

PROCJENA OPASNOSTI OD SLOŽENIH POPLAVA U CENTRU GRADA RIJEKE USLIJED KOMBINIRANOG DJELOVANJA MORA I RIJEKE

ASSESSMENT OF COMPOUND FLOOD HAZARDS IN THE RIJEKA CITY CENTER DUE TO THE COMBINED ACTION OF THE SEA AND THE RIVER

Marta Marija Bilić*, Nino Krvavica*

Sažetak

U ovome je radu provedena procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke te su izrađene karte opasnosti od složenih poplava za navedeno područje. Karte opasnosti od poplava izrađene su u krupnijem mjerilu uz uvažavanje različitih izvora poplava i potvrđuju kako riječko područje ima visoku razinu opasnosti od poplava, pogotovo uz samu obalu i oko korita rijeke Rječine gdje se mogu očekivati najveće brzine i dubine vode.

Ključne riječi: *karte opasnosti od poplava, složene poplave, grad Rijeka, procjena opasnosti od poplava, obalne poplave, fluvijalne poplave*

Abstract

In this paper, an assessment of the compound flood hazards in the city center of Rijeka due to the combined actions of the coastal and river flood sources was carried out, and hazard maps for the said area were prepared. Maps were created on a larger scale, taking into account various sources of flooding, and they show that the city of Rijeka has a high level of flood hazard, especially along the coastline and around the Rječina river where the highest flow velocities and water depths can be expected.

Key words: *flood hazard maps, compound floods, city of Rijeka, assessment of flood hazards, coastal flooding, fluvial flooding*

* Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Radmile Matejčić 3, 51000 Rijeka

E-mail: {marta.marija.bilic, nino.krvavica}@uniri.hr

1. Uvod

Poplave su prirodne pojave s potencijalno ozbiljnim posljedicama za društvo i okoliš. Štete od poplava mogu biti znatne, posebice kada zahvate gospodarski razvijena i urbanizirana područja. Poplave uzrokuju neposredne i/ili posredne štete u poljoprivredi, energetskom sektoru, infrastrukturi, zgradama; predstavljaju rizik za onečišćenje okoliša te za živote i zdravlje ljudi. Utjecaj poplava izravno se odražava na ekonomiju, turizam, prehrambenu industriju i stanovništvo. Zbog dugoročnih i značajnih posljedica koje ostavljaju [1], indirektno štete teško su procjenjive.

Poplave se mogu kategorizirati prema različitim kriterijima, no smatra se da postoje četiri osnovna tipa poplava s obzirom na njihov uzrok: fluvijalne ili riječne, pluvijalne ili oborinske, bujične i obalne poplave. Međutim, istodobna ili uzastopna pojava više različitih uzroka poplava može dovesti do znatno većih posljedica, nego u slučaju njihovog zasebnog djelovanja [2]. Takvi kombinirani događaji nazivaju se složene poplave. Međuvladin panel o klimatskim promjenama (IPCC) definira složeni događaj kao: (a) dva ili više ekstremnih događaja koji se događaju istovremeno ili uzastopno, (b) kombinacije ekstremnih događaja s temeljnim uvjetima koji pojačavaju posljedice i (c) kombinacije događaja koji pojedinačno nisu ekstremni, ali zajedno dovode do ekstremnog događaja.

Unutar zemalja Europske unije (EU) poplavama se upravlja sukladno Direktivi 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju poplavnim rizicima (Direktiva o poplavama) [3]. Direktivom o poplavama uspostavlja se okvir za procjenu i upravljanje poplavnim rizicima s ciljem smanjenja štetnih posljedica poplava u zemljama EU na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost. U skladu s navedenim, potrebno je izraditi karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava koje prikazuju moguće štetne posljedice povezane s različitim scenarijima poplava kako bi se što lakše moglo doći do informacija za određivanje prioriteta i odluka u upravljanju poplavnih rizika. Kako bi se izbjegli i smanjili štetni učinci poplava potrebno je izraditi planove upravljanja poplavnim rizicima [4]. Za urbane sredine, uobičajeni pristup je izrada 2D matematičkih modela poplava kojima se simulira dubina i brzina vode, izrađuju karte opasnosti i rizika od poplava te planovi upravljanja rizicima od poplava.

Cilj ovoga rada jest provesti procjenu opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke. To će se postići uspostavom matematičkog modela otjecanja te hidrauličkim proračunom koji će rezultirati simulacijama poplava. Procjena opasnosti od složenih poplava provest će se za tri

poplavna scenarija i jedan ekstremni događaj na temelju čega će se izraditi karate opasnosti od poplava.

2. Opis područja

Grad Rijeka je administrativno središte Primorsko-goranske županije i nalazi se na sjevernoj obali Riječkog zaljeva kao dijela većeg Kvarnerskog zaljeva u Jadranskom moru. Na Slici 1 prikazan je položaj grada Rijeke na karti Republike Hrvatske.

Kroz centar grada Rijeke prolazi korito rijeke Rječine i staro korito poznatije kao Mrtvi kanal. Rječina je karakterističan primjer priobalnog vodotoka s bujičnim karakteristikama, tipičan za priobalni krški dio Hrvatske. Duljina vodotoka od izvorišta, koje se nalazi u podnožju planinskog masiva Obruča, do ušća u Riječki zaljev iznosi 18,3 km [5]. Ušće rijeke Rječine također se nalazi u centru grada, gdje se rijeka ulijeva u Jadransko more.



Slika 1. Položaj grada Rijeke na karti Republike Hrvatske.

3. Postojeće analize opasnosti od poplava u gradu Rijeci

Prethodna procjena rizika od poplava 2018. izrađena je kao prvi korak u postupku pripreme Plana upravljanja rizicima od poplava koji je izrađen na temelju odredbi Zakona o vodama te vrijedi za razdoblje od 2022. – 2027. godine [6].

U sklopu Prethodne procjene rizika od poplava napravljene su karte prethodne procjene rizika od poplava gdje je područje grada Rijeke označeno kao područje vrlo visokog preliminarnog rizika od poplava te spada u nacionalna područja potencijalno značajnih rizika od poplava. Karte mogućih značajnih izvora plavljenja definiraju za riječko područje kao moguće izvore plavljenja jaku kišu, rušenje velikih brana, visoke razine mora i izlijevanje vodotoka te proboj nasipa [6].

Karte opasnosti i rizika od poplava 2019. izrađene su u okviru Plana upravljanja rizicima od poplava zasebno za svaki relevantni izvor plavljenja, za tri specifična poplavna scenarija (velika, srednja i mala vjerojatnost pojavljivanja) za ona područja koja su u Prethodnoj procjeni rizika od poplava definirana kao područja s potencijalno značajnim rizicima od poplava. Prethodnom procjenom rizika od poplava utvrđeno je da je riječko područje ugroženo te su za njega izrađene karte opasnosti i rizika od poplava za visoku, srednju i nisku vjerojatnost pojavljivanja, kao i karte po vjerojatnosti pojavljivanja [7]. Međutim, navedene karte ne uzimaju u obzir složene poplave, odnosno istodobnu ili uzastopnu pojavu više različitih uzroka plavljenja.

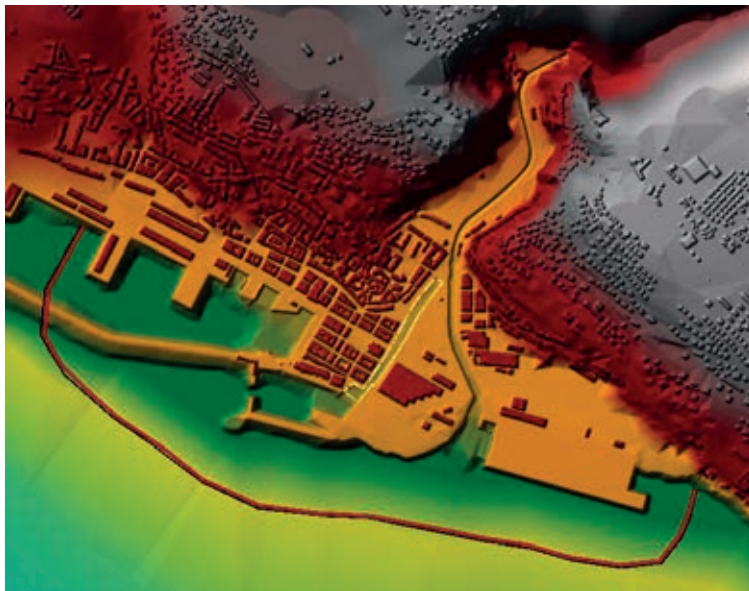
4. Metodologija proračuna

Predmet ovoga rada jest procjena opasnosti i izrada karata opasnosti od složenih poplava u centru Grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke. U tu svrhu prikupljene su i generirane prostorne i hidrološke podloge. Digitalni model terena izrađen je na temelju hrvatske osnovne karte i topografske karte. Nakon izrade digitalnog modela terena, prikupljeni su mareografski i hidrološki podatci za promatrano područje kako bi se utvrdili mjerodavni protoci i razine mora za različite povratne periode. Hidraulički proračun izrađen je u računalnom programu HEC-RAS [8] za visoku, srednju i nisku vjerojatnost pojavljivanja, kao i za jedan ekstremni događaj. Rezultat proračuna su karte opasnosti od složenih poplava, njih ukupno devet. Za svaki scenarij napravljena je karta opasnosti s prikazanim brzinama i karta opasnosti s prikazanim dubinama.

4.1 Generiranje modela terena

Osnovna podloga za simulacije i hidraulički proračun na temelju kojih će se procijeniti opasnost od složenih poplava u centru Grada Rijeke jest digitalni model terena (DMT). Za potrebe ovoga rada, DMT je generiran prostornom interpolacijom visinskih podataka dobivenih digitalizacijom topografske karte i hrvatske osnovne karte. Pritom je za korito Rječine korišten geodetski snimak poprečnih presjeka korita rijeke. Model terena je generiran u računalnom programu QGIS te je određen obuhvat unutar

kojeg će biti provedene simulacije [9]. U crtane su točke, slojnice i izobate pomoću kojih je generiran model terena rezolucije 2 m. Profili Mrtvog kanala i Rječine integrirani su u model terena putem računalnog programa HEC-RAS te je generiran konačni model terena prikazan na Slici 2.

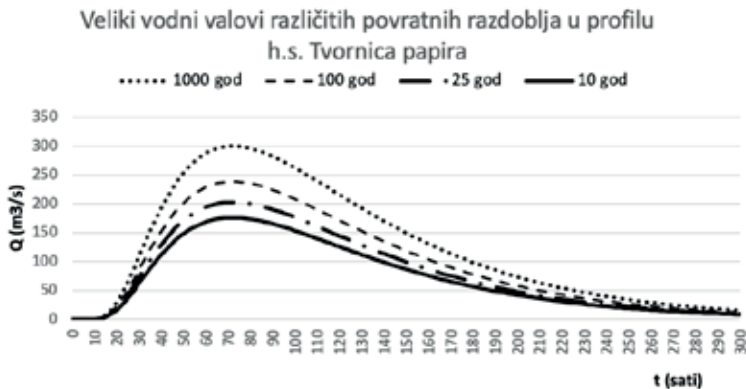


Slika 2. Digitalni model terena centra grada Rijeke iz HEC-RAS programa.

4.2 Hidrološka analiza Rječine

Cjelokupna hidrološka analiza Rječine preuzeta je iz studije *Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala, odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine – Knjiga 2: Hidrološke analize* [5]. Hidrološka mjerenja na slivu Rječine provedena su na vodotocima Rječina i Sušica. Na Rječini su aktivne hidrološke stanice Izvor Rječine, Zoretići, Martinovo Selo uzvodno, Drastin, Grohovo i Tvornica papira, a na vodotoku Sušica nalazi se hidrološka stanica Dražice. Podaci su dostupni u bazi HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske [5].

Mjerodavna hidrološka stanica za predmetne analize je stanica *Tvornica papira* na Rječini jer je to najbliža hidrološka stanica području centra grada, a koja je izvan djelovanja uspora mora. Proračun maksimalnih godišnjih protoka i volumena velikih vodnih valova različitih povratnih razdoblja na aktivnim hidrološkim stanicama na slivu Rječine preuzet je iz literature [5]. Ti podaci su usvojeni i korišteni za generiranje Goodrichovih hidrograma velikih vodnih valova prikazanih na Slici 3. Podaci o Rječini korišteni su za uzvodni rubni uvjet u simulacijama poplava u HEC-RAS-u.



Slika 3. Veliki vodni valovi za različite povratne periode u profilu hidrološke stanice Tvornica papira (modificirano prema [5]).

4.3 Razine mora

Za nizvodni rubni uvjet prema moru, u simulacijama poplava u HEC-RAS-u zadana je konstantna visoka razina mora. Morske mijene su zanemarene te su definirane referentne razine mora koje su korištene u svim simulacijama poplava.

Visoke razine mora preuzete su iz studije *Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavlivanja donjeg toka Rječine* [5], a koje su dobivene na temelju mareografskih podataka s postaje Bakar za period od 1967. – 2011.

Za potrebe simulacija su korišteni podaci o razinama mora za povratni period 10, 25, 100 i 1000 godina, te je za ekstremni događaj na razinu mora od 1000-godišnjeg povratnog perioda dodana pretpostavka od 60 cm podizanja srednje razine mora uslijed klimatskih promjena. U Tablici 1 su prikazani povratni periodi i razine mora za područje Rijeke.

Tablica 1. Povratni periodi i razine mora na području Rijeke.

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

4.4 Uspostava modela (HEC-RAS)

Hidraulički proračun proveden je u računalnom programu HEC-RAS, punog naziva „Hydrologic Engineering Centers River Analysis System“. Razvijen je u Sjedinjenim Američkim Državama, a u komercijalne je svrhe pušten 1995. godine. Njegova primarna svrha je jednodimenzionalno i dvodimenzionalno modeliranje površinskog toka vode. HEC-RAS omogućuje proračun hidroloških parametara za stacionarne i nestacionarne uvjete toka [10].

U HEC-RAS-u je prije hidrauličkog proračuna provedena korekcija digitalnog modela terena na način da su implementirani poprečni presjeci Mrtvog kanala i Rječine. Prostorna domena modela obuhvaća centar grada Rijeke i ukupne je površine 3,39 km², a proračunska mreža definirana je pravokutnim ćelijama veličine 10 x 10 m. Proračunska mreža sastoji se od preko 25.000 ćelija.

Rubni uvjeti zadani su uzvodno i nizvodno. Uzvodni rubni uvjet odnosi se na Rječinu i zadan je u obliku hidrograma, odnosno velikog vodnog vala (Slika 3). Nizvodni rubni uvjet je visoka razina mora koja je zadana zanemarujući morske mijene. Trajanje simulacije iznosi ukupno 298 sati. Za 2D nestacionarni hidraulički proračun korišten je model potpunih dinamičkih (Saint-Venant) jednadžbi uz varijabilan vremenski korak koji zadovoljava CFL uvjet stabilnosti [8].

4.5. Odabir scenarija

Hidraulički proračun proveden je za tri scenarija: scenarij visoke vjerojatnosti opasnosti od poplave koji odgovara povratnom periodu od 25 godina, scenarij srednje vjerojatnosti od poplave koji odgovara povratnom periodu od 100 godina te za scenarij niske vjerojatnosti koji odgovara poplavi 1000-godišnjeg povratnog perioda [11].

Plavljenje područja Rijeke uzrokuju složene poplave, odnosno poplave s dva različita uzroka – visoke razine Jadranskog mora i velike vode rijeke Rječine. Međutim, jednoznačno određivanje povratnog perioda za oba uzroka nije jednostavno. Primjerice, jasno je da poplava koju bi uzrokovao protok Rječine 100-godišnjeg povratnog perioda uz istovremenu razinu mora 100-godišnjeg povratnog perioda značajno premašuje poplavu 100-godišnjeg povratnog perioda.

Nekoliko je metoda za procjenu vjerojatnosti zajedničkog djelovanja dvaju ili više uzroka poplava. Prema Petroliagkisu i sur. [12], to su direktna analiza, kontinuirana simulacija, strukturalne funkcije i matrice te statističke zavisnosti. U ovome radu, zbog nedostatka dovoljno dugog niza podataka, primijenjena je direktna metoda prema kojoj se kombiniraju

različiti povratni periodi protoka rijeke i razine mora kako bi se pojednostavljeno odredila „zajednička“ vjerojatnost opasnosti od poplave. Stoga su za svaku vjerojatnost napravljene dvije analize u skladu s preporukama iz literature [12], gdje je u svakoj od analiza jedan uzrok poplave imao dominantni karakter, dok je drugi uzrok bio veće vjerojatnosti pojavljivanja, što je prikazano u Tablici 2.

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

Tablica 2. Scenariji vjerojatnosti poplava i povratni periodi mora i Rječine.

	Oznaka simulacije	Povratni period (g.)	
		Razina mora	Protok Rječine
Visoka vjerojatnost	V1	10	25
	V2	25	10
Srednja vjerojatnost	S1	25	100
	S2	100	25
Niska vjerojatnost	N1	100	1000
	N2	1000	100
Ekstremni događaj	E	1000 (+60 cm)	1000

4.6 Procjena opasnosti od poplava

Rezultat hidrauličkog proračuna u HEC-RAS-u su maksimalne dubine i brzine poplavljenog područja. Dobiveni podaci o poplavljenim površinama su naknadno obrađeni u QGIS-u te su izrađene karte opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke.

Za izradu karata opasnosti od poplava korištene su smjernice Hrvatskih voda [11] u kojima je definiran raspon boja za prikaz dubine vode i brzine vode. Brzina vode je klasificirana u devet razreda te je za svaki razred pridružena boja definirana RGB formatom. Za izradu karti opasnosti od poplava na kojima se prikazuju dubine korištene su iste smjernice prema kojima je dubina vode klasificirana u četiri razreda s pripadajućim bojama. Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja je također napravljena prema spomenutim smjernicama i prikazuje obuhvat poplava za visoku, srednju i nisku vjerojatnost [11]. Izrađene karte su prikazane u narednom poglavlju (Rezultati).

5. Rezultati

Rezultat provedenih hidrauličkih simulacija poplava su brzine i dubine vode te njihova prostorna raspodjela. U QGIS-u su potom izrađene karte opasnosti od poplava za svaki scenarij, kao i karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti poplavlivanja.

5.1 Simulacije složenih poplava

Rezultati simulacija su prikazani na digitalnom ortofotu (DOF-u) te prikazuju maksimalne vrijednosti brzina toka i dubina vode na promatranom području.

Na Slici 4 i 5 su prikazane maksimalne dubine i brzine vode za malu vjerojatnost pojave složenih poplava kao rezultat simulacije N1, pri čemu je pretpostavljeno dominantno djelovanje protoka Rječine.

Na Slici 6 i 7 su prikazane maksimalne dubine i brzine vode za malu vjerojatnost pojave složenih poplava kao rezultat simulacije N2, pri čemu je pretpostavljeno dominantno djelovanje visokih razina mora.



Slika 4. Rezultat simulacije N1 s prikazanim dubinama vode (m).



Slika 5. Rezultat simulacije N1 s prikazanim brzinama toka (m/s).



Slika 6. Rezultat simulacije N2 s prikazanim dubinama vode (m).



Slika 7. Rezultat simulacije N2 s prikazanim brzinama toka (m/s).

U simulacijama N1 i N2 najveće plavljenje vidljivo je na području uz korito rijeke Rječine te na području Delte, točnije na javnom parkiralištu, autobusnom stajalištu i uz centralni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Dio riječke Rive te Gat Karoline Riječke su pod utjecajem poplava, kao i dio ulica Ružičeva, Vodovodna, Šetalište Andrije Kačića Miočiča, Fiumara te Školjić s pripadajućim parkingom. Navedene ulice su od velike važnosti za grad Rijeku s obzirom da se sve nalaze u sklopu Zone B zaštićene urbanističke cjeline grada Rijeke, a neke čak i u Zoni A. K tome, ugrožena područja Delte i riječke Rive se nalaze unutar granica riječkog lučkog područja.

5.2 Karte opasnosti od poplava

Karte opasnosti od poplava za centar grada Rijeke napravljene su za tri scenarija (visoka, srednja i niska vjerojatnost pojavljivanja) te jedan ekstremni događaj s prikazanim brzinama toka i dubinama vode. Karta opasnosti za svaku pojedinu vjerojatnost stoga prikazuje envelopu maksimalnih dubina i brzina vode dobivenih za obje kombinacije protoka i razina mora.

Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja napravljena je tako da se razlikuje obuhvat poplave za visoku, srednju i nisku vjerojatnost poplavlivanja.



Slika 9. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj s prikazanim brzinama toka [13].



Slika 10. Karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj s prikazanim dubinama vode [13].

Karte su izrađene na digitalnom ortofoto snimku te su u mjerilu 1:10000. Karte imaju naznačen tumač oznaka, položaj karte u odnosu na šire područje, dodatne podatke, vrstu kartografske projekcije, datum izrade i izvor podataka. Ukupno je napravljeno devet karata.

Na Slici 9 prikazana je karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj s prikazanim brzinama toka. Na Slici 10 prikazana je karta opasnosti od poplava za ekstremni događaj s prikazanim dubinama vode. U slučaju ekstremnog događaja, dubine vode u centru grada Rijeke su uglavnom do 1,5 m, a tek uz neke dijelove korita Rječine i obalu prelaze 1,5 m.

Karte opasnosti od poplava u ovom radu prikazane su u smanjenoj rezoluciji radi ilustracije općeg izgleda karata, dok je iste u punoj rezoluciji moguće vidjeti u diplomskome radu [13].

6. Diskusija

Službene karte opasnosti od poplava 2019., izrađene od strane Hrvatskih voda, su u mjerilu 1:25000 [7]. S druge strane, karte opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke izrađene su u mjerilu 1:10000 uz uvažavanje različitih izvora poplava, što čini značajnu razliku u preciznosti definiranja poplavljenog područja. Za izradu službenih karata opasnosti od poplava 2019. model terena je izrađen na temelju topografske karte mjerila 1:25000, dok je za izradu karata opasnosti od složenih poplava model izrađen na temelju Hrvatske osnovne karte u mjerilu 1:5000, što već sam model čini detaljnijim i preciznijim. Iako je zbog grubog mjerila teško provesti direktnu usporedbu ovih dvaju karata, sve službene karte poplava predviđaju znatno veći obuhvat poplavljenih površina u odnosu na karte izrađene u okviru ovoga rada. Treba napomenuti da bi se najprecizniji rezultati dobili korištenjem LiDAR tehnologije rezolucije barem 1 m, što će postati u bližoj budućnosti dostupno kroz projekt „Multisenzorsko zračno snimanje Republike Hrvatske za potrebe procjene smanjenja rizika od katastrofa“.

Fokus ovoga rada je na procjeni opasnosti od poplava, na temelju čega je moguće u sljedećoj fazi provesti i procjenu izloženosti poplavama kojom će se identificirati svi receptori poplava, kao i procjenu rizika od poplava kojom će se definirati moguće štetne posljedice na zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu i gospodarsku aktivnost koje se povezuju s poplavom. Međutim, te dodatne analize nisu u fokusu ovoga rada. Unatoč tome, iz generiranih karata mogu se identificirati šira područja koja su izložena poplavi. Poplavljena područja obuhvaćaju dio riječke Rive, Deltu, dio

Fiumare te Školjića. Za razliku od službenih karata, na području Brajdice se ne očekuje plavljenje čak ni za nisku vjerojatnost pojavljivanja.

Na temelju provedenih modela provedena je i prostorna analiza dubina vode. Za scenarij niske vjerojatnosti poplavljanja prosječna dubina vode u poplavljenom području iznosi 0,63 m. Za taj scenarij napravljena je kategorizacija poplavljenog područja prema dubinama vode u ukupno 5 kategorija, što je prikazano u Tablici 3.

Tablica 3. Kategorizacija dubine vode na poplavljenom području za scenarij niske vjerojatnosti.

Dubina vode (m)	Udio površine poplavljenog područja (%)
0 - 0,5	54
0,5 - 1,0	23
1,0 - 1,5	17
1,5 - 2,0	4
2,0 - 2,5	3

7. Zaključak

U skladu s Direktivom o poplavama izrađena je prethodna procjena rizika od poplava za Republiku Hrvatsku te je riječko područje svrstano u područje vrlo visokog preliminarnog rizika od poplava. Predmetno područje spada u nacionalna područja potencijalno značajnih rizika od poplava. Kao idući korak prema Direktivi o poplavama napravljene su karte opasnosti od poplava zasebno za poplave od mora, a zasebno za riječne poplave. Prema tim kartama vidljivo je da je riječko područje izloženo plavljenju, pogotovo u predjelu korita rijeke Rječine.

U okviru ovoga rada provedena je procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed zajedničkog djelovanja visokih razina mora i visokih protoka rijeke Rječine. Na temelju izrađenih simulacija napravljene su karte opasnosti od poplava. Rezultati pokazuju da je područje centra Rijeke ugroženo poplavama uzrokovanim i rijekom i morem. Zbog nedostatka detaljnijih podataka analiza je provedena za dvije različite kombinacije visokih razina mora i protoka rijeke. Ipak, za obje kombinacije najveće plavljenje vezano je uz područje oko Rječine, gdje se očekuju najveće dubine i brzine vode. Izradom karata opasnosti dokazano je da postoji realna opasnost od složenih poplava u centru grada Rijeke te se preporuča daljnja analiza u vidu procjene rizika od poplava, kao i izrada integralnog plana upravljanja poplavnim rizicima za grad Rijeku. Konačni rezultat plana upravljanja poplavnim rizicima trebao bi staviti naglasak na sprječavanje, zaštitu, pripravnost, sustave ranog upozorenja i prognoze

poplava kako bi se njima upravljalo što bolje i efikasnije. Buduća istraživanja složenih poplava u priobalnom području trebala bi ići u smjeru statističke analize vjerojatnosti supojave više različitih izvora plavljenja, ne samo od visokih razina mora i visokih protoka rijeke Rječine, već i od pluvijalnih poplava uzrokovanih jakim kratkotrajnim oborinama.

Zahvala. *Ovaj rad je rezultat rada u okviru projekata „Održivo upravljanje riječnim slivom implementacijom inovativnih metodologija, pristupa i alata“ (UNIRI-TEHIC-18-129) te projekta „Hidrologija vodnih resursa i identifikacija rizika od poplava i blatnih tokova na krškim područjima“ (UNIRI-TEHNIC-18-54) financiranih od strane Sveučilišta u Rijeci.*

Literatura

- [1] Projekt FRISCO1. <https://frisco-project.eu/hr/o-projektu-hr/o-poplavama/> (13.06.2023.)
- [2] Paprotny, D. (2018) Methods for Improving Pan-European Flood Risk Mapping. Doktorski rad. Delft University of Technology.
- [3] Holjević, D. (2016) Urbane poplave. Osma regionalna konferencija o sigurnosti gradova.
- [4] Hrvatske vode (2014) EU Direktiva o poplavama u Hrvatskoj. Smjernice. Sažetak.
- [5] Tehnički fakultet & Vodoprivredno projektni biro d.d. (2015) Matematički model spoja Rječine i Mrtvog kanala odnosno poplavljanja donjeg toka Rječine. Studija.
- [6] Hrvatske vode (2019) Prethodna procjena rizika od poplava 2018.
- [7] Hrvatske vode (2021) Karte opasnosti od poplava i karte rizika od poplava – 2019.
- [8] HEC-RAS River Analysis System (2016) User's Manual Version 5.0.
- [9] QGIS Desktop 3.22 User Guide (2023)
- [10] Siladi, K. (2018) Revitalizacija starih rukavaca potoka Trnave s hidrološkog aspekta. Završni rad. Međimursko veleučilište u Čakovcu.
- [11] IPA 2010 Program Europske unije za Hrvatsku. Twinning projekt „Izrada karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava“ (2014) Glavni elementi pripreme karata opasnosti od poplava i karata rizika od poplava. Izvješće o Komponenti 3.
- [12] Petroliaqkis, T. I., Voukouvalas, E., Disperati, J., & Bidlot, J. (2016) Joint Probabilities of Storm Surge, Significant Wave Height and River Discharge Components of Coastal Flooding Events. European Commission-JRC Technical Reports, Italia.

- [13] Bilić, M.M. (2020) Procjena opasnosti od složenih poplava u centru grada Rijeke uslijed kombiniranog djelovanja mora i rijeke. Diplomski rad. Građevinski fakultet. Sveučilište u Rijeci.