



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
UNIVERSITY OF BANJA LUKA  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKO-GEODETSKI FAKULTET  
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



STUDIJSKI PROGRAM: GRAĐEVINARSTVO

USMJERENJE : HIDROTEHNIČKO

# PRORAČUN RIZIKA OD POPLAVA – PRIMJER SLIVA RIJEKE TAMNAVE

MASTER RAD

**Mentor:**

doc. dr Nikola Rosić

**Kandidat:**

Jelena Čupeljić, 01MGRH/19

Banja Luka, 2023.



UNIVERZITET U BANJOJ LUCI  
UNIVERSITY OF BANJA LUKA  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVINSKO-GEODETSKI FAKULTET  
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
WATER ENGINEERING

# FLOOD RISK CALCULATION – A CASE STUDY OF THE TAMNAVA RIVER BASIN

MASTER'S THESIS

**Supervisor:**  
Nikola Rosić, Assistant Professor

**Candidate:**  
Jelena Čupeljić, 01MGRH/19

Banja Luka, 2023.



## **Informacije o mentoru i master radu**

**Mentor:** doc. dr Nikola Rosić

**Naslov master rada:** Proračun rizika od poplava – primjer sliva rijeke Tamnave

**Rezime:** Analiza rizika od poplava koristi se kao osnova za izbor različitih mjera zaštite od velikih voda (konstruktivnih i preventivnih). U radu je razvijen računski model za analizu rizika od poplava za sliv rijeke Tamnave baziran na procjenama opasnosti od poplava i ranjivosti. Modeli proračuna šteta od poplava rađeni su u QGIS okruženju za kategorije direktnih šteta (štete na objektima i njihovom inventaru, poljoprivredne štete i štete na putnoj infrastrukturi) i indirektna šteta (raseljavanje stanovništva sa ugroženog područja), a njihovi rezultati su predstavljeni u vidu vrijednosti šteta i karata rizika od poplava za svaku kategoriju. Ulazni parametri za formiranje modela su inovirane karte hazarda dobijene složenim hidrauličkim modeliranjem (rađene u okviru međunarodnog projekta Reconnect), inovirani digitalni model terena, globalne funkcije šteta i statistički podaci vezani za njihovo korišćenje, te geoprostorni podaci o recipijentima rizika prikupljeni za izradu doktorske disertacije Ranke Pudara [1]. Model šteta od poplava za objekte je okarakterisan kao model šteta mikro razmjera jer koristi karte hazarda visoke rezolucije i detaljne podatke o imovini. Pored novih podataka o rizicima dobijenih korišćenjem modela razvijenog u radu, cilj istraživanja bio je i određivanje uticaja promijenjenih ulaznih parametara na određivanje vrijednosti šteta od poplava. Postoje velike razlike među rezultatima dobijenim u radu i rezultatima dobijenim u okviru doktorske disertacije na koje u velikoj mjeri utiče promjena u hidrološko-hidrauličkim parametrima. Metodologija i modeli prezentovani u radu mogu da se lako i efikasno primijene kako u ponovljenim analizama rizika od poplava za ovaj sliv, tako i za druge slivove.

**Ključne riječi:** rizik od poplava, šteta od poplava, model rizika od poplava, model šteta od poplava mikro-razmjera, globalne funkcije šteta

**Naučna oblast:** Hidrotehnika

**Naučno polje:** Građevinarstvo

**Klasifikaciona oznaka prema CERIF šifrniku:** T220

**Tip odabrane licence Kreativne zajednice:** CC BY – NC

## **Informations about supervisor and master's thesis**

**Supervisor:** Nikola Rosić, Assistant Professor

**Title of master's thesis:** Flood Risk Calculation – a Case Study of the Tamnava River Basin

**Abstract:** Flood risk analysis is used as a basis for the selection of various flood mitigation measures (constructive and preventive). In this paper, a computational model for flood risk analysis for the Tamnava river basin based on flood hazard and vulnerability assessments is developed. Flood damage models were created in the QGIS environment for the direct damage categories (damage to buildings and their contents, agricultural damage and road infrastructure damage) and indirect damage (displacement of the affected population), and their results are presented in the form of damage values and flood risk maps for each category. Input parameters for the flood risk models are innovated hazard maps obtained by complex hydraulic modeling (made within the international project Reconnect), an innovated digital terrain model, global depth-damage functions and statistical data related to their use, and geospatial data on risk recipients collected for the preparation of Ranko Pudar's doctoral dissertation [1]. The flood damage model for buildings is characterized as a micro-scale damage model because it uses high-resolution hazard maps and fine-detail asset data. In addition to the new risk data obtained by using the model developed in the paper, the aim of the research was to determine the impact of changed input parameters on the flood damage values. There are big differences between the results obtained in this paper and the results obtained within the doctoral dissertation, which are largely influenced by the change in hydrological-hydraulic parameters. The methodology and models presented in the paper can be easily and effectively applied in repeated flood risk analyzes for this watershed as well as for other watersheds.

**Key words:** flood risk, flood damage, flood risk model, micro-scale flood damage model, global depth-damage functions

**Scientific area:** Water Engineering

**Scientific field:** Civil Engineering

**Classification code according to CERIF code book:** T220

**Type of selected Creative Commons license:** CC BY – NC

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA .....	3
2.1. Komponente rizika od poplava .....	3
2.2. Okvir za izradu modela rizika .....	3
2.3. Karte hazarda .....	5
2.4. Procjena ranjivosti – određivanje potencijalnih šteta.....	5
2.4.1. Kategorije štete .....	5
2.4.2. Funkcije šteta .....	8
2.4.3. Očekivana godišnja šteta.....	9
2.4.4. Prostorna razmjera i složenost modela šteta .....	9
3. METODOLOGIJA .....	11
3.1. Pregled karakteristika izučavanog područja.....	11
3.1.1. Fizičko-geografske karakteristike sliva.....	11
3.1.2. Postojeći sistem za odbranu od poplava u slivu rijeke Tamnave .....	12
3.2. Pregled i priprema ulaznih podataka.....	13
3.2.1. Topografske podloge.....	13
3.2.2. Karta namjene površina .....	13
3.2.3. Karte hazarda / ugroženosti od poplava .....	14
3.2.4. Podaci o receptorima rizika.....	14
3.2.5. Ekonomske podloge.....	15
3.3. Razvoj modela za proračun šteta od poplava.....	16
3.3.1. Razvoj modela za proračun šteta od poplava na objektima i sadržaju.....	16
3.3.2. Razvoj modela za proračun indirektnih šteta – troškovi raseljavanja stanovništva u ugroženom području .....	20
3.3.3. Razvoj modela za proračun poljoprivrednih šteta.....	21
3.3.4. Razvoj modela za proračun šteta saobraćajne infrastrukture .....	25
4. REZULTATI I DISKUSIJA .....	28
4.1. Karte rizika od poplava .....	28
4.1.1. Gubici na objektima i njihovom inventaru.....	28
4.1.2. Poljoprivredni gubici.....	30
4.1.3. Gubici na saobraćajnoj infrastrukturi.....	31
4.1.4. Troškovi preseljenja stanovništva .....	32

4.2.	Očekivana godišnja šteta.....	33
4.3.	Poređenje sa rezultatima prethodnog istraživanja.....	34
5.	ZAKLJUČAK .....	37
6.	LITERATURA .....	39
7.	BIOGRAFIJA .....	40
8.	PRILOZI .....	41

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Način proračuna rizika od poplava [6].....	4
Slika 2. Direktna oštećenja saobraćajne infrastrukture nastala izlivanjem Tamnave 2014. godine (preuzeto sa sajta opštine Koceljeva - koceljeva.gov.rs) .....	7
Slika 3. Podjela funkcija šteta [6] .....	8
Slika 4. Određivanje očekivane godišnje numeričkom integracijom funkcije S(P) [3].....	9
Slika 5. Saglasnost između složenosti procjene ranjivosti i procjene hazarda [6].....	10
Slika 6. Lokacija sliva rijeke Kolubare u Srbiji (lijevo) i podsliva rijeke Tamnave (desno) [1] .....	11
Slika 7. Sliv rijeke Tamnave – hidrografska mreža .....	12
Slika 8. Gore: Identifikovane poljoprivredne površine duž rijeke Tamnave na osnovu CLC 2012: 211 (žuto), 231 (zeleno), 242 (narandžasto), 243 (ljubičasto); Dolje: Satelitski snimak iste oblasti.....	13
Slika 9. Karta ugroženosti od poplava za povratni period T100.....	14
Slika 10. Tipovi objekata u urbanom području Uba .....	15
Slika 11. Aproksimirane funkcije šteta za različite tipove objekata .....	17
Slika 12. Primjer proračuna šteta na stambenim objektima u alatki Field Calculator .....	18
Slika 13. Algoritam proračuna direktnih šteta na objektima i inventaru i indirektnih šteta za raseljavanje stanovništva u QGIS-u.....	19
Slika 14. Funkcija zavisnosti vremena privremenog preseljenja od dubine unutrašnjeg plavljenja stambenog objekta (FEMA, 2011).....	20
Slika 15. Primjer proračuna indirektnih šteta (troškovi raseljavanja stanovništva) u alatki Field Calculator .....	20
Slika 16. Aproksimirana funkcije štete za poljoprivredu.....	21
Slika 17. Određivanje poplavljenog zemljišta sa namjenom korišćenjem alatke Raster Calculator .....	23
Slika 18. Primjer proračuna šteta na kukuruzu u alatki GDAL Raster Calculator.....	23
Slika 19. Algoritam proračuna direktnih poljoprivrednih šteta u QGIS-u.....	24
Slika 20. Aproksimirana funkcija šteta za puteve.....	25
Slika 21. Algoritam proračuna direktnih materijalnih šteta na saobraćajnoj infrastrukturi .....	27
Slika 22. Primjer proračuna materijalne štete po segmentu puta u alatki Field Calculator .....	27
Slika 23. Karta rizika od poplave vjerovatnoće pojave 100 godina u centru Uba .....	29
Slika 24. Prikaz poljoprivrednih gubitaka od 100-godišnjih poplava u dolini rijeke Tamnave.....	30
Slika 25. Izloženost mreže državnih puteva u slivu rijeke Tamnave 1000-godišnjim poplavama .....	32

**POPIS TABELA**

Tabela 1. Uobičajene kategorije korištene u procjeni šteta usljed poplava [1,6].....	7
Tabela 2. Maksimalne vrijednosti šteta na konstrukciji i sadržaju objekata.....	18
Tabela 3. Poljoprivredna proizvodnja u potencijalni gubici usljed poplava.....	22
Tabela 4. Poljoprivredna proizvodnja u potencijalni gubici usljed poplava.....	22
Tabela 5. Prikaz poplavljenih objekata po tipu za pojave razmatranih vjerovatnoća .....	28
Tabela 6. Vrijednosti gubitaka na objektima i njihovom inventaru usljed poplava razmatranih vjerovatnoća pojave .....	29
Tabela 7. Vrijednosti poljoprivrednih gubitaka od poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave.....	30
Tabela 8. Izloženost mreže državnih puteva poplavama razmatrane vjerovatnoće pojave.....	31
Tabela 9. Vrijednosti gubitaka na saobraćajnoj infrastrukturi od poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave.....	31
Tabela 10. Troškovi raseljavanja stanovništva i broj pogođenih objekata kod poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave.....	32
Tabela 11. Vrijednosti ukupnih šteta po kategoriji usljed poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave.....	33
Tabela 12. Proračun očekivane godišnje štete na objektima numeričkom integracijom funkcije $S(\Pi)$ ....	33
Tabela 13. Vrijednosti očekivane godišnje štete po kategoriji .....	34
Tabela 14. Poređenje vrijednosti šteta na objektima i inventaru dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja .....	35
Tabela 15. Poređenje prosječnih vrijednosti šteta na objektima i inventaru dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja .....	35
Tabela 16. Poređenje vrijednosti poljoprivrednih šteta dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja .....	35
Tabela 17. Poređenje vrijednosti šteta na saobraćajnoj infrastrukturi dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja .....	36
Tabela 18. Poređenje vrijednosti troškova raseljavanja stanovništva dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja.....	36

**POPIS PRILOGA**

Prilog 1. Digitalni model terena istraživanog područja .....	42
Prilog 2. Karta zemljišnog pokrivača - sliv rijeke Tamnave.....	43
Prilog 3. Karta hazarda za povratni period 1000 godina, sliv rijeke Tamnave .....	44
Prilog 4. Karta hazarda za povratni period 100 godina, sliv rijeke Tamnave .....	45
Prilog 5. Karta hazarda za povratni period 20 godina, sliv rijeke Tamnave .....	46
Prilog 6. Objekti u slivu rijeke Tamnave .....	47
Prilog 7. Karta državnih puteva u slivu rijeke Tamnave.....	48
Prilog 8. Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 1000 godina.....	49
Prilog 9. Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 100 godina.....	50
Prilog 10. Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 20 godina .....	51
Prilog 11. Karta rizika od poplava za poljoprivredu, povratni period 1000 godina.....	52
Prilog 12. Karta rizika od poplava za poljoprivredu, povratni period 100 godina.....	33
Prilog 13. Karta rizika od poplava za poljoprivredu, povratni period 20 godina.....	34
Prilog 14. Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu, povratni period 1000 godina.....	35
Prilog 15. Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu, povratni period 100 godina.....	56
Prilog 16. Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu, povratni period 20 godina.....	57

## 1. UVOD

Poplave predstavljaju jednu od najrazornijih prirodnih nepogoda i uzrokuju velike materijalne i nematerijalne štete. Poplave i ekstremne padavine postaju sve češće i većeg intenziteta [1]. Okvir za procjenu rizika od poplava usmjeren je na procjenu potencijalnih posljedica poplava, te se koristi kao osnova za izbor različitih mjera zaštite od velikih voda (konstruktivnih i preventivnih).

Izrada karata rizika od poplava predstavlja značajnu preventivnu mjeru zaštite od velikih voda. Na osnovu ovih karata stanovništvo izloženo poplavama može se informisati o prostornoj raspodjeli rizika na određenom području i na taj način prikladno pripremiti na ove događaje čime se utiče na smanjenje negativnih posljedica poplava. Takođe, karte rizika od poplava su osnova za izradu druge plansko-tehničke dokumentacije kao što su prostorni planovi urbanih i ruralnih područja i operativni planovi upravljanja poplavama.

U ovom radu razvijen je računski model za analizu rizika od poplava na primjeru sliva rijeke Tamnave (Republika Srbija). Izvršen je proračun rizika sa prikazom karata rizika od poplava za postojeće stanje sistema za zaštitu na dijelu sliva rijeke Tamnave koji pokriva Ub i Koceljevu. Prilikom formiranja modela za proračun šteta korišćene su inovirane karte sa dubinama plavljenja u rasterskom formatu, dobijene primjenom hidrološkog i hidrauličkog modela razvijenih na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu u okviru međunarodnog projekta Reconnect<sup>1</sup>, geoprostorni podaci o recepijentima rizika (prostorni položaj građevinskih objekata i poljoprivrednih površina), inovirani digitalni model terena, globalne funkcije šteta, te ostali statistički podaci vezani za korišćenje funkcija šteta. Razvijeni prostorni model šteta može se okarakterisati kao model mikro razmjera u kom se koriste karte hazarda visoke rezolucije dobijene složenim hidrauličkim modeliranjem i detaljni podaci o različitim kategorijama receptora rizika. Modeli proračuna šteta od poplava rađeni su za kategorije direktnih šteta (štete na objektima i njihovom inventaru, poljoprivredne štete i štete na putnoj infrastrukturi) i indirektno štete (raseljavanje stanovništva sa ugroženog područja).

U okviru prethodno publikovane doktorske disertacije Ranka Pudara, izrađen je model šteta od poplava na slivu rijeke Tamnave na osnovu rezultata linijskog hidrauličkog modela iz studije Kolubara. Za potrebe prethodnog istraživanja, izvršeno je detaljno prikupljanje geoprostornih podataka o receptorima rizika koji su iskorišćeni i u ovom radu.

Rizik od poplava se, standardno, kvantifikuje preko očekivane godišnje štete koja se dobija integracijom proizvoda verovatnoće poplavnog događaja i štete koja nastaje tokom istog događaja. Procjenjuje se kao proizvod stohastičkih veličina, te i sam predstavlja veličinu za čije se određivanje vezuju velike neizvjesnosti. U sklopu ovog rada, prikazani su metodologija za izradu modela rizika od poplava i dobijeni rezultati proračuna rizika, a izvršeno je poređenje sa metodologijom i dobijenim rezultatima proračuna rizika prethodno sprovedenog istraživanja za isto područje u okviru doktorske disertacije Ranka Pudara. Na ovaj način je analizirana osjetljivost

---

<sup>1</sup> [www.reconnect.eu](http://www.reconnect.eu)



proračuna rizika od poplava na promjenu parametara u proračunu šteta odnosno promjenu pristupa kod hidrološkog i hidrauličkog modeliranja.

Dva osnovna cilja istraživanja u ovom radu su:

- 1) Inoviranje podataka o rizicima od poplava korišćenjem detaljnog modela proračuna rizika
- 2) Određivanje uticaja promijenjenih pretpostavki i inoviranih podataka u modelu proračuna rizika na određivanje vrijednosti šteta od poplava.

U drugom poglavlju ovog rada opisan je pojam rizika od poplava i njegove komponente. Predstavljen je i okvir za izradu modela rizika od poplava, a takođe je detaljno prikazan način određivanja potencijalnih šteta (procjena ranjivosti).

U trećem poglavlju prikazana je metodologija proračuna rizika od poplava u slivu rijeke Tamnave. Opisane su fizičko-geografske karakteristike sliva, kao i postojeće stanje sistema za zaštitu od poplava u slivu. Dat je pregled svih podloga korišćenih u proračunu (topografske, karta namjene površina, karte hazarda, ekonomske podloge, podaci o receptorima rizika), a potom su detaljno opisani modeli za proračun šteta za svaku pojedinačnu kategoriju šteta razvijeni u programskom okruženju QGIS.

U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati proračuna dobijeni korišćenjem opisanih modela rizika od poplava u vidu vrijednosti šteta i u vidu karti rizika od poplava za područje sliva rijeke Tamnave, za pojedinačne kategorije šteta i razmatrani povratni period. Potom je izvršeno je poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima prethodnog istraživanja, te je izvršena analiza osjetljivosti modela šteta na promjenu ulaznih podataka.

U zaključku je dat osvrt na rezultate dobijene razvijenim modelima šteta od poplava i način na koji je promjena ulaznih parametara uticala na promjenu rezultata u odnosu na prethodno istraživanje. Opisane su i mogućnosti korišćenja razvijenih modela rizika od poplava i u budućim istraživanjima.

## 2. ANALIZA RIZIKA OD POPLAVA

### 2.1. Komponente rizika od poplava

Poplave se smatraju najčešćom prirodnom katastrofom (43% svih katastrofa između 1995-2015), a razvijeno je mnogo načina za mjerenje njihovog ekonomskog uticaja [1].

Analiza potencijalnog rizika od poplava i njegovo kartiranje predstavlja najvažniju stručnu aktivnost u okviru neinvesticionih mjera zaštite od poplava. Ova analiza je važna pri procjeni mjera za ublažavanje poplava i optimizaciji mogućih mjera [2].

Rizik od poplavnog događaja se može predstaviti kao proizvod vjerovatnoće pojave poplave i štete koju taj događaj izaziva. Komponente rizika su *ugroženost* ili „*hazard*“ koji predstavlja kvantifikaciju poplave određene vjerovatnoće pojave i „*ranjivost*“ koja predstavlja potencijalnu štetu koju ta poplava može izazvati.

Ranjivost usljed poplava iskazuje se kroz materijalne (novčane) gubitke, dok u širem smislu obuhvata i druge nepovoljne posljedice poplava: socijalne, ekološke i druge. Za naseljena područja je moguće je komponentu ranjivosti razložiti kao „ranjivost = izloženost × osetljivost“ [3]. Tada se rizik od poplava može prikazati kao proizvod tri komponente [4]:

$$\text{Rizik od poplava} = \text{ugroženost} \times \text{izloženost} \times \text{osjetljivost}$$

Dok je ugroženost prirodna komponenta rizika od poplava, **izloženost** poplavama je humana komponenta rizika od poplava. Rizik od poplava postoji samo tamo gdje su poplavama ugrožena područja naseljena, tj. postoje dobra koja mogu biti oštećena i ljudi koji mogu biti ugroženi. Ako je poplavom ugroženo područje neizgrađeno i nenastanjeno, nema rizika od poplava. Stvarne posljedice poplave zavise od toga koliko su imovina i ljudi **osjetljivi** na opasnost i oštećenja. Rizik od poplava se smanjuje smanjenjem osjetljivosti – izgradnjom objekata koji su manje osjetljivi na oštećenja, povećanjem pripremljenosti za postupanje tokom poplava [4].

Izloženost se odnosi na razmjere potencijalnih posljedica poplave (životno ugroženih stanovnika i imovine), dok je osetljivost je indikator stvarnih štetnih posljedica [3].

### 2.2. Okvir za izradu modela rizika

Kartiranje rizika od poplava je proces koji ima dvije etape; u prvoj se izrađuju karte ugroženosti od poplava, a u drugoj, karte rizika od poplava. Postojanje karti ugroženosti je preduslov za izradu ovih karata rizika, koje treba da sadrže, pored informacije o poplavi određene vjerovatnoće pojave i informaciju o potencijalnoj posljedici te poplave – šteti [3,5].

Kartiranje rizika obuhvata sljedeće aktivnosti :

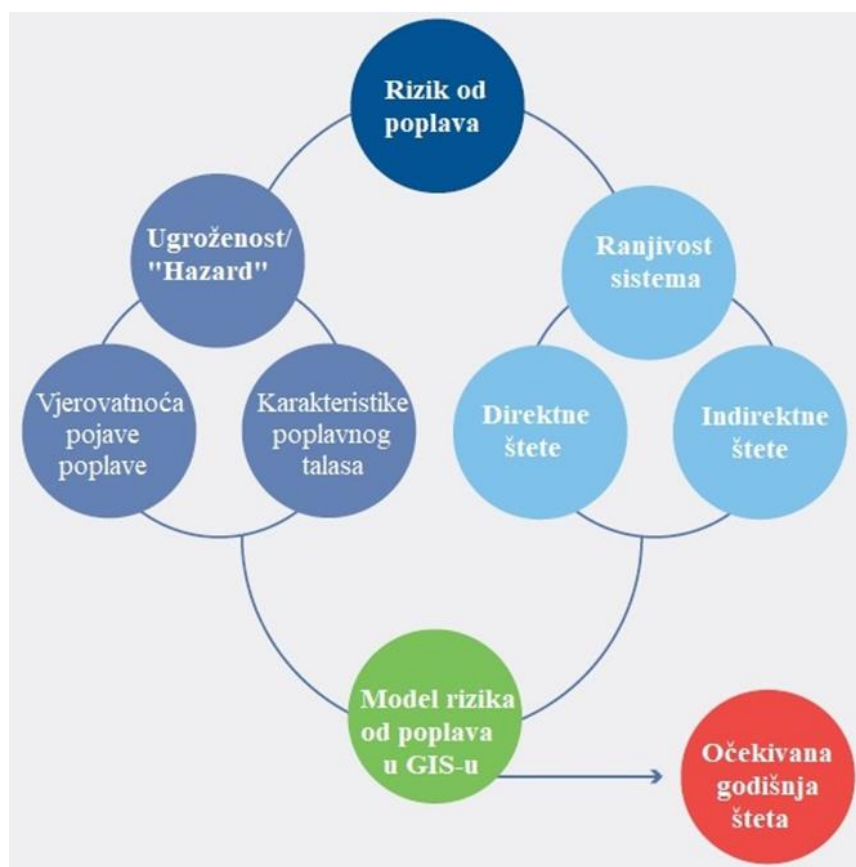
- 1) hidrološku analizu velikih voda i izbor projektnih poplavnih talasa;
- 2) hidrauličke proračune za definisanje plavnih područja;
- 3) izradu karata ugroženosti („hazarda”);
- 4) procjenu potencijalne očekivane godišnje štete;

- 5) izradu karata šteta i rizika;
- 6) uvođenje i korišćenje karata rizika u svakodnevnom životu (planiranje, osiguranje, promet nekretnina itd) [3].

Veličina plavnog područja, potencijalne štete i odgovarajućeg rizika presudno zavise od karakteristika poplavnog talasa (dubine i trajanja plavljenja), topografije riječne doline i namjene površina [2].

GIS alati su efikasno sredstvo za procesiranje ulaznih podataka i rezultata proračuna, analizu i vizualizaciju prostornih podataka, te su neophodni za izradu karata ugroženosti i rizika. Omogućavaju lako kombinovanje raznih tematskih sadržaja, kao što su namjena površina plavne zone, štete itd. Pored toga, GIS sistemi imaju mogućnost modeliranja, tj. algoritamsku komponentu.

Procjena ugroženosti od poplava (zasnovana na simulacijama modela) i procjena ranjivosti od poplava kombinuju se u GIS sistemu da bi se formirao tzv. **model rizika od poplava** ili **model šteta od poplava**, kao što je prikazano na slici 1. Ovaj model može se koristiti za izračunavanje očekivane godišnje štete kojom se kvantifikuje rizik [2].



Slika 1. Način proračuna rizika od poplava [6]

### 2.3. Karte hazarda

Mape hazarda ili opasnosti od poplava se izrađuju na osnovu rezultata hidrauličkog modeliranja, po pravilu, korišćenjem modela linijskog i/ili ravanskog tečenja. Pružaju informacije o granicama plavnog područja, prostornom rasporedu dubina i rasporedu brzina toka (ako je relevantan).

U izradi karata ugroženosti („hazarda”) razmatraju se poplave koje spadaju u tri hidrološke kategorije:

- 1) poplave male vjerovatnoće pojave, odnosno ekstremno velike vode povratnih perioda mnogo većih od 100 godina; tu spadaju i poplave nastale prolomom nasipa ili brana, poplave koje su posljedica grešaka u dimenzionisanju evakuacionih objekata ili njihovog oštećenja u toku eksploatacije, poplave usljed zagušenja mostovskih otvora i propusta, kao i poplave koje su posljedica koincidencije velikih voda na rijeci i njenim pritokama;
- 2) poplave umjerene vjerovatnoće pojave, povratnog perioda do 100 godina;
- 3) poplave velike vjerovatnoće pojave, povratnog perioda reda veličine 10-50 godina, koje su od interesa za lokalne zajednice, pa se preporučuje njihovo obuhvatanje kartama plavljenja na isti način kao kad su u pitanju poplave sa malom ili srednjom vjerovatnoćom pojave [3,5].

Kartiranje rizika se zasniva na kvantifikaciji materijalne štete, u zavisnosti od vjerovatnoće plavnog događaja, odnosno njegovog povratnog perioda.

### 2.4. Procjena ranjivosti – određivanje potencijalnih šteta

Proračun potencijalnih šteta od poplava se koristi prilikom mapiranja rizika od poplava, dok se stvarne štete mogu odrediti nakon osmotrenih poplava (iz finansijskih procjena za osiguranje i naknadu štete) [1].

Potencijalna šteta obuhvata na širem planu sve ono što je poplavom ugroženo, a objekti izloženi dejstvu poplava zovu se „receptori“ („primaoci rizika“).

Prvi korak u određivanju potencijalne štete usljed poplave je identifikacija imovine, tj. ranjivih elemenata u slivu, kao što su stanovništvo, infrastruktura, objekti, poljoprivredna proizvodnja, itd. Ovaj korak uključuje prikupljanje svih relevantnih podataka za procjenu izloženosti i ranjivosti ovih elemenata na poplave – njihov tačan položaj unutar analizirane oblasti, gustina naseljenosti, tip objekta itd. [5].

#### 2.4.1. Kategorije štete

Štete usljed poplava se mogu podijeliti na direktne i inidirektne štete, dok se potkategorije šteta mogu podijeliti na ekonomske, socijalne i ekološke, tj. materijalne i nematerijalne, kao što je prikazano u tabeli 1.

**Direktne** štete se definišu kao štete koje nastaju kao posljedica direktnog kontakta sa vodom, dok **indirektni** gubici nastaju samo kao posredna posljedica poplava. Direktni gubici su u direktnoj korelaciji sa vremenom trajanjem poplava, dok indirektni gubici mogu imati uticaja i tokom narednih mjeseci i godina [1].

**Direktne materijalne štete** obuhvataju većinu šteta izazvanih direktnim kontaktom sa vodom i sadrže većinu osiguranih gubitaka, pa je ova kategorija šteta uvijek uključena u procjenu rizika, djelimično ili u potpunosti. To je najvažnija kategorija šteta koja je i najdetaljnije obrađena.

Najvažnija karakteristika poplave koja utiče na stepen materijalne štete je dubina plavljenja, a pored tog, značajne su i brzina (za strukturna oštećenja), trajanje poplave, stepen kontaminacije u vodi itd. Štete se obično grupišu u tipove, a najčešće su štete na objektima, infrastrukturi i poljoprivredi. Ovi tipovi mogu da sadrže različite podtipove, u zavisnosti od nivoa detaljnosti procjene šteta i homogenosti na području.

Za kvantifikaciju direktnih materijalnih šteta koriste se sljedeće metode:

- Procjena štete preko podataka osiguranja (isplate osiguranja korištene su kao indikatori štete uzrokovane poplavom)
- Metoda jediničnih/prosječnih troškova (bazira se na prosječnoj vrijednosti štete za svaku pojedinačnu kategoriju)
- Funkcija štete (zavisnost potencijalne štete od dubine plavljenja)

Ukupna procijenjena vrijednost štete koju uzrokuje poplavni događaj može se značajno povećati ako se uzmu u obzir i **indirektne materijalne štete**. Indirektne štete uglavnom predstavljaju poremećaje (prekid proizvodnje, poremećaji izazvani saobraćajnim gužvama i sl.) čije je vrijeme trajanja izazovno procijeniti.

Metode koje se koriste za kvantifikaciju indirektnih šteta:

- Procenat od direktne materijalne štete (kada nema dostupnih podataka)
- Metoda jedinične cijene (specifična vrijednost štete se izražava kao cijena po satu ili danu)

**Nematerijalne štete** često su povezane sa zdravljem i dobrobiti građana. **Direktni nematerijalni gubici** u ovoj kategoriji štete mogu uključivati nepovratne gubitke, poput gubitka ljudskog života i kulturne baštine. **Indirektna nematerijalna šteta** uglavnom podrazumijeva prekide u svakodnevnom životu stanovnika (nestanak struje i vode, poteškoće u odlasku na posao itd). I direktne i indirektne nematerijalne štete je izrazito teško kvantifikovati i često se u procjeni šteta kod kartiranja rizika [6].

Tabela 1. Uobičajene kategorije korištene u procjeni šteta usljed poplava [1,6]

Kategorija šteta	Potkategorije šteta		Tip štete/kategorija ranjivosti
Direktne štete	Materijalne	Ekonomске	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fizičko oštećenje objekata</li> <li>• Fizička oštećenja sadržaja i opreme objekata</li> <li>• Šteta na poljoprivrednim usjevima i/ili stoci</li> <li>• Fizička oštećenja infrastrukture</li> <li>• Troškovi uklanjanja otpada i čišćenja</li> </ul>
		Ekološke	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troškovi čišćenja životne sredine</li> </ul>
	Nematerijalne	Socijalne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smrt i povrede</li> <li>• Bolesti</li> </ul>
Indirektne štete	Materijalne	Ekonomске	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Izmještanje preduzeća</li> <li>• Izgubljena produktivnost</li> <li>• Gubitak infrastrukturnih usluga</li> <li>• Povećani troškovi pružanja kritičnih usluga</li> </ul>
		Socijalne	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raseljavanje stanovništva</li> <li>• Gubitak zaposlenja/prihoda</li> </ul>
	Nematerijalne		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mentalni stres i anksioznost (PTSP)</li> <li>• Poremećen način života</li> </ul>



Slika 2. Direktna oštećenja saobraćajne infrastrukture nastala izlivanjem Tamnave 2014. godine (preuzeto sa sajta opštine Koceljeva - koceljeva.gov.rs)

### 2.4.2. Funkcije šteta

Fukcije štete predstavljaju zavisnosti između dubine plavljenja i vrijednosti plavljenjem ugrožene imovine – potencijalne štete.

Funkcije štete mogu se definisati kao zavisnost apsolutnih ili relativnih vrijednosti šteta.

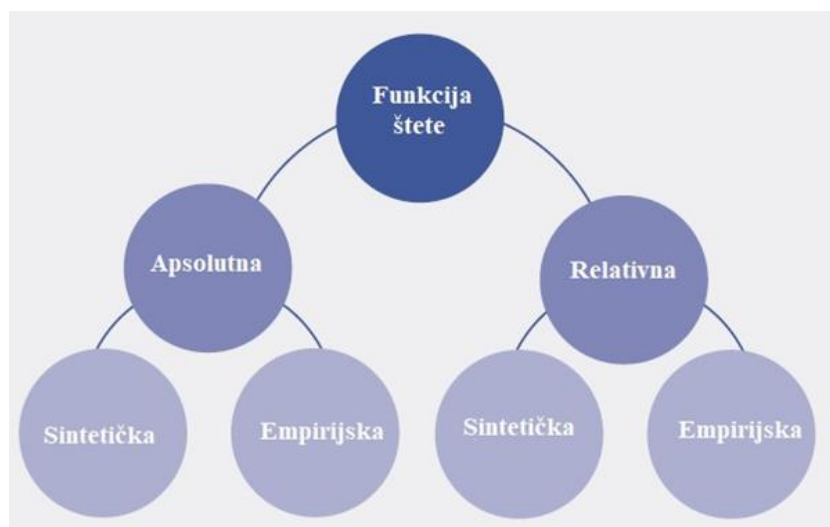
**Apsolutne** funkcije štete određuju apsolutne vrijednosti šteta za pojedinačno definisane kategorije. Apsolutne vrijednosti moraju se redovno ažurirati u skladu sa inflacijom i mogućim promjenama cijena u pogođenom području.

**Relativne** funkcije štete definišu koji dio maksimalne potencijalne štete je ostvaren za određenu kategoriju šteta u zavisnosti od dubine.

Funkcije šteta mogu biti određene **empirijski i sintetički**.

Empirijske funkcije su obično bazirane na stvarnim štetama registrovanim u prošlosti. Obično su bazirane na malom broju podataka. Ne preporučuje se korišćenje empirijske funkcije za urbana područja zbog velikih neizvjesnosti i mogućnosti greške.

Sintetičke funkcije su zasnovane na sintetičkim podacima a njihovo generisanje zavisi od ekspertskeg znanja. Koriste se u prognostičke svrhe, obično za potrebe ekonomskih analiza dobiti i troškova („benefit-cost“), u sklopu projekata sistema za zaštitu od poplava [2,6].



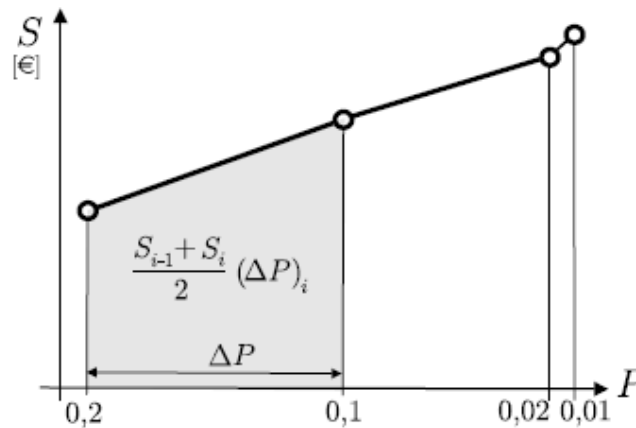
Slika 3. Podjela funkcija šteta [6]

### 2.4.3. Očekivana godišnja šteta

Rizik od poplava se statistički izražava preko očekivane godišnje štete koja se dobija integracijom proizvoda vjerovatnoće poplavnog događaja i štete koja nastaje tokom istog događaja. Obje veličine u podintegralnoj funkciji imaju izrazito nelinearni i stohastički karakter, tj. mogu se procijeniti samo sa određenim intervalom sigurnosti. Integracija se obavlja kroz skup vjerovatnoća svih mjerodavnih poplavnih događaja:

$$\bar{S} = \int_{P_0}^{P_{\max}} S(P) dP = \sum_{i=1}^m \frac{S_i + S_{i+1}}{2} \cdot \Delta P_i$$

Gdje je :  $\bar{S}$  – očekivana godišnja šteta (€/god),  $S(P)$ -šteta (€) usljed poplavnog događaja vjerovatnoće pojave  $P$ ,  $P_0$  – vjerovatnoća najmanje razmatrane poplave (1/god),  $P_{\max}$ -vjerovatnoća najveće razmatrane poplave,  $i$ - povratni period.



Slika 4. Određivanje očekivane godišnje numeričkom integracijom funkcije  $S(P)$  [3]

### 2.4.4. Prostorna razmjera i složenost modela šteta

Procjena šteta od poplava može da se izvodi u različitim prostornim razmjerama:

- Mikro-razmjera: procjena se bazira na pojedinačnom proizvoljno određenoj jediničnoj površini – elementu (npr. 1 m<sup>2</sup>)
- Mezo-razmjera: procjena se bazira na površini određenog tipa (npr. naseljena mjesta, administrativne jedinice..) koja se kreće od 1 ha do 1 km<sup>2</sup>
- Makro razmjera: procjena se bazira na većim površinama (administrativne jedinice kao opštine, regioni, države) [7].

Prilikom izbora složenosti procjene šteta, treba uzeti u obzir i složenost hidrauličkog modela. Na primjer, za jednostavni hidraulički model gdje je poplavna dubina procijenjena na osnovu topografske karte i linearne interpolacije izmjerenih vodostaja rijeke između susjednih stanica, nije opravdano koristiti detaljni model šteta mikro razmjera. Na slici 5. je prikazana predložena usaglašenost između složenosti hidrauličkog modela i modela šteta, gdje je najveće slaganje prikazano najtamnijom bojom, a najmanje najsvjetlijom.



<b>Ra- njivost</b> \ <b>Hazard</b>	Jednostavan	Srednje složen	Složen
Procjena pro- sječnih šteta mezo razmjera			
Model šteta mezo razmjera			
Model šteta mikro razmjera			

Slika 5. Saglasnost između složenosti procjene ranjivosti i procjene hazarda [6]

Složenost modela hazarda kreće se od jednostavne linearne interpolacije između vodostaja mjerenih na različitim stanicama, do linijskih i ravanskih modela tečenja. Nivo detaljnosti hidrauličke simulacije takođe zavisi od rezolucije primjenjenog modela terena.

Složenost modela procjene ranjivosti kreće se od najjednostavnije procjene štete preko prosječne jedinične cijene za veću površinu, preko složenijeg modela šteta mezo razmjera koji uzima u obzir karakteristike poplave (najčešće dubine) do najsloženijeg modela šteta mikro razmjera gdje se štete procjenjuju na nivou objekta. Za korištenje modela šteta mikro razmjera potrebne su detaljne informacije o tipu i namjeni pojedinih objekata, pa ga je moguće primijeniti samo ako takvi podaci postoje za istraživano područje.

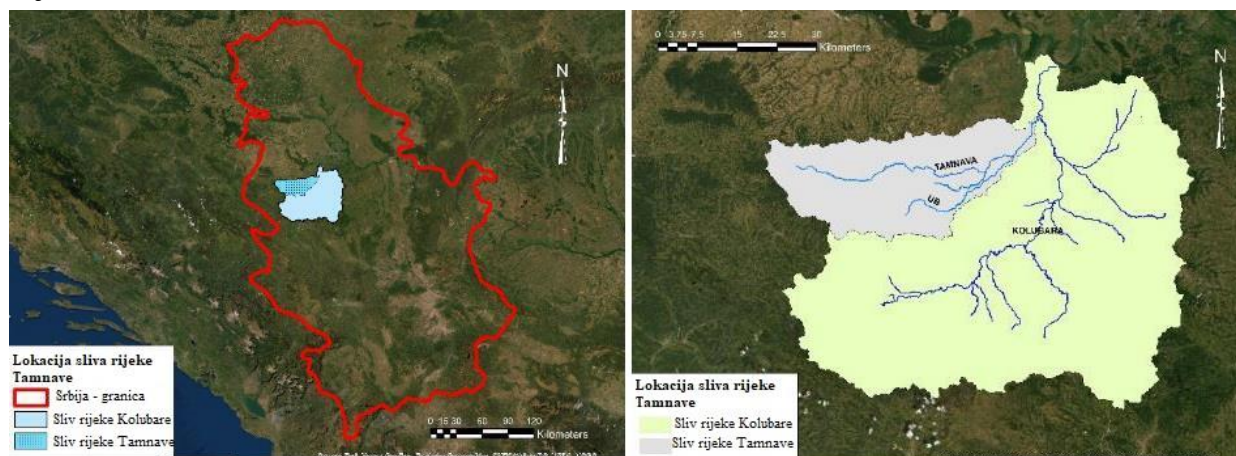
Detaljan model šteta zahtijeva veliku količinu podataka, pa se preporučuje njegova primjena samo ako nivo detaljnosti hidrauličke simulacije odgovara nivou detaljnosti procjene šteta [6].

### 3. METODOLOGIJA

#### 3.1. Pregled karakteristika izučavanog područja

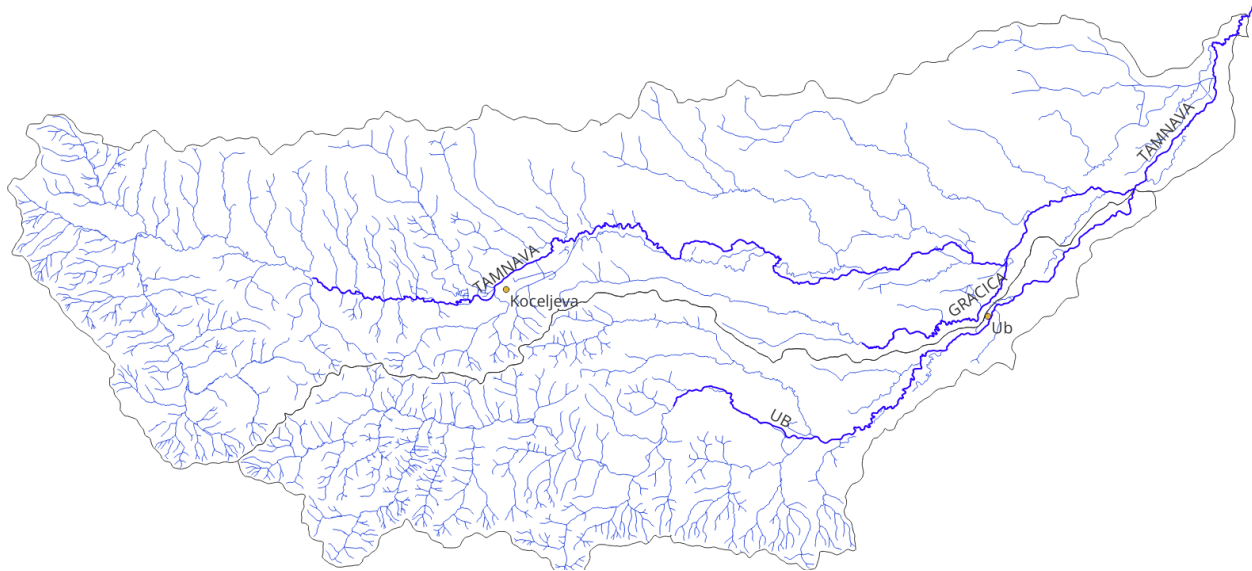
##### 3.1.1. Fizičko-geografske karakteristike sliva

Izučavano područje obuhvata sliv rijeke Tamnave i njenih pritoka Gračice i Uba. Ovo područje je dio većeg sliva Kolubare, prikazanog na slici 6. Sliv Tamnave obuhvata 726 km<sup>2</sup> i prvenstveno je ruralni, sa 79,3% površine koja se obrađuje. Urbanizovano i industrijsko zemljište čini samo 1,2% površine i koncentrisano je u dva mala naseljena centra, gradovima Ub i Koceljeva. Nadmorska visina terena se kreće od 470 m n.v. u gornjem toku sliva do 64,4 m n.v. na njenom ušću sa obradivim zemljištem koje se nalazi u širokim poplavnim ravninama tri rijeke. Poljoprivredna proizvodnja se uglavnom sastoji od malih farmi, sa naglaskom na nekoliko glavnih usjeva.



Slika 6. Lokacija sliva rijeke Kolubare u Srbiji (lijevo) i podsliva rijeke Tamnave (desno) [1]

Hidroklimatski režim sliva Tamnave karakterišu izraženi sezonski obrasci, sa najvećim proticajima u rano proljeće zbog kombinovanih padavina i topljenja snega, a početkom ljeta zbog konvektivnih padavina visokog intenziteta. Jun je mjesec sa najvećom količinom padavina. Srednja godišnja količina padavina iznosi 787,7 mm, dok je srednja godišnja temperatura 11,4 °C za 1981-2010. Srednji godišnji protok rijeke Tamnave kod Koceljeve iznosi 0,99 m<sup>3</sup>/s, a rijeke Ub na mjernom mjestu Ub 1,01 m<sup>3</sup>/s. Najveći proticaji na ovim mjernim mjestima su 178 m<sup>3</sup>/i 146 m<sup>3</sup>/s, redom, a zabilježeni su tokom velike poplave u maju 2014. godine [1].



*Slika 7. Sliv rijeke Tamnave – hidrografska mreža*

### **3.1.2. Postojeći sistem za odbranu od poplava u slivu rijeke Tamnave**

Poplave duž rijeke Tamnave su kroz istoriju izazivale značajne štete, posebno u blizini njenog ušća u rijeku Kolubaru. Česte poplave u slivu su posljedica nedovoljno izgrađenog sistema zaštite od poplava, odnosno usvojenog niskog stepena zaštite.

Sistem za odbranu od poplava u slivu rijeke Tamnave postoji od 1950-ih godina. Postojeći sistem za zaštitu prvenstveno se zasniva na nasipima duž nekoliko dionica rijeka Tamnave i Uba – uz dva naselja, te dijelu vodotokova nizvodno od puta između Uba i Takova.

Nasipi koji štite naseljena mjesta duž rijeke Tamnave projektovani su za 50-godišnje ili 100-godišnje poplave, dok preostali nasipi obezbjeđuju zaštitu poljoprivrednog zemljišta od 25-godišnjih poplava. Sistem se sastoji od:

- nasipa duž rijeke Tamnave projektovanih za 50-godišnje poplave;
- nasipa duž rijeke Ub projektovanih za 100-godišnje poplave u urbanim područjima i nasipa projektovanih za 25-godišnje poplave u poljoprivrednim područjima

U okviru sistema za zaštitu od poplava postoji i rasteretni kanal Ub-Gračica.

### 3.2. Pregled i priprema ulaznih podataka

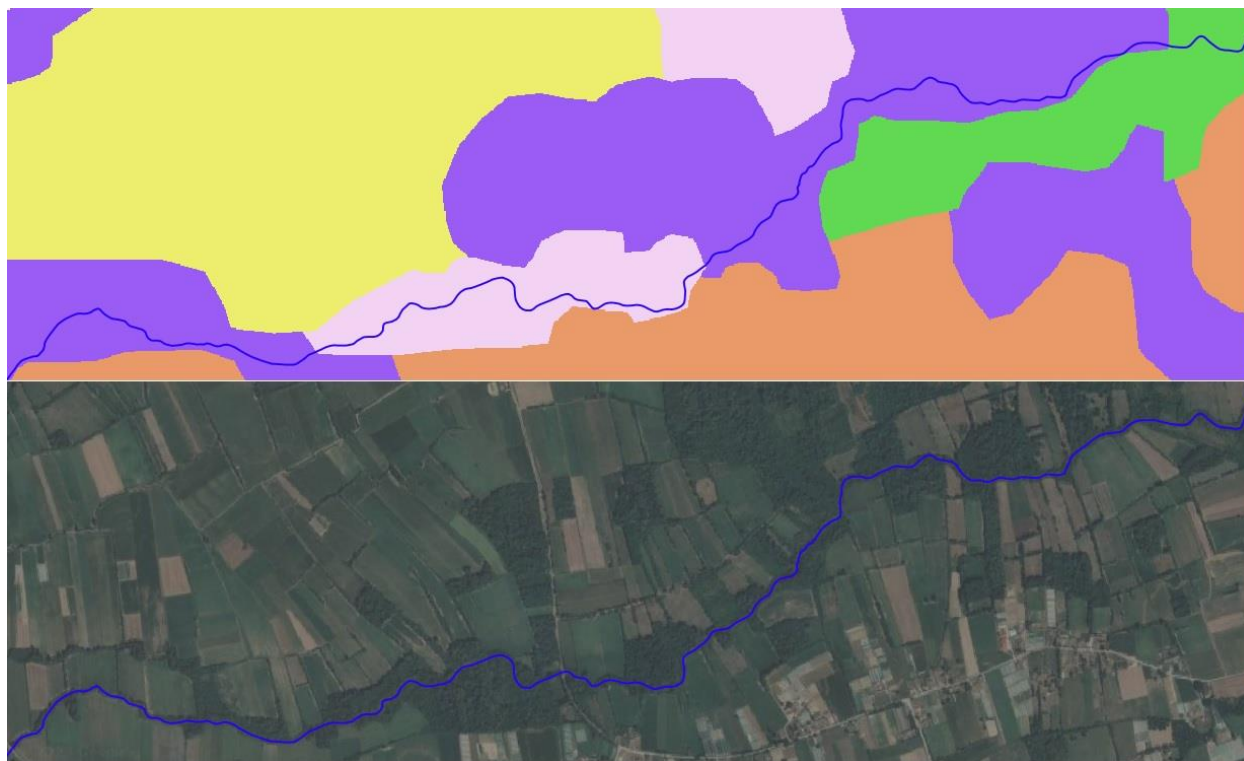
Ulazni podaci za izradu modela šteta sastoje se od topografskih podloga, karte namjene površina, karata hazarda, podataka o receptorima rizika u vidu karte objekata na području sliva i karte državnih puteva, te ekonomskih podloga.

#### 3.2.1. Topografske podloge

Za topografsku predstavu područja, koristi se digitalni model terena (DTM) dobijen LIDAR tehnologijom u rasterskom formatu. Model je visoke rezolucije veličine piksela 1 m<sup>2</sup>, što omogućava veću detaljnost i nivo složenosti hidrauličkog modela (Prilog 1).

#### 3.2.2. Karta namjene površina

Za izradu modela poljoprivrednih šteta korištena je karta zemljišnog pokrivača CORINE Land Cover 2012, u rasterskom formatu (Prilog 2). Karta je usavršena na rezoluciju od 1 m<sup>2</sup>. Pomoću karte identificirana su poljoprivredna zemljišta izložena poplavama sa sljedećim šiframa koje su korišćene u radu: 211 (nenavodnjavano obradivo zemljište), 231 (pašnjaci), 242 (složeni obrasci obrade/obrađeno zemljište) i 243 (poljoprivredno zemljište sa prirodnom vegetacijom), što je prikazano na Slici 8.



Slika 8. Gore: Identifikovane poljoprivredne površine duž rijeke Tamnave na osnovu CLC 2012: 211 (žuto), 231 (zeleno), 242 (narandžasto), 243 (ljubičasto); Dolje: Satelitski snimak iste oblasti

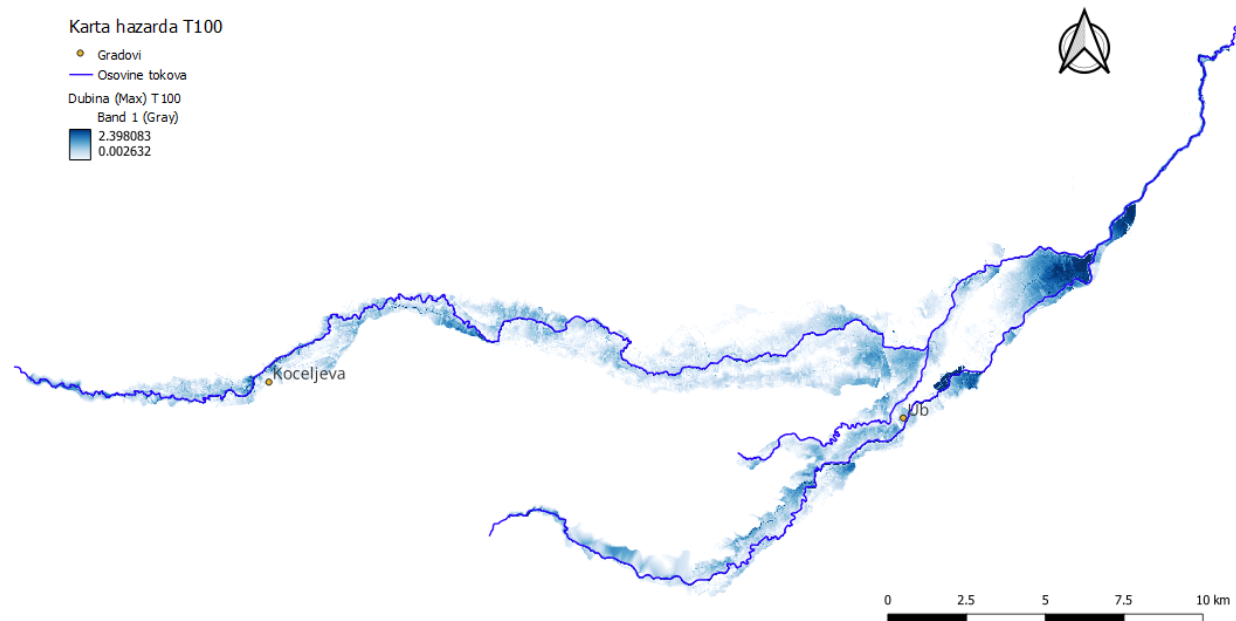
### 3.2.3. Karte hazarda / ugroženosti od poplava

Prilikom izrade modela šteta korištene su karte hazarda sa dubinama plavljenja u rasterskom formatu, dobijene primjenom hidrološkog i hidrauličkog modela koji su razvijeni na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu u okviru međunarodnog projekta Reconect.

Hidraulički model je složeni kvazi-2D model gdje se poprečni profil rijeke dijeli na više homogenih hidrauličkih segmenata, odnosno formira se više paralelnih linijskih tokova, a uzima se u obzir i poprečno tečenje između njih.

Na najvećem dijelu sliva (srednjem i donjem) javljaju se ravničarske riječne doline. Poplavni talas ravničarskih rijeka karakterišu relativno spore promjene protoka, pa je riječ o „blago promjenljivim“ neustaljenim tokovima [4].

U radu su korišćene karte hazarda za povratne periode 1000, 100 i 20 godina. (Prilozi 3, 4. i 5), sa prostornom rezolucijom od 1 m<sup>2</sup>. Na karti ugroženosti od 100-godišnjih poplava (slika 9) primjećuje se da su najugroženiji najnižvodniji dijelovi sliva.



Slika 9. Karta ugroženosti od poplava za povratni period T100

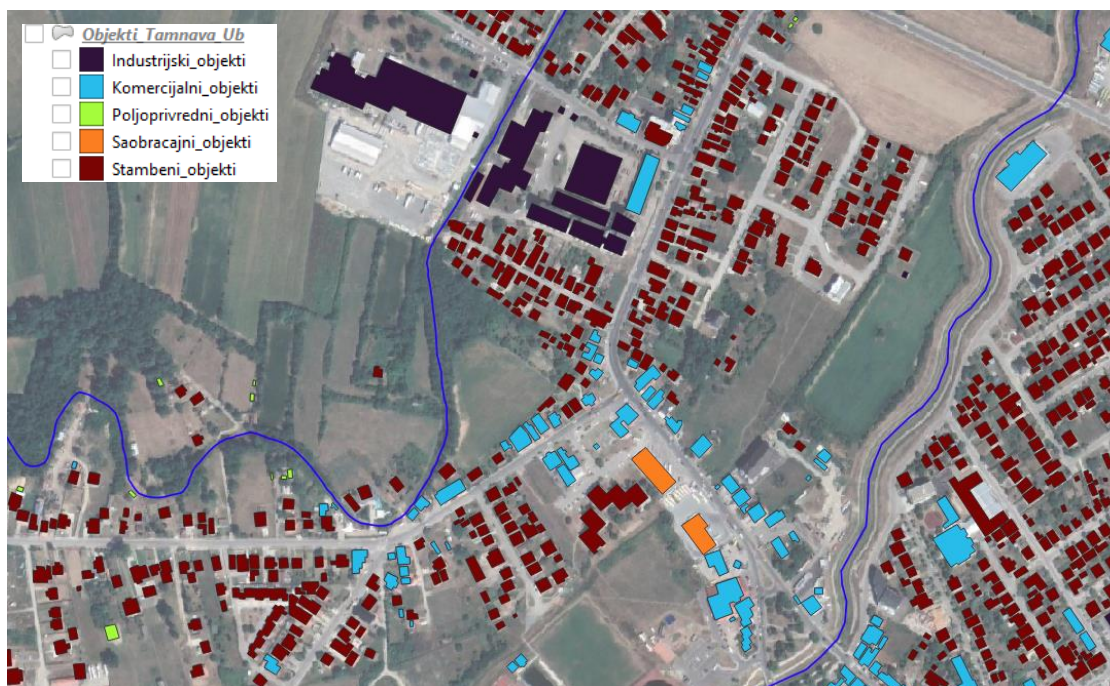
### 3.2.4. Podaci o receptorima rizika

Podaci o objektima na području sliva, u vektorskom formatu, sadrže brojne informacije o svakom pojedinačnom objektu – tip, namjena, pozicija, površina (Prilog 6). Pojedinačni objekti su



identifikovani na osnovu aerofotogrametrijskih snimaka, a njihove konture su digitalizovane. Izvršena je identifikacija tipova i namjene objekata na terenu u sklopu prethodnog istraživanja Ranka Pudara. Glavni identifikovani tipovi objekata su stambeni, komercijalni, industrijski, saobraćajni, poljoprivredni (Slika 10).

Podaci o infrastrukturi ograničeni su na podatke o državnim putevima u vektorskom formatu koji sadrže podatke o kategoriji puta, identifikacionom broju puta, dužini puta. Razlikuju se sljedeće kategorije puteva Ib, IIa, IIb (Prilog 7).



Slika 10. Tipovi objekata u urbanom području Uba

### 3.2.5. Ekonomske podloge

Za proračun direktnih šteta mogu se formirati funkcije šteta. S obzirom na to da poplave u slivu karakterišu spore promjene protoka, u radu su korištene funkcije štete zavisne od dubine preuzete iz globalne baze podataka („European Commission Joint Research“) [8]. Radi se o funkcijama šteta, gdje su štete izražene u bezdimenzionalnom obliku, kao procenat maksimalne vrijednosti štete, a ne u apsolutnim novčanim vrijednostima. Maksimalna vrijednost štete predstavlja vrijednost zamjene potpuno uništene strukture novom.

Baza podataka sadrži funkcije šteta za različite kategorije recipijenata za svaki kontinent, dok su maksimalne vrijednosti šteta date za različite zemlje, na osnovu visine troškova gradnje u njima. Sve modifikacije podataka o maksimalnim vrijednostima šteta napravljene su u skladu sa terenskim istraživanjima izvedenim za potrebe disertacije Ranka Pudara [1].

Za proračun indirektnih šteta u vidu iseljavanja ugroženog stanovništva, korištena je funkcija zavisnosti vremena privremenog raseljenja od dubine unutrašnjeg plavljenja u stambenom objektu [9].

### 3.3. Razvoj modela za proračun šteta od poplava

Modeli proračuna šteta od poplava rađeni su za kategorije direktnih šteta – štete na objektima i njihovom inventaru, poljoprivredne štete i infrastrukturne štete (putevi) i indirektna šteta – raseljavanje stanovništva sa ugroženog područja.

Svi modeli izrađeni su u QGIS okruženju, korišćenjem Graphic Modeler-a za formiranje algoritma proračuna šteta.

Za proračun su korišteni postojeći podaci o recipijentima iz istraživanja Ranka Pudara, a inovinarne su topografske podloge i karte hazarda. Radi analize osjetljivosti modela šteta, iz prethodnog istraživanja su zadržane vrijednosti maksimalnih šteta, tj. inflacija nije uzeta u obzir. Prilikom formiranja modela takođe su zadržane i sve početne pretpostavke iz prethodnog istraživanja, što je detaljnije objašnjeno u nastavku, prilikom predstavljanja modela za svaku kategoriju šteta pojedinačno.

Korištene su i iste funkcije šteta kao i u prethodnom istraživanju, ali su u ovom radu aproksimirane polinomskim funkcijama višeg stepena korišćenjem metoda nelinearne regresije i kao takve upotrebljene su prilikom proračuna rizika u QGIS-u.

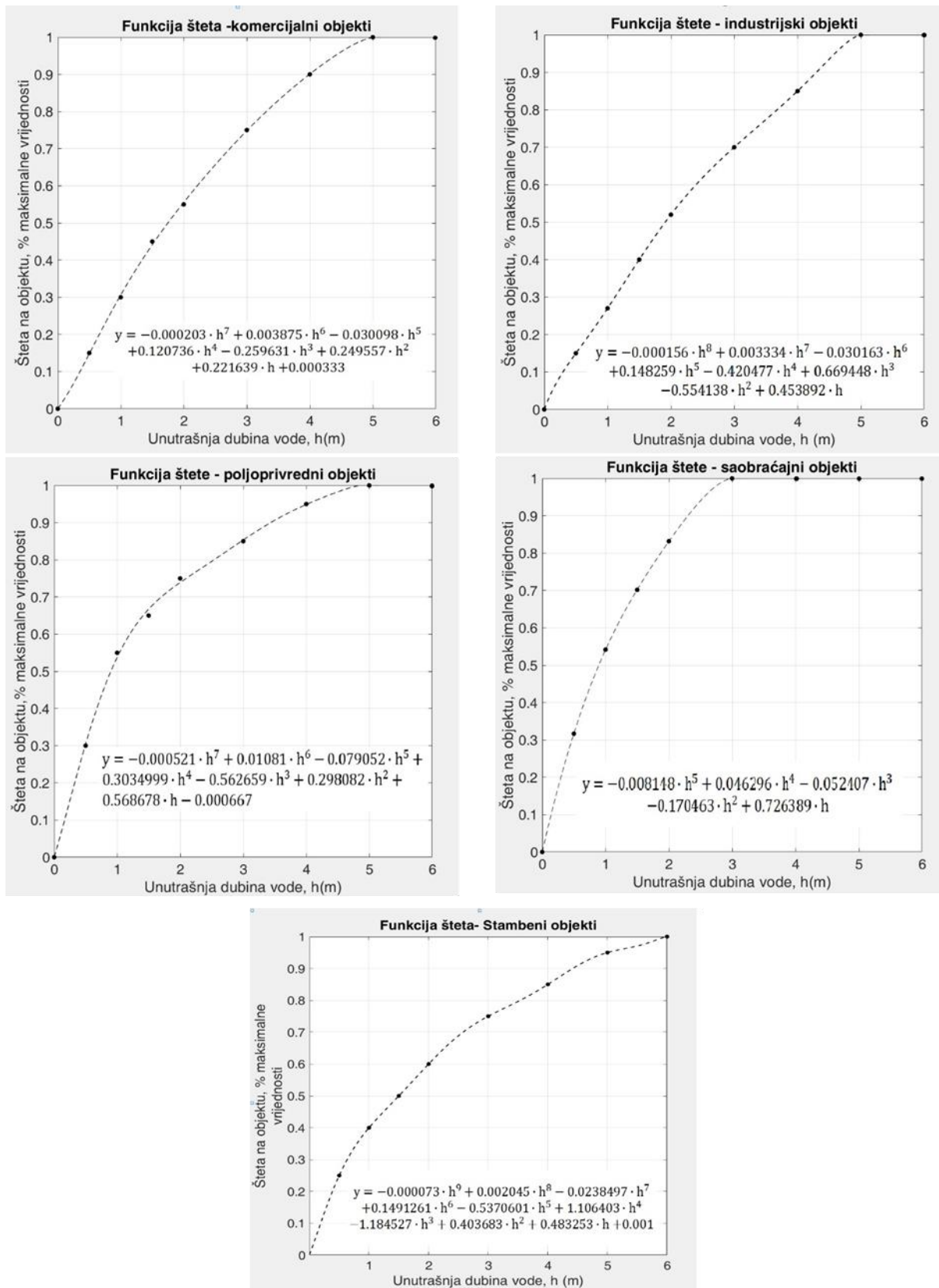
Dobijeni rezultati modela za svaku kategoriju štete, daju vrijednosti po pojedinačnom elementu (za rezultate u vektorskom obliku) ili po pikselu (za rezultate u rasterskom obliku) za odabrani povratni period poplavnog događaja. Sumiranjem ovako dobijenih rezultata, dobija se ukupna šteta za svaku kategoriju određenog povratnog perioda, što omogućava proračun očekivane godišnje štete.

#### 3.3.1. Razvoj modela za proračun šteta od poplava na objektima i sadržaju

Od ulaznih parametara za proračun šteta na objektima korištene su karte sa dubinama plavljenja za poplavni događaj odabranog povratnog perioda u rasterskom formatu i karta sa geoprostornim rasporedom objekata u vektorskom formatu koja sadrži i informacije o tipu, namjeni i površini svakog pojedinačnog objekta.

S obzirom na detaljnost podloga objekata i složenost hidrauličkog modela, izvršena je procjena šteta na osnovu modela sa *mikro-razmjerom*.

Pretpostavljeno je i da objekti nemaju podruma, jer ih je teško identifikovati i odrediti njihove pojedinačne karakteristike na većem području. Važna karakteristika objekata je i udaljenost završenog poda od terena kako bi se odredila unutrašnja dubina plavljenja potrebna za proračun šteta. Za objekte bez podruma, pretpostavljeno je da je to visina sokla. Usvojene su visine sokla ili prvog stepenika na osnovu tipa objekta i terenskih istraživanja sprovedenih u prethodnoj analizi, a kreću se u rasponu 0-0.5 m. Iz globalne baze podataka preuzete su funkcije za različite tipove objekata koje su aproksimirane polinomom višeg reda (Slika 11).



Slika 11. Aproximirane funkcije šteta za različite tipove objekata



Maksimalna vrijednost štete na objektima usvojena je kao vrijednost zamjene stare konstrukcije novom, u skladu sa troškovima izgradnje u zemlji. Inventar objekata varira u zavisnosti od namjene i obuhvata predmete za domaćinstvo, opremu, mašine ili uskladištene poljoprivredne proizvode. Vrijednost maksimalne štete na inventaru se obično izražava kao procenat maksimalne vrijednosti građevinske konstrukcije i u radu taj procenat varira od 50% do 150% (Tabela 2).

Tabela 2. Maksimalne vrijednosti šteta na konstrukciji i sadržaju objekata

Tip objekta	Maksimalne štete (€/m <sup>2</sup> )	
	Konstrukcija	Inventar
Stambeni	203-271	101-136
Komercijalni	298	298
Industrijski	207	10
Saobraćajni	107	-
Poljoprivredni	149-298	75-298

Nakon unošenja podloga i usvajanja svih ulaznih podataka potrebnih za proračun (maksimalne vrijednosti štete na konstrukciji i inventaru, visina prvog stepenika za različite tipove objekata), u QGIS algoritmu proračuna (Slika 13) određuju se srednje dubine za svaki objekat. Potom se izdvajaju objekti u poplavljenom području (objekti za koje je srednja dubina veća od nule).

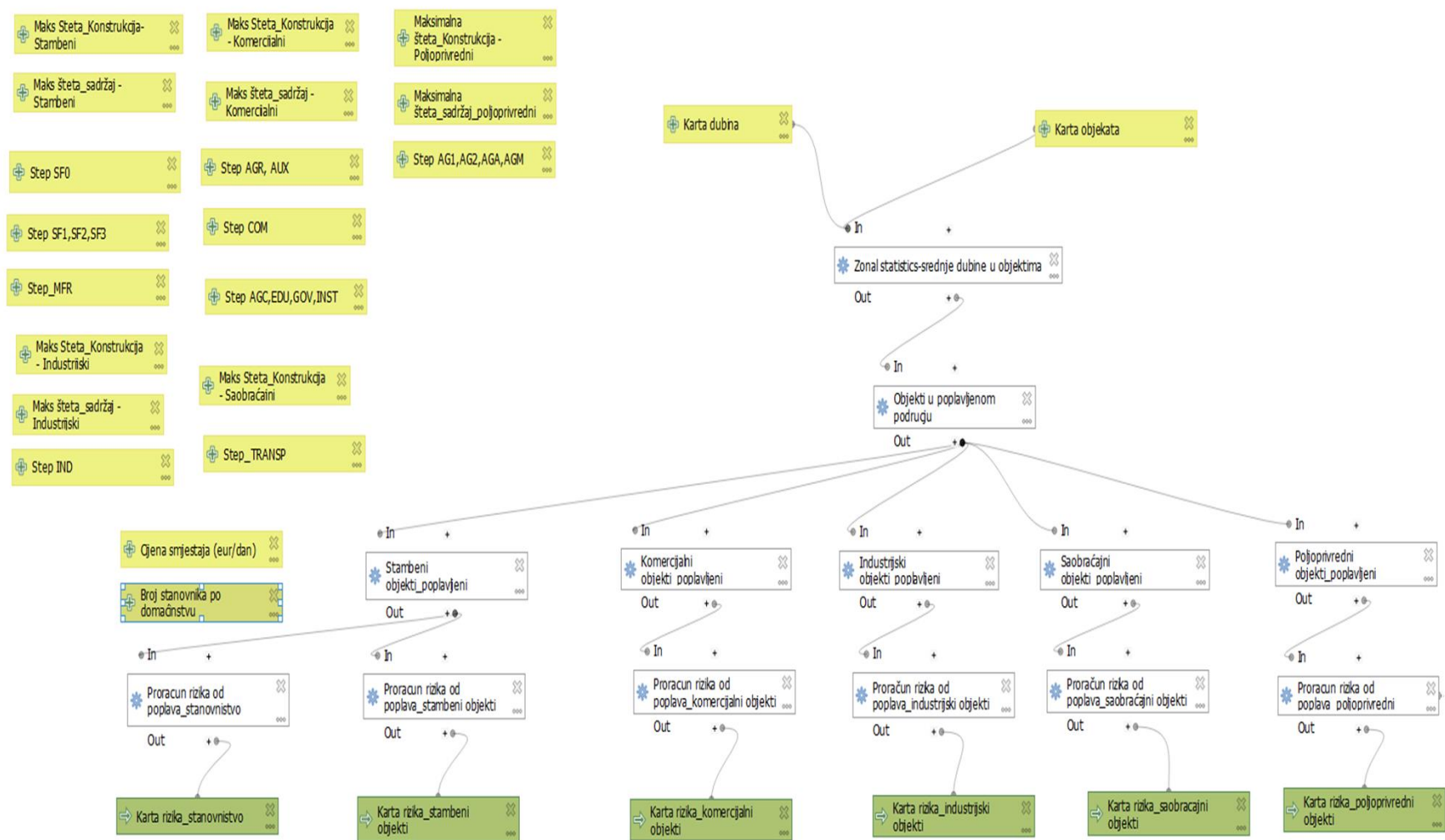
Iz objekata u poplavljenoj zoni izdvajaju se tipovi – stambeni, komercijalni, industrijski, saobraćajni, poljoprivredni. Za svaki tip objekata vrši se posebno proračun šteta sa odgovarajućim funkcijama šteta, maksimalnim vrijednostima šteta na konstrukciji i sadržaju objekta. Proračun šteta se vrši u zavisnosti od dubine unutrašnjeg plavljenja korišćenjem alatke Field Calculator, a primjer proračuna za stambene objekte prikazan je na slici 12. Kao rezultat modela, dobijaju se karte rizika u vektorskom formatu koji sadrži podatak o monetarnoj vrijednosti štete za svaki pojedinačni objekat.

```

CASE WHEN "TYPE"='SF0' AND ("_mean"- @step_sf0) >0 THEN (IF(("_mean"- @step_sf0)<= 6,0.00007279775497*((
"_mean"- @step_sf0)^ 9) +0.002044566417797*(("_mean"- @step_sf0)^ 8) -0.023849650857934*(("_mean"- @step_sf0)
)^ 7)+0.149126138311167*(("_mean"- @step_sf0)^ 6)-0.537060165113169*(("_mean"- @step_sf0)^ 5)
+1.10640320729395*(("_mean"- @step_sf0)^ 4)-1.18452727317513*(("_mean"- @step_sf0)^ 3)+0.403683054025892*((
"_mean"- @step_sf0)^ 2)+0.483252920852168*(("_mean"- @step_sf0)+0.00100,1))*0.75*( @
maks_teta_konstrukcijastambeni + @maks_teta_sadržaj_stambeni )*"GM_LAYER" ELSE CASE WHEN ("TYPE"='SF1' OR
"TYPE"='SF2' OR "TYPE"='SF3') AND ("_mean"- @step_sflsf2sf3) >0 THEN (IF(("_mean"- @step_sflsf2sf3) <= 6,
0.00007279775497*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 9) +0.002044566417797*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 8)
-0.023849650857934*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 7)+0.149126138311167*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 6)
-0.537060165113169*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 5)+1.10640320729395*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 4)
-1.18452727317513*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 3)+0.403683054025892*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 2)
+0.483252920852168*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)+0.00100,1))*(@maks_teta_konstrukcijastambeni + @
maks_teta_sadržaj_stambeni )*"GM_LAYER" ELSE CASE WHEN "TYPE"='MFR' AND ("_mean"- @step_mfr) >0 THEN IF((
"_mean"- @step_mfr)<= 6,0.00007279775497*(("_mean"- @step_mfr)^ 9) +0.002044566417797*(("_mean"- @step_mfr)^
8) -0.023849650857934*(("_mean"- @step_mfr)^ 7)+0.149126138311167*(("_mean"- @step_mfr)^ 6)
-0.537060165113169*(("_mean"- @step_mfr)^ 5)+1.10640320729395*(("_mean"- @step_mfr)^ 4)-1.18452727317513*((
"_mean"- @step_mfr)^ 3)+0.403683054025892*(("_mean"- @step_mfr)^ 2)+0.483252920852168*(("_mean"- @step_mfr
)+0.00100,1))*(@maks_teta_konstrukcijastambeni + @maks_teta_sadržaj_stambeni )*"GM_LAYER" ELSE 0 END END END

```

Slika 12. Primjer proračuna šteta na stambenim objektima u alatki Field Calculator

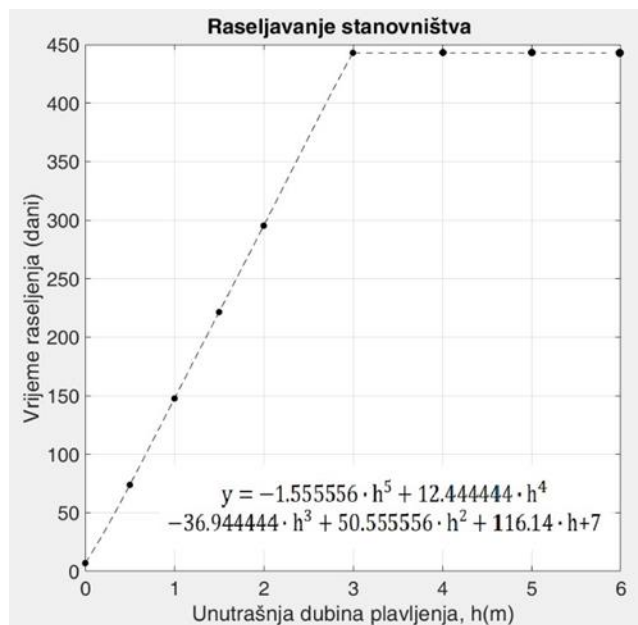


Slika 13. Algoritam proračuna direktnih šteta na objektima i inventaru i indirektnih šteta za raseljavanje stanovništva u QGIS-u

### 3.3.2. Razvoj modela za proračun indirektnih šteta – troškovi raseljavanja stanovništva u ugroženom području

U sklopu prethodno prikazanog QGIS modela za proračun šteta na objektima (slika 13), nalazi se i proračun šteta za indirektno, socijalne gubitke predstavljene u vidu troškova privremenog raseljavanja stanovništva koje se nalazi unutar pogođenog područja.

Vrijeme raseljavanja traje dok neposredna opasnost ne prođe ili dok se ne izvrše neophodne popravke. Može se prikazati kao zavisnost trajanja (dani) od dubine unutrašnjeg plavljenja stambenih objekata.



Slika 14. Funkcija zavisnosti vremena privremenog preseljenja od dubine unutrašnjeg plavljenja stambenog objekta [9]

Broj ugroženih stanovnika utvrđen je u prethodnom istraživanju na osnovu popisnih podataka (ili sličnih opštinskih podataka). Prilikom proračuna, usvojen je prosječan broj od 2.41 stanovnika po ugroženom stambenom objektu.

```

CASE WHEN "TYPE"='SF0' AND ("_mean"- @step_sf0) >=0 THEN (IF(("_mean"- @step_sf0)<= 3,
-1.55555555549*(("_mean"- @step_sf0)^ 5)+12.4444444444006*(("_mean"- @step_sf0)^ 4)
-36.9444444443461*(("_mean"- @step_sf0)^ 3)+50.555555554697*(("_mean"- @step_sf0)^ 2)
+116.14000000023*(("_mean"- @step_sf0)+7,1))* @cijena_smjestaja_eurdan* @
broj_stanovnika_po_domainstvu ELSE CASE WHEN ("TYPE"='SF1' OR "TYPE"='SF2' OR "TYPE"='SF3')
AND ("_mean"- @step_sflsf2sf3) >=0 THEN (IF(("_mean"- @step_sflsf2sf3) <= 3, -1.55555555549
*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 5)+12.4444444444006*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 4)
-36.9444444443461*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)^ 3)+50.555555554697*(("_mean"- @step_sflsf2sf3
)^ 2)+116.14000000023*(("_mean"- @step_sflsf2sf3)+7,1))* @cijena_smjestaja_eurdan* @
broj_stanovnika_po_domainstvu ELSE CASE WHEN "TYPE"='MFR' AND ("_mean"- @step_mfr) >0 THEN
IF(("_mean"- @step_mfr)<= 3, -1.55555555549*(("_mean"- @step_mfr)^ 5)+12.4444444444006*((
"_mean"- @step_mfr)^ 4)-36.9444444443461*(("_mean"- @step_mfr)^ 3)+50.555555554697*((
"_mean"- @step_mfr)^ 2)+116.14000000023*(("_mean"- @step_mfr)+7,1))* @cijena_smjestaja_eurdan
ELSE 7* @cijena_smjestaja_eurdan* @broj_stanovnika_po_domainstvu END END END

```

Slika 15. Primjer proračuna indirektnih šteta (troškovi raseljavanja stanovništva) u alatki Field Calculator

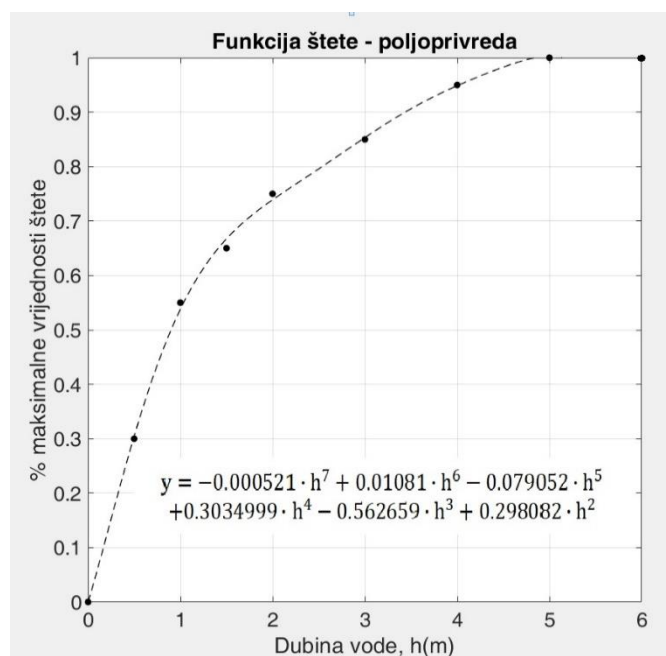
Svaki stambeni objekt koji se nalazi unutar poplavljenog područja, smatra se ugroženim, a za objekte čija unutrašnjost nije poplavljena, usvojeno je minimalno vrijeme izmiještanja stanovnika od sedam dana. Pretpostavlja se da su, uprkos tome što nisu poplavljene iznutra zbog povišenog poda prizemlja, stanovnici evakuisani zbog životno opasnih uslova u njihovoj neposrednoj okolini. Troškovi preseljenja stanovništva pogođenog poplavama uključuju troškove privremenog smještaja i procijenjeni su na oko 10 € po osobi dnevno.

### 3.3.3. Razvoj modela za proračun poljoprivrednih šteta

Poljoprivredna proizvodnja i njena ranjivost mogu se analizirati na različite načine, u zavisnosti od vrste proizvodnje prisutne na tom području. U slučaju sliva rijeke Tamnave, preovlađujuća poljoprivredna djelatnost je ratarska proizvodnja, a prethodnim istraživanjem identifikovana su tri glavna usjeva (kukuruz, krompir, jabuke) i nebalirano sijeno kao preovlađujući poljoprivredni proizvodi.

Ranjivost poljoprivrednih resursa i poljoprivrednih površina procjenjuje se kroz direktnu izloženost poplavama. Postoji nekoliko faktora koji utiču na njihovu ugroženost: dubina vode, vrijeme provedeno pod vodom i sezona usjeva. U radu se uzima u obzir samo dubina polavne vode, a vrijeme koje usjevi provedu pod vodom se zanemaruje jer je šteta već učinjena čak i za kratko vreme izlaganja poplavi, dok se sezona usjeva ne uzima u obzir kada se izvode dugoročne procjene ranjivosti [1].

Pri izloženosti poplavnim vodama, štete na korjenastom povrću (npr. krompir) ili kulturama osjetljivim na vlagu (npr. nebalirano sijeno) smatraju se potpunim, bez obzira na dubinu poplave. Za kulture visokog rasta, kao što su jabuke i kukuruz, štete se računaju u odnosu na dubinu plavljenja, pa se za proračun ovih šteta koriste funkcije šteta (Slika 16).



Slika 16. Aproximirana funkcije štete za poljoprivredu

Potencijalni poljoprivredni gubici se procjenjuju po kulturi, kao proizvod cijene otkupa i očekivanog prinosa, pri čemu se pretpostavlja da je cijena otkupa stalna i da će proizvodni prinos ostati nepromijenjen tokom vremena (Tabela 3).

*Tabela 3. Poljoprivredna proizvodnja u potencijalni gubici usljed poplava*

<b>Kultura</b>	<b>Prinos (tona/ha)</b>	<b>Prihod (€/ha)</b>
Kukuruz	5.9	769.84
Krompir	18.4	3851.15
Jabuke	16.9	7317.64
Nebalirano sijeno	1.6	207.95

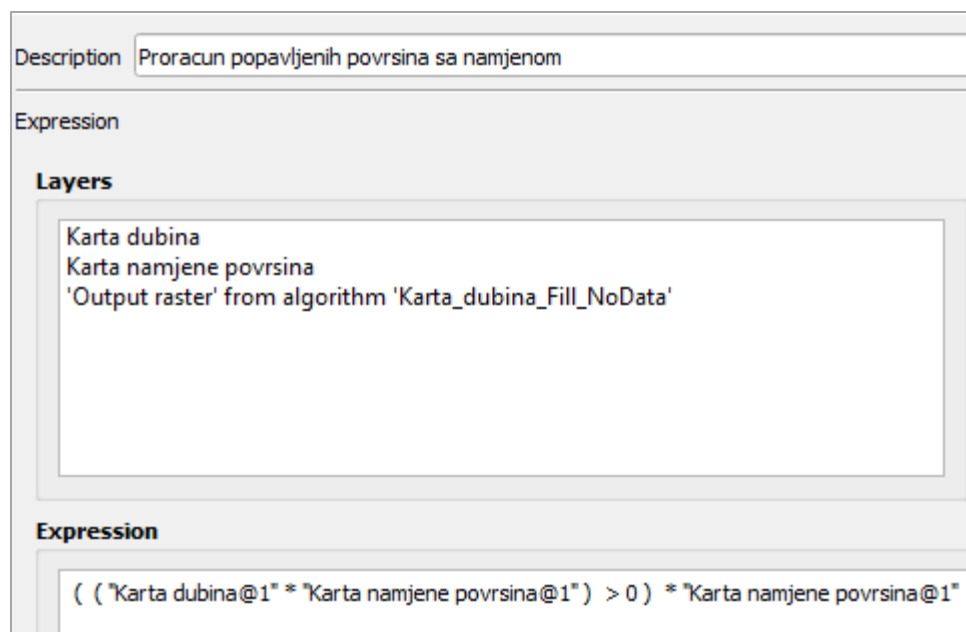
Ulazni parametri QGIS modela poljoprivrednih šteta su karta namjene površine (Corine Land Cover 2012) i karta hazarda/dubina plavljenja za poplavni događaj odabranog povratnog perioda, u rasterskom formatu. Na osnovu karte namjene površina pretpostavljen je prostorni raspored kultura, kao i njihovo procentualno učešće na poljoprivrednoj površini određenog tipa (Tabela 4). Pretpostavljeno je da kukuruz potpuno zauzima površine nenavodnjavanog obradivog zemljišta (CLC šifra 211) i obrađenog zemljišta (CLC šifra 242), nebalirano sijeno potpuno zauzima površinu pašnjaka (CLC šifra 231), dok se na poljoprivrednom zemljištu sa prirodnom vegetacijom (CLC šifra 243) nalaze kulture krompir i jabuke sa procentualnim učešćem u površini prikazanim u Tabeli 4. Ulazni podaci za proračun potencijalnih poljoprivrednih šteta su i pretpostavljene vrijednosti prihoda po kulturi (Tabela 3).

*Tabela 4. Poljoprivredna proizvodnja u potencijalni gubici usljed poplava*

<b>Kultura</b>	<b>CLC2012 šifra</b>	<b>Procenat učešća (%)</b>
Kukuruz	211+242	100
Krompir	243	62
Jabuke	243	38
Nebalirano sijeno	231	100

Nakon unošenja ulaznih parametara i podataka, naredni korak u QGIS algoritmu proračuna (Slika 19) je određivanje poplavljenog zemljišta sa namjenom koristeći opciju programa koja omogućava algebarske operacije sa veličinama koje se vezuju za piksele (ulaznih) rasterskih podloga - Raster Calculator (Slika 17). Potrebno je da ulazni rasteri prilikom međusobnog množenja imaju iste veličine piksela (Cell Size).





Slika 17. Određivanje poplavljenog zemljišta sa namjenom korišćenjem alatke Raster Calculator

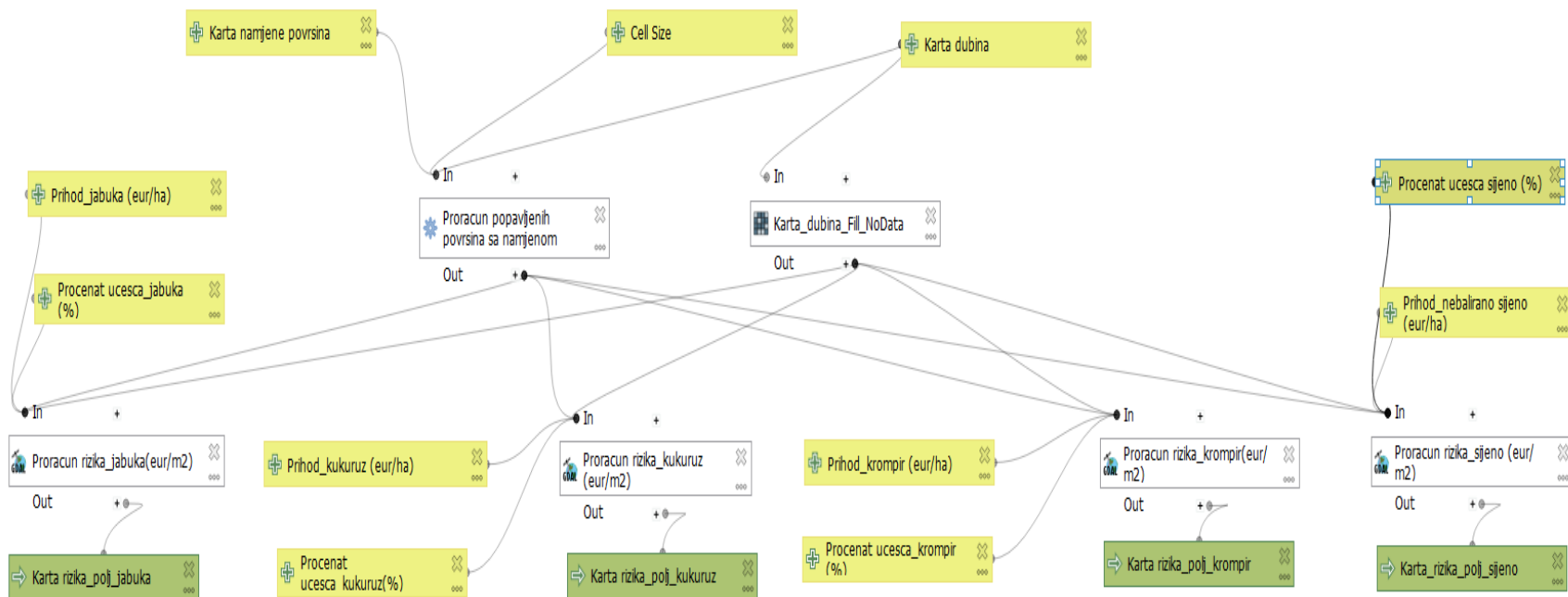
Potom se u alatki GDAL Raster Calculator računaju potencijalni gubici za svaku kulturu posebno, korišćenjem prethodno proračunatog rastera poplavljenog zemljišta i ostalih ulaznih parametara – karta dubina, vrijednost prihoda i procenat učešća kulture (Slika 18). Proračun se radi na nivou piksela. Radi bržeg proračuna, potrebno je prethodno na rasteru karte dubina pikselima bez vrijednosti dati vrijednost 0 (opcijom Fill No Data).

Kao rezultat ovog modela dobijaju se rasteri rizika za svaku kulturu posebno, gdje je vrijednost štete predstavljena po pikselu koji je veličine 1 m<sup>2</sup>, tj. izražava se u eur/m<sup>2</sup>.

Za dobijanje ukupne vrijednosti šteta po kulturi za odabranu vjerovatnoću prevazilaženja poplavnog događaja, potrebno je naknadno sabrati vrijednosti piksela izlaznih rastera.

```
' ( (A<=5) * (A>0) * (-0.000520939271968*(A**7)+0.010181639178594*(A**6)-0.079052118276437*(A**5)+0.303499863443808*(A**4)-0.562659347715232*(A**3)+0.298081710605991*(A**2)+0.568677709073144*A-0.000667749725752) + (A>5) * 1) * ( (B==211) + (B==242) ) / 10000 * '
|| @procenat_ucesca_kukuruz || '/100* ' || @prihod_kukuruz_eurha || ''
```

Slika 18. Primjer proračuna šteta na kukuruzu u alatki GDAL Raster Calculator



Slika 19. Algoritam proračuna direktnih poljoprivrednih šteta u QGIS-u

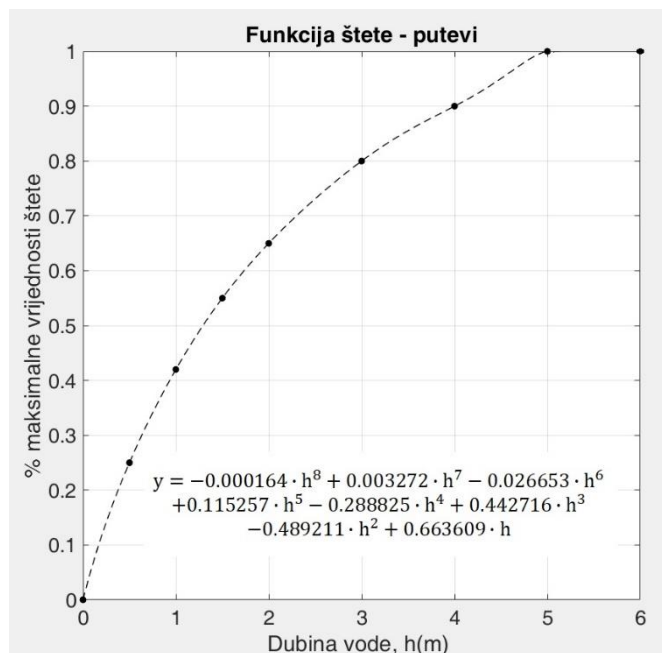
### 3.3.4. Razvoj modela za proračun šteta saobraćajne infrastrukture

Poplavne vode mogu uticati na saobraćajnu infrastrukturu na različite načine, uključujući direktne fizičke štete i indirektne štete. U ovom radu, saobraćajna infrastruktura je ograničena na putnu infrastrukturu i direktne materijalne štete.

Direktna oštećenja kolovoza najčešće su uzrokovana hidrodinamičkim silama bujičnih poplava i velikih poplavnih voda, najčešće na lokacijama mostova i propusta. Putevi mogu biti oštećeni klizištima uzrokovanim poplavama, odronima ili zakrčenjima i drugim vrstama otpada koji se prenosi vodom, posebno u slučaju malih, bujičnih potoka. Dugo trajanje potapanja pod poplavnom vodom može izazvati omekšavanje slojeva puta i nasipa i ugroziti strukturnu stabilnost puta. Tako poplave takođe često mogu uzrokovati značajne indirektne gubitke, kroz duge obilaske i vremena kašnjenja. Svi gore navedeni efekti postaju izraženiji za ruralne puteve, koji su najčešće izloženi intenzivnoj sezonskoj upotrebi, slabom saobraćaju i neredovnom održavanju [1].

U radu se razmatraju direktna oštećenja kolovoza uzrokovana statičnom vodom, s obzirom na prirodu poplava u slivu, ali i na brojne neizvjesnosti vezane za druge uzroke. Uzimaju se u obzir samo dubine vode, ne i trajanje plavljenja puta ili brzina vode.

Za proračun direktnih šteta na kolovozu usvojena je funkcija štete iz globalne baze podataka (Slika 20). Oštećenja kolovoza se obračunavaju u relativnim iznosima, tj. u procentima od maksimalne vrijednosti zamjene kolovoza. Svaka poplava na kolovozu preko 5 metara dubine prouzrokuje totalno oštećenje kolovoza.



Slika 20. Aproximirana funkcija šteta za puteve



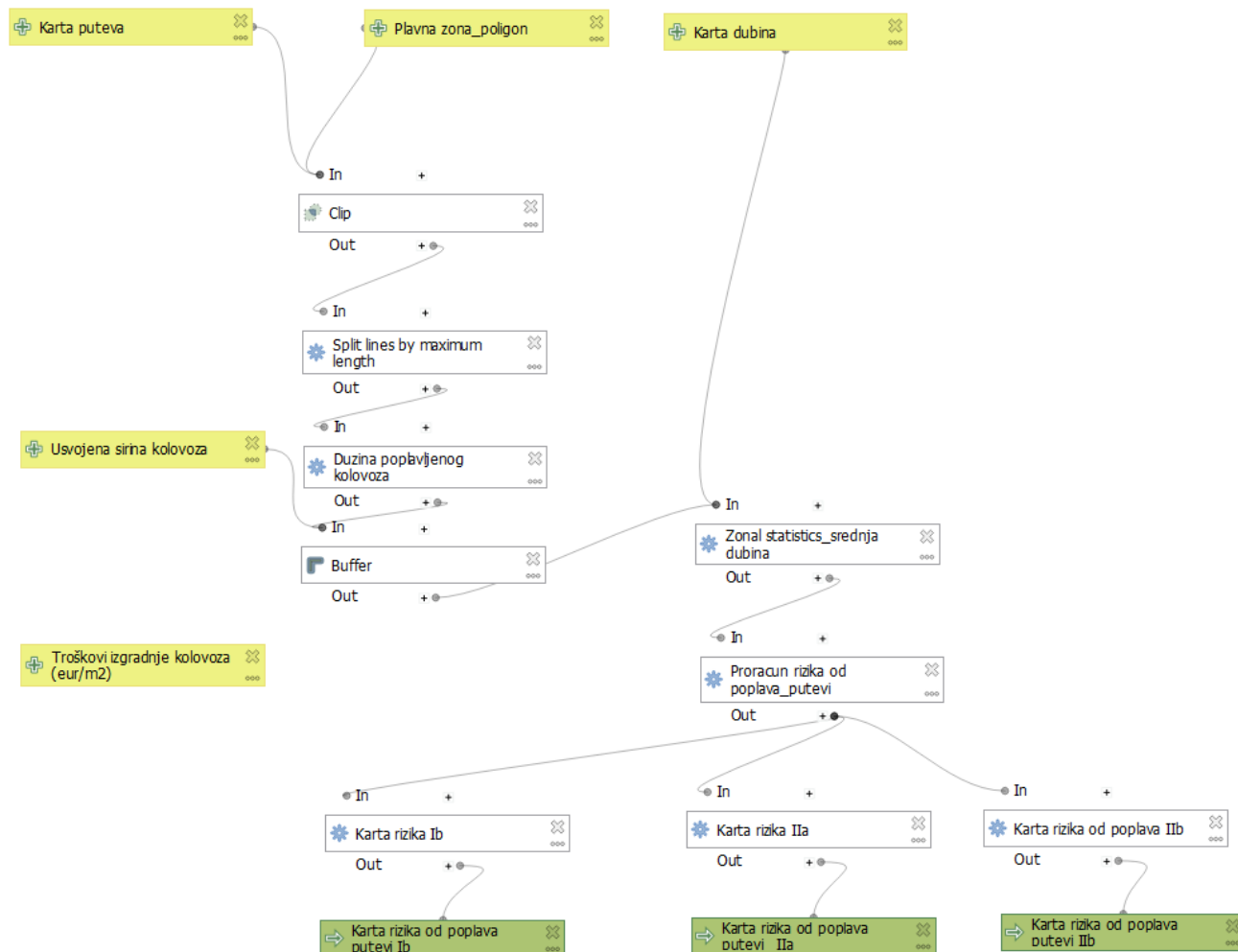
Za ulazne parametre QGIS modela proračuna štete na putevima korištene su karta sa dubinama plavljenja za poplavni događaj odabranog povratnog perioda u rasterskom formatu, karta državnih puteva u slivu Tamnave u vektorskom formatu (linijskom), kao i poligon granice plavne zone poplave odgovarajućeg povratnog perioda u vektorskom formatu. Pored ovih podloga, za proračun su korišteni podaci o maksimalnoj vrijednosti štete, kao i o usvojenoj širini puta po kategoriji.

Kao i u prethodnom istraživanju, usvojena je vrijednost maksimalne štete na kolovozu od 25 €/m<sup>2</sup> (ekvivalent 200.000 €/km odgovarajućih državnih puteva u slivu Tamnave). Ova vrijednost zasnovana je na početnim procjenama iz globalne baze podataka, a potom modificirana da bi odražavala stvarne troškove izgradnje u Srbiji i inflaciju (za 2020. godinu).

Analizom su obuhvaćeni samo državni putevi (kategorije Ib, IIa, IIb) koji imaju relativno slične specifikacije širine, pa je radi pojednostavljenja proračuna pretpostavljeno da će putevi imati istu širinu od 8 metara. Veliki broj lokalnih puteva je izložen poplavama, ali nisu izgrađeni i regulisani po standardima, pa je njihove štete teško kvantifikovati i predvidjeti.

Nakon unošenja ulaznih parametara i podataka, naredni korak algoritma proračuna u QGIS-u (slika 21) je određivanje dijelova putne mreže koji su poplavljani, što se obavlja isijecanjem karte puteva poligonom plavne zone (opcija Clip). Ovi dijelovi su potom podijeljeni na manje (maksimalne dužine 50 m) radi povećanja tačnosti proračuna. Ovako podijeljenoj linijskoj mreži poplavljenih puteva zadaju se usvojene širine puta. Za svaki formiran segment u vidu poligona određuje se srednja dubina korištenjem karti dubina u rasterskom formatu. Proračun rizika od poplava vrši se za svaki segment korištenjem alatke Field Calculator (slika 22).

Kao rezultat modela dobijaju se karte rizika za svaku kategoriju puta u vektorskom formatu, koji sadrži i kolonu sa vrijednostima štete po svakom segmentu. Njihovim naknadnim sabiranjem dobijaju se vrijednosti štete za svaku kategoriju puta za poplavu odabrane vjerovatnoće prevazilaženja.



Slika 21. Algoritam proračuna direktnih materijalnih šteta na saobraćajnoj infrastrukturi

```

IF ("_mean" <= 5, -0.000164441853292 * ("_mean" ^ 8) + 0.003271701982223 * ("_mean" ^ 7)
- 0.026653192138725 * ("_mean" ^ 6) + 0.115256883859163 * ("_mean" ^ 5)
- 0.288824784236959 * ("_mean" ^ 4) + 0.442715768391718 * ("_mean" ^ 3)
- 0.489211226615381 * ("_mean" ^ 2) + 0.663609290611123 * "_mean", 1) * $area *
@trokovi_izgradnje_kolovoza_eurm2

```

Slika 22. Primjer proračuna materijalne štete po segmentu puta u alatki Field Calculator

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

Korišćenjem prethodno opisanih modela rizika od poplava, dobijene su vrijednosti šteta za svaku razmatranu kategoriju, za povratne periode 20, 100 i 1000 godina. Rezultati su prikazani tabelarno, po kategoriji šteta, i grafički, u vidu karata rizika od poplava za područje sliva rijeke Tamnave, za pojedinačne kategorije šteta i razmatrani povratni period.

Potom je određena očekivana godišnja šteta i izvršeno je poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima prethodnog istraživanja kako bi se izvršila analiza osjetljivosti modela šteta na promjenu ulaznih podataka.

### 4.1. Karte rizika od poplava

#### 4.1.1. Gubici na objektima i njihovom inventaru

U tabelama 5. i 6. prikazani su broj ugroženih tipskih objekata (sa unutrašnjim plavljenjem), te vrijednosti šteta na objektima i njihovom inventaru za poplave razmatranih vjerovatnoća pojave, redom. Karte rizika od poplava povratnih perioda 1000, 100 i 20 godina za prikazane su u prilogima 8, 9. i 10. Vrijednosti šteta po objektima su kategorisane od minimalnih vrijednosti (označene zelenom bojom) do maksimalnih vrijednosti (označene crvenom bojom).

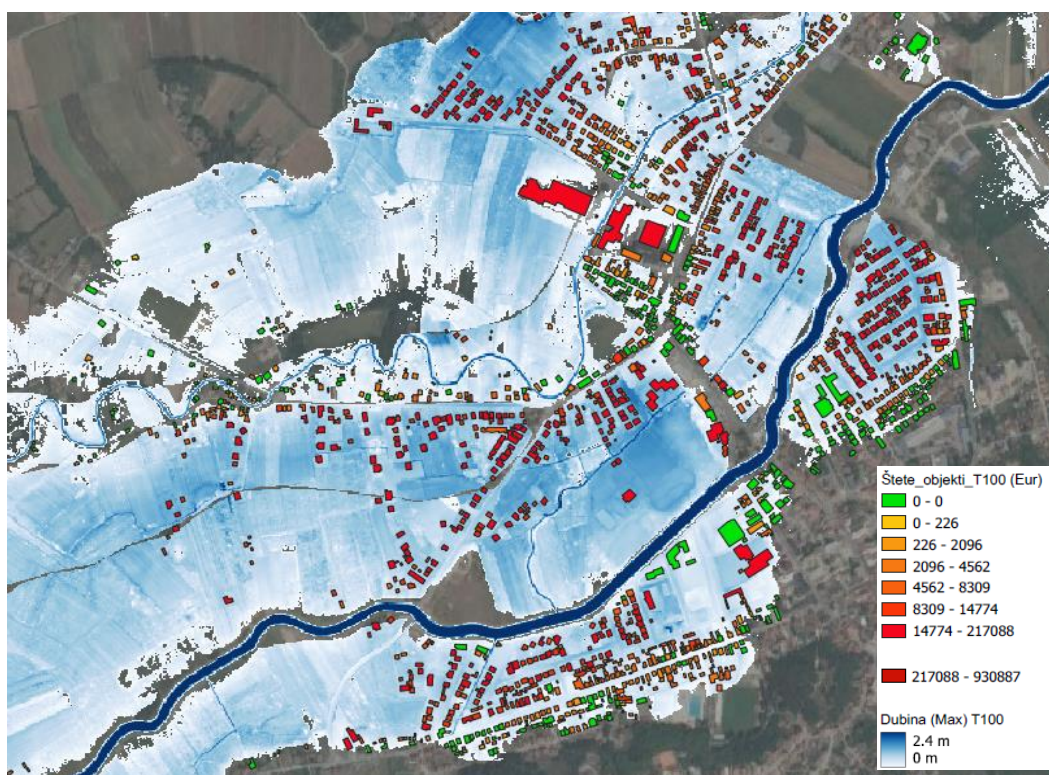
Na slici 23, prikazan je dio karte rizika od poplave povratnog perioda 100 godina za gradski centar Uba.

*Tabela 5. Prikaz poplavljenih objekata po tipu za pojave razmatranih vjerovatnoća*

Tip objekta	T20		T100		T1000	
	Broj objekata	Od ukupnog broja (%)	Broj objekata	Od ukupnog broja (%)	Broj objekata	Od ukupnog broja (%)
Stambeni objekti(svi tipovi)	1065	80.87	1788	82.78	2295	81.38
Komercijalni, prosvjetni, državni, institucionalni	103	7.82	143	6.62	191	6.77
Industrijski objekti (laki i proizvodni)	53	4.02	76	3.52	92	3.26
Saobraćajni objekti	1	0.08	1	0.05	2	0.07
Poljoprivredni objekti*	95	7.21	152	7.04	240	8.51
<b>UKUPNO</b>	<b>1317</b>	100.00	<b>2160</b>	100.00	<b>2820</b>	100.00

Tabela 6. Vrijednosti gubitaka na objektima i njihovom inventaru usljed poplava razmatranih vjerovatnoća pojave

Tip objekta	T20		T100		T1000	
	Šteta na objektima [€]	Šteta na inventaru [€]	Šteta na objektima [€]	Šteta na inventaru [€]	Šteta na objektima [€]	Šteta na inventaru [€]
Stambeni objekti(svi tipovi)	5,159,215	2,579,607	10,704,392	5,352,196	17,675,692	8,837,846
Komercijalni, prosvjetni, državni, institucionalni	339,773	339,773	626,125	626,125	1,424,131	1,424,131
Industrijski objekti (laki i proizvodni)	813,234	1,219,851	876,632	1,314,948	988,351	1,482,527
Saobraćajni objekti	399		3,664		10,852	
Poljoprivredni objekti*	179,913	118,168	335,114	235,769	728,540	543,532
<b>UKUPNO</b>	<b>6,492,534</b>	<b>4,257,399</b>	<b>12,545,928</b>	<b>7,529,038</b>	<b>20,827,567</b>	<b>12,288,036</b>



Slika 23. Karta rizika od poplave vjerovatnoće pojave 100 godina u centru Uba

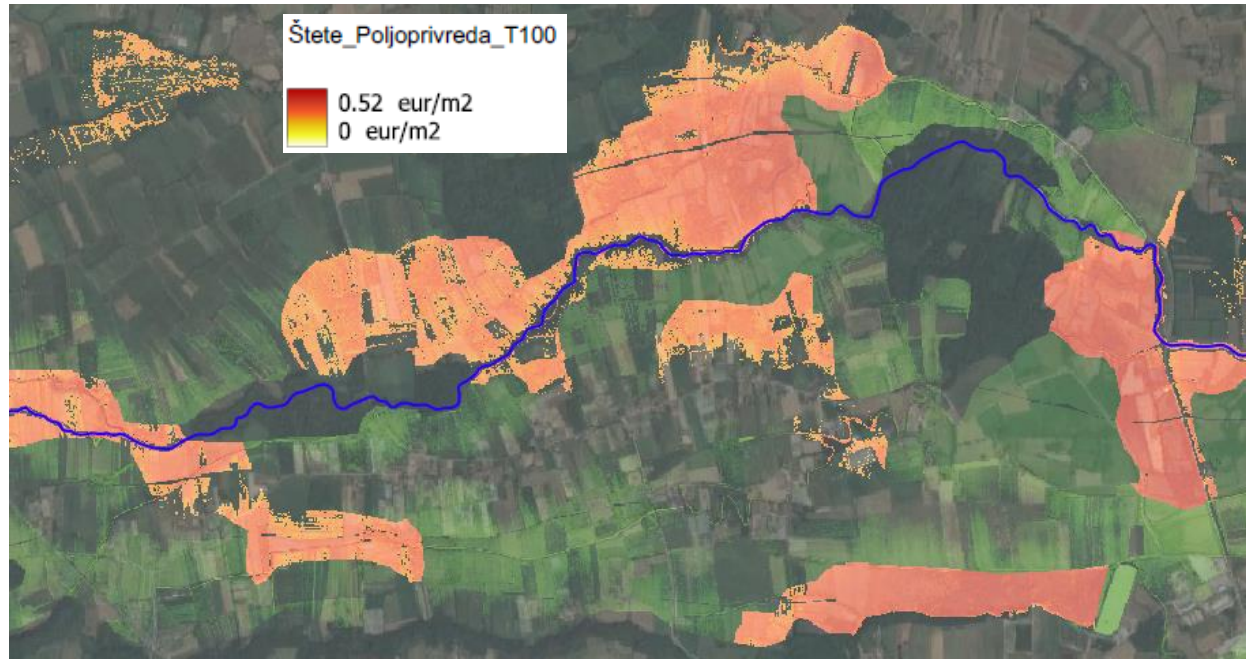
#### 4.1.2. Poljoprivredni gubici

Vrijednosti šteta od poplava karakterističnih povratnih perioda za svaku razmatranu poljoprivrednu kulturu nalaze se u tabeli 7. Očekivano, vrijednosti poljoprivrednih šteta, ukupne i pojedinačne po kulturi, najmanje su za poplave vjerovatnoće pojave 20 godina, a najveće za poplave vjerovatnoće pojave 1000 godina.

*Tabela 7. Vrijednosti poljoprivrednih gubitaka od poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave*

Poljoprivredna kultura	Štete za povratni period T20 [€]	Štete za povratni period T100 [€]	Štete za povratni period T1000 [€]
Kukuruz	570,731	775,126	1,075,111
Jabuka	1,108,577	1,479,922	2,043,451
Krompir	2,898,672	3,386,944	4,071,822
Nebalirano sijeno	35,708	38,567	42,083
<b>UKUPNO</b>	<b>4,613,688</b>	<b>5,680,559</b>	<b>7,232,467</b>

Karte rizika od poplava za vjerovatnoće pojave 1000, 100 i 20 godina za poljoprivredu prikazane su u priložima 11, 12. i 13. Na slici 24. prikazan je dio karte rizika od 100-godišnjih poplava za poljoprivredu u dolini rijeke Tamnave.



*Slika 24. Prikaz poljoprivrednih gubitaka od 100-godišnjih poplava u dolini rijeke Tamnave*



### 4.1.3. Gubici na saobraćajnoj infrastrukturi

Vrijednosti gubitaka usljed poplava na saobraćajnoj infrastrukturi ograničeni su na fizička oštećenja kolovoza. U tabeli 8. prikazane su poplavljene dužine puteva za različite poplavne događaje, po kategoriji i ukupno, kao i njihov procenat u odnosu na ukupnu dužinu puteva u slivu rijeke Tamnave. Primjetno je da je vrlo mali dio infrastrukturne mreže izložen poplavama – za 1000-godišnje poplave ukupna dužina poplavljenih puteva je 12.35 km što predstavlja svega 4.16% ukupne mreže državnih puteva u slivu (Slika 25).

Tabela 8. Izloženost mreže državnih puteva poplavama razmatrane vjerovatnoće pojave

Kategorija puta	Ukupna dužina puta (km)	Povratni period 20 godina		Povratni period 100 godina		Povratni period 1000 godina	
		Poplavljena dužina puta (km)	Od ukupnog broja (%)	Poplavljena dužina puta (km)	Od ukupnog broja (%)	Poplavljena dužina puta (km)	Od ukupnog broja (%)
<b>Ib</b>	37.79	0.04	0.11	0.19	0.50	0.26	0.69
<b>IIa</b>	140.5	3.47	2.47	4.67	3.32	7.2	5.12
<b>IIb</b>	118.25	3.64	3.08	4.36	3.69	4.89	4.14
<b>UKUPNO</b>	<b>296.54</b>	<b>7.15</b>	<b>2.41</b>	<b>9.22</b>	<b>3.11</b>	<b>12.35</b>	<b>4.16</b>

U tabeli 9. prikazane su vrijednosti gubitaka na saobraćajnoj infrastrukturi u zavisnosti od kategorije ili identifikacionog broja državnog puta i povratnog perioda poplavnog događaja. Karte rizika od poplava za povratne periode 1000, 100 i 20 godina prikazane su u prilogima 14, 15. i 16.

Tabela 9. Vrijednosti gubitaka na saobraćajnoj infrastrukturi od poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave

Kategorija javnog puta	Identifikacioni broj puta	Šteta na kolovozu za povratni period T20 [€]	Šteta na kolovozu za povratni period T100 [€]	Šteta na kolovozu za povratni period T1000 [€]
<b>Ib</b>	21	5,065	12,431	16,302
<b>IIa</b>	141	94,677	122,067	173,448
	145	14,102	16,205	53,292
	144	76,066	117,188	209,319
<b>IIb</b>	340	74,989	97,235	133,925
	341	81,425	123,659	192,447
	342	4,225	4,676	6,167
<b>UKUPNO</b>		<b>350,549</b>	<b>493,461</b>	<b>784,901</b>



Slika 25. Izloženost mreže državnih puteva u slivu rijeke Tamnave 1000-godišnjim poplavama

#### 4.1.4. Troškovi preseljenja stanovništva

Modelom šteta od poplava za indirektnu štetu u vidu troškova preseljenja ugroženog stanovništva dobijen je broj ugroženih objekata (svi objekti u granicama plavnih zona) kao i troškovi preseljenja ugroženog stanovništva u zavisnosti od vremena privremenog iseljavanja za poplave razmatranih povratnih perioda (Tabela 10).

Tabela 10. Troškovi raseljavanja stanovništva i broj pogođenih objekata kod poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave

T20		T100		T1000	
Broj pogođenih stambenih objekata	Troškovi raseljavanja [€]	Broj pogođenih stambenih objekata	Troškovi raseljavanja [€]	Broj pogođenih stambenih objekata	Troškovi raseljavanja [€]
1,730	1,394,796	2,388	2,848,498	2,753	4,870,116

#### 4.2. Očekivana godišnja šteta

Nakon određivanja ukupnih šteta za svaku kategoriju usljed razmatranih karakterističnih poplava (Tabela 11), rizik od poplava se može izraziti i preko očekivane godišnje štete. U tabeli 12. prikazan je način određivanja očekivane godišnje štete na objektima numeričkom integracijom funkcije štete  $S(P)$  koja predstavlja štetu usljed poplavnog događaja vjerovatnoće pojave  $P$ .

U tabeli 13. nalaze se očekivane godišnje štete po kategorijama, kao i procentualno učešće svake kategorije u ukupnoj šteti. Najveći dio ukupne očekivane godišnje štete čine štete na konstrukciji objekta (42.1%), dok najmanji udio u očekivanoj godišnjoj šteti imaju štete na putevima (1.8%).

*Tabela 11. Vrijednosti ukupnih šteta po kategoriji usljed poplava razmatranih povratnih perioda u slivu rijeke Tamnave*

Povratni period [god]	Kategorija štete				
	Štete na objektima [€]	Štete na inventaru [€]	Poljoprivredne štete [€]	Štete na putevima [€]	Troškovi preseljenja stanovništa [€]
20	6,492,534	4,257,399	4,613,688	350,549	1,394,796
100	12,545,928	7,529,038	5,680,559	493,461	2,848,498
1000	20,827,567	12,288,036	7,232,467	784,901	4,870,116
<b>UKUPNO</b>	<b>39,866,028</b>	<b>24,074,473</b>	<b>17,526,715</b>	<b>1,628,911</b>	<b>9,113,410</b>

*Tabela 12. Proračun očekivane godišnje štete na objektima numeričkom integracijom funkcije  $S(P_i)$*

$T_i$ [god]	$P_i$ [1/god]	$\Delta P_i$ [1/god]	$S(P_i)$ [€]	$S_{sr} * \Delta P_i$ [€]	$\Sigma S_{sr} * \Delta P_i$ [€]
20	0.05		6,492,534		
100	0.01	0.04	12,545,928	380,769	380,769
1000	0.001	0.009	20,827,567	150,181	<b>530,950</b>



Tabela 13. Vrijednosti očekivane godišnje štete po kategoriji

Kategorija štete	Očekivana godišnja šteta [€]	Procenat od ukupne očekivane godišnje štete [%]
Objekti	530,950	42.1
Inventar	324,906	25.7
Poljoprivreda	263,994	20.9
Putevi	22,633	1.8
Preseljenje stanovništva	119,600	9.5
<b>UKUPNO</b>	<b>1,262,082</b>	<b>100</b>

#### 4.3. Poređenje sa rezultatima prethodnog istraživanja

Model rizika od poplava razvijen u radu velikim dijelom se oslanja na prethodno istraživanje publikovano u doktorskoj disertaciji Ranka Pudara. Kao što je objašnjeno u prethodnom poglavlju, proračun u radu je izvršen za iste kategorije šteta, korištene su iste podloge o recipijentima rizika (objekti, putevi, stanovništvo) i namjeni zemljišta, iste funkcije šteta i statistički podaci o vrijednostima maksimalnih šteta za svaku kategoriju kao i u prethodnom istraživanju. U oba slučaja, i metodologija je slična, zasnovana na proračunu potencijalnih šteta i srednjih dubina za pojedinačne objekte/poligone manjih površina, te njihovo sabiranje da bi se dobila ukupna potencijalna šteta za kategoriju. Kod proračuna poljoprivrednih šteta, detaljniji proračun je urađen analizom u radu gdje se potencijalne štete računaju po pikselu veličine 1 m<sup>2</sup>, dok su u prethodnom istraživanju određene za poligone većih površina.

Najveću razliku u modelima šteta čine hidrološko-hidrauličke podloge – u doktorskoj disertaciji Ranka Pudara korištene su karte opasnosti od poplava dobijene linijskim modeliranjem, dok su u ovom radu korištene hidrauličke podloge dobijene složenijim modeliranjem. Zbog tog se smatra da upravo promjene parametara hidrološkog i hidrauličkog modeliranja u proračunu šteta najviše doprinose u značajnoj razlici u rezultatima ovog i prethodnog modela šteta. Poređenje rezultata izvršeno je u nastavku.

Tabela 14. Poređenje vrijednosti šteta na objektima i inventaru dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja

Povratni period [god]	Rezultati rada			Rezultati prethodnog istraživanja		
	Broj objekata	Šteta na objektima [€]	Šteta na inventaru [€]	Broj objekata	Šteta na objektima [€]	Šteta na inventaru [€]
20	1317	6,492,534	4,257,399	568	2,467,790	1,869,942
100	2160	12,545,928	7,529,038	3072	34,630,968	27,598,840
1000	2820	20,827,567	12,288,036	5984	74,953,169	56,132,943

Tabela 15. Poređenje prosječnih vrijednosti šteta na objektima i inventaru dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja

Povratni period [god]	Prosječna vrijednost štete po objektu (konstrukcija +inventar) [€]	Prosječna vrijednost štete po objektu (konstrukcija +inventar) iz prethodnog istraživanja [€]
20	8,162.4	7,636.9
100	9,293.9	20,257.1
1000	11,743.1	21,906.1

Na osnovu rezultata tabele 14, može se primjetiti da su za 20-ogodišnje poplave vrijednosti šteta na objektima i broj ugroženih objekata veći za novi model u odnosu na prethodni, dok su za poplave povratnog perioda 100 i 1000 godina manji u odnosu na prethodni proračun. Prosječne vrijednosti štete po objektu za poplave povratnih perioda 100 i 1000 godina manje su oko dva puta u odnosu na vrijednosti prethodnog istraživanja, dok je za povratni period 20 godina prosječna vrijednost štete po objektu tek malo veća u odnosu na prethodnu (Tabela 15).

Tabela 16. Poređenje vrijednosti poljoprivrednih šteta dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja

Povratni period [god]	Ukupne poljoprivredne štete [€]	Ukupne poljoprivredne štete dobijene prethodnim istraživanjem [€]
20	4,613,688	5,839,652
100	5,680,559	12,725,355
1,000	7,232,467	13,685,515

Slično se može primijetiti i na osnovu poređenja poljoprivrednih gubitaka – oko dva puta su manje vrijednosti šteta dobijenih novim modelom za poplave povratnog perioda 100 i 1000 godina, dok su manje razlike između vrijednosti poljoprivrednih gubitaka usljed 20-ogodišnjih poplava (Tabela 16).

*Tabela 17. Poređenje vrijednosti šteta na saobraćajnoj infrastrukturi dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja*

Povratni period [god]	Rezultati rada			Rezultati prethodnog istraživanja		
	Poplavljena dužina puta [km]	Šteta na kolovozu [€]	Prosječna vrijednost štete po poplavljenoj dužini [€/km]	Poplavljena dužina puta [km]	Šteta na kolovozu [€]	Prosječna vrijednost štete po poplavljenoj dužini [€/km]
20	7.14	350,549	49,068	1.54	47,149	30,616
100	9.22	493,461	53,533	11.78	1,012,275	85,932
1000	12.35	784,901	63,580	16.33	1,890,190	115,750

Iz tabele 17, mogu se primjetiti značajno veće vrijednosti poplavljene dužine puta i vrijednosti štete na kolovozu u odnosu na prethodno istraživanje za poplave povratnog perioda 20 godina. Slično kao i za druge kategorije šteta, i u ovom slučaju su za 100-godišnje i 1000-godišnje poplave veće vrijednosti iz prethodne studije, u sličnom omjeru.

*Tabela 18. Poređenje vrijednosti troškova raseljavanja stanovništva dobijenih u radu sa vrijednostima iz prethodnog istraživanja*

Povratni period (god)	Rezultati rada		Rezultati prethodnog istraživanja	
	Broj pogođenih stambenih objekata	Troškovi raseljavanja (€)	Broj pogođenih stambenih objekata	Troškovi raseljavanja (€)
20	1,730	1,394,796	435	395,142
100	2,388	2,848,498	1,986	6,033,820
1000	2,753	4,870,116	3,184	16,639,470

I u kategoriji indirektnih šteta, primjećuju se slični odnosi između rezultata nove i ranije analize – nekoliko puta su veće nove vrijednosti troškova u odnosu na prethodne za 20-ogodišnje poplave, dok su troškovi raseljavanja iz prethodne studije veći oko dva puta za poplave povratnog perioda 100 godina, odnosno oko 3,5 puta za poplave povratnog perioda 1000 godina.

U odnosu na karte hazarda iz prethodne analize, inovirane karte hazarda za povratne periode 100 i 1000 godina imaju manje plavne zone sa manjim dubinama, dok su inovirane karte hazarda za povratni period većih plavnih zona i dubina. Na to ukazuju dobijeni rezultati šteta koji su u direktnoj zavisnosti od poplavnih dubina.

## 5. ZAKLJUČAK

Procjenu rizika od poplava karakterišu brojne neizvjesnosti, kako neizvjesnosti u procjeni opasnosti od poplava, tako i u procjeni šteta od poplava. Rizik od poplava, kako je prethodno navedeno u tekstu, izražava se kao očekivana godišnja šteta koja se dobija integracijom proizvoda vjerovatnoće poplavnog događaja i štete koja nastaje tokom istog događaja. Ove veličine imaju izrazito nelinearni i stohastički karakter - njihove vrijednosti dobijaju se korišćenjem brojnih nelinearnih zavisnosti odnosno numeričkim rešavanjem jednačina u kojima figurišu brojni parametri koji se mogu procijentati samo sa određenim intervalom sigurnosti (jednačine i podloge hidrološkog modela, jednačine i podloge modela strujanja vode i funkcije šteta odnosno parametri za definisanje ovih funkcija).

Statističke hidrološke analize mogu biti nepouzdana usljed nedovoljnog broja ili kvaliteta podataka, a isto važi i za ekonomske analize. Numerički hidraulički modeli, koji se koriste za kartiranje plavnih zona, zasnivaju se na uprošćenju predstavi složenih prirodnih procesa. Takođe i inženjerska intuicija i procjena, nezaobilazne u analizi rizika od poplava, dodatno doprinose neizvjesnosti. Za sliv rijeke Tamnave, postoje podaci o istorijskim poplavama, ali je zbog nesistematičnog upravljanja ovim podacima teško sa velikom pouzdanošću odrediti parametre u hidrološkim i hidrauličkim modelima koji su parametri u proračunu rizika. Zbog svih neizvjesnosti koje prate analize rizika od poplava, svako istraživanje, uključujući i ovo, je značajno i predstavlja novi izvor podataka za buduće analize.

U ovom radu razvijena je metodologija za proračun rizika od poplava na slivu rijeke Tamnave i postojeći sistem zaštite od velikih voda na slivu. Modeli proračuna razvijeni u QGIS okruženju omogućavaju brži i jednostavniji proračun šteta po kategorijama ranjivosti za poplavne događaje razmatranih povratnih perioda. Ukoliko bi došlo do inoviranja bilo kog od ulaznih podataka, proračun rizika bi se mogao efikasno i automatizovano ponoviti promjenom ulaznog parametra u modelu. Na ovaj način, olakšana je analiza osjetljivosti proračuna rizika od poplava na promjenu parametara. Uz manje modifikacije i prilagođavanje raspoloživim podacima, postoji mogućnost da se formirani modeli primijene i za proračun šteta od poplava na drugim slivovima.

Važan dio rada je i poređenje dobijenih rezultata sa rezultatima dobijenim u prethodnom istraživanju dr Ranka Pudara za isti sliv. Prilikom formiranja modela za proračun u ovom radu su korišćene iste početne pretpostavke, ekonomske podloge (funkcije šteta i ostale ekonomski parametri), prikupljeni podaci o recipijentima rizika kao i u prethodnom istraživanju, dok su inovirani hidrološki i hidraulički parametri. Funkcije šteta korišćene u proračunu aproksimirane su polinomom višeg stepena, dok je u prethodnom istraživanju izvršena linearna interpolacija između tačaka funkcije. Prilikom proračuna poljoprivrednih šteta, u radu je rađen detaljniji proračun šteta po pikselu ( $1m^2$ ), dok je u prethodnom istraživanju proračun rađen za poligone većih površina.

Za poplavne događaje povratnih perioda 100 i 1000 godina, čije su karte opasnosti korišćene u doktorskoj disertaciji šire u odnosu na zone dobijene novijom analizom, vrijednosti šteta iz prethodnih analiza su i po nekoliko puta veće u odnosu na vrijednosti dobijene u ovom radu. Za 20-ogodišnje poplave, čije su karte opasnosti korišćene u doktorskoj disertaciji manje u odnosu

na inovirane, vrijednosti šteta su posljedično manje u odnosu na rezultate dobijene u ovom radu, sa izuzetkom poljoprivrednih šteta. Može se zaključiti da na velike razlike u rezultatima u velikoj mjeri utiče promjena u hidrološko-hidrauličkim parametrima, a mnogo manje sam pristup modeliranju, koji nije značajno izmijenjen.

## 6. LITERATURA

1. Ranko S. Pudar, Vrednovanje obnove rečnih ekoloških sistema u funkciji smanjenja rizika od poplava, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2021.
2. Jovanović, M., Todorović, A., Rodić, M., Kartiranje rizika od poplava, Vodoprivreda, Vol. 41, br. 1-3, 2009.
3. Miodrag B. Jovanović, Regulacija reka – radovi i građevine, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2022.
4. Marina Babić Mladenović, Uređenje vodotokova, Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd, 2018.
5. Jovanović, M., Prodanović, D., Plavšić, J., Rosić, N., Srna, P., & Radovanović, M. (2014). Jedan primer kartiranja rizika od poplava u Srbiji. *Voda i sanitarna tehnika*, 44(5–6), 63–70.
6. Olesen, L., Löwe, R., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2017). Flood damage assessment – Literature review and recommended procedure. Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities, Clayton, Vic., Australia.
7. Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R. and Thielen, A. (2010) 'Review article "Assessment of economic flood damage"', *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(8), pp.1697–1724. doi: 10.5194/nhess-10-1697-2010.
8. Huizinga, J., Moel, H. de, & Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. Joint Research Centre (European Commission). DOI: 10.2760/16510.
9. FEMA (2011). Supplement to the Benefit-Cost Analysis Reference Guide. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, USA.

## **7. BIOGRAFIJA**

Jelena Čupeljić je rođena 14.09.1992. u Banjaluci. Završila je Gimanziju u Banjaluci 2011. godine.

Diplomirala je na građevinskom odsjeku, smjer hidrotehnika na Arhitektonsko-građevinsko-geodetskom fakultetu Univerziteta u Banjoj Luci 2019. godine sa završnim radom „Idejno rješenje kanalizacione mreže naselja Dvorišta, opština Pale“.

U periodu od 2019. do 2022. radila je u Institutu za građevinarstvo u Banjaluci na poziciji projektanta za hidrotehniku.

## **8. PRILOZI**

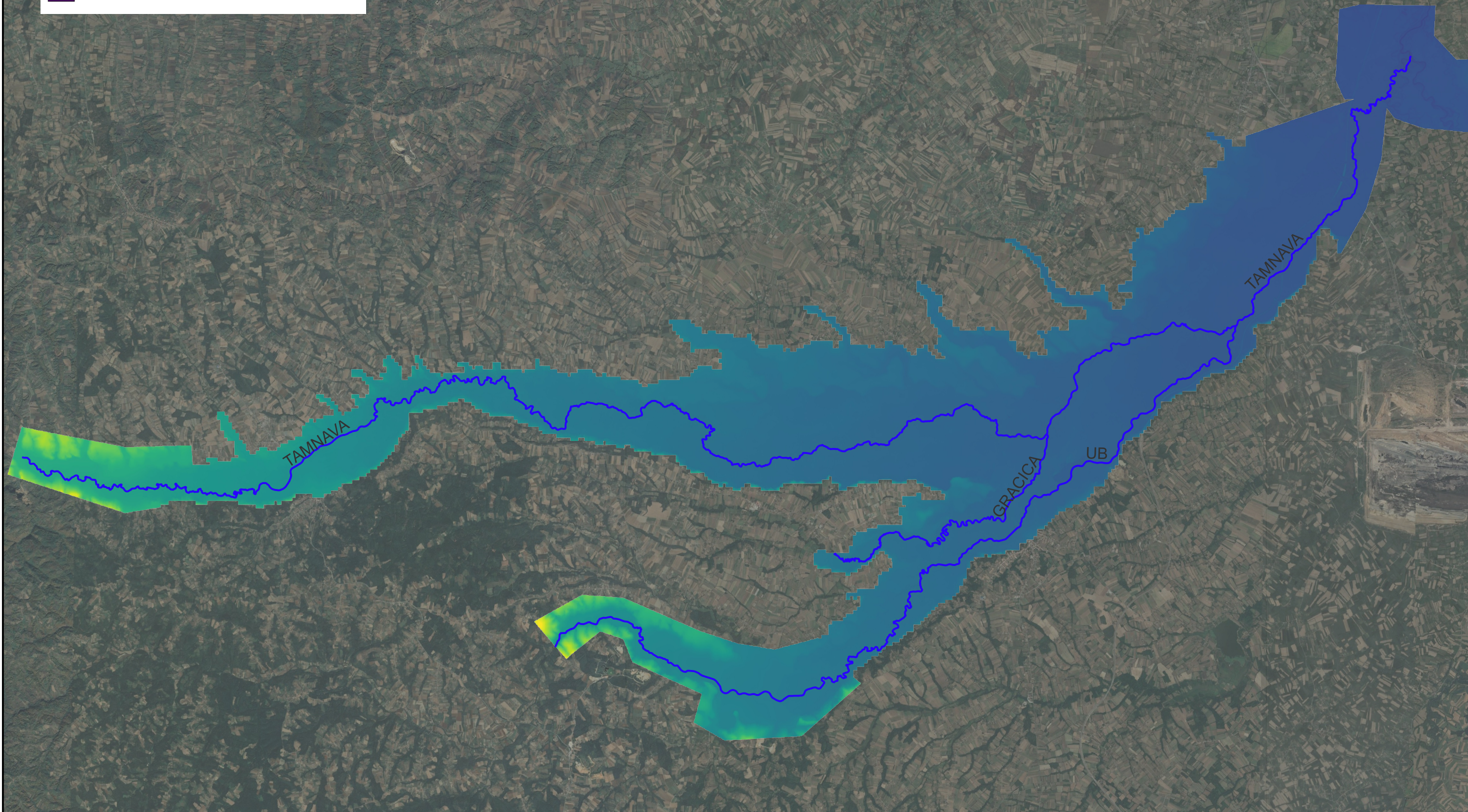




**Legenda**

— Osovine tokova

DMT\_Tamnava



Prilog 1.  
Digitalni model terena istraživanog područja



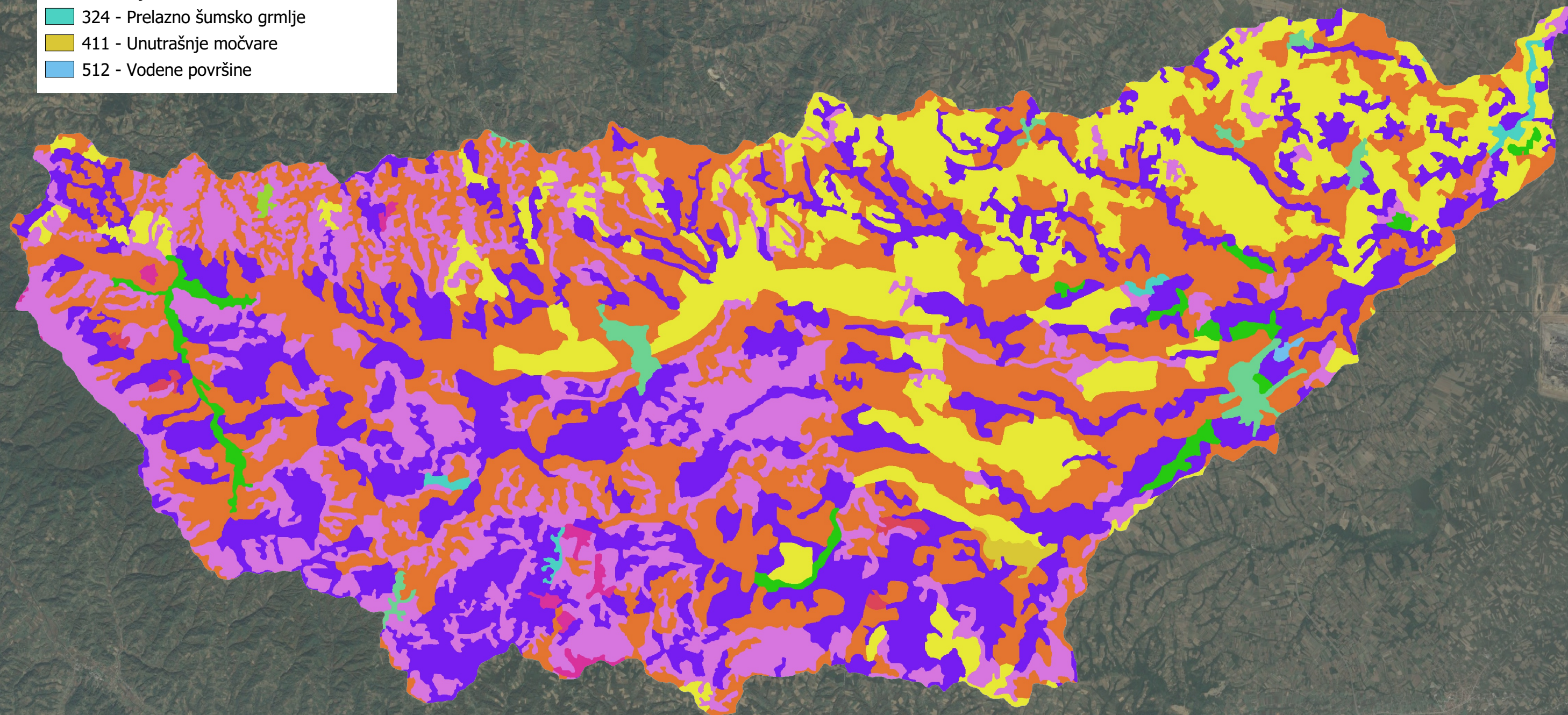




### Legenda

Corine Land Cover\_2012

- 112 - Diskontinuirano urbano tkivo
- 131 - Mjesta vađenja minerala
- 211 - Nenavodnjavano obradivo zemljište
- 222 - Voćke i plntaže bobičastog voća
- 231 - Pašnjaci
- 242 - složeni obrasci obrađivanja
- 243 - Pretežno poljoprivredno zemljište
- 311 - Širokolisne šume
- 313 - Mješovite šume
- 324 - Prelazno šumsko grmlje
- 411 - Unutrašnje močvare
- 512 - Vodene površine



Prilog 2.  
Karta zemljišnog pokrivača - sliv rijeke Tamnave

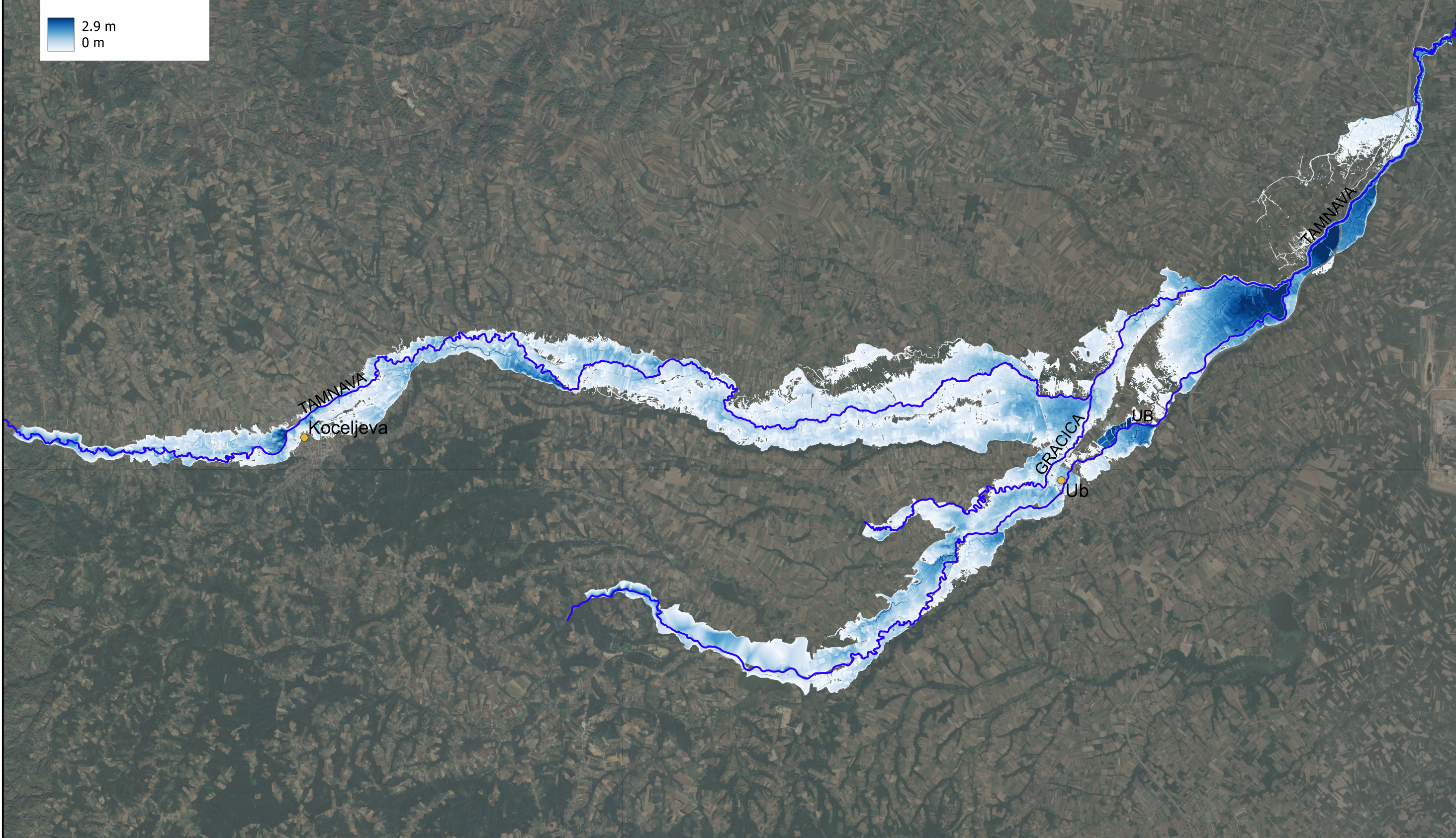


**Legenda**

— Osovine tokova

● Gradovi

Dubina (Max) T1000



Prilog 3.  
Karta hazarda za povratni period 1000 godina,  
sliv rijeke Tamnave



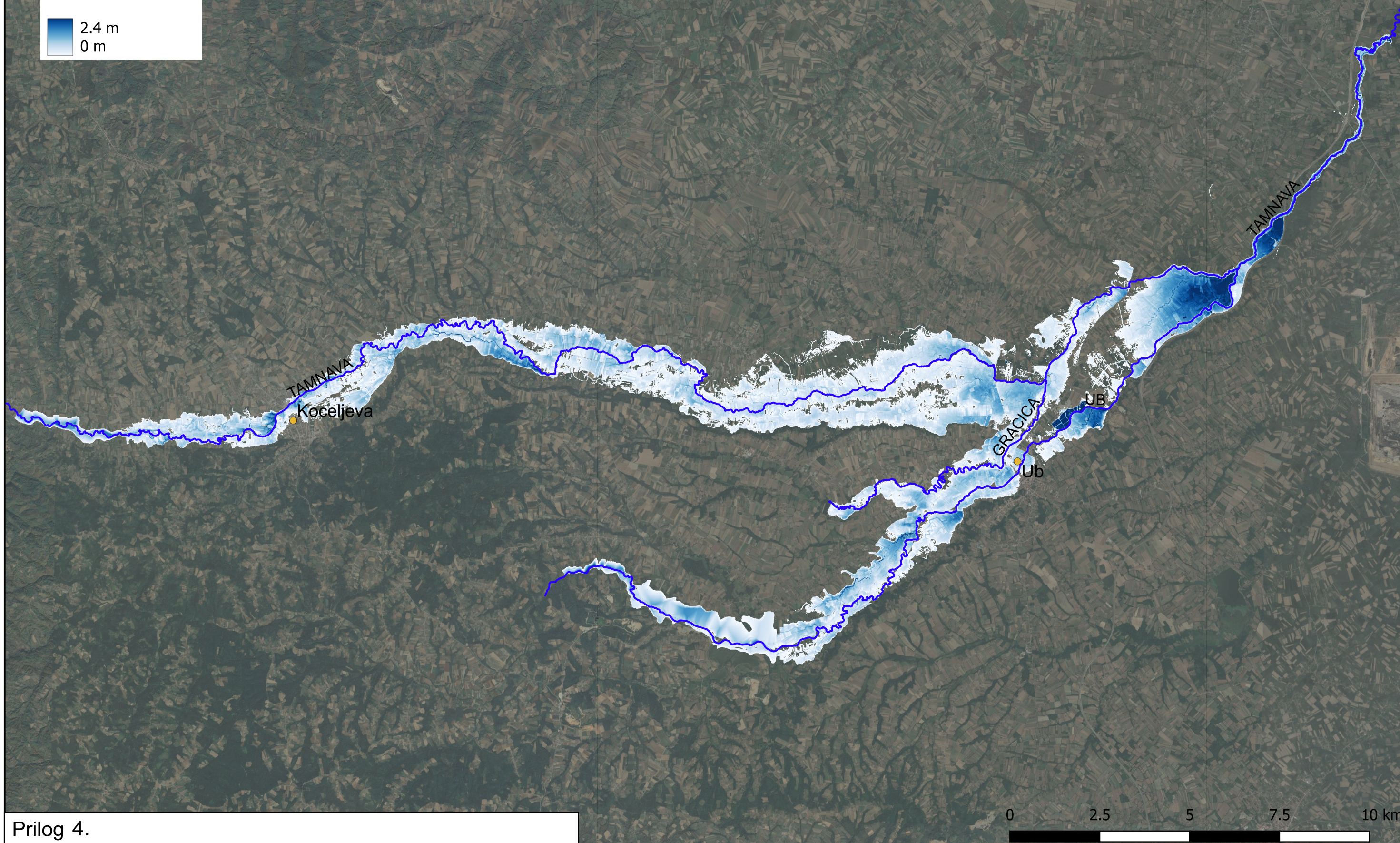
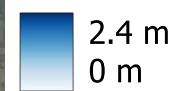


**Legenda**

— Osovine tokova

● Gradovi

Dubina (Max) T100



Prilog 4.  
Karta hazarda za povratni period 100 godina,  
sliv rijeke Tamnave

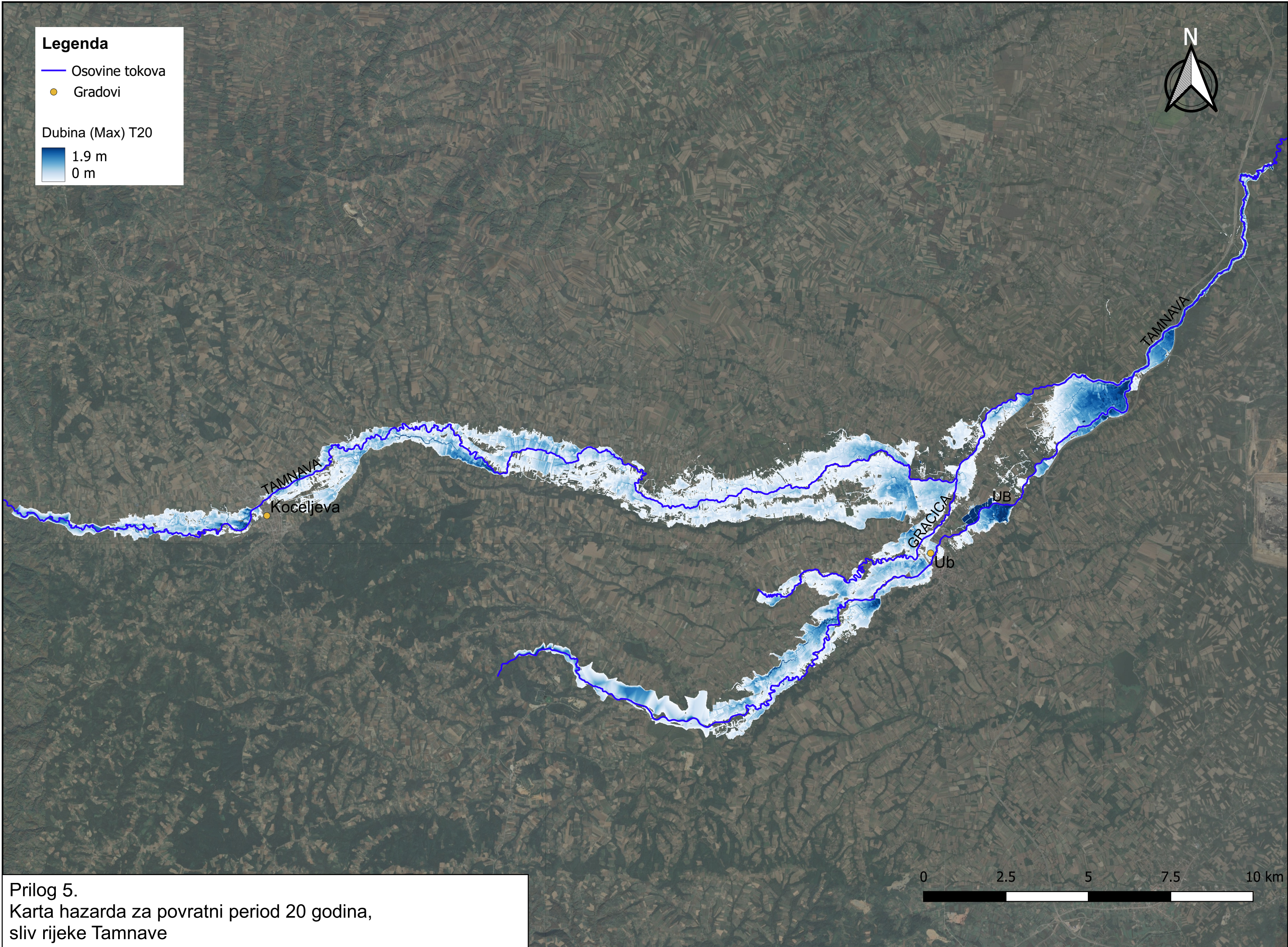


**Legenda**

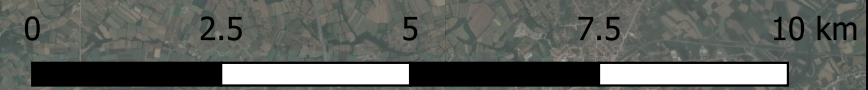
- Osovine tokova
- Gradovi

Dubina (Max) T20

1.9 m
0 m



Prilog 5.  
Karta hazarda za povratni period 20 godina,  
sliv rijeke Tamnave





**Legenda**

- Osovine tokova
- Objekti\_Tamna\_Ub
- Industrijski objekti
- Komerrijalni objekti
- Poljoprivredni objekti
- Saobraćajni objekti
- Stambeni objekti








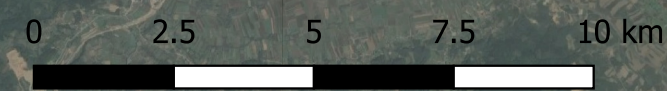
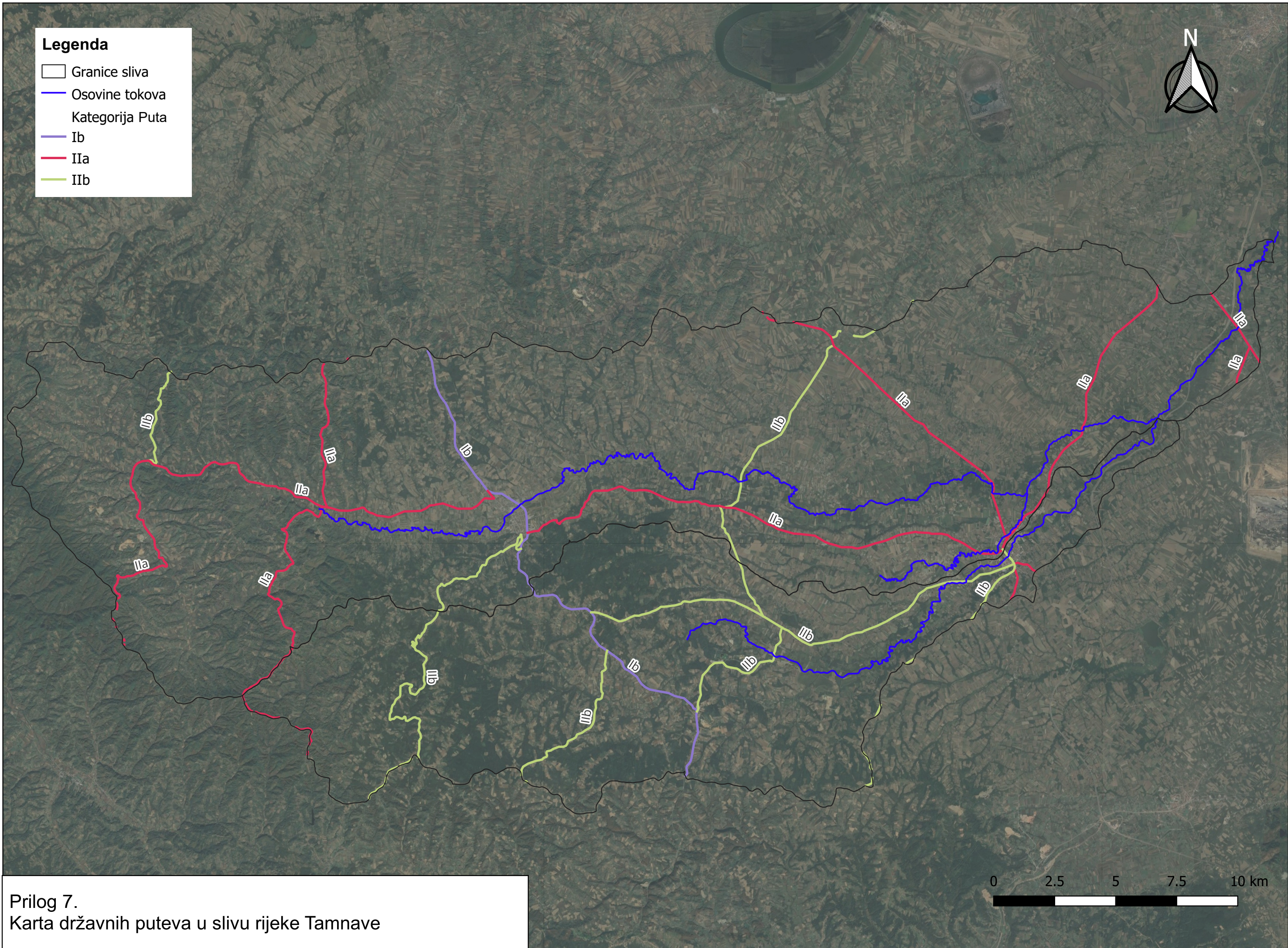
Prilog 6.  
Objekti u slivu rijeke Tamnave





**Legenda**

-  Granice sliva
-  Osovine tokova
- Kategorija Puta**
-  Ib
-  IIa
-  IIb

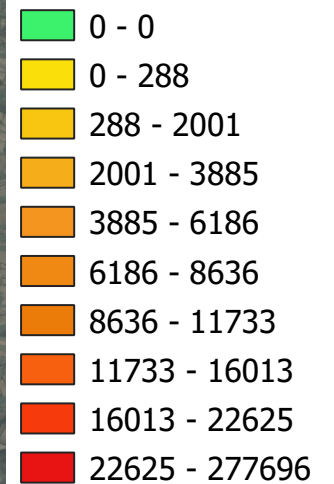


Prilog 7.  
Karta državnih puteva u slivu rijeke Tamnave

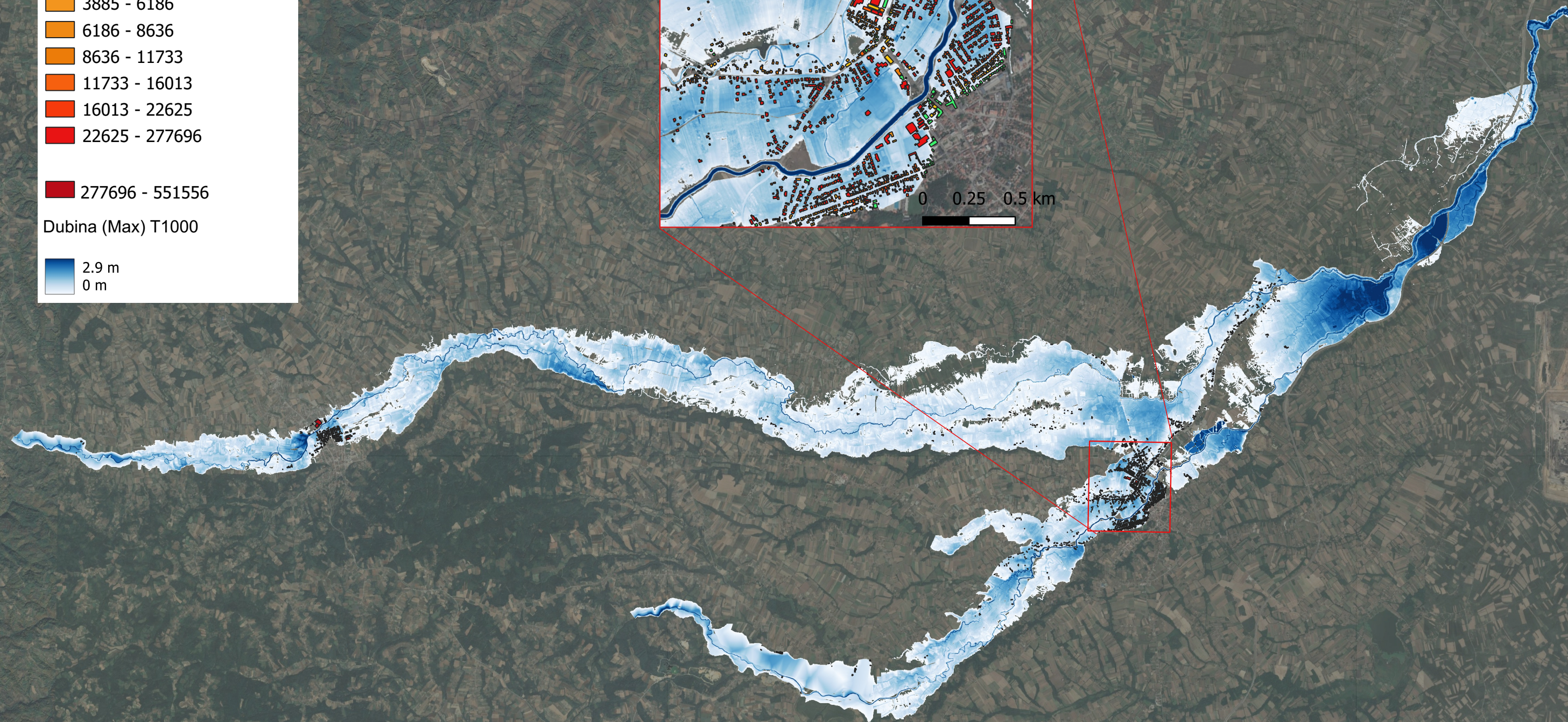
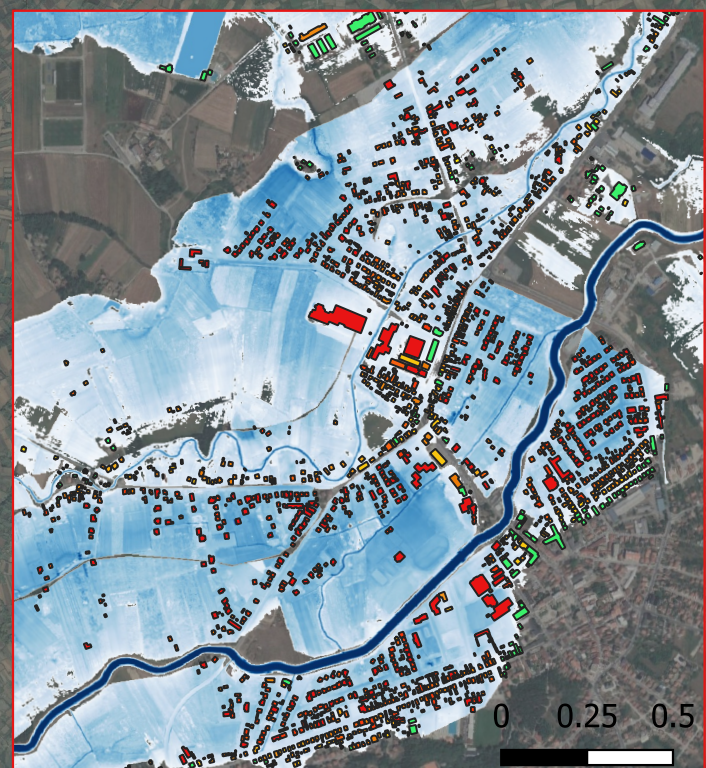
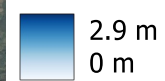


### Štete na objektima T1000

Štete\_objekti\_T1000 (Eur)



Dubina (Max) T1000

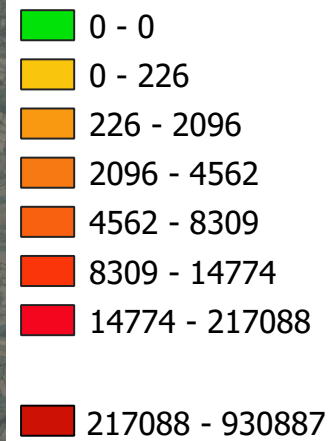


Prilog 8.  
Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 1000 godina

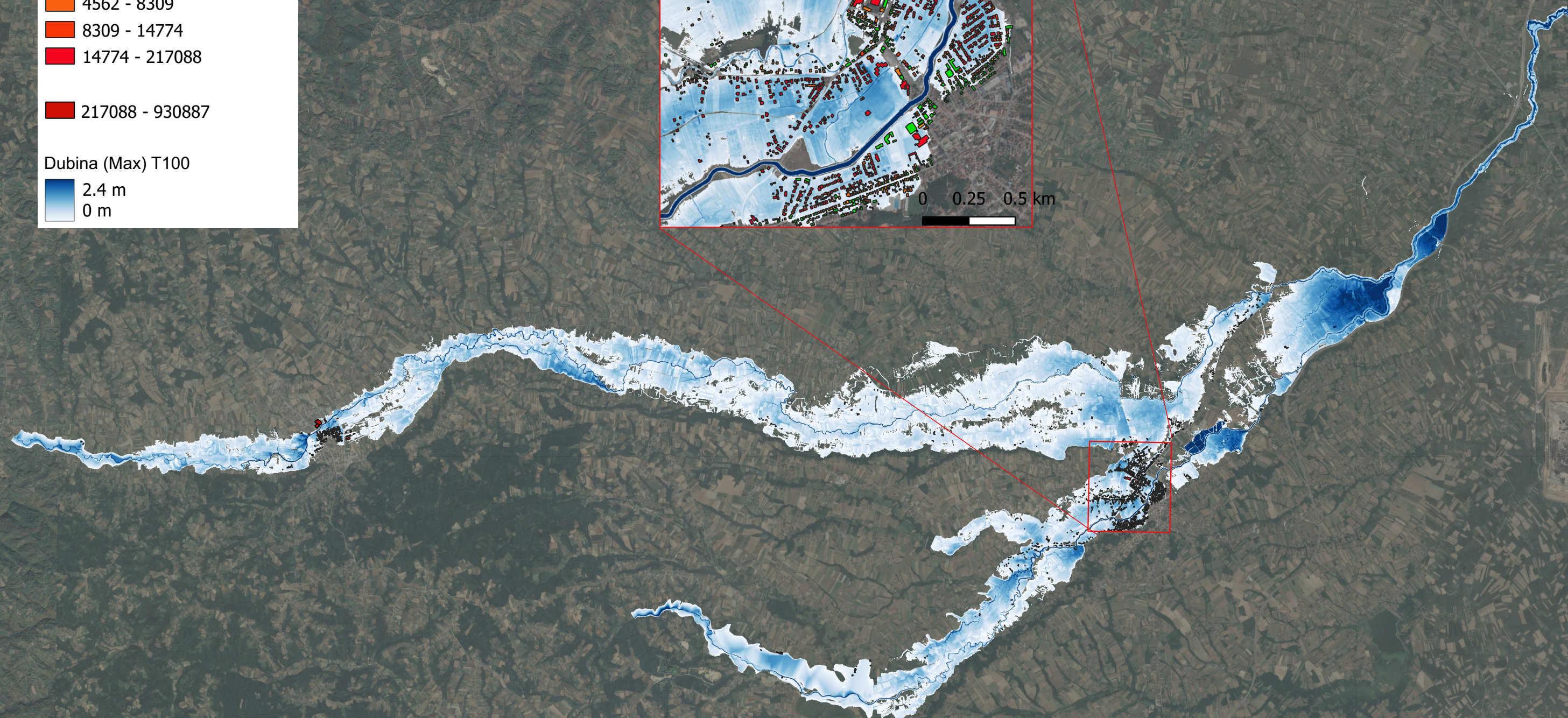
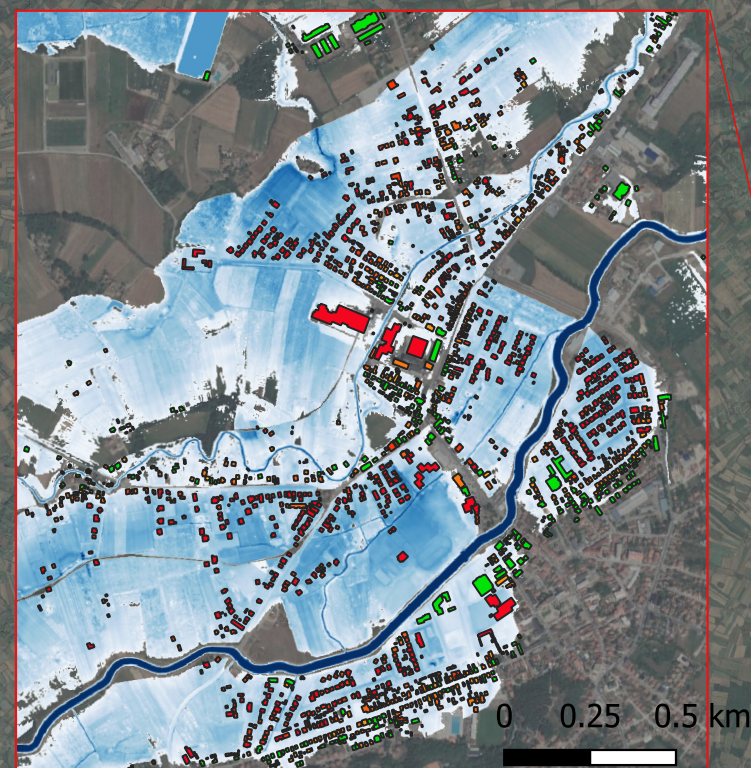


### Štete na objektima T100

Štete\_objekti\_T100 (Eur)



Dubina (Max) T100

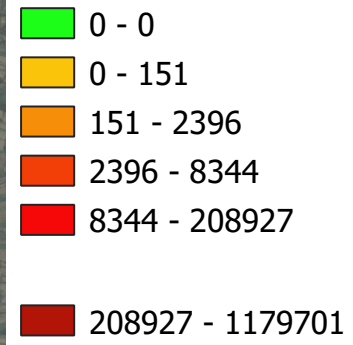


Prilog 9.  
Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 100 godina

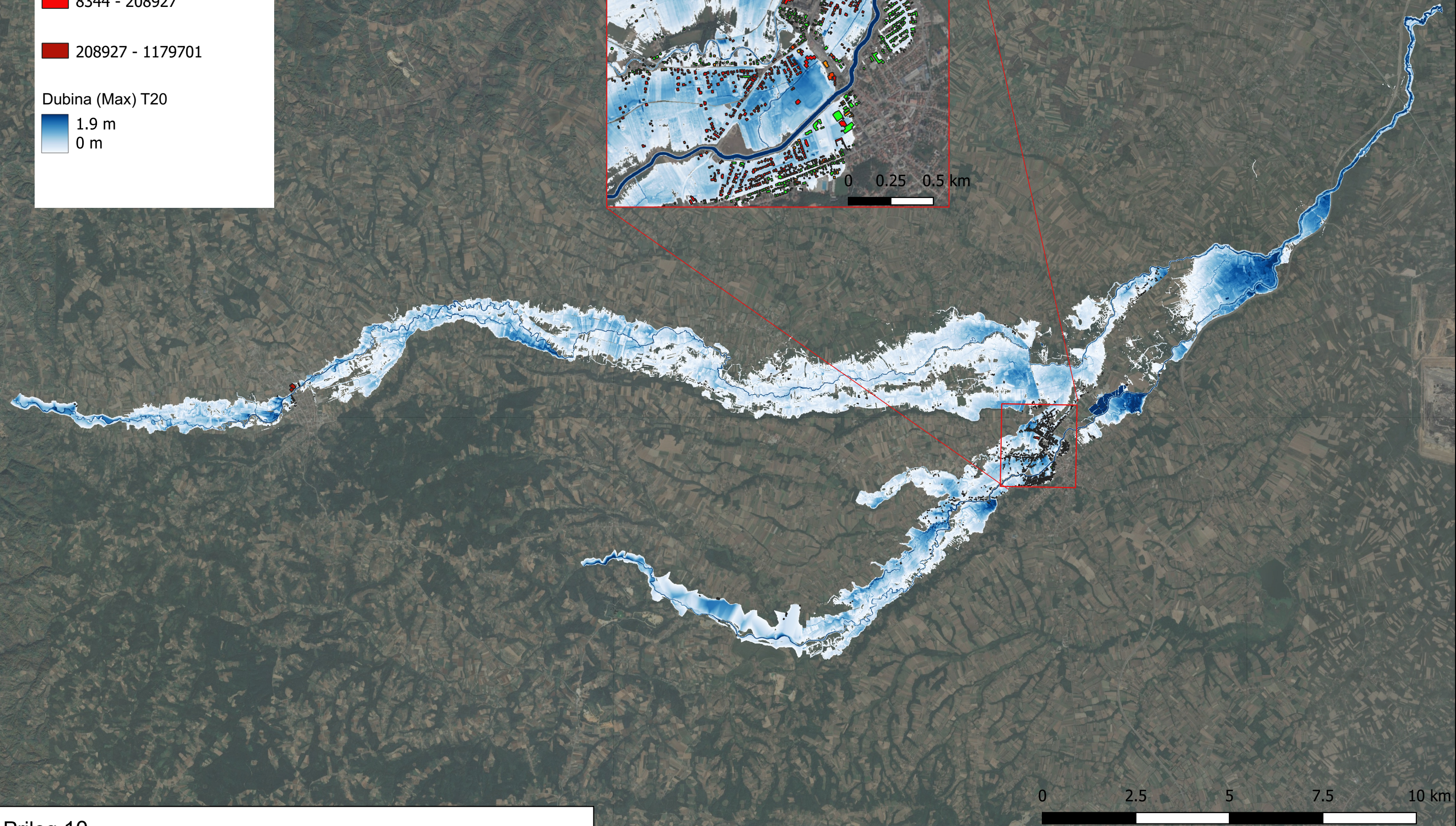
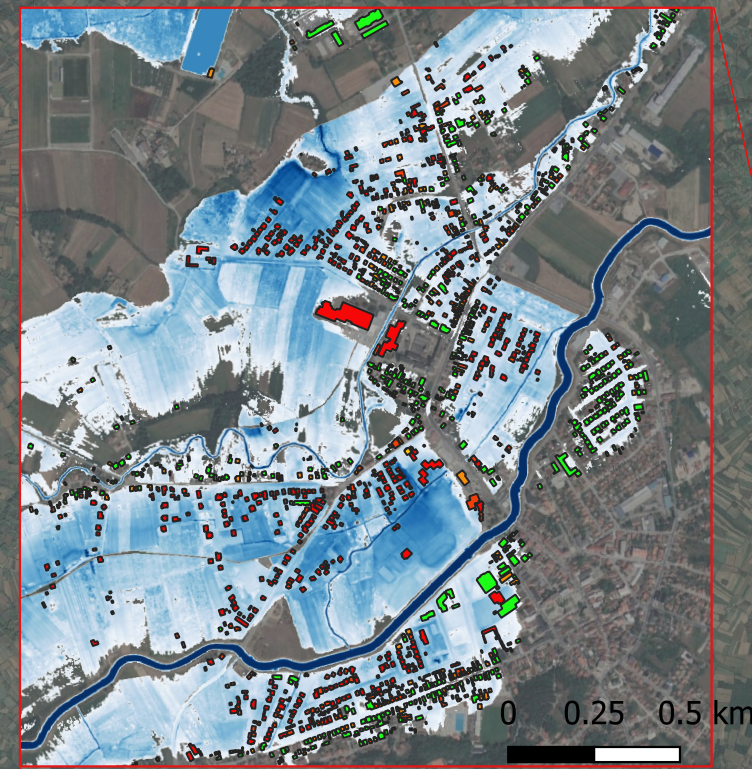


### Štete na objektima T20

Štete\_objekti\_T20 (Eur)



Dubina (Max) T20



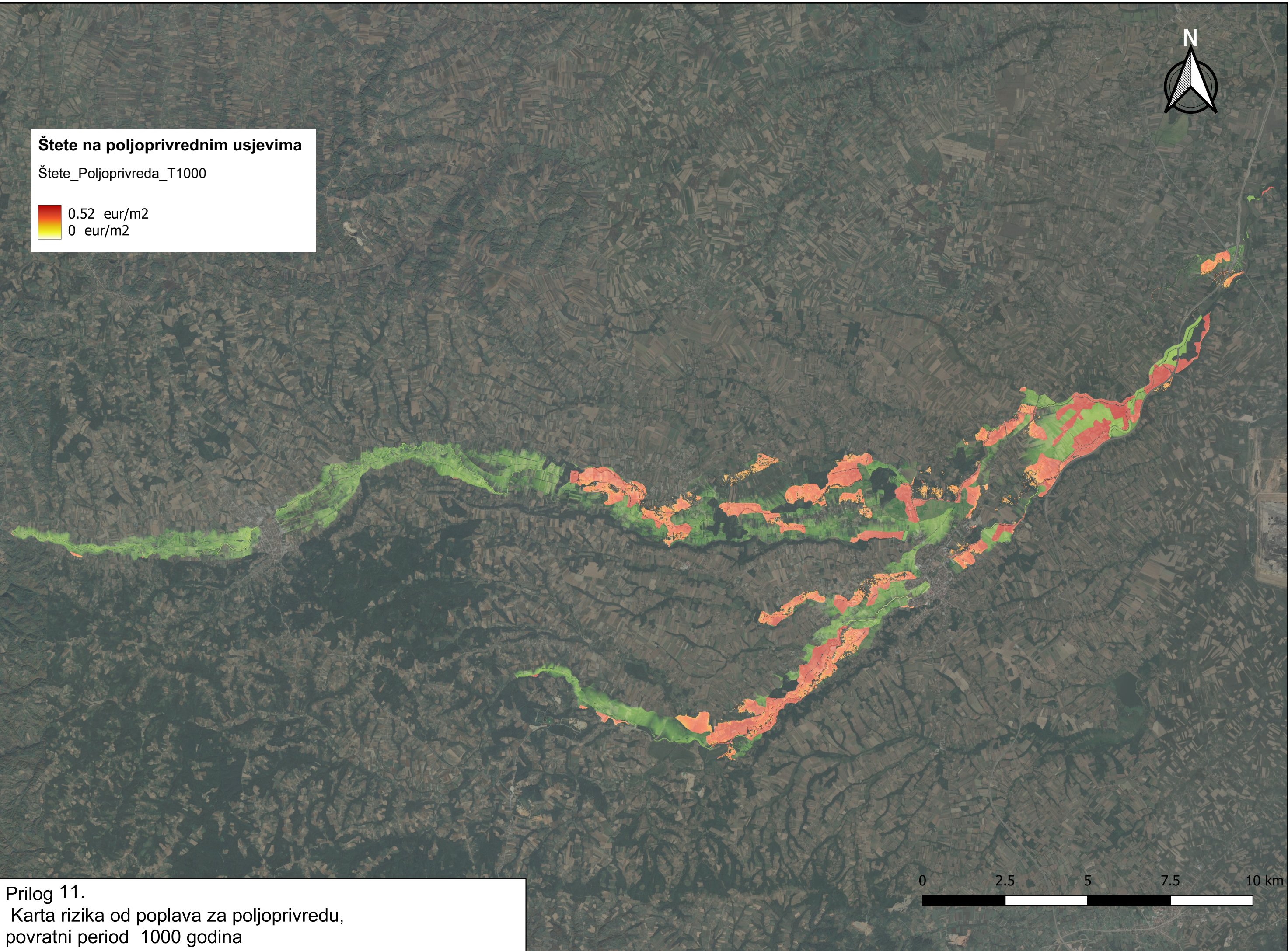
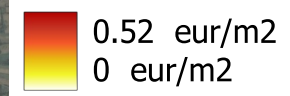
Prilog 10.  
Karta rizika od poplava za objekte, povratni period 20 godina





### Štete na poljoprivrednim usjevima

Štete\_Poljoprivreda\_T1000



Prilog 11.  
Karta rizika od poplava za poljoprivredu,  
povratni period 1000 godina

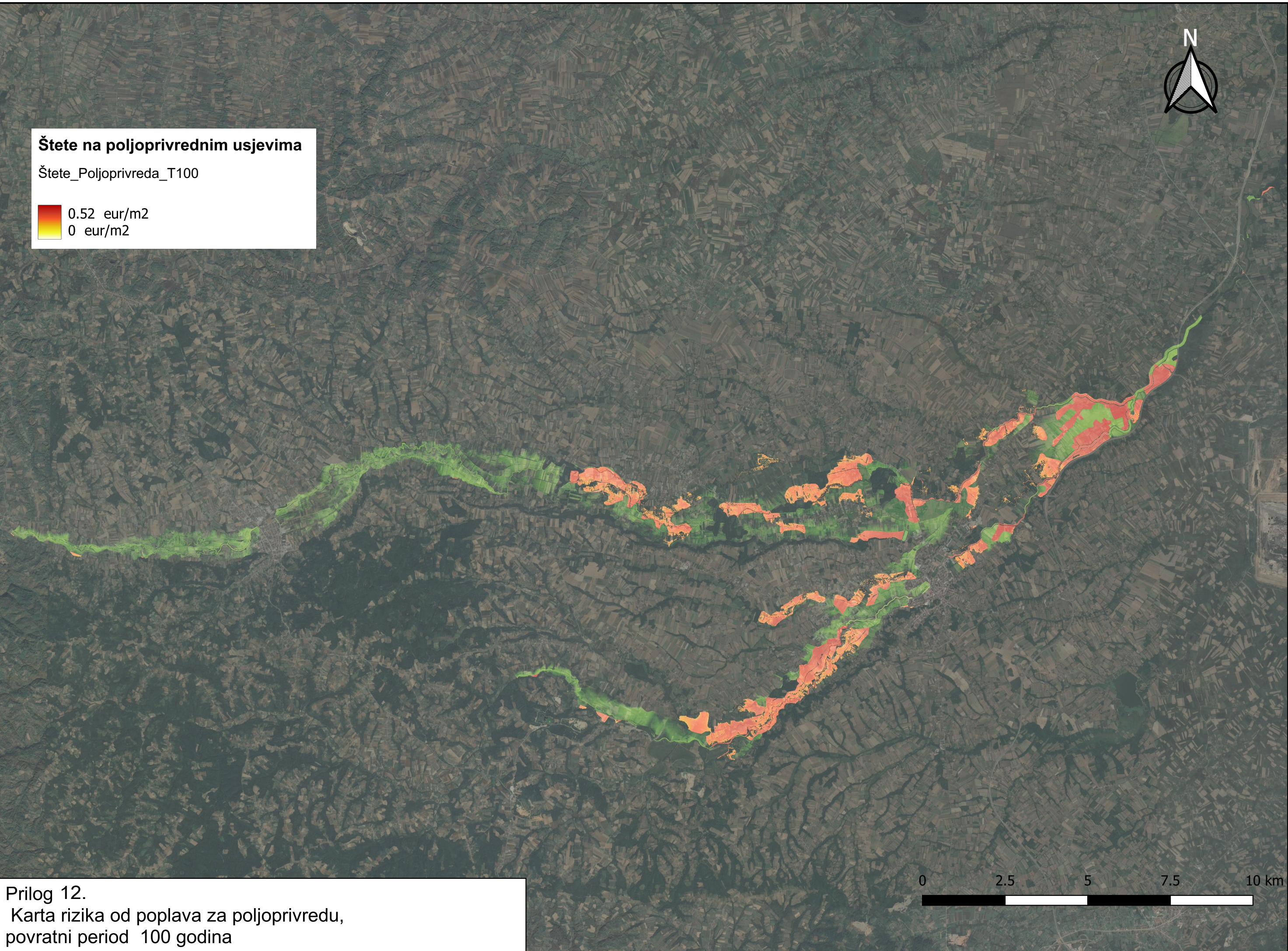
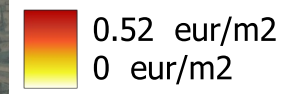






### Štete na poljoprivrednim usjevima

Štete\_Poljoprivreda\_T100



Prilog 12.  
Karta rizika od poplava za poljoprivredu,  
povratni period 100 godina

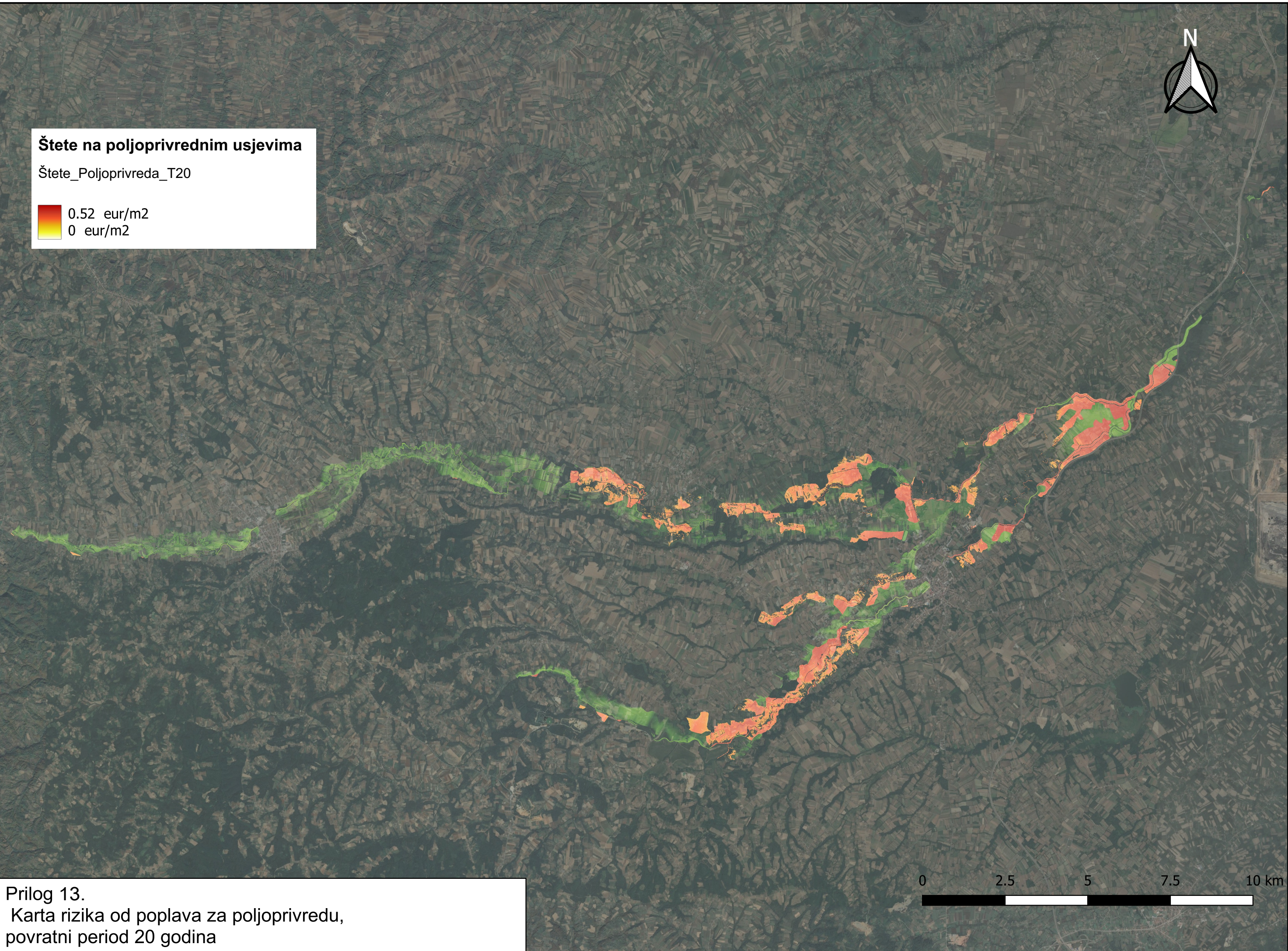
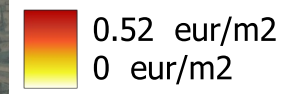






### Štete na poljoprivrednim usjevima

Štete\_Poljoprivreda\_T20



Prilog 13.  
Karta rizika od poplava za poljoprivredu,  
povratni period 20 godina







### Legenda

Putevi

Ib

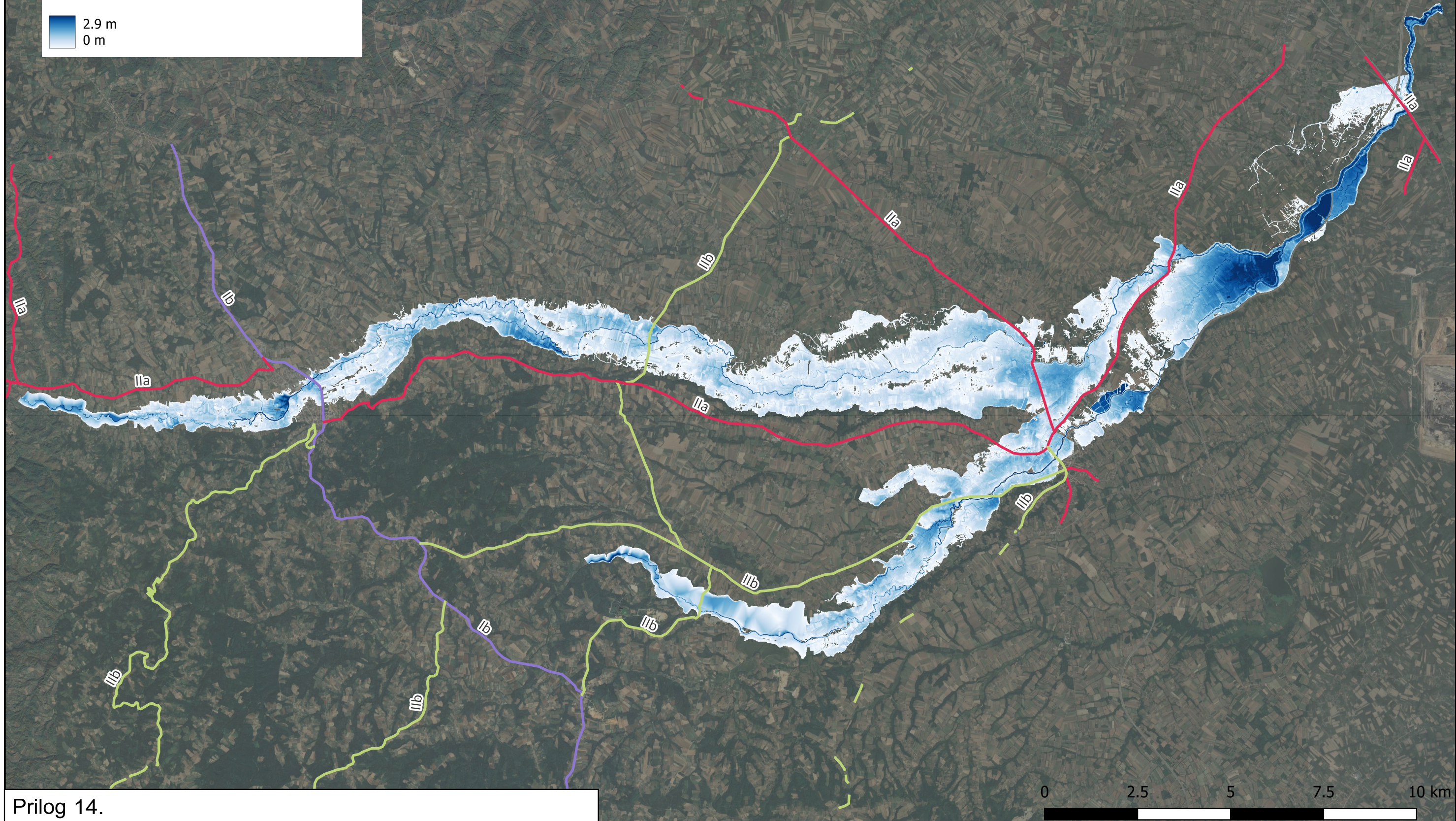
IIa

IIb

Dubina (Max) T1000



Kategorija javnog puta	Ukupna poplavljena dužina (km)	Šteta na kolovozu (€)
Ib	0.26	16,302
IIa	7.20	436,059
IIb	4.89	332,539
UKUPNO	12.35	784,901



Prilog 14.  
Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu,  
povratni period 1000 godina





### Legenda

Putevi

Ib

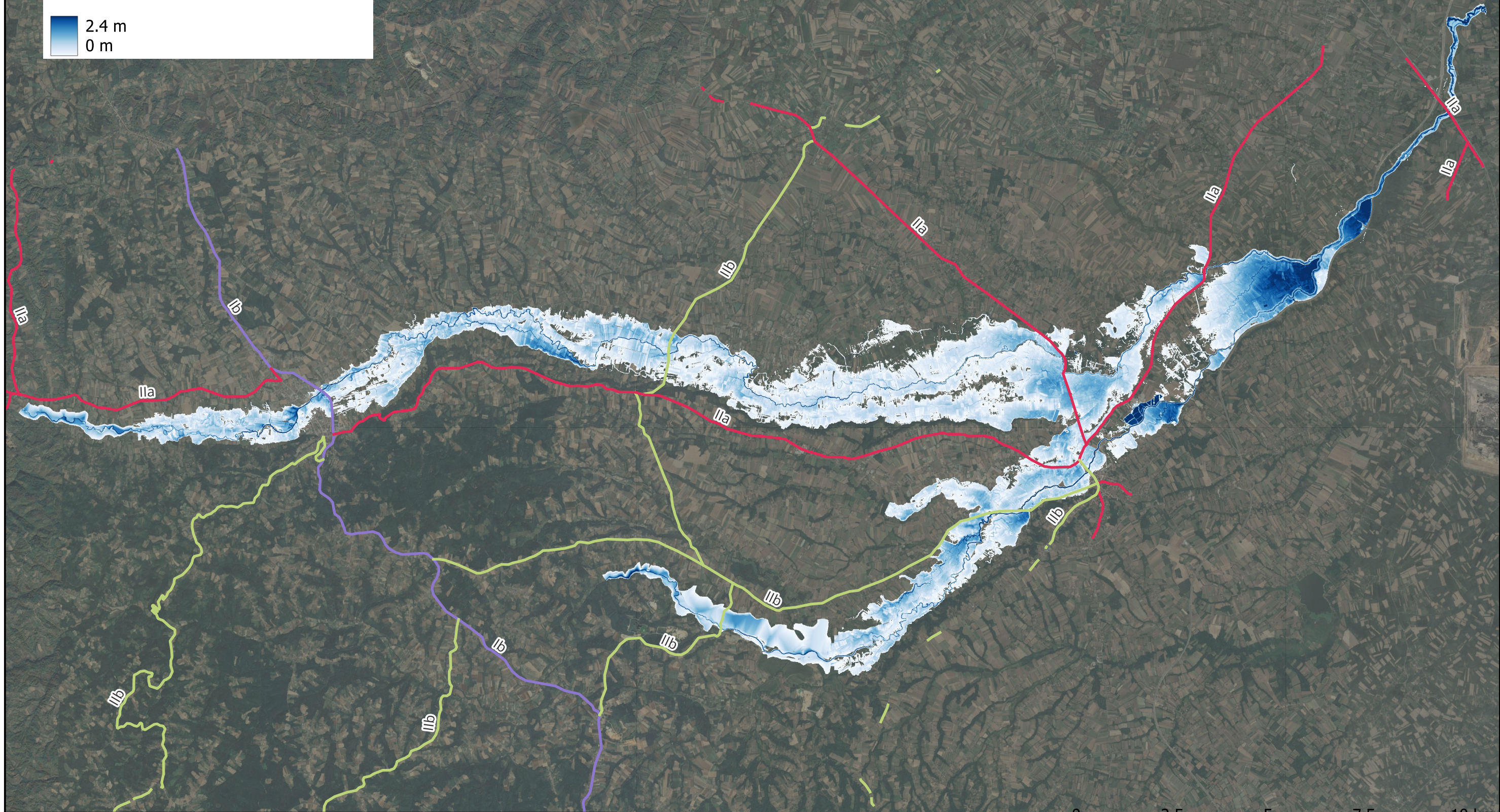
IIa

IIb

Dubina (Max) T100



Kategorija javnog puta	Ukupna poplavljena dužina (km)	Šteta na kolovozu (€)
Ib	0.19	12,431
IIa	4.67	255,460
IIb	4.36	225,570
UKUPNO	9.22	493,461



Prilog 15.  
Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu,  
povratni period 100 godina





### Legenda

Putevi

Ib

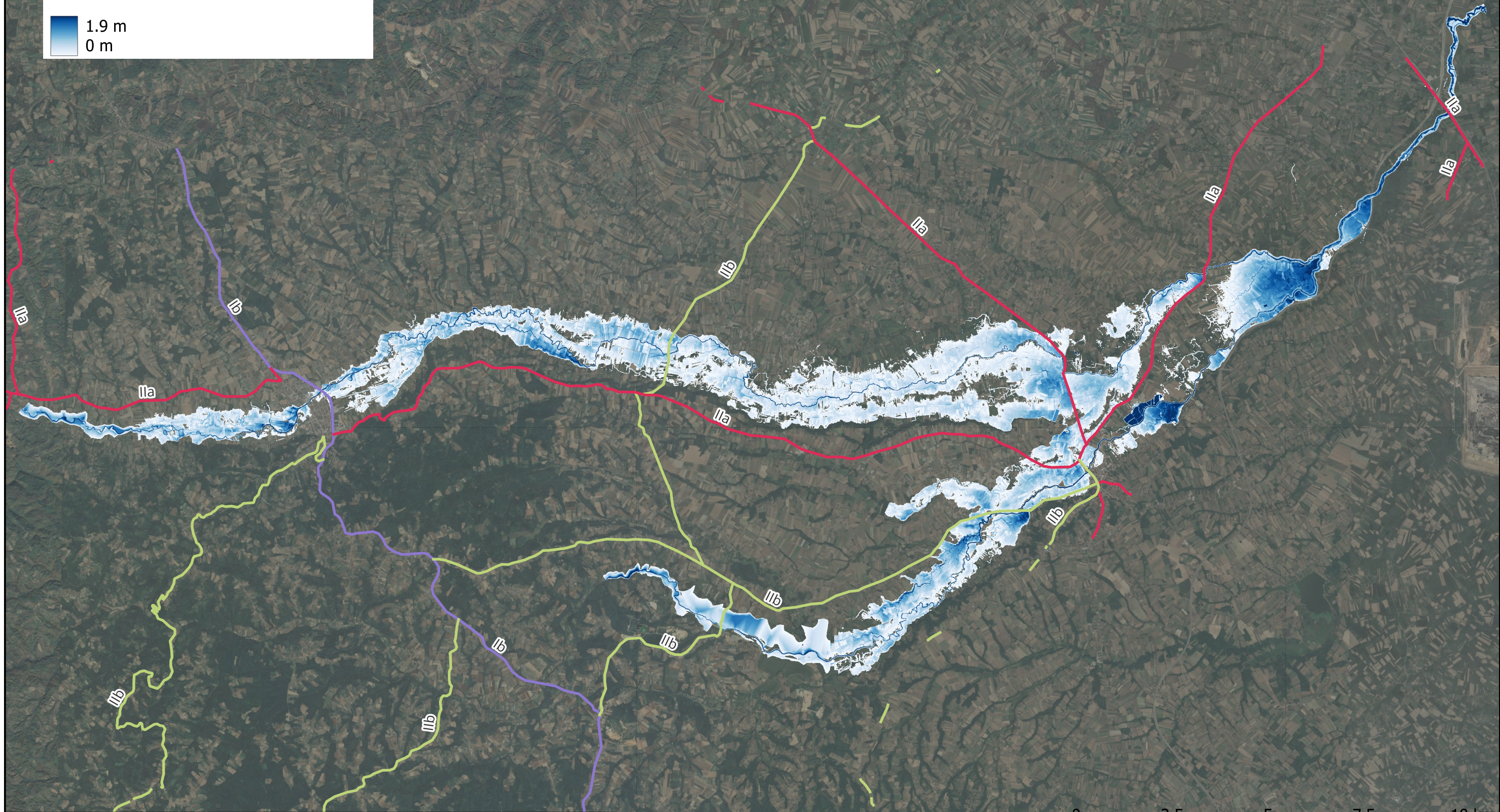
IIa

IIb

Dubina (Max) T20



Kategorija javnog puta	Ukupna poplavljena dužina (km)	Šteta na kolovozu (€)
Ib	0.04	5,065
IIa	3.47	184,845
IIb	3.64	160,639
UKUPNO	7.14	350,549



Prilog 16.  
Karta rizika od poplava za putnu infrastrukturu,  
povratni period 20 godina





**РЕПУБЛИКА СРПСКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
АРХИТЕКТОНСКО – ГРАЂЕВИНСКО – ГЕОДЕТСКИ ФАКУЛТЕТ**

На основу члана 42. Став (2) и 61. Закона о високом образовању („Службени гласник Републике Српске“, број 73/10, 104/11 и 84/12) члан 54. Статута Универзитета у Бањој Луци и приједлога Наставно – научног вијећа СП Грађевинарство Архитектонско – грађевинско – геодетског факултета, Наставно – научно вијеће Архитектонско грађевинско – геодетског факултета на 12. сједници одржаној дана 07.09.2023. године донијело је одлуку (број: 14/3. 1268 /23) о именовану Комисије за преглед, оцјену и одбрану мастер рада кандидата Јелене Чупељић под називом:

**Прорачун ризика од поплава – примјер слива ријеке Тамнаве**

Именована комисија је у сљедећем саставу:

1. др Никола Росић, доцент, Грађевински факултет, Универзитет у Београду, ментор и члан комисије
2. др Жана Топаловић, доцент, Архитектонско – грађевинско – геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, члан комисије
3. др Милан Јакшић, доцент, Архитектонско – грађевинско – геодетски факултет, Универзитет у Бањој Луци, предсједник и члан комисије

Комисија је прегледала и анализирала мастер рад и установила да је кандидат Јелена Чупељић испунила све услове и предала текст мастер рада II циклуса у прописаној форми, те Наставно – научног вијећу подносимо сљедећи

**ИЗВЈЕШТАЈ  
О ПРЕГЛЕДУ И ОЦЈЕНИ МАСТЕР РАДА**

**БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА**

Јелена Чупељић је рођена 14.09.1992. у Бањалуци. Завршила је Гимназију у Бањалуци 2011. године.

Дипломирала је на грађевинском одсјеку, смјер хидротехника на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци 2019. године са завршним радом „Идејно рјешење канализационе мреже насеља Дворишта, општина Пале“. Студент



другог циклуса студија на грађевинском одсјеку, смјер хидротехника на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци од школске 2019/2020. године.

У периоду од 2019. до 2022. радила је у Институту за грађевинарство у Бањалуци на позицији пројектанта за хидротехнику.

## ПОДАЦИ О ЗАВРШЕНОМ РАДУ

Кандидат Јелена Чупељић је свој мастер рад урадила из области Хидротехнике. Рад под називом **Прорачун ризика од поплава – примјер слива ријеке Тамнаве** садржи 41 страну, 25 слика, 18 табела и 16 прилога. У раду су развијени рачунски модели за анализу ризика од поплава за слив ријеке Тамнаве (Република Србија) базирани на процјенама опасности од поплава и рањивости. Извршен је и критички осврт на претходно истраживање које је публиковано у докторској дисертацији Ранка Пудара. Садржај рада приказан је у наставку:

1. УВОД
2. АНАЛИЗА РИЗИКА ОД ПОПЛАВА
  - 2.1. Компоненте ризика од поплава
  - 2.2. Оквир за израду модела ризика
  - 2.3. Карте хазарда
  - 2.4. Процјена рањивости – одређивање потенцијалних штета
    - 2.4.1. Категорије штете
    - 2.4.2. Функције штета
    - 2.4.3. Очекивана годишња штета
    - 2.4.4. Просторна размјера и сложеност модела штета
3. МЕТОДОЛОГИЈА
  - 3.1. Преглед карактеристика изучаваног подручја
    - 3.1.1. Физичко-географске карактеристике слива
    - 3.1.2. Постојећи систем за одбрану од поплава у сливу ријеке Тамнаве
  - 3.2. Преглед и припрема улазних података
    - 3.2.1. Топографске подлоге
    - 3.2.2. Карта намјене површина
    - 3.2.3. Карте хазарда / угрожености од поплава
    - 3.2.4. Подаци о рецепторима ризика



- 3.2.5. Економске подлоге
- 3.3. Развој модела за прорачун штета од поплава
  - 3.3.1. Развој модела за прорачун штета од поплава на објектима и садржају
  - 3.3.2. Развој модела за прорачун индиректних штета – трошкови расељавања становништва у угроженом подручју
  - 3.3.3. Развој модела за прорачун пољопривредних штета
  - 3.3.4. Развој модела за прорачун штета саобраћајне инфраструктуре
- 4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА
  - 4.1. Карте ризика од поплава
    - 4.1.1. Губици на објектима и њиховом инвентару
    - 4.1.2. Пољопривредни губици
    - 4.1.3. Губици на саобраћајној инфраструктури
    - 4.1.4. Трошкови пресељења становништва
  - 4.2. Очекивана годишња штета
  - 4.3. Поређење са резултатима претходног истраживања
- 5. ЗАКЉУЧАК
- 6. ЛИТЕРАТУРА
- 7. БИОГРАФИЈА
- 8. ПРИЛОЗИ

## ПРИКАЗ И АНАЛИЗА МАСТЕР РАДА

Израда карата ризика од поплава представља значајну превентивну мјеру заштите од великих вода. На основу ових карата становништво изложено поплавама може се информисати о просторној расподјели ризика на одређеном подручју и на тај начин прикладно припремити на ове догађаје чиме се утиче на смањење негативних посљедица поплава. Такође, карте ризика од поплава су основа за израду друге планско-техничке документације као што су просторни планови урбаних и руралних подручја и оперативни планови управљања поплавама.

У раду је извршен је прорачун ризика са приказом карата ризика од поплава за постојеће стање система за заштиту на дијелу слива ријеке Тамнаве који покрива Уб и Коцељево. Модели прорачуна штета од поплава рађени су у QGIS окружењу за категорије директних штета (штете на објектима и њиховом инвентару, пољопривредне штете и штете на путној инфраструктури) и индиректне штете (расељавање становништва са угроженог подручја), а њихови резултати су представљени у виду вриједности штета и карата ризика од поплава за сваку категорију. Улазни параметри за формирање модела су иновирани карте хазарда добијене сложеним хидрауличким моделирањем (рађене у оквиру међународног пројекта Resonest), иновирани дигитални модел терена, глобалне функције штета и статистички



подаци везани за њихово коришћење, те геопросторни подаци о рецепијентима ризика прикупљени за израду докторске дисертације Ранке Пудара.

Извршено је поређење примијењене методологије као и добијених резултата прорачуна ризика коришћењем развијеног модела у склопу овог рада са добијеним резултатима прорачуна ризика у претходном истраживању које је, за исто подручје, у оквиру докторске дисертације на Универзитету у Београду, спровео др. Ранко Пудар. Због великог степена неизвјености који прати одређивање ризика од поплава претпоставља да се, на основу ревидованих резултата хидролошких и хидрауличких анализа, односно модификовањем модела прорачуна штета могу добити значајне разлике у ризицима. На овај начин дат је допринос у анализи осјетљивости прорачуна ризика на промену параметара у прорачуну штета односно промјену приступа код хидролошког и хидрауличког моделирања.

Два основна циља истраживања у овом раду су:

- 1) Иновирање података о ризицима од поплава коришћењем детаљног модела прорачуна ризика
- 2) Одређивање утицаја промијењених претпоставки и иновираних података у моделу прорачуна ризика на одређивање вриједности штета од поплава.

Мастер рад Јелене Чупељић под називом **Прорачун ризика од поплава – примјер слива ријеке Тамнаве** подијељен је у 5 поглавља. У уводном дијелу описан је значај израде карата ризика од поплава, представљени су циљеви истраживања, те је дат кратак осврт на структуру рада.

У другом поглављу овог рада описан је појам ризика од поплава и његове компоненте. Представљен је и оквир за израду модела ризика од поплава, а такође је детаљно приказан начин одређивања потенцијалних штета (процјена рањивости).

У трећем поглављу приказана је методологија прорачуна ризика од поплава у сливу ријеке Тамнаве. Описане су физичко-географске карактеристике слива, као и постојеће стање система за заштиту од поплава у сливу. Дат је преглед свих подлога коришћених у прорачуну (топографске, карта намјене површина, карте хазарда, економске подлоге, подаци о рецепторима ризика), а потом су детаљно описани модели за прорачун штета за сваку појединачну категорију штета развијени у програмском окружењу QGIS.

У четвртм поглављу приказани су резултати прорачуна добијени коришћењем описаних модела ризика од поплава у виду вриједности штета и у виду карти ризика од поплава за подручје слива ријеке Тамнаве, за појединачне категорије штета и разматрани повратни период. Потом је извршено је поређење добијених резултата са резултатима претходног истраживања, те је извршена анализа осјетљивости модела штета на промјену улазних података.

У закључку је дат осврт на резултате добијене развијеним моделима штета од поплава и начин на који је промјена улазних параметара утицала на промјену резултата у односу на претходно истраживање. Описане су и могућности коришћења развијених модела ризика од поплава и у будућим истраживањима. У списку референци дато је 9 литературних навода.





УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ  
UNIVERSITY OF BANJA LUKA

АРХИТЕКТОНСКО-ГРАЂЕВИНСКО-ГЕОДЕТСТКИ ФАКУЛТЕТ  
FACULTY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY



## ЗАКЉУЧАК И ПРИЈЕДЛОГ

Кандидат Јелена Чупељић је у свом мастер раду под називом **Прорачун ризика од поплава – примјер слива ријеке Тамнаве** развила модел ризика од поплава на сливу ријеке Тамнаве. Методологија и модели презентовани у раду могу се лако и ефикасно примијенити како у поновљеним анализама ризика од поплава за овај слив, тако и у анализама ризика за друге сливове. Резултати добијени у раду и њихово поређење са резултатима претходног истраживања указују на то да промјеном хидролошко-хидрауличких параметара долази до велике разлике у резултатима. Због свих неизвјесности које прате анализе ризика од поплава, свако истраживање, укључујући и ово, је значајно и представља нови извор података за будуће анализе. Рад је концептуално и методолошки добро постављен и технички добро урађен. Рад је прошао провјеру оригиналности уз помоћ званичног софтвера за откривање плагијата.

На основу претходно наведеног Комисија са задовољством предлаже Наставно – научном вијећу Архитектонско – грађевинско – геодетског факултета Универзитета у Бањој Луци да усвоји овај извјештај и позитивну оцјену мастер рада и да по предвиђеној процедури закаже јавну одбрану мастер рада, јер су се за то стекли сву потребни научни и законски услови.

У Бања Луци, 07.12.2023.

КОМИСИЈА

др Никола Росић, доцент,  
Грађевински факултет,  
Универзитет у Београду, ментор

др Жана Топаловић, доцент,  
Архитектонско – грађевинско – геодетски факултет,  
Универзитет у Бањој Луци, члан комисије

др Милан Јакшић, доцент,  
Архитектонско – грађевинско – геодетски факултет,  
Универзитет у Бањој Луци, предсједник комисије



**UNIVERZITET U BANJOJ LUCI**  
**PODACI O AUTORU ODBRANJENOG MASTER/MAGISTARSKOG RADA**

**Ime i prezime autora master/magistarskog rada :**

Jelena Čupeljić

**Datum, mjesto i država rođenja autora:**

14.09.1992. Banja Luka, BIH (RS)

**Naziv završenog fakulteta/Akademije autora i godina diplomiranja:**

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, 2019.

**Datum odbrane završnog/diplomskog rada autora:**

12.10.2019.

**Naslov završnog/diplomskog rada autora:**

Idejno rješenje kanalizacione mreže naselja Dvorišta, opština Pale

**Akademsko zvanje koju je autor stekao odbranom završnog/diplomskog rada:**

Diplomirani inženjer građevinarstva

**Akademsko zvanje koje je autor stekao odbranom master/magistarskog rada:**

Master inženjer građevinarstva

**Naziv fakulteta/Akademije na kome je master/magistarski rad odbranjen:**

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet

**Naslov master/magistarskog rada i datum odbrane:**

Proračun rizika od poplava – primjer sliva rijeke Tamnave

**Naučna oblast master/magistarskog rada prema CERIF šifrniku:**

Građevinarstvo-Hidrotehnika, T220

**Imena mentora i članova komisije za odbranu master/magistarskog rada:**

1. doc. dr Nikola Rosić dipl. građ. inž, mentor i član komisije
2. doc. dr Žana Topalović, dipl. građ. inž, član komisije
3. doc. dr Milan Jakšić, dipl. građ. inž, predsjednik i član komisije

U Banjoj Luci, dana 22. 12. 2023.



Dekan

## IZJAVA O AUTORSTVU

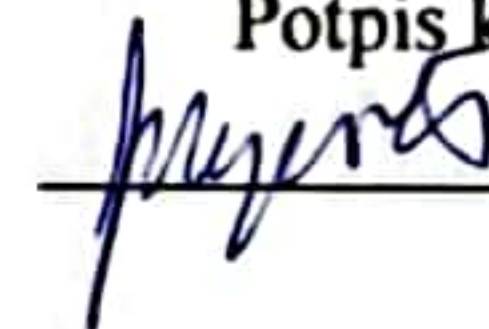
Izjavljujem da je  
master/magistarski rad

Naslov rada PROBAČUN RIZIKA OD POPLAVA - PRIMJER SLIVA RJEKE TAMNAVE  
Naslov rada na engleskom jeziku FLOOD RISK CALCULATION - A CASE STUDY OF THE TAMNAVA RIVER BASIN

- rezultat sopstvenog istraživačkog rada,
- da master/magistarski rad, u cjelini ili u dijelovima, nije bio predložen za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova,
- da su rezultati korektno navedeni i
- da nisam kršio/la autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Banjoj Luci 18. 12. 2023.

Potpis kandidata





Izjava 2

Izjava kojom se ovlašćuje AGG fakultet /Akademija umjetnosti  
Univerziteta u Banjoj Luci da master/magistarski rad učini javno dostupnim

Ovlašćujem AGG fakultet/ Akademiju umjetnosti Univerziteta u Banjoj Luci  
da moj master/magistarski rad, pod naslovom

PROBAČUN RIZIKA OD POPLAVA - PRIMJER SLIVA RIJEKE TAMNAVE

koji je moje autorsko djelo, učini javno dostupnim

Master/magistarski rad sa svim priložima predao/la sam u elektronskom formatu, pogodnom  
za trajno arhiviranje.

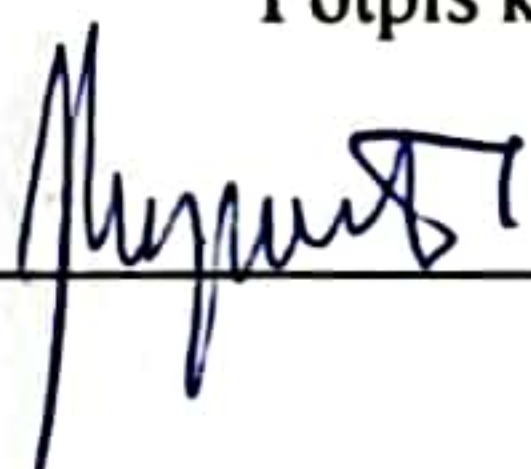
Moj master/magistarski rad, pohranjen u digitalnom repozitorijum Univerziteta u  
Banjoj Luci, mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne  
zajednice (*Creative Commons*), za koju sam se odlučio/la.

1. Autorstvo
2. Autorstvo - nekomercijalno
3. Autorstvo - nekomercijalno - bez prerade
4. Autorstvo - nekomercijalno – dijeliti pod istim uslovima
5. Autorstvo - bez prerade
6. Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci , kratak opis licenci dat je na  
poledini lista).

U Banjoj Luci 18.12.2023

Potpis kandidata

  
\_\_\_\_\_



## TIPOVI LICENCI KREATIVNE ZAJEDNICE

### **Autorstvo (CCBY)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.

### **Autorstvo - nekomercijalno (CC BY-NC)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela a i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.

### **Autorstvo - nekomercijalno - bez prerada (CC BY-NC-ND)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom dijelu, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja djela.

### **Autorstvo - nekomercijalno - dijeliti pod istim (CC BY-NC-SA)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i ijela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence, i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada

### **Autorstvo - bez prerada (CC BY-ND)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, bez promjena, preoblikovanja ili upotrebe djela u svom djelu, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela.

### **Autorstvo - dijeliti pod istim uslovima (CC BY – SA)**

Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje djela, i prerade, ako se navede ime autora, na način određen od autora ili davaoca licence, i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu djela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.

**Napomena:** Ovaj tekst nije sastavni dio izjave autora.

Više informacija na linku: <http://creativecommons.org.rs/>

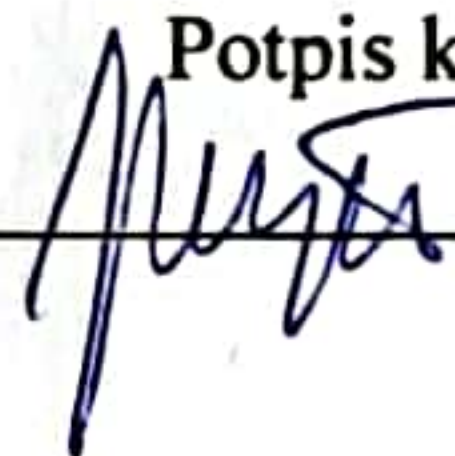
Izjava o identičnosti štampane i elektronske verzije  
master/magistarskog rada

Ime i prezime autora JELENA ČUPELJIĆ  
Naslov rada PRORAČUN RIZIKA OD POPLAVA - PRIMJER SLIVARICEKE  
TAMNAVE  
Mentor DOC. DR. NIKOLA ROŠIĆ

Izjavljujem da je štampana verzija mog master/magistarskog rada identična elektronskoj verziji koju sam predao/la za digitalni repozitorijum Univerziteta u Banjoj Luci.

U Banjoj Luci 18.12.2023

Potpis kandidata

  
\_\_\_\_\_