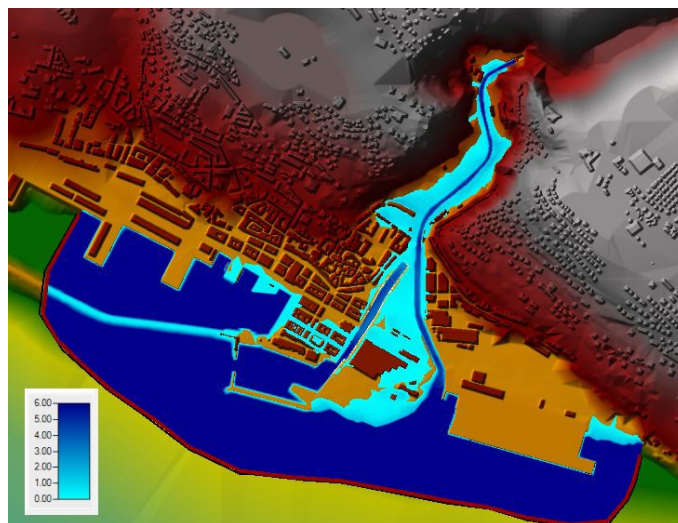
Slika 47. Rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 48 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji uzet je 1000-god. povratni period za rijeku, dok je za more uzet 100-god. povratni period. Najveće brzine stvaraju se u koritu Rječine, čak preko 3.5 m/s.



Slika 48. Rezultat prve simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

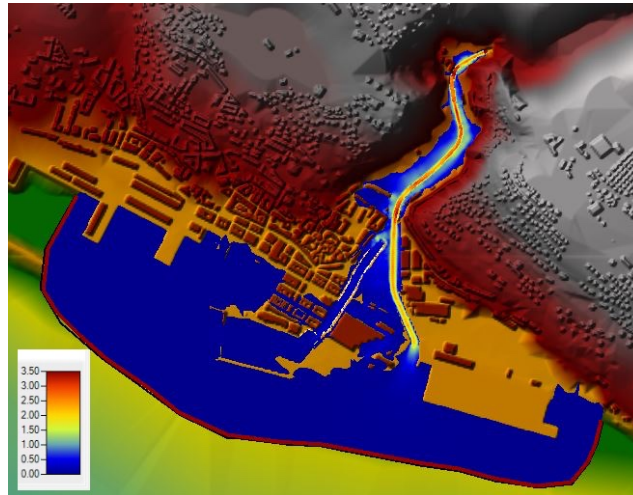
Na slici 49 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave uzet je 1000-god. povratni period za more, dok je za Rječinu uzet 100-god. povratni period. Za razliku od prve simulacije, ovdje je malo veće plavljenje uzrokovano morem, uz obalu.



Slika 49. Rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

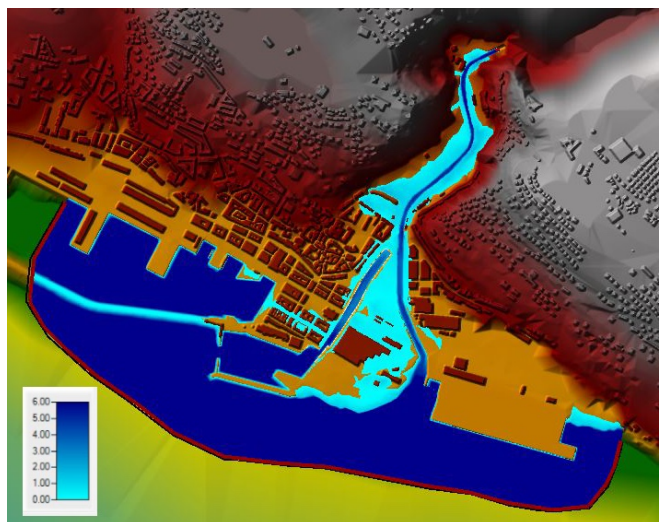


Na slici 50 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave niske vjerojatnosti uzet je 1000-god. povratni period za more, dok je za Rječinu uzet 100-god. povratni period. Najveće brzine stvaraju se i dalje u koritu Rječine, preko 3.5 m/s.



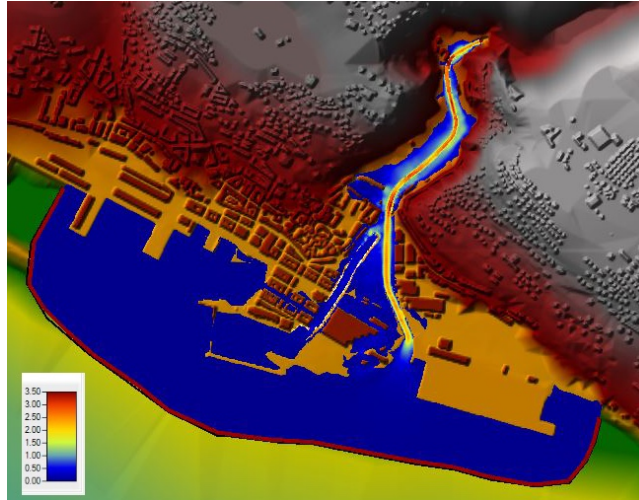
Slika 50. Rezultat druge simulacije poplave niske vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

Na slici 51 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za more, dok je za Rječinu uzet 100-god. povratni period. Pošto je povratni period za rijeku veći, veće je i plavljenje uz korito, dok je manje uz obalu.



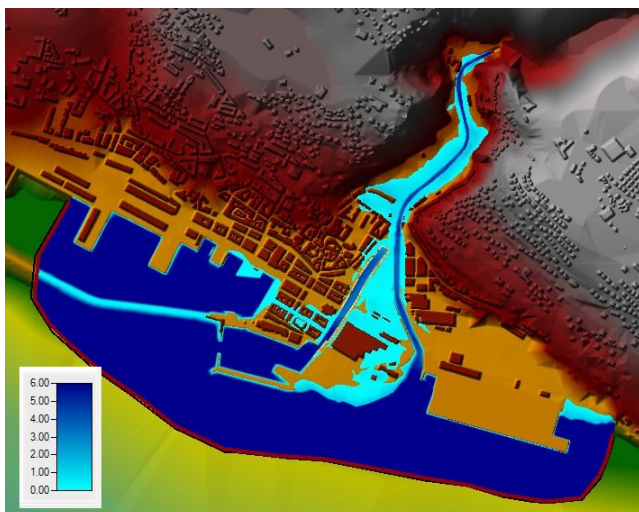
Slika 51. Rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 52 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za more, dok je za Rječinu uzet 100-god. povratni period. Najveće brzine stvaraju se u koritu Rječine, a nešto manje uz rub korita Mrtvog kanala.



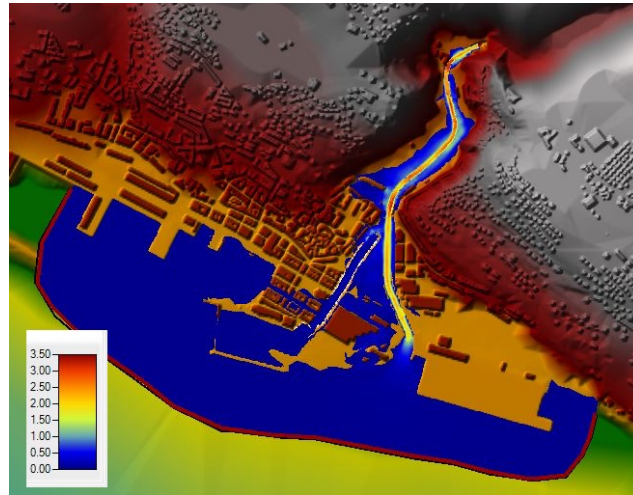
Slika 52. Rezultat prve simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

Na slici 53 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za Rječinu, dok je za more uzet 100-god. povratni period. U odnosu na prvu simulaciju, plavljenje uz obalu je malo veće zbog većeg povratnog perioda mora.



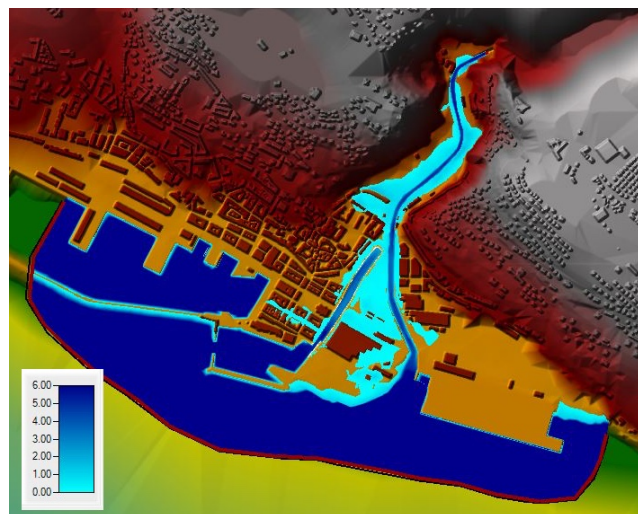
Slika 53. Rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 54 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za Rječinu, dok je za more uzet 100-god. povratni period. Najveće brzine stvaraju se u koritu Rječine, i to u gornjem dijelu promatranog toka.



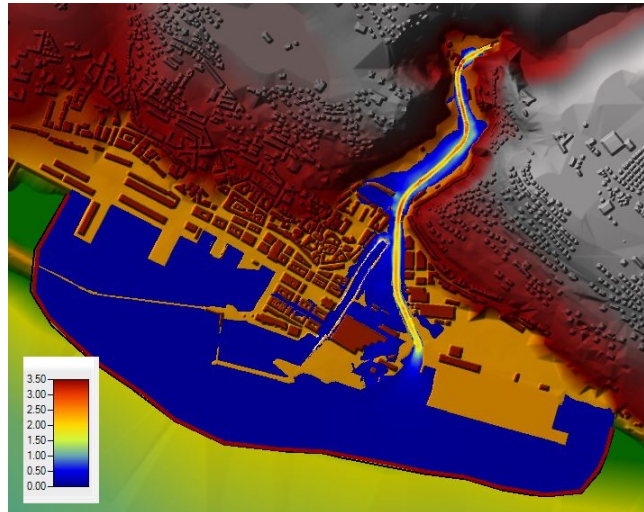
Slika 54. Rezultat druge simulacije poplave srednje vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

Na slici 55 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za Rječinu, dok je za more uzet 10-god. povratni period. Plavljenje uz obalu je vrlo malo, dok je uz korito rijeke veće, iako su dubine vode malene.



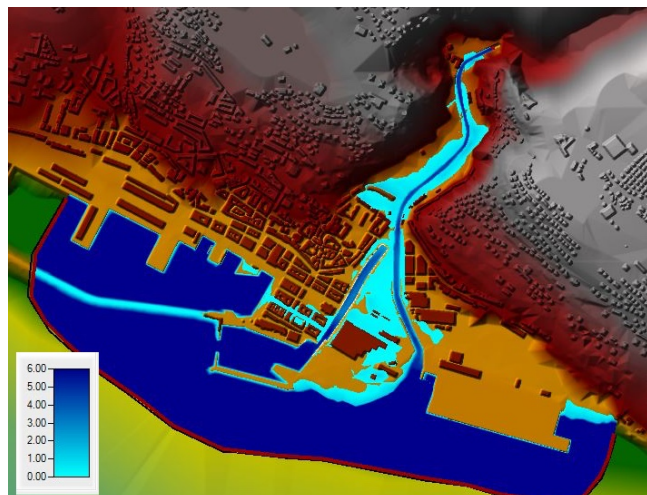
Slika 55. Rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 56 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U prvoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za Rječinu, dok je za more uzet 10-god. povratni period. Najveće brzine stvaraju se u koritu Rječine, i to u gornjem dijelu promatranog toka.



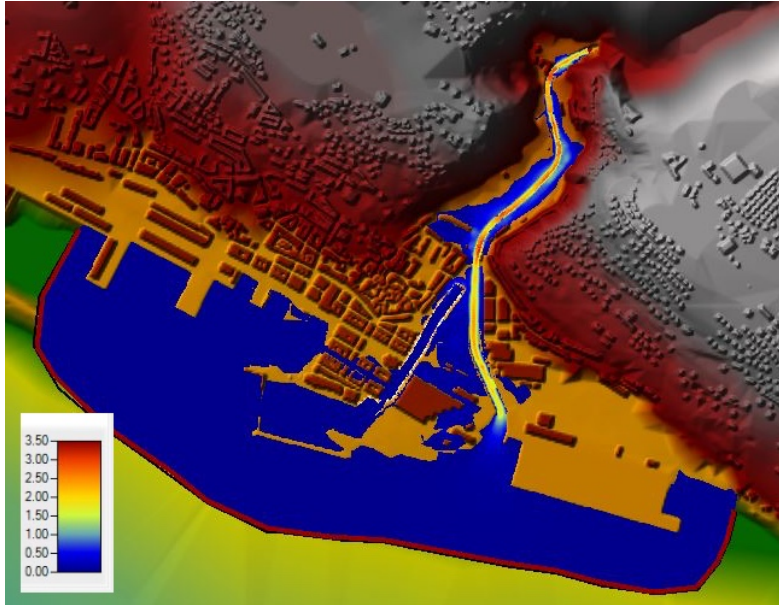
Slika 56. Rezultat prve simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

Na slici 57 prikazane su maksimalne dubine vode (m) kao rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za more, dok je za rijeku uzet 10-god. povratni period. Poplava uzrokovana morem je malo veća u odnosu na prethodnu simulaciju, a rijekom malo manja.



Slika 57. Rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim dubinama vode (m) iz HEC-RAS-a.

Na slici 58 prikazane su maksimalne brzine toka vode (m/s) kao rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti pojavljivanja na modelu terena. U drugoj simulaciji poplave uzet je 25-god. povratni period za more, dok je za rijeku uzet 10-god. povratni period. Najveće brzine, kao i u svakoj simulaciji do sada, stvaraju se u koritu Rječine, no u ovoj simulaciji su najmanje od svih.



Slika 58. Rezultat druge simulacije poplave visoke vjerojatnosti sa prikazanim brzinama toka (m/s) iz HEC-RAS-a.

### 10.3. Opasnost od složenih poplava u gradu Rijeci

Kao rezultat numeričkih simulacija provedenih u HEC-RAS hidrauličkom proračunu, u QGIS-u su izrađene karte opasnosti od poplava u centru Grada Rijeke. Karte opasnosti od poplava za centar Grada Rijeke napravljene su za tri scenarija (visoka, srednja i niska vjerojatnost pojavljivanja) sa prikazanim brzinama i dubinama poplave, kao i za ekstremni događaj. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja napravljena je tako da se razlikuje visoka, srednja i niska vjerojatnost poplavlivanja.

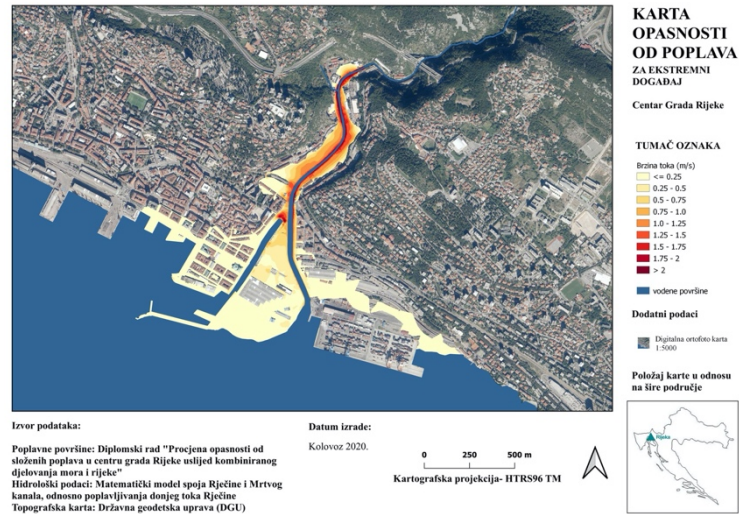
Karte su napravljene na podlozi topografske karte, te su u mjerilu 1:10 000. Karte imaju na sebi naznačen tumač oznaka, položaj karte u odnosu na šire područje, dodatne podatke, vrstu kartografske projekcije, datum izrade i izvor podataka. Svih 9 karata nalaze se u poglavlju Prilozi.

Na slici 59 prikazana je karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte napravljena u QGIS-u. Ova karta prikazuje centar grada Rijeke gdje najveću poplavljenu površinu zauzima poplava niske vjerojatnosti pojavljivanja, a najmanju poplavljenu površinu poplava visoke vjerojatnosti pojavljivanja upravo zato jer su za visoku vjerojatnost uzeti najmanji povratni periodi.



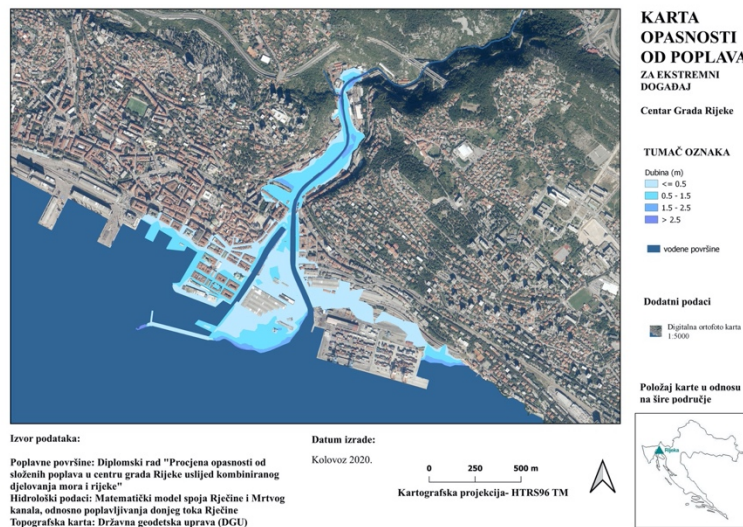
Slika 59. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavlivanja.

Na slici 60 prikazana je karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj na podlozi digitalne ortofoto karte u mjerilu sa prikazanim brzinama toka napravljena u QGIS-u. Na poplavljenom području centra grada razvijaju se uglavnom malene brzine, dok su uz korito Rječine brzine puno veće.



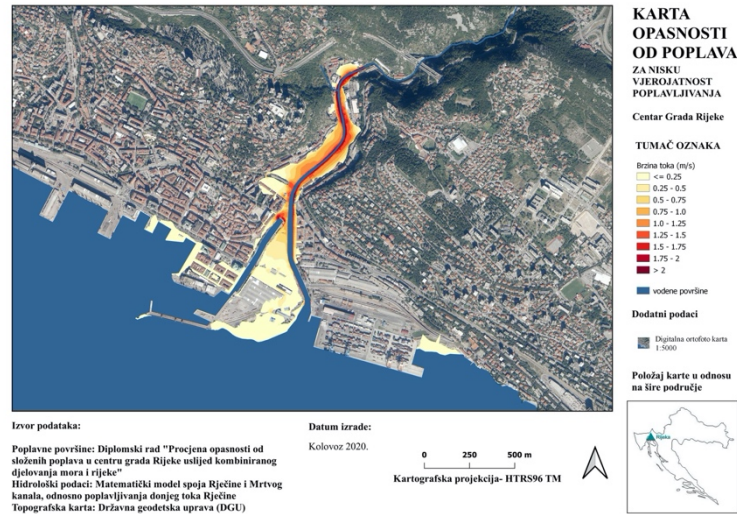
Slika 60. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim brzinama toka.

Na slici 61 prikazana je karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim dubinama vode napravljena u QGIS-u. U slučaju ekstremnog događaja, dubine vode u centru grada su uglavnom do 1.5 m, tek uz neke dijelove korita rječine i obalu su dubine preko 1.5 m.



Slika 61. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim dubinama vode.

Na slici 62 prikazana je karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim brzinama toka napravljena u QGIS-u. Najveće brzine toka razvijaju se uz korito Rječine i na početku Mrtvog kanala, dok poplavljeno područje centra grada ima puno manje brzine toka, do 0.5 m/s.



Slika 62. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.

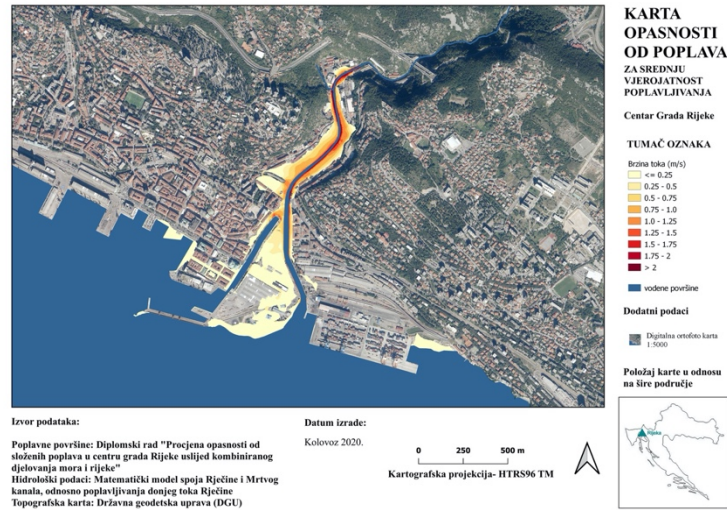
Na slici 63 prikazana je karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim dubinama vode. Složena poplava niske vjerojatnosti uzrokuje najveće plavljenje uz korito Rječine gdje su i najveće dubine vode.



Slika 63. Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.



Na slici 64 prikazana je karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim brzinama toka napravljena u QGIS-u. Poplava srednje vjerojatnosti pojavljivanja također ima najveće brzine toka uz korito Rječine, dok je na poplavljenim površinama uz obalu brzina toka vode manja.



Slika 64. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.

Na slici 65 prikazana je karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim dubinama vode napravljena u QGIS-u. Na karti opasnosti od poplava se vidi da je poplavljeno područje uz obalu puno manje dubine vode, dok je poplavljeno područje uz Rječinu veće dubine vode.



Slika 65. Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.

Na slici 66 prikazana je karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim brzinama toka napravljena u QGIS-u. Poplave sa visokom vjerojatnosti pojavljivanja imaju najmanje područje sa velikim brzinama, dok je područje uz obalu uglavnom prekriveno vodom brzine manje od 0.25 m/s.



Slika 66. Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka.

Na slici 67 prikazana je karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja na podlozi digitalne ortofoto karte sa prikazanim dubinama vode napravljena u QGIS-u. Poplava visoke vjerojatnosti pojavljivanja plavi najmanje područje od sva 3 scenarija, upravo radi kombinacije najmanjih povratnih perioda za Rječinu i more.



Slika 67. Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanom dubinom vode.

## 11. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

U sklopu Direktive o poplavama izrađena je prethodna procjena rizika od poplava te je riječko područje svrstano u kategoriju vrlo visokog (1A) rizika od poplava. Kao idući korak prema Direktivi, napravljene su karte opasnosti od poplava za scenarije visoke, srednje i niske vjerojatnosti pojavljivanja poplava. Prema tim kartama vidljivo je da je riječko područje sklono plavljenju, pogotovo u predjelu korita rijeke Rječine. U sklopu ovog diplomskog rada napravljena je procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke. Na temelju izrađenih simulacija za tri poplavna scenarija i jednog ekstremnog događaja, napravljene su karte opasnosti od poplava za centar grada Rijeke. Prikazom brzina toka i dubina vode na kartama, očigledno je da je riječko područje ugroženo poplavama uzrokovanim i rijekom i morem. Iako je za svaki poplavni scenarij jednom uzeto more kao dominantan uzrok poplave, a u drugoj simulaciji rijeka kao dominantan uzrok, najveće plavljenje se i dalje događa oko korita Rječine, gdje se razvijaju i najveće brzine toka. Izradom karata opasnosti u sklopu diplomskog rada dokazano je da postoji realna opasnost od složenih poplava u centru grada Rijeke, te bi se trebalo dalje nastaviti sa izradom karata rizika od poplava i plana upravljanja poplavnim rizicima za grad Rijeku. Konačni rezultat plana upravljanja poplavnim rizicima trebao bi staviti naglasak na sprečavanje, zaštitu, pripravnost, sustave ranog upozorenja i prognoze poplava da bi se što bolje i efikasnije upravljalo istima.

## 12.LITERATURA

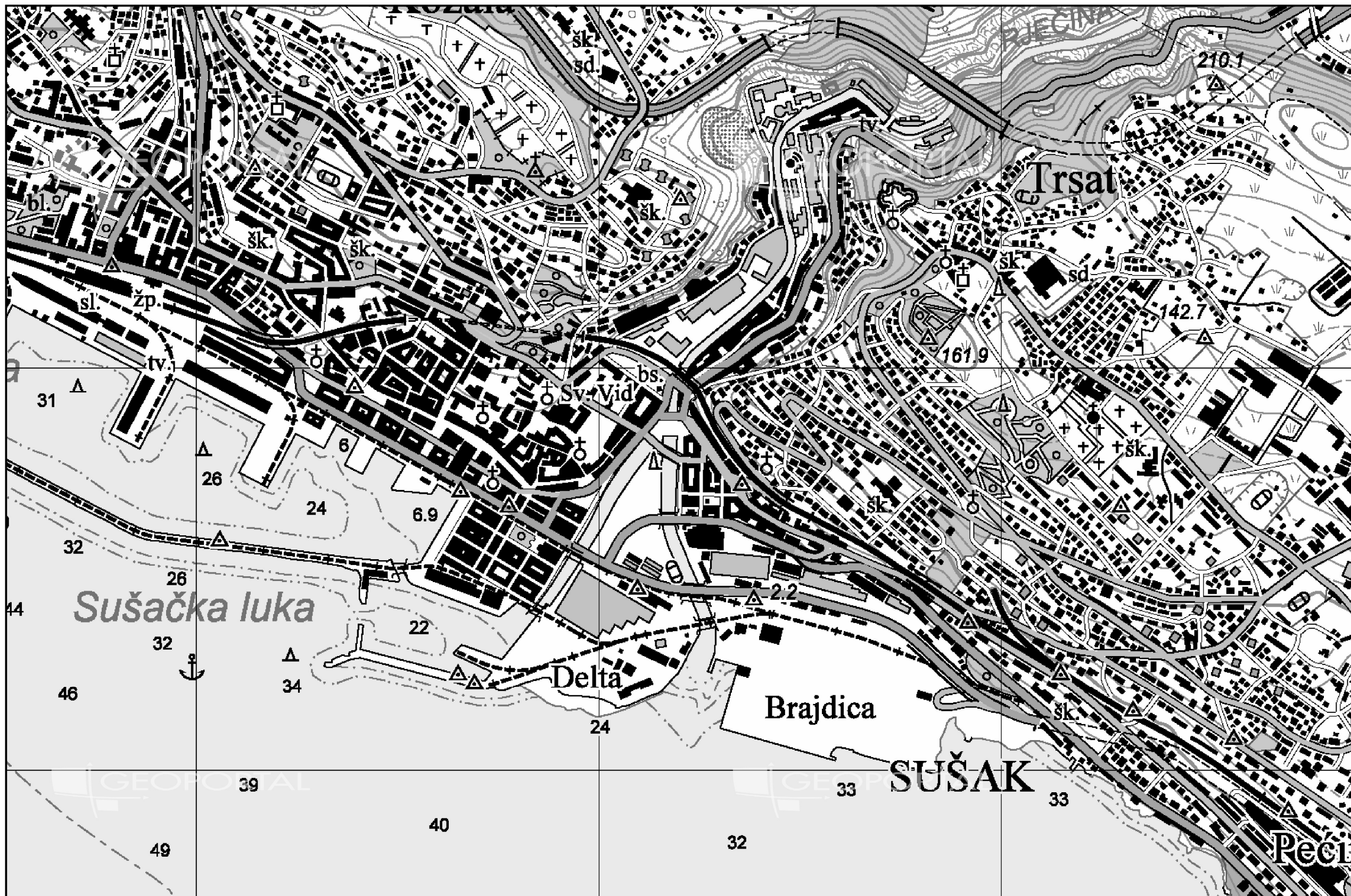
- [1] Holjević D.: Urbane poplave,  
<https://www.zastita.info/UserFiles/file/zastita/SIGG/SIGG%202016/PREZENTACIJE/17%20-%20Danko%20Holjević%20pptx.pdf> , 05.07.2020.
- [2] Horvat B., Poplave i njihovo kartiranje, predavanje sa kolegija Geohazardi, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2019.
- [3] <https://frisco-project.eu/hr/o-projektu-hr/o-poplavama/> , 06.07.2020.
- [4] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplave\\_u\\_istočnoj\\_Hrvatskoj\\_u\\_svibnju\\_2014.](https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplave_u_istočnoj_Hrvatskoj_u_svibnju_2014.) , 06.07.2020.
- [5] <https://www.antenazadar.hr/clanak/2019/09/na-danasnji-dan-prije-dvije-godine-zadari-okolicu-zadesila-je-najveca-poplava-u-povijesti/> , 06.07.2020.
- [6] <https://hr.sott.net/article/20367-Obilne-kise-uzrokovale-bujicne-poplave-u-kojima-je-poginulo-11-osoba-u-Jordanu> , 06.07.2020.
- [7] <https://www.riekadanas.com/ponovno-izrazena-plima-poplava-u-rijeci-udari-juga-do-106-km-h/> , 06.07.2020.
- [8] Direktiva 2007/60/EZ Europskog parlamenta i vijeća od 23. listopada 2007. o procjeni i upravljanju rizicima od poplava, Službeni list Europske unije, 06.07.2020.
- [9] Hrvatske vode. EU Direktiva o poplavama u Hrvatskoj, Smjernice, Sažetak. Zagreb, 2014.
- [10] Izvješće o Komponenti 3- Glavni elementi pripreme karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava, 18.08.2020.
- [11] <http://korp.voda.hr> , 20.08.2020.
- [12] EXCIMAP. Handbook on good practices for flood mapping in Europe. 2007.
- [13] Prirodni rizici,  
[https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/PR\\_2019\\_1\\_predavanje%5B2%5D.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/PR_2019_1_predavanje%5B2%5D.pdf)  
22.08.2020.
- [14] Paprotny, D. (2018). Methods for improving pan-European flood risk mapping,  
<https://doi.org/10.4233/uuid:35e33109-fb68-4949-a829-dd16e5e57e4a>
- [15] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Rijeka> 27.08.2020.

- [16] Tehnički fakultet u Rijeci i VPB.: Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine, Studija, 2015.
- [17] Rječina. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=53040> 28.08.2020.
- [18] [https://www.wikiwand.com/sh/Kvarnerski\\_zaljev](https://www.wikiwand.com/sh/Kvarnerski_zaljev) 28.08.2020.
- [19] <http://priodahrvatske.com/jadran/> 28.08.2020.
- [20] <https://dgu.gov.hr> 31.08.2020.
- [21] <https://hr.wikipedia.org/wiki/QGIS> 31.08.2020.
- [22] [http://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis\\_osnove.pdf](http://www.up4c.eu/wp-up4c/wp-content/uploads/2015/02/gis_osnove.pdf) 31.08.2020.
- [23] Siladi, K. (2018) Revitalizacija starih rukavaca potoka Trnave s hidrološkog aspekta, Završni rad, Međimursko veleučilište u Čakovcu, Stručni studij Održivi razvoj 02.09.2020.
- [24] <http://www.znet.hr/2012/09/poplava-u-zadru-01-09-2012/> , 03.09.2020.
- [25] <https://www.theveniceinsider.com/acqua-granda-flood-venice/> , 04.09.2020.
- [26] <http://croatia.eu/index.php?view=article&lang=1&id=6> , 04.09.2020.
- [27] <https://sites.google.com/site/gradrijeka1946/karta> , 04.09.2020.
- [28] <https://trecadobhrvatska.com/zasto-nevolimo-grad-koji-tece/> , 04.09.2020.
- [29] <http://www.lokalpatrioti-rijeka.com/forum/viewtopic.php?f=65&t=145&start=20> , 04.09.2020.
- [30] <https://www.hep.hr/proizvodnja/hidroelektrane-1528/pp-he-zapad/he-rijeka/1535> , 05.09.2020.
- [31] <https://proleksis.lzmk.hr/33376/> , 05.09.2020.
- [32] [https://meteo.hr/prognoze.php?section=prognoze\\_specp&param=jadran](https://meteo.hr/prognoze.php?section=prognoze_specp&param=jadran) 05.09.2020.
- [33] Prethodna procjena rizika od poplava, Republika Hrvatska: vodno područje rijeke Dunav i jadransko vodno područje, Hrvatske vode, siječanj 2013.
- [34] Rubinić, J., Ružić, I., Žic, E., Krvavica, N. & Radišić, M. (2016) Istraživanje kakvoće vode i nanosa u Mrtvom kanalu u Rijeci - rezultati hidroloških istraživanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.

[35] Krvavica, N. (2016) One-dimensional numerical model for layered shallow water flow in highly stratified estuaries, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci.

## POPIS PRILOGA

- **Prilog 1.:** Pregledna karta područja M 1:10 000
- **Prilog 2.:** Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja M 1:10 000
- **Prilog 3.:** Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka M 1:10 000
- **Prilog 4.:** Karta opasnosti od poplava za visoku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim dubinama vode M 1:10 000
- **Prilog 5.:** Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka M 1:10 000
- **Prilog 6.:** Karta opasnosti od poplava za srednju vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim dubinama vode M 1:10 000
- **Prilog 7.:** Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim brzinama toka M 1:10 000
- **Prilog 8.:** Karta opasnosti od poplava za nisku vjerojatnost pojavljivanja sa prikazanim dubinama vode M 1:10 000
- **Prilog 9.:** Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim brzinama toka M 1:10 000
- **Prilog 10.:** Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj sa prikazanim dubinama vode M 1:10 000



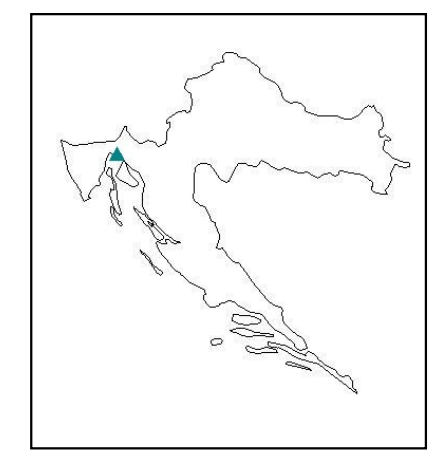
# PREGLEDNA KARTA PODRUČJA

Grad Rijeka

## TUMAČ OZNAKA

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu na  
šire područje



Izvor podataka:

Topografska karta: Državna geodetska uprava (DGU)

Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

kartografska projekcija- HTRS96 TM







# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA PO VJEROJATNOSTI POJAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Vjerojatnosti pojavljivanja

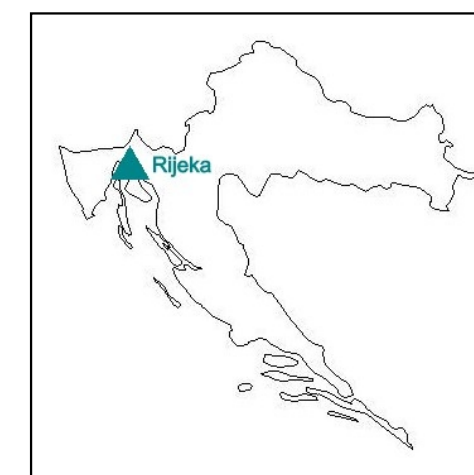
- niska vjerojatnost
- srednja vjerojatnost
- visoka vjerojatnost

vodene površine

## Dodatni podaci

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





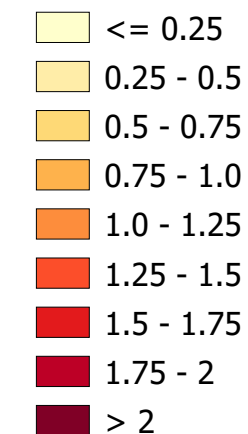
# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA VISOKU  
VJEROJATNOST  
POPLAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Brzina toka (m/s)

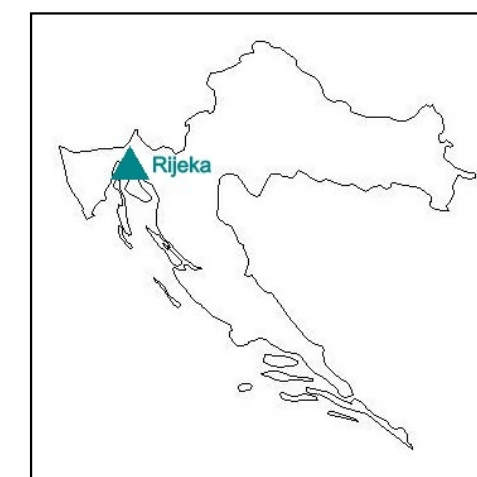


vodene površine

## Dodatni podaci

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

Poplavne površine: Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

Hidrološki podaci: Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

Topografska karta: Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA VISOKU  
VJEROJATNOST  
POJAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Dubina (m)

≤ 0.5


0.5 - 1.5

1.5 - 2.5

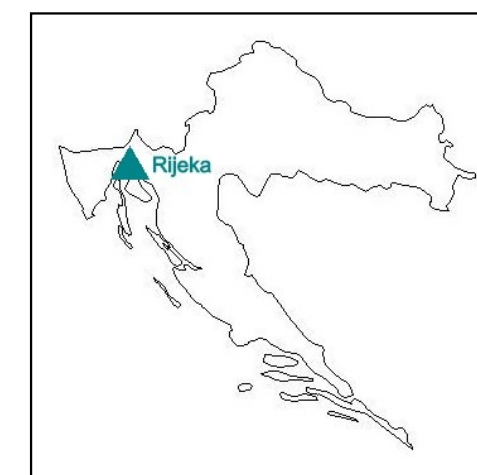
> 2.5

vodene površine

## Dodatni podaci

 Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

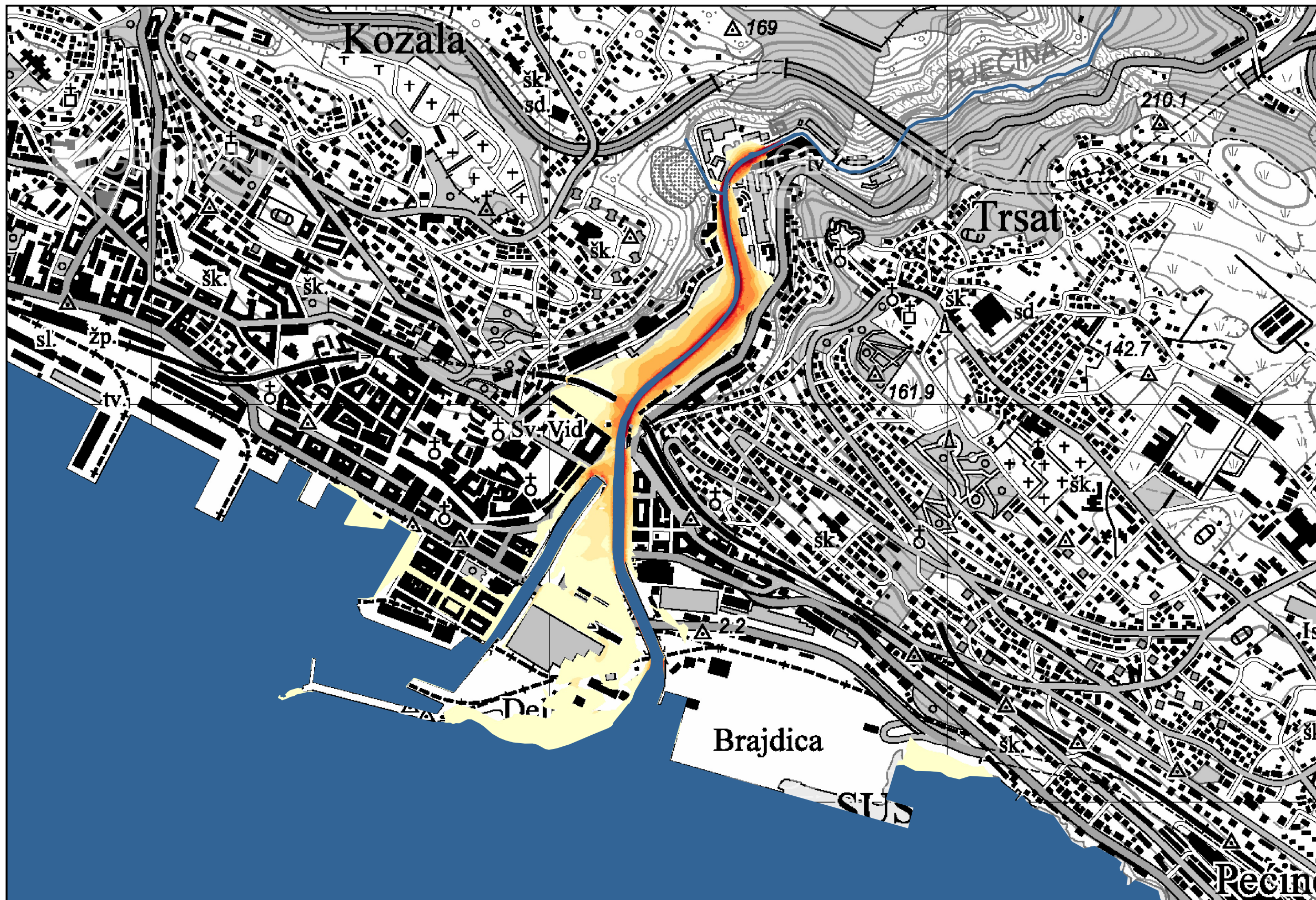
## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





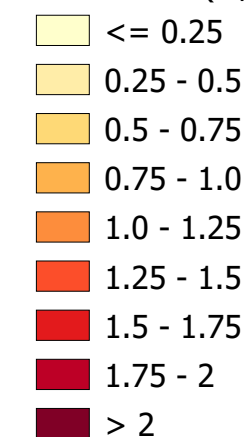
# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA SREDNJU  
VJEROJATNOST  
POPLAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Brzina toka (m/s)

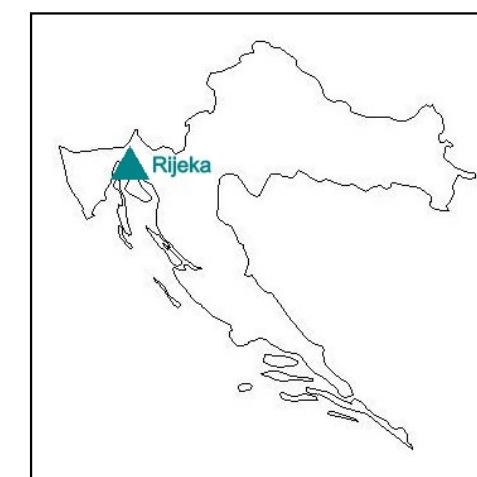


vodene površine

## Dodatni podaci

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

Poplavne površine: Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

Hidrološki podaci: Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

Topografska karta: Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA SREDNJU  
VJEROJATNOST  
POJAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Dubina (m)

≤ 0.5


0.5 - 1.5

1.5 - 2.5

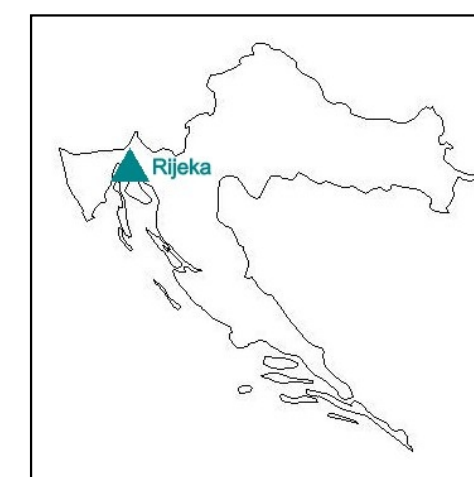
> 2.5

vodene površine

## Dodatni podaci

 Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

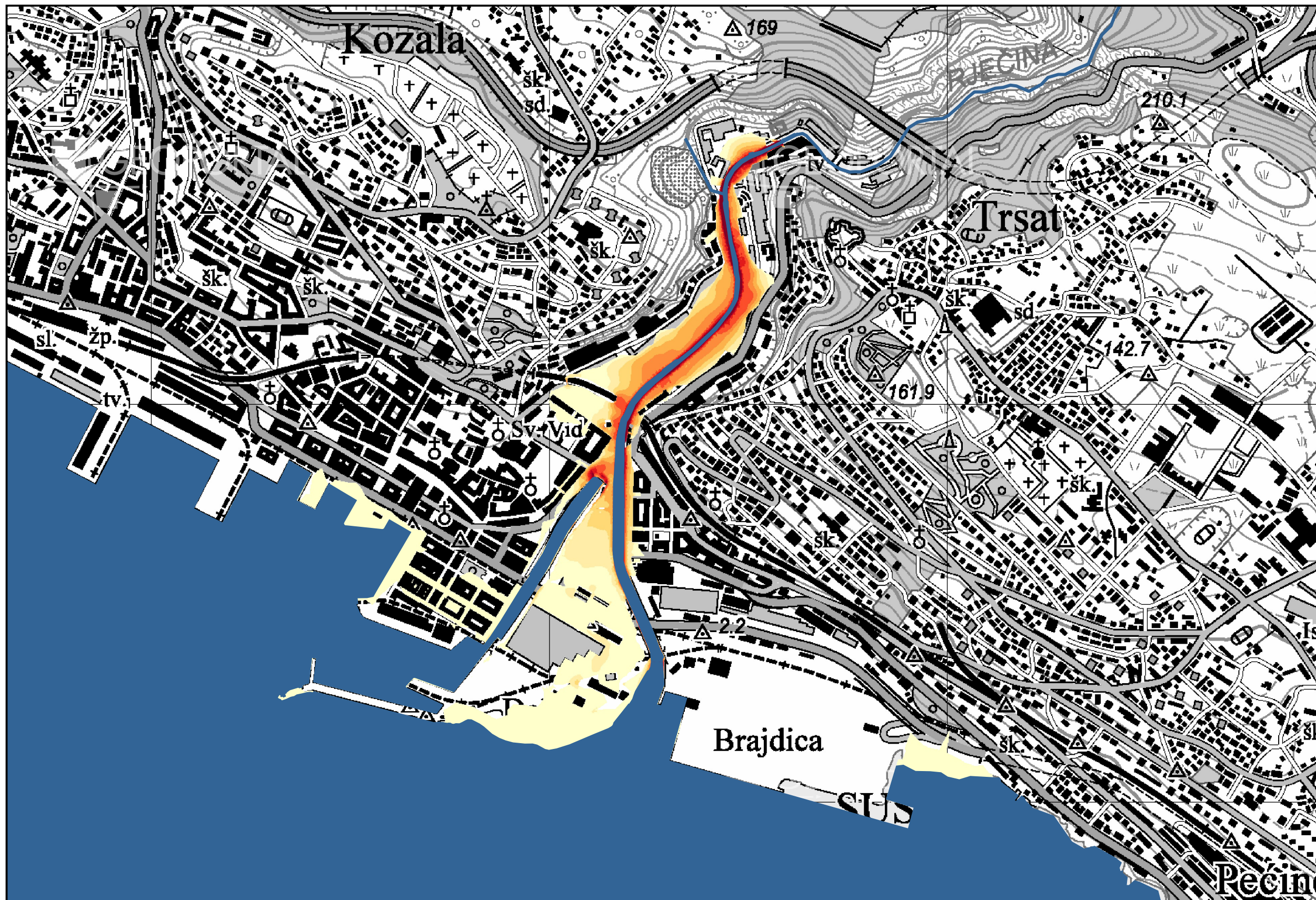
## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





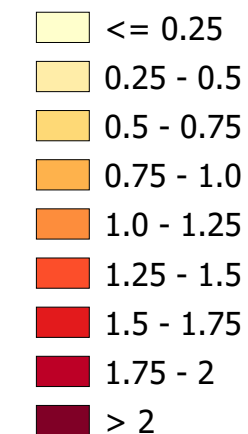
# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA NISKU  
VJEROJATNOST  
POPLAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Brzina toka (m/s)

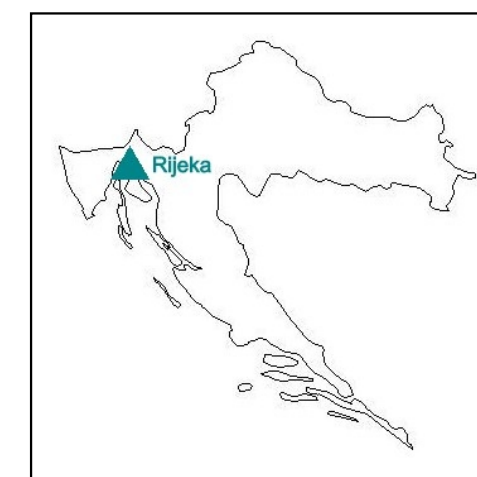


vodene površine

## Dodatni podaci

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

Poplavne površine: Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

Hidrološki podaci: Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

Topografska karta: Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA

ZA NISKU  
VJEROJATNOST  
POJAVLJIVANJA

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Dubina (m)

≤ 0.5


0.5 - 1.5

1.5 - 2.5

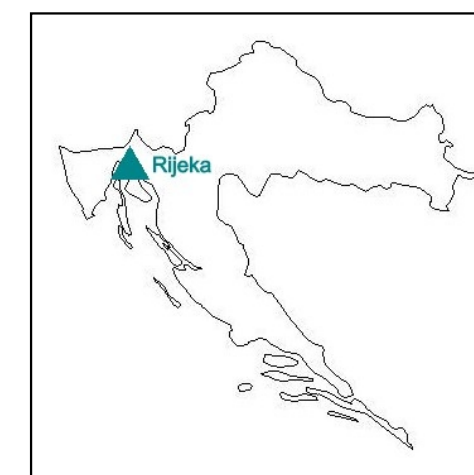
> 2.5

vodene površine

## Dodatni podaci

 Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

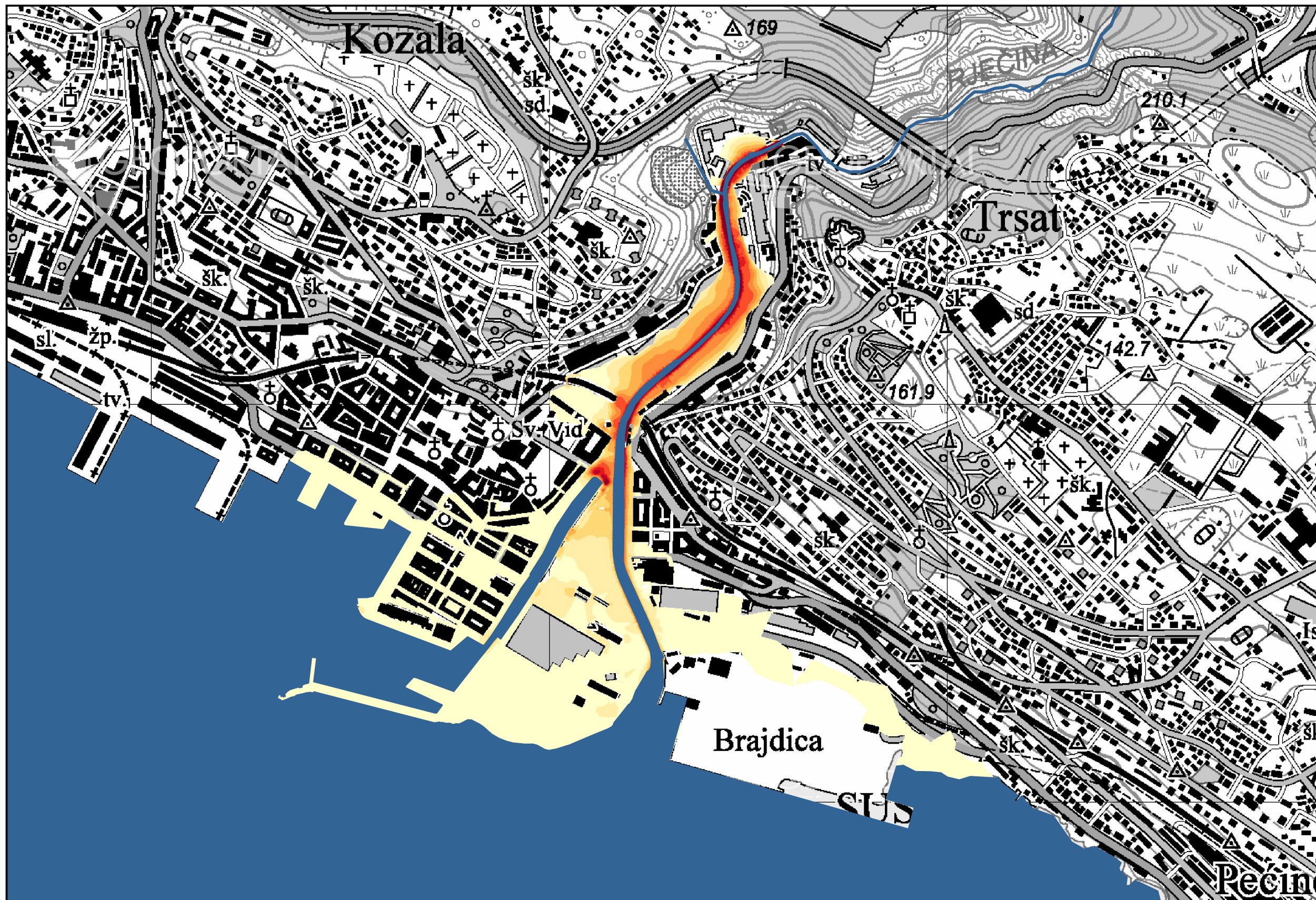
## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM





# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA ZA EKSTREMNI DOGAĐAJ

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Brzina toka (m/s)

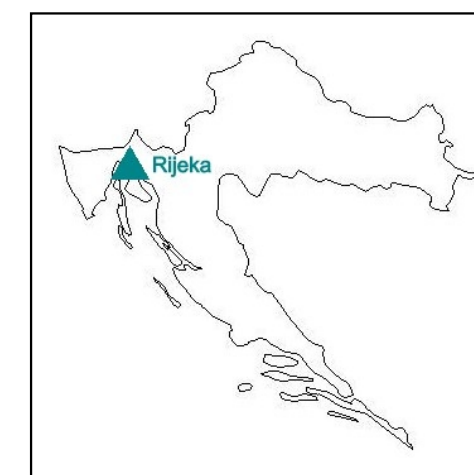
- <= 0.25
- 0.25 - 0.5
- 0.5 - 0.75
- 0.75 - 1.0
- 1.0 - 1.25
- 1.25 - 1.5
- 1.5 - 1.75
- 1.75 - 2
- > 2

vodene površine

## Dodatni podaci

Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM







# KARTA OPASNOSTI OD POPLAVA ZA EKSTREMNI DOGAĐAJ

Centar Grada Rijeke

## TUMAČ OZNAKA

Dubina (m)

≤ 0.5


0.5 - 1.5

1.5 - 2.5

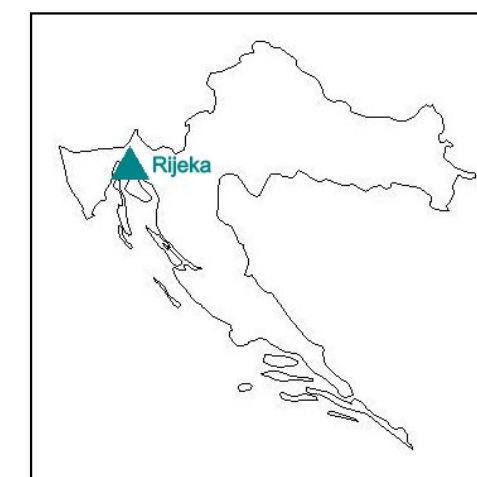
> 2.5

vodene površine

## Dodatni podaci

 Topografska karta 1:25000

Položaj karte u odnosu  
na šire područje



## Izvor podataka:

**Poplavne površine:** Diplomski rad "Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke"

**Hidrološki podaci:** Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine

**Topografska karta:** Državna geodetska uprava (DGU)

## Datum izrade:

Kolovoz 2020.

0 250 500 m

Kartografska projekcija- HTRS96 TM

