
Procjena opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava

8. Sabor hrvatskih graditelja

Nino Krvavica

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

SAŽETAK

U ovome radu prikazane su aktivnosti, rezultati i zaključci recentnih istraživanja te procjena opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava u Hrvatskoj. Poseban osvrt daje se na pojedine elemente ovih analiza, kao što je proračun pojavnosti jakih oborina, definiranje projektnog pljuska, važnost preciznih i pouzdanih prostornih podloga te specifičnosti hidrološko-hidrauličkog modeliranja površinskog otjecanja u urbanim sredinama. Uz navedeno, predstaviti će se metodologija izrade karata opasnosti i rizika od poplava te buduća istraživanja koja bi trebala unaprijediti predmetne analize i procjene.

Ključne riječi: pluvijalne poplave; projektni pljusak; digitalni model visina; modeliranje poplava; opasnosti od poplava; rizici od poplava; kartiranje poplava

Pluvial flood hazard and risk assessment

8th Congress of Croatian Builders

ABSTRACT

This paper presents the activities, results, and conclusions of recent research on the pluvial flood hazard and risk assessment in Croatia. Special focus is placed on specific elements of these analyses, such as the probability of heavy rainfall, definition of the design storm, the importance of precise and reliable spatial data and the specifics of hydrological-hydraulic modelling of surface runoff in urban areas. In addition, the methodology for mapping the flood hazard and risk is presented, as well as future research that should improve these activities and assessments.

Key words: pluvial floods, design storms, digital elevation model, flood modelling, flood hazard, flood risk, flood mapping

1 Uvod

Od svih prirodnih nepogoda, poplave se javljaju najčešće i pogađaju najveći broj ljudi [1]. U razdoblju od 1995. do 2015. godine, 43% svih dokumentiranih prirodnih katastrofa bile su poplave, što je utjecalo na 2,3 milijarde ljudi i uzrokovalo milijarde dolara štete [1]. Samo u Europi, u razdoblju od 1986. do 2006. godine, akumulirana šteta procijenjena je na 100 milijardi eura, s više od 1100 ljudskih žrtava [2]. Očekuje se da će do 2050. godine rast populacije, klimatske promjene, devastacija šuma, gubitak močvara i porast razine mora utjecati na 2 milijarde ljudi smještenih u izloženim područjima ranjivima na poplave [3]. Katastrofalne poplave u Njemačkoj, Belgiji i Kini iz srpnja 2021. te duž istočne obale Sjedinjenih Američkih Država iz rujna 2021. godine najnoviji su dokazi ovih trendova, s nezabilježenim intenzitetom i tragičnim posljedicama u smislu društvenih, ekonomskih i ljudskih gubitaka na pogođenim područjima.

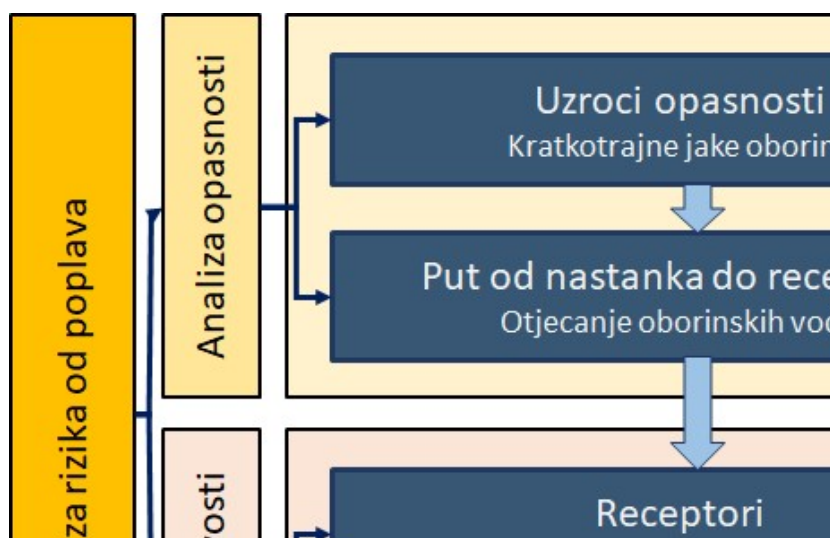
Mnogi veliki gradovi svijeta do sada su se (barem djelomično) prilagodili na opasnosti od poplava rijeka i poplava od mora, izgradnjom brana, nasipa i morskih barijera [4]. Međutim, kratkotrajne jake oborine su također jedan od značajnih uzroka poplava [5]. Pritom su posljedice ovih poplava izraženije u urbanim sredinama zbog izgradnje koja značajno umanjuje prirodnu upojnost podloge te neadekvatnog projektiranja i/ili održavanja sustava za odvodnju oborinskih voda [6]. Nadalje, pluvijalne poplave rezultiraju ne samo prekomjernim površinskim tečenjem niz ulice, ceste, parkirališta i podzemnu infrastrukturu, već također mogu predstavljati opasnost za ljudsko zdravlje zbog pronosa onečišćenja, patogenih organizama ili opasnih kemikalija [7].

Europska Unija (EU) je 2007. izdala Direktivu o procjeni i upravljanju rizicima od poplava (Direktiva 2007/60 / CE) – tzv. Direktiva o poplavama - s ciljem smanjenja rizika od štetnih posljedica poplava po zdravlje ljudi, okoliš, kulturnu baštinu, ekonomske aktivnosti i infrastrukturu. Direktiva o poplavama obvezuje sve države članice Europske unije da izrade Preliminarnu procjenu rizika od poplava, izrade Karte opasnosti i rizika od poplava te donesu Planove upravljanja poplavnim rizicima. Uz to, Procjena rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj [8] naglašava da su poplave jedan od tri neprihvatljiva rizika i proglašava nacionalnim prioritetom kontinuirano smanjivanje rizika ove vrste katastrofe aktivnim javnim politikama.

Prvi konkretniji korak u rješavanju izazova pluvijalnih poplava u Hrvatskoj u skladu s Direktivom o poplavama proveden je kroz EU projekt RAINMAN [9, 10], u okviru kojega je unaprijeđena metodološka osnova za procjenu pluvijalnih poplava, a izrađene su i karte opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava za pilot područja Zagreba i Umaga. Trenutno je u provedbi i EU projekt STREAM u okviru kojega se planiraju izraditi karte opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava te plan upravljanja poplavnim rizicima za još šest gradova (Poreč, Gospić, Zadar, Biograd, Split i Metković). U ovome radu daje se sažeti pregled trenutnog stanja te najznačajnijih iskoraka u pristupu procjene opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava s naučenim lekcijama te preporukama za buduća promišljanja o ovoj temi.

2 Okvir za procjenu rizika od pluvijalnih poplava

Metodološki okvir naziva Izvor – put – receptor – posljedice (IPRP) (eng. *Source-Pathway-Receptor-Consequence*, SPRC) [11] standardno se primjenjuje u procjeni poplavnih rizika, a definira rizik kao kombinaciju opasnosti i ranjivosti (slika 1). Ovim pristupom opasnost od poplava opisana je vezom između uzroka poplave (u slučaju pluvijalnih poplava to su jake oborine) i puta od uzroka do receptora (površinsko i podpovršinsko otjecanje oborinskih voda koje se opisuje hidrološko-hidrauličkim modelima), dok je ranjivost opisana receptorima (subjektima i objektima izloženima poplavi) i posljedicama (najčešće potencijalnim štetama).



Slika 1. Konceptualni model Izvor – Put – Receptori – Posljedice za procjenu rizika od pluvijalnih poplava

3 Obrada meteoroloških podataka

3.1 PTP i ITP krivulje

Područje Hrvatske vrlo je heterogeno u pogledu pojavnosti kratkotrajnih jakih oborina, čije značajke se opisuju putem PTP (količina oborine – trajanje oborine – povratni period) ili ITP krivulja (intenzitet oborine – trajanje oborine – povratni period). Ove krivulje su najčešće korištena podloga za procjenu opasnosti od pluvijalnih poplava, odnosno projektiranje sustava za odvodnju oborinskih voda i mjera za zaštitu od poplava [9]. Međutim, unatoč važnosti koju imaju, njihova dostupnost je ograničena za šire korištenje, a ni sama metodologija za izradu ovih krivulja nije ujednačena niti dovoljno poznata.

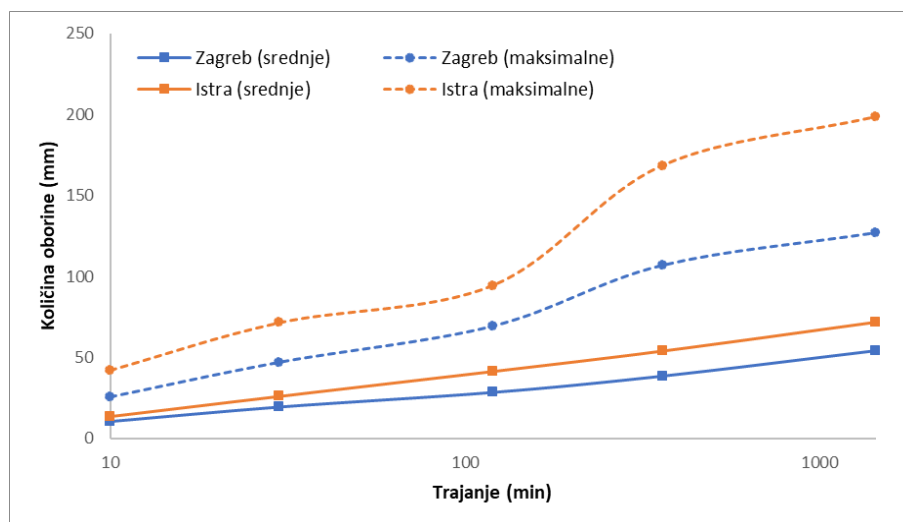
U okviru EU projekta RAINMAN [9] uspostavljena je metodologija obrade oborinskog režima jakih oborina u svrhu definiranja PTP i ITP krivulja, koja se sastoji od sljedećih koraka: digitalizacija ombrografskih podataka, usporedba s podacima s pripadajućeg kišomjera i odabir nizova, formiranje niza karakterističnih vrijednosti količina oborine za različita trajanja te ispitivanje homogenosti, procjena očekivane maksimalne količine oborine različitih trajanja za odabrane povratne periode, odnosno vjerojatnosti godišnjeg premašenja, pri čemu se primjenjuje opća razdioba ekstrema (eng. *Generalized Extreme Value*, GEV), definiranje PTP i ITP krivulja prilagodbom nelinearnih funkcija izračunatim vjerojatnostima pojedinih trajanja te verifikacija dobivenih vrijednosti.

Na slici 2 prikazana je usporedba srednjih i maksimalnih zabilježenih količina oborina za različita trajanja na području Zagreba i Istre na temelju kojih su kasnije i izrađene odgovarajuće PTP i ITP krivulje. Ovi rezultati naglašavaju regionalnu heterogenost jakih oborina u Hrvatskoj te upućuju na važnost sveobuhvatnije analize kratkotrajnih jakih oborina, kako bi se osigurale primjerene podloge za hidrološko-hidrauličke proračune poplava. Pritom, takvu obradu nužno je provesti na njenom cjelokupnom prostoru, uzimajući u obzir sve ombrografske postaje za koje postoje na raspolaganju raspoloživi nizovi ombrografskih podataka duljine od najmanje 30 godina.

3.2 Projektni pljusak

Iako PTP i ITP krivulje u određenoj mjeri odražavaju obilježja realne oborine zabilježene na pripadnoj postaji, njihova razina definiranosti vrlo često nije zadovoljavajuća, jer nerijetko zanemaruje vremensku raspodjelu intenziteta unutar pojedine kišne epizode. Posebno se to odnosi na područje

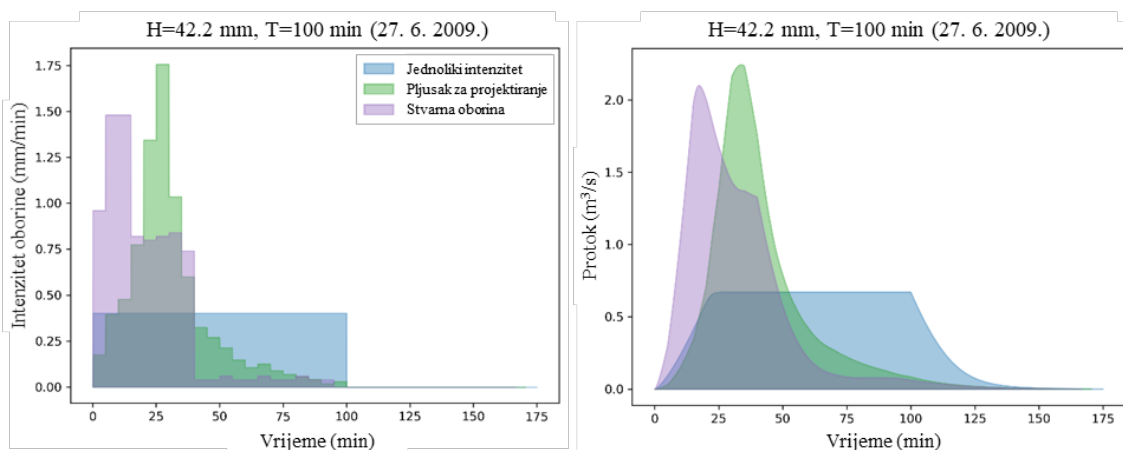
Republike Hrvatske, gdje su na geografski malom području prisutne vrlo izražene orografske i klimatske raznolikosti koje utječu na količine oborina, njihovu vremensku raspodjelu te vjerojatnost pojavljivanja [10]. Kroz već ranije spomenuti EU projekt RAINMAN zaključeno je da je u procjenama opasnosti od pluvijalnih poplava, mjerodavnu oborinu potrebno definirati tzv. projektnim pljuskom [12]. Naime, za razliku od PTP ili ITP krivulja koje predstavljaju anvelopu kišnih događaja iz različitih kišnih epizoda te unutar svoga trajanja uprosječuju intenzitete, projektni pljusak uključuje i vremensku varijabilnost intenziteta unutar jedne kišne epizode.



Slika 2. Prosječne i maksimalne zabilježene količine oborine za različita trajanja na području Zagreba (1961.-2016.) i Istre (1961.-2016.) (prema [9])

Projektni pljusak može biti definiran sintetičkim hijetogramom izvedenim iz niz zabilježenih kišnih događaja ili, rjeđe, odabirom pojedinih zabilježenih ekstremnih povijesnih oborina. U prvom slučaju, vremenska raspodjela oborina računa se ili direktno iz PTP/ITP krivulja ili statističkom obradom niza zabilježenih oborina [12]. Stoga je u okviru projekta RAINMAN razvijena i metodologija definiranja projektnog pljuska primjenom modificirane metode prosječne varijabilnosti oborinskog intenziteta [13]. Naime, pomoću navedene metode definiraju se determinističke vrijednosti projektnog pljuska određenog trajanja i povratnog perioda, koje su jednostavnije za primijeniti u praksi u usporedbi s (češće korištenim) probabilističkim pristupom metode Huffovih krivulja, a daju prihvatljivu aproksimaciju karakterističnog oblika kumulativne oborine [13]. Nedavno je na primjeru grada Novigrada u Istri pokazano kako upravo metoda prosječne varijabilnosti oborinskog intenziteta daje najrealniju procjenu poplava u usporedbi s pet najčešće korištenih pristupa [14]. U navedenom istraživanju je također zaključeno kako procjena pluvijalnih poplava koja se zasniva na oborinama jednolikog intenziteta direktno proračunatog iz PTP/ITP krivulja značajno podcjenjuje i protoke i obuhvat poplave.

Na slici 3 dana je usporedba realne oborine trajanja 100 minuta zabilježene na postaji Grič u Zagrebu te projektnog pljuska i jednolike oborine istog trajanja uz pripadni hidrogram otjecanja sa hipotetskog urbanog sliva površine 10 ha. Iz danog prikaza može se primijetiti kako je odabir oblika projektnog pljuska od iznimne važnosti za realan proračun hidrograma otjecanja oborinskih voda. Stoga, kao preduvjet takvih proračuna, nužno je da se provedu obrade oblika projektnog pljuska i za ostala područja u Hrvatskoj te provede njihova prostorna regionalizacija.

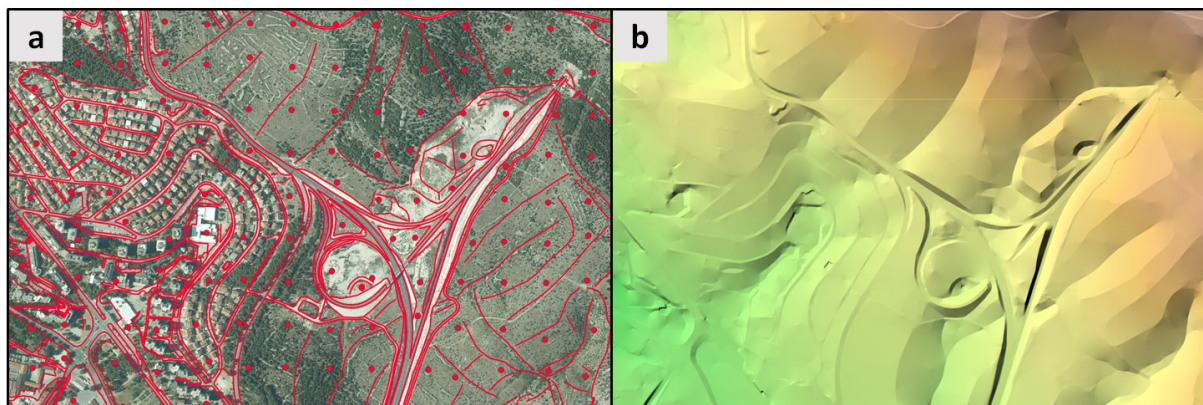


Slika 3. Usporedba zabilježene jake oborine trajanja 100 min u Zagrebu te projektnog pljusk i oborine jednolikog intenziteta uz prikaz rezultirajućih hidrograma otjecanja sa hipotetskog sliva [10]

4 Priprema prostornih podloga

Osnovna prostorna podloga za modeliranje opasnosti od poplava je digitalni model visina (DMV), (eng. *Digital Elevation Model*, DEM). U Hrvatskoj je službeno dostupan DMV rezolucije 25 m, koji izrađuje i izdaje Državna geodetska uprava (DGU). Navedeni model izrađen je interpolacijom vektorskih podataka digitalnog modela reljefa (DMR), koji predstavlja skup pojedinačnih markantnih točaka, visinskih točaka, prijelomnica i linija oblika potrebnih za prikaz Zemljine površine. Međutim, iz DMR-a moguće je izraditi DMV i više rezolucije od 25 m, ovisno o gustoći vektorskih podataka (točaka i linija). Pored DMV-a koji izrađuje DGU i izdaje uz naknadu, za područje cijele Europske unije javno je dostupan i EU DEM 25 s platforme Copernicus, također 25-m rezolucije (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>).

Na slici 4 prikazani su izvorni podaci DMR-a dobiveni fotogrametrijskom restitucijom na ortofoto podlozi (DGU) odabranog dijela grada Šibenika, DMV rezolucije 2 m izrađen interpolacijom DMR-a metodom prirodnih susjeda (eng. *Natural Neighbours*) te DMV rezolucije 25 m (EU DEM, Copernicus), gdje su jasno vidljivi nedostaci 25-m DMV-a s gledišta glavnih smjerova površinskog toka oborinskih voda. Treba napomenuti kako se često DMV nadograđuje podacima iz otvorenog pristupa, na način da se pridodaju izgrađeni objekti (kuće i zgrade) lokalnim izdizanjem terena unutar definiranih poligona, odnosno utiskivanjem terena unutar definiranih poligona prometnica.



Slika 4. Detalj istočnog dijela grada Šibenika: a) Izvorni podaci DMR-a na ortofoto podlozi, b) DMV rezolucije 2 m
c) EU DEM rezolucije 25 m.

U novije se vrijeme sve češće koristi lasersko snimanje (aero ili terestričko), poznatije pod akronimom LiDAR (Light Detection and Ranging), koje omogućava izradu DMR-a vrlo visoke rezolucije (0,5 – 1,0 m). Međutim, rezultat LiDAR mjerenja je oblak točaka koji osim Zemljine površine sadržava sve elemente koji se nalaze na površini, kao što su vegetacije, živi svijet, infrastruktura, zgrade, i ostalo. Stoga je potrebno provesti filtriranje izmjerenih podataka, odnosno izdvajanje korisnih od neželjenih informacija.

Druga važna prostorna podloga za procjenu opasnosti od poplava je pokrov zemljišta, koji služi za procjenu dva bitna parametra u hidrološko-hidrauličkim modelima, prvi je infiltracija oborine u podlogu koja definira efektivnu oborinu (postotak oborine koja se transformira u otjecanje), a drugi koeficijent hrapavosti podloge koji definira otpor tečenju, odnosno posljedično utječe na dinamiku otjecanja oborinskih voda. Osnovna informacija o zemljišnom pokrovu u Hrvatskoj je Corine Land Cover (CLC) – digitalna baza podataka o stanju i promjenama zemljišnog pokrova prema standardiziranoj CORINE nomenklaturi i metodologiji koja je unificirana na razini EU-a te javno dostupna na Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) platformi (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/>). Standardni pristup izrade CLC baze temelji se na vizualnoj interpretaciji satelitskih snimaka prema standardnoj CLC metodologiji, a kao rezultat generiraju se vektorski poligoni pokrova zemljišta u mjerilu 1:100.000, minimalne širine 100 m i minimalnog područja kartiranja 25 ha. Definirana CLC nomenklatura uključuje 44 klase, raspoređene u 3 razine, od kojih svaka opisuje različit pokrov zemljišta. Ovdje treba spomenuti i bazu podataka Obalne zone (engl. Coastal zones, CZ), koja je također dostupna na CLMS platformi za cijelo obalno područje EU-a (10 km od obalne linije), kompatibilna je s CLC klasifikacijom, ali za određene klase dodatno razrađuje namjene korištenja zemljišta koje su karakteristične za priobalna područja (<https://land.copernicus.eu/local/coastal-zones>). CZ sadrži detaljnije vektorske podatke o pokrovu zemljišta u odnosu na CLC s minimalnim područjem kartiranja 0,5 ha te uključuje 60 klasa zemljišnog pokrova. Pored navedenih baza podataka, u slučaju kartiranja poplava na vrlo malim i raznolikim područjima preporuča se provesti polu-automatsku digitalizaciju zemljišnog pokrova iz multispektralnih snimaka predmetnog područja.

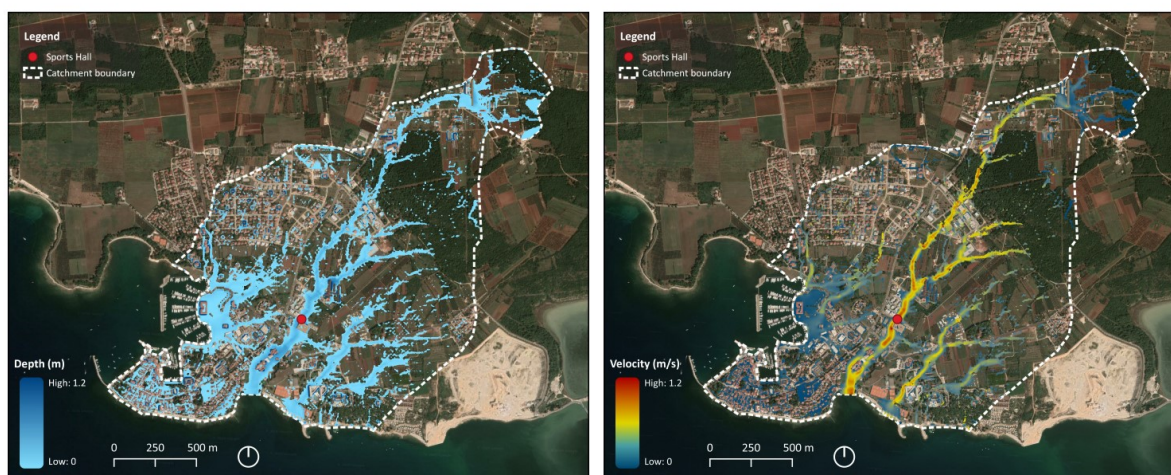
5 Modeliranje opasnosti od poplava

Dva su osnovna pristupa modeliranju pluvijalnih poplava – konceptualni modeli i hidrološko-hidraulički modeli. Prvi su jednostavniji i računalno manje zahtjevni, često su implementirani u GIS alate, a zasnivaju se na algoritmima koji određuju smjer toka vode s obzirom na nagibe digitalnog modela visina te zone akumuliranja vode s obzirom na postojeće depresije terena. Konceptualni modeli najčešće zadovoljavaju jedino zakon očuvanja mase te stoga daju prikaz samo konačnog stanja poplavljenog područja, bez mogućnosti uvida u brzine i protoke otjecanja oborinskih voda, kao ni dinamiku širenja poplava. Stoga su ovakvi modeli primjereni za preliminarne analize ili za identificiranje kritičnih zona koja zahtijevaju detaljniju analizu.

S druge strane, hidrološko-hidraulički modeli su računalno zahtjevniji i složeniji za uspostavu, ali opisuju dinamiku širenja poplava te pružaju uvid u vremensku raspodjelu dubina, brzina i protoka otjecanja oborinskih voda na promatranom području. Navedeni modeli u potpunosti ili djelomično opisuju hidrološke procese – generiranje površinskog otjecanja oborinskih voda i infiltraciju, te hidrauličke procese – nestacionarni tok oborinskih voda unutar definirane prostorne i vremenske domene. S obzirom na područje istraživanja, modeli mogu biti jednodimenzijski (1D), kvazi-dvodimenzijski, dvodimenzijski (2D) i kombinirani 1D/2D. Kod otjecanja oborinskih voda u urbanim sredinama sve se češće primjenjuju i dualni modeli otjecanja (eng. *Dual Drainage*) koji simuliraju interakciju između površinskog otjecanja i tečenja u cijevima, kako bi se u proces pluvijalnih poplava

uključio i utjecaj sustava za odvodnju oborinskih voda. Za razliku od konceptualnih modela, hidraulički modeli zadovoljavaju zakone očuvanja mase i očuvanja količine gibanja. Na tržištu je velik broj hidrološko-hidrauličkih modela koji su primjereni za pluvijalne poplave, kao što su TUFLOW, MIKE Urban, SOBEK, Hydro_AS, Infoworks ICM, PCSWMM i FLO-2D, međutim samo je nekoliko javno dostupnih računalnih programa, kao što su HEC-RAS i OpenLISEM.

Napretkom tehnologije i računalnih programa omogućuju se sve pouzdanije i preciznije prognoze pluvijalnih poplava. U današnje vrijeme može se zahtijevati da računalni program za modeliranje pluvijalnih poplava u svrhu procjene rizika mora uključivati: a) nestacionarni 2D tok površinskih voda, b) definiranje vremenski i prostorno varijabilne oborine (tzv. *rain-on-grid*) te c) proces infiltracije u podlogu. Srećom, najnovija verzija javno dostupnog programa HEC-RAS 6.0 obuhvaća sve gore navedeno [15]. Na slici 5 prikazani su rezultati simulacije pluvijalne poplave u djelomično urbaniziranom slivu grada Novigrada pomoću HEC-RAS modela s prikazom anvelope maksimalnih dubina i brzina vode na osnovu kojih se izrađuju karte opasnosti od poplava [14].



Slika 5. Rezultati modeliranja pluvijalnih poplava na području grada Novigrada s prikazom anvelope prostorne raspodjele maksimalnih dubina i maksimalnih brzina vode [14].

Vezano uz modeliranje pluvijalnih poplava treba naglasiti kako je potrebno provesti niz simulacija za različita trajanja oborine od (najčešće od 30 min do 6h) kako bi se proračunala anvelopa maksimalnih dubina, brzina te obuhvata poplave. Naime, ponekad oborina trajanja jednakoga vremenu koncentracije sliva, koja bi u teoriji trebala rezultirati maksimalnim protocima ne odražava ujedno i maksimalne dubine ili obuhvat poplave [14].

6 Izrada karata opasnosti i rizika od poplava

Direktiva o poplava propisuje da se karte opasnosti i rizika od poplava izrade prema scenarijima male, srednje i velike vjerojatnosti. U Hrvatskoj su za fluvijalne poplave odabrani povratni periodi od 1000, 100 i 25 godina kao reprezentativne pojave za ova tri scenarija. Međutim u okviru projekta RAINMAN, procjene poplava za Zagreb i Umag provedene su za scenarije 100-, 20- i 5-godišnji povratni period (vjerojatnost godišnjeg premašenja 1%, 5% i 20%), što su znatno više vrijednosti, ali realnije s obzirom na duljinu dostupnih ombrografskih nizova [16]. Karte opasnosti od poplava izrađuju se u mjerilu 1:25.000, a trebaju minimalno prikazivati opseg poplava, dubinu vode te brzinu vode za malu, srednju i veliku vjerojatnost pojavljivanja. Pritom, karte rizika prikazuju moguće štetne posljedice povezane s ova tri scenarija, što minimalno uključuje: okvirni broj potencijalno ugroženih stanovnika,

vrstu gospodarskih aktivnosti na pogođenom području te postrojenja koja bi mogla prouzročiti iznenadna onečišćenja.

7 Zaključak

U Hrvatskoj su aktivnosti procjene opasnosti i rizika od pluvijalnih poplava tek započele - provedene su samo za dva grada (Zagreb i Umag), a u tijeku je izrada karata za još šest gradova kroz projekt STREAM. Iz naučenih lekcija i predloženih metodologija može se općenito zaključiti da je za kvalitetnu procjenu poplavnih rizika ključno raspolagati kvalitetnim, ažuriranim i preciznim podlogama, prvenstveno oborinama koje trebaju biti definirane projektnim pljuskom, te digitalnim modelom visina koji mora biti što više rezolucije te sadržavati visinske informacije o urbanoj infrastrukturi i izgrađenim objektima. Pored toga, potrebno je koristiti moderna programska rješenja, odnosno hidrološko-hidrauličke modele koji uključuju prostorno i vremenski neujednačenu oborinu, kao i infiltracijske karakteristike podloge. Najznačajniji napredak u ovom području očekuje se kroz daljnji razvoj računalnih modela s mogućnosti proračuna interakcije površinskog toka, sustava za odvodnju oborinskih voda te podzemnih voda, kao i kroz bolje razumijevanje i intenzivniju implementaciju mjera za ublažavanje pluvijalnih poplava koje se temelje na prirodnim rješenjima i zelenoj infrastrukturi.

Literatura

- [1] UNISDR: Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030. In *Proceedings of the 3rd United Nations World Conference on DRR, Sendai, Japan*, pp. 14-18, 2015.
- [2] EEA: Annual Report 2010 and Environmental statement 2011, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 2010.
- [3] WWAP (World Water Assessment Programme): The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO, 2012.
- [4] Kim, Y., Eisenberg, D.A., Bondank, E.N., Chester, M.V., Mascaro, G. and Underwood, B.S.: Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. *Climatic Change*, 145(3-4), pp.397-412, 2017.
- [5] Jamali, B., Löwe, R., Bach, P.M., Urich, C., Arnbjerg-Nielsen, K. and Deletic, A.: A rapid urban flood inundation and damage assessment model. *Journal of hydrology*, 564, pp.1085-1098, 2018.
- [6] Leandro, J., Chen, A.S., Djordjević, S. and Savić, D.A.: Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of hydraulic engineering*, 135(6), pp.495-504, 2009.
- [7] Fraga, I., Charters, F.J., O'Sullivan, A.D. and Cochrane, T.A.: A novel modelling framework to prioritize estimation of non-point source pollution parameters for quantifying pollutant origin and discharge in urban catchments. *Journal of environmental management*, 167, pp.75-84., 2016.
- [8] Vlada Republike Hrvatske: Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku. Zagreb, 2019.
- [9] Rubinić, J., Cindrić Kalin, K., Radišić, Maja, Güttler, Ivan & Krvavica, N.: Projekt RAINMAN - usporedba PTP krivulja ombrografskih postaja na pilot područjima Istre i Zagreb. U: Biondić, D., Holjević, D. & Vizner, M. (ur.) 7. Hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode. Zagreb, Hrvatske vode, str. 101-110, 2019.
- [10] Krvavica, N. & Rubinić, J.: Projekt RAINMAN - regionalne specifičnosti mjerodavnih jakih oborina na pilot područjima u Hrvatskoj. U: Biondić, D., Holjević, D. & Vizner, M. (ur.) 7. Hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode u zaštiti okoliša i prirode. Zagreb, Hrvatske vode, str. 93-100, 2019.
- [11] Schanze, J: "Flood risk management—a basic framework." *Flood risk management: Hazards, vulnerability and mitigation measures*. Springer, Dordrecht, pp 1-20, 2006.
- [12] Dietz, M.E.: Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, air, and soil pollution*, 186(1-4), pp.351-363, 2007.
- [13] Krvavica, N., Jaredić, K. and Rubinić, J.: Methodology for defining the design storm for sizing the infiltration system. *Građevinar*, 70(08.), pp.657-669, 2018.
- [14] Krvavica, N. i Rubinić, J.: Evaluation of design storms and critical rainfall durations for flood prediction in partially urbanized catchments. *Water* 12.7, 2044, 2020.
- [15] Brunner, G.W. HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, Version 5.0; US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center: Davis, CA, USA, 2016.
- [16] Vodoprivredno-projektni biro: Metodološki pristupi procjeni i upravljanju rizicima od poplava uslijed jakih oborina – projekt Rainman, Zagreb, 2020.