

PROCJENA KOLIČINE I KAKVOĆE OBORINSKE VODE U OKVIRU ODRŽIVOG SUSTAVA ODVODNJE NA PODRUČJU GRADA ŠIBENIKA

ESTIMATING STORM WATER QUANTITY AND QUALITY IN SUSTAINABLE URBAN DRAINAGE SYSTEM IN ŠIBENIK

Amalija Zubić*, Nino Krvavica**

Sažetak

U ovome radu provedena je hidrološko-hidraulička analiza održivog sustava odvodnje oborinskih voda na području grada Šibenika, odnosno komercijalne zone Dalmare. Cilj rada je procijeniti koliko plavo-zelena infrastruktura pozitivno utječe na sustav odvodnje oborinskih voda te na zaštitu okoliša. Rezultati provedenih analiza ukazuju na značajno smanjenje vršnog protoka i volumena otjecanja oborinske vode nakon izgradnje plavo-zelene infrastrukture, kao i na poboljšanje kakvoće oborinske vode.

Ključne riječi: SWMM, LID elementi, održivi sustav odvodnje, oborinske vode

Abstract

A hydrological-hydraulic analysis of a sustainable storm water drainage system in the city of Šibenik, the Dalmare commercial zone, was carried out in this study. The main aim is to assess how the blue-green infrastructure (BGI) positively affects the stormwater drainage system and environment. The results of the analyses indicate a significant reduction in the peak flow and volume of stormwater runoff after the implementation of BGI, as well as an improvement in the stormwater quality.

Key words: SWMM, LID elements, sustainable urban drainage system, stormwater

* ECOINA d.o.o., SR Njemačke 10, 10000 Zagreb

E-mail: amalija.zubic@gmail.com

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

E-mail: nino.krvavica@uniri.hr

1. Uvod

U urbanim područjima potrebe za vodom neprestano rastu zbog razvoja industrije, navodnjavanja poljoprivrednih površina te porasta broja stanovnika. U isto vrijeme, kakvoća vode se narušava zbog točkastih (industrijski i stambeni objekti) i raspršenih izvora onečišćenja (poljoprivreda)[1]. Također, sve veća urbanizacija dovodi do povećanja nepropusnih površina, a time i do značajnih negativnih promjena u hidrološkim procesima zbog smanjene infiltracije oborinskih voda[2].

Urbane oborinske vode koje otječu izgrađenim površinama danas predstavljaju jedan od značajnijih izvora nekontroliranog zagađenja vodnih resursa [1], no izgradnjom sustava odvodnje oborinskih voda njihova kakvoća se može barem djelomično kontrolirati. Oborinske vode prikupljaju onečišćenja iz atmosfere te urbaniziranih slivnih površina. Gusto naseljena industrijska i trgovačka područja te poljoprivredne površine predstavljaju najznačajniji izvor onečišćenja oborinskih voda[1].

Analiza problematike onečišćenja oborinskih voda obično se promatra kroz dvije faze [3]. Prvo je razdoblje „nakupljanja“ onečišćenja na slivnoj površini i ono određuje količinu onečišćenja koje će se nakupiti na slivnoj površini prije pljuska koji će to onečišćenje isprati. Sljedeće je razdoblje „ispiranja“ nakupljenog onečišćenja sa slivne površine, a ono ovisi o značajkama pljuska koje određuju koliko i kojim intenzitetom će se nakupljeno onečišćenje isprati te transportirati.

Za umanjeње štetnog djelovanja oborinskih voda na okoliš primjenjuju se građevinske i negrađevinske metode [4]. U građevinske metode spadaju objekti kojima se prikupljaju i pročišćavaju oborinske vode, dok se negrađevinskim metodama podiže zainteresiranost i edukacija stanovništva – čišćenje gradskih prostora i prometnica, kontrola uporabe gnojiva i zaštitnih sredstava, oblikovanje okoliša i uređivanje sliva/korištenje biljaka, šume itd.

U prethodnim istraživanjima [5,6] provedene su analize učinkovitosti zelene infrastrukture na području Hrvatske, ali su bile fokusirane samo na količinu vode. Stoga je u ovome radu provedena procjena količine i kakvoće oborinskih voda u okviru održivog sustava odvodnje oborinskih voda na području Grada Šibenika, odnosno komercijalne zone Dalmare. Za početak je ukratko opisano područje Šibenika i komercijalne zone Dalmare. Također je predstavljena metodologija hidrološko-hidrauličke analize te analize kakvoće vode. U svrhu poboljšanja sustava odvodnje na predmetnom području predloženo je rješenje održivog sustava odvodnje oborinskih voda koje se temelji na implementaciji zelene infrastrukture, odnosno kišnih vrtova, bioretencije, infiltracijskih jaraka, propusnih kolnika i zelenih krovova. Na kraju su prikazani rezultati proračuna i procjene količine i kakvoće oborinskih voda na predmetnom području te

dani prikladni zaključci. Cilj ovog rada je prikazati koliko zelene površine u urbanim sredinama pozitivno utječu na oborinske vode i vodni sustav, a time i na cjelokupni okoliš.

2. Opis područja

U ovome radu izrađena je analiza sustava odvodnje oborinskih vodaza područje koje obuhvaća dio grada Šibenika. Šibenik je grad sjeverne Dalmacije i sa svojih 42.589 stanovnika čini glavni grad Šibensko-kninske županije (samo naselje Šibenik ima 31.085 stanovnika). U gradu Šibeniku odabrana je komercijalna zona Dalmare, gdje je predloženo rješenje održivog sustava odvodnje oborinskih voda.

Na području komercijalne zone Dalmare prikazanom na Slici 1 prevladavaju površine komercijalne namjene, dok je zelenih površina vrlo malo. Osim toga, ovo područje je odabrano za analizu jer ima visoki stupanj izgrađenosti, odnosno mnogo nepropusnih površina. Upravo se iz tog razloga implementacijom zelenih površina postiže najviše pozitivnih efekata, kao što je poboljšanje kakvoće oborinske vode i smanjenje vršnih protoka. Analizirano područje se nalazi vrlo blizu obale, na nadmorskim visinama između 2 i 24 m n. m., a površine je 37 ha.



Slika 1. Položaj Šibenika, komercijalne zone Dalmare i granica obuhvata.

3. Podaci i podloge

Za potrebe ovog rada koristili su se dostupni prostorni i meteorološki podaci iz kojih su dodatno generirane podloge za potrebe hidrološke-hidrauličke analize sustava odvodnje oborinskih voda.

3.1. Prostorne podloge

U svrhu analize sustava odvodnje oborinskih voda prikupljene su dvije osnovne prostorne podloge:

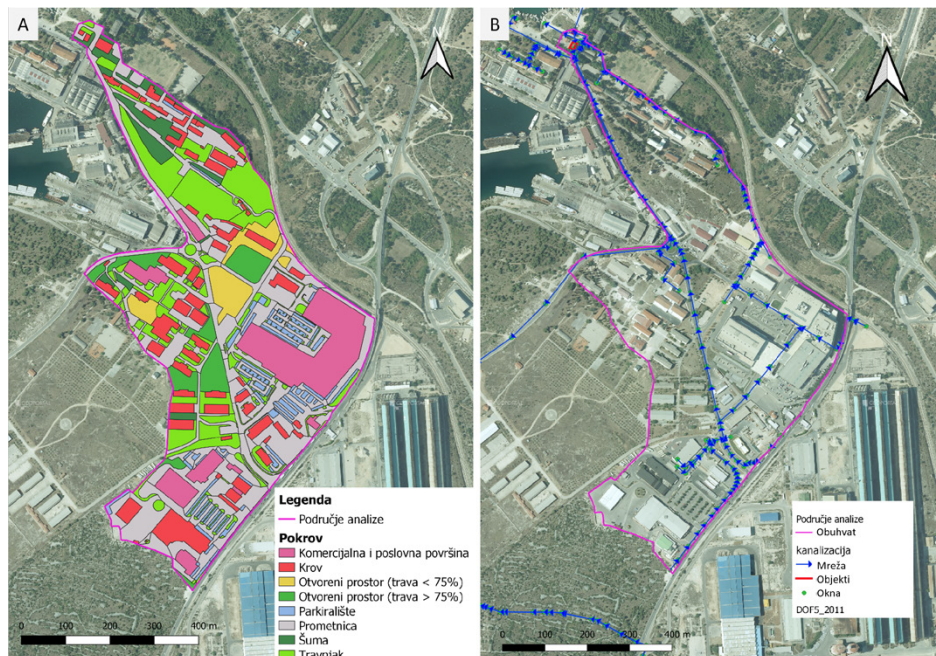
- Digitalni ortofoto (DOF) od Državne geodetske uprave (DGU) i
- Digitalni model terena (DMT), EU-DEM rezolucije 25 m od Copernicus servisa.

Vizualnom interpretacijom digitalne ortofoto snimke izrađena je detaljna karta pokrova zemljišta, u okviru kojeg su identificirane sljedeće klase: objekti komercijalne ili poslovne namjene, krovovi ostalih objekata, otvoreni prostori (trava pokriva manje ili više od 75 %), parkirališta, prometnice, šume i travnjaci (Slika 2A). Na predmetnom području najveći udio površine zauzimaju prometnice (37 %) i građevine (25 %); parkirališta zauzimaju 5 %, travnjaci 19 %, šume 4 %, a ostali otvoreni prostori 10 % površine sliva.

Podloga koja je također bila dostupna je postojeća kanalizacijska mreža na analiziranom području koja će se kasnije i nadograditi u svrhu što bolje odvodnje oborinskih voda. GIS podloga izgrađenog kanalizacijskog sustava dobivena je od komunalnog poduzeća „Vodovod i odvodnja Šibenik d.o.o.“. Na Slici 2B prikazan je postojeći kanalizacijski sustav na analiziranom području. Postojeći kanalizacijski sustav spada u mješoviti tip kanalizacijskog sustava, međutim u okviru ovoga rada predloženo je rješenje prenamjene ovog sustava u održivi sustav odvodnje oborinskih voda.

U sljedećem koraku su ručno definirani manji podslivovi s obzirom na izgrađene objekte i mrežu prometne infrastrukture (Slika 3). Za svaki podsliv određene su osnovne hidrološke karakteristike, kao što su površina, nagib, duljina toka vode i hrapavost te su im dodijeljene infiltracijske karakteristike prema postotku izgrađenosti (nepropusnost) i CN broju krivulje (prema SCS metodi [7]).

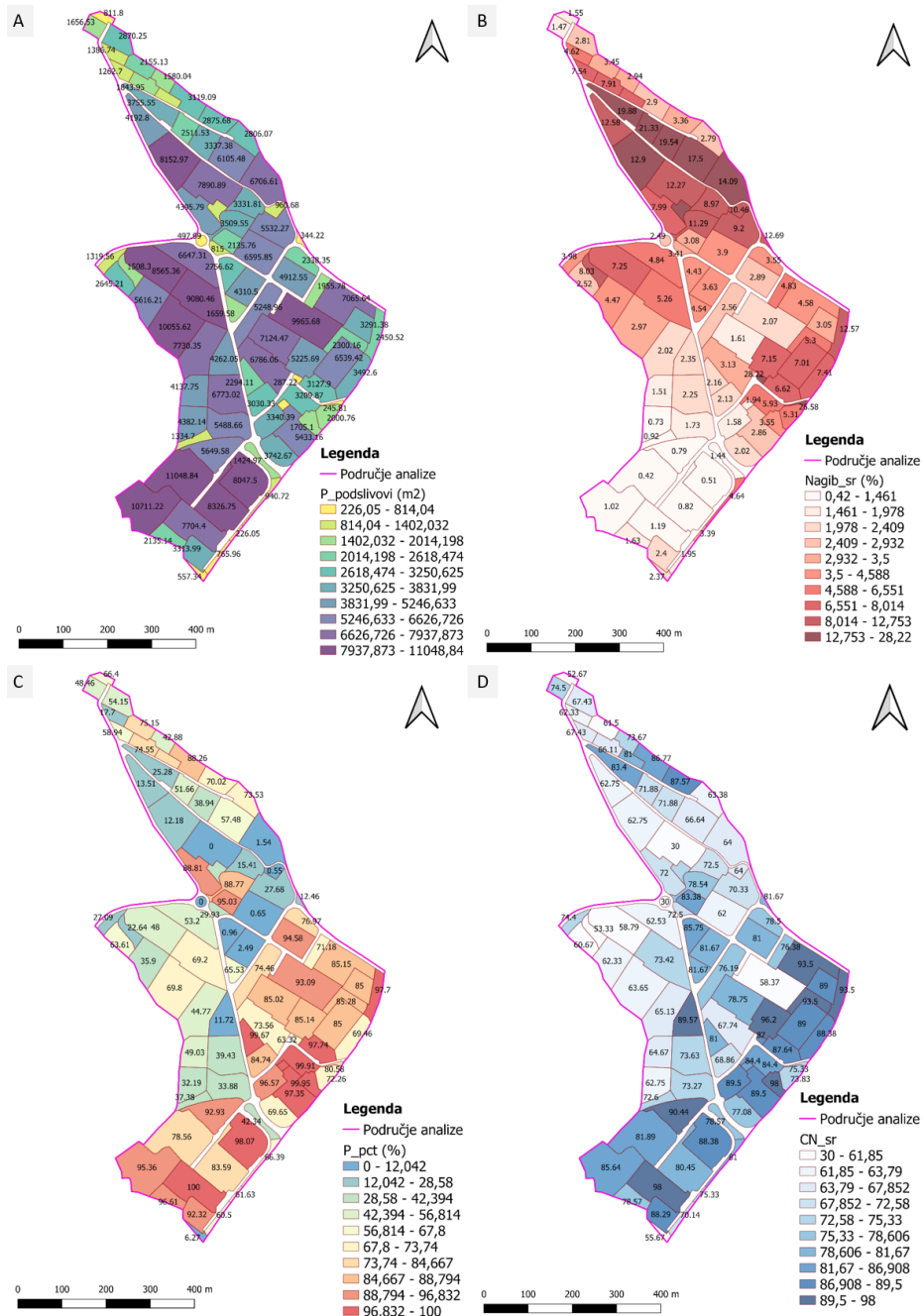
Ukupno je generirano 199 podslivova. Površine podslivova kreću se od 226 do 11.049 m², dok prosječna veličina podsliva iznosi 3.135 m² (Slika 3A). Vrijednosti srednjeg nagiba podsliva u rasponu su od 0,4 % do 28,2 %, dok srednji nagib cijelog sliva iznosi 5,6 % (Slika 3B).



Slika 2. Karta pokrova zemljišta (A) i postojećeg kanalizacijskog sustava (B) u odabranom slivu komercijalne zone Dalmare u Šibeniku.

Omjer nepropusnih površina i ukupne površine podsliva predstavlja nepropusnost u svakom podslivu P_{pct} (Slika 3C). Pretpostavljeno je da krovovi objekata i parkirališta imaju nepropusnost 100 % [6]. Sve prometnice su također u potpunosti nepropusne, pa vrijednost P_{pct} iznosi 100 % (nisu prikazane zasebnim poligonima na Slici 3C). Krovovi komercijalnih prostora imaju nepropusnost 85 %, dok su svi otvoreni prostori, travnjaci i šume u potpunosti propusni. Gledajući podslivove, nepropusnost varira između 0 i 100 %, dok prosječna nepropusnost na cijelom slivu iznosi 80,2 %. Nešto više od 70 % podslivova na analiziranom području ima udio nepropusnih površina veći od 50 %.

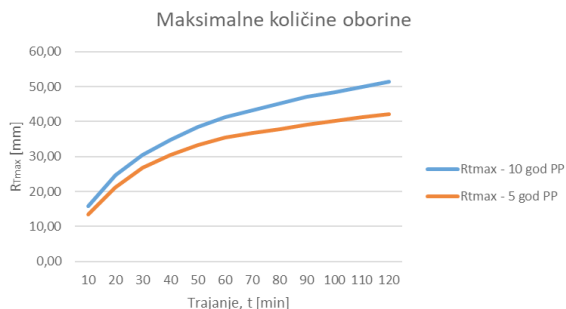
Što se tiče infiltracije, najmanja vrijednost CN broja iznosi 30, a najveća 98, dok prosječna vrijednost CN broja na slivu iznosi 70,9 (Slika 3D). Duljina toka vode u podslivovima kreće se u rasponu od 5,7 do 149,2 m, s prosječnom vrijednosti od 84,6 m. Manningov koeficijent hrapavosti usvojen je s vrijednosti $0,013 \text{ m/s}^{1/3}$ za prometnice, parkiralište i krovove te $0,2 \text{ m/s}^{1/3}$ za zelene površine [7].



Slika 3. Karakteristike podslivova: A) površina, B) srednji nagib, C) postotka nepropusnosti D) CN broj krivulje.

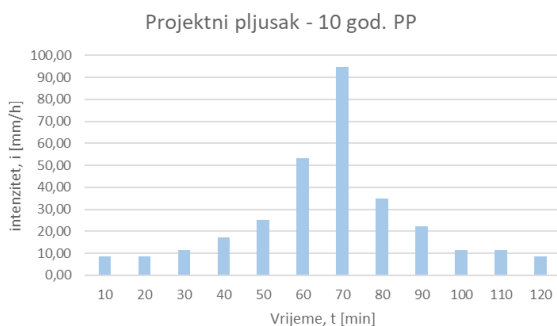
3.2. Meteorološke podloge

Za potrebe ovog rada korišteni su podaci procijenjene očekivane godišnje maksimalne količine oborine trajanja do 2 sata za povratna razdoblja od 5 i 10 godina [8]. Procijenjene maksimalne količine oborine prikazane su i grafički na Slici 4. Zbog nedostupnosti ombrografskih podataka s postaje Šibenik, ovi se podaci odnose na klimatološku postaju Split-Marjan koja se, kao i Šibenik, nalazi na području maritimne klime srednje Dalmacije. Na tom su prostoru tijekom posljednjih desetak godina više puta zabilježene vrlo značajne količine oborina koje su imale štetne posljedice. Količina oborine koja se očekuje da će pasti u dva sata iznosi 41 mm za povratno razdoblje od 5 godina, odnosno 51 mm za povratno razdoblje od 10 godina.



Slika 4. Maksimalne kratkotrajne količine oborina na postaji Split-Marjan za petogodišnje i desetogodišnje povratno razdoblje[8].

Iz gore prikazanih podataka konstruiran je projektni pljusak koji predstavlja sintetičku oborinu vremenski promjenjivog intenziteta [5]. Projektni pljusak dobiven je metodom izmjeničnih blokova za korak od 10 minuta i trajanje od dva sata.



Slika 5. Projektni pljusak za desetogodišnje povratno razdoblje generiran metodom izmjeničnih blokova.

Grafički prikaz projektnog pljuska prikazan je na Slici 5 za povratno razdoblje 10 godina (vjerojatnost godišnjeg premašenja 10 %). Za odabrano povratno razdoblje ukupna količina oborine u dva sata iznosi 51,3 mm, dok maksimalni 10-minutni intenzitet iznosi 95 mm/h, odnosno 1,58 mm/min ili 263 l/s/ha.

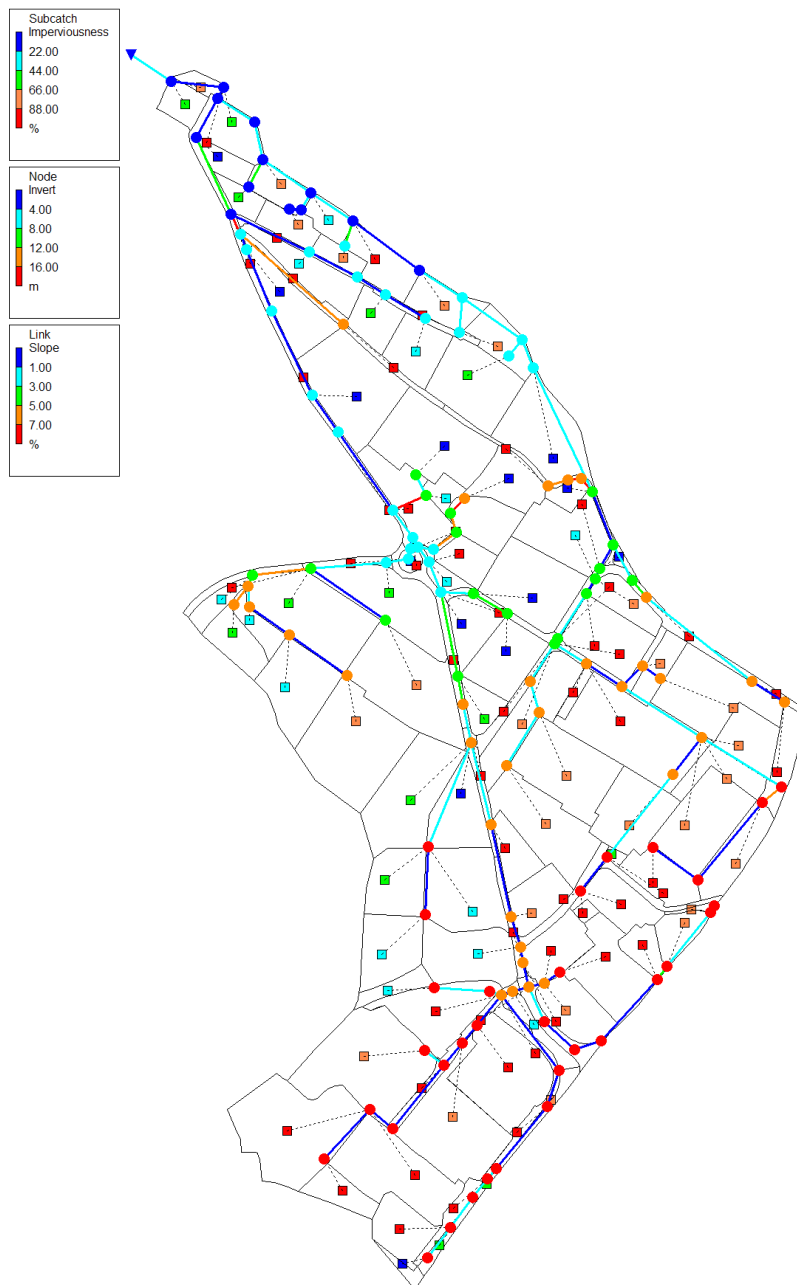
4. Matematički model sustava odvodnje

Hidrološko–hidraulički proračun proveden je u računalnom programu SWMM[9]. Ovaj računalni program se učestalo koristi za planiranje, projektiranje i analizu kada je riječ o otjecanju oborinskih voda, dimenzioniranju sustava odvodnje oborinskih ili sanitarnih voda te drugim sustavima odvodnje. SWMM je razvijen kako bi pružio podršku lokalnim, državnim i nacionalnim ciljevima upravljanja oborinskim vodama, za smanjenje otjecanja kroz infiltraciju i zadržavanje te za smanjenje ispuštanja oborinskih voda koje uzrokuju onečišćenje vodnih tijela.

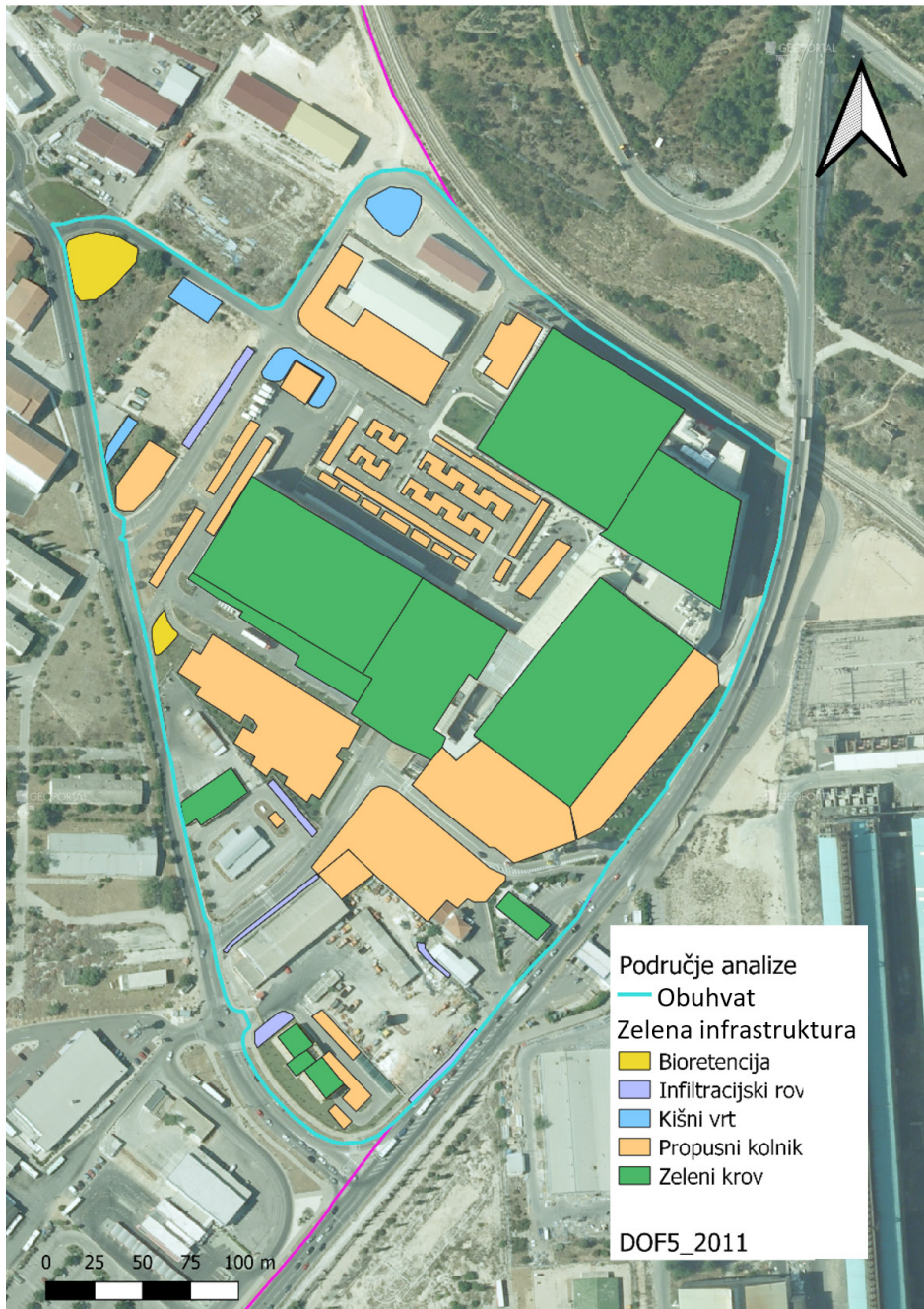
U SWMM programu izrađen je detaljan matematički model kanalizacijskog sustava na lokaciji komercijalne zone Dalmare u Šibeniku te je procijenjena količina i kakvoća oborinskih voda za predloženo rješenje sustava odvodnje oborinskih voda prije i nakon implementacije zelene infrastrukture, odnosno LID elemenata. Uz podslivove, definiran je i sustav slivnika i kolektora u skladu s postojećim stanjem sustava odvodnje. Ukupno je definirano 120 kolektora i 121 čvor na koje se spajaju podslivovi. Sustav odvodnje završava ispustom u more u uvali Mandalina (Slika 6).

Za implementaciju zelene infrastrukture odabran je dio sliva s najvećih stupnjem izgrađenosti. Površina obuhvata na kojem su implementirani LID elementi iznosi 11,6 ha, što je nešto više od 30 % ukupnog obuhvata analiziranog područja. Na Slici 7 prikazan je tlocrtni razmještaj LID elemenata, pri čemu su predložene lokacije bioretencija i kišnih vrtova na zelenim površinama, infiltracijskih jaraka uz prometnice, propusnih kolnika na parkiralištima te zelenih krovova na trgovačkim objektima većih površina i ravnih krovova.

Površina LID elemenata definirana je postojećim objektima, parkiralištima, odnosno slobodnim ili zelenim površinama. Dubine i karakteristike slojeva preuzete su iz vodiča za implementaciju LID elemenata u SWMM računalnom programu [3].



Slika 6. Matematički model sustava odvodnje oborinskih voda predmetnog sliva izrađen u SWMM računalnom programu s prikazom postotka nepropusnosti svakog podsliva (kvadrati), nadmorske visine dna okna (točke) i nagiba kolektora (linije).



Slika 7. Prijedlog rješenja održivog sustava odvodnje oborinskih voda na dijelu trgovačke zone Dalmare, odnosno raspored zelene infrastrukture.

Analiza onečišćenja oborinskih voda također je provedena u SWMM računalnom programu. U navedenom modelu moguće je provesti analizu za proizvoljan broj i tip onečišćujućih tvari uz zadavanje odgovarajućih parametara. Međutim, zbog ograničenih podataka o koncentraciji onečišćujućih tvari na urbanim površinama, odabrana su tri najčešće korištena i najbolje opisana parametra: a) dušik N, olovo Pb i ukupne suspendirane tvari TSS. Dušik je reprezent hranjivih tvari, a olovo teških metala. Predmetna analiza provodi se u dva koraka: a) nakupljanje onečišćenja na urbanim površinama i b) ispiranje onečišćenja s urbanih površina, što rezultira određenom koncentracijom onečišćenja u oborinskim vodama.

Nakupljanje (engl. *buildup*) B onečišćujućih tvari na urbanim površinama u SWMM-u je definirano eksponencijalnom funkcijom [3]:

$$B = C_1(1 - e^{-C_2t}), \quad (1)$$

gdje je C_1 maksimalni teret onečišćenja po jedinici površine, C_2 je koeficijent brzine nakupljanja, a t vrijeme nakupljanja. Za komercijalnu namjenu površina preporučene su sljedeće vrijednosti maksimalnog tereta onečišćenja po jedinici površine u godinu dana: $C_{1,N} = 7,51$ kg/ha, $C_{1,Pb} = 3,03$ kg/ha i $C_{1,TSS} = 1121$ kg/ha. Za sva onečišćenja preuzeta je prosječna vrijednost koeficijenta brzine nakupljanja $C_2 = 0,2$ [3].

Brzina ispiranja (engl. *washoff*) W onečišćenja s urbanih površina definirana je sljedećim izrazom [3]:

$$W = C_1q^{C_2}B \quad (2)$$

gdje je C_1 koeficijent količine ispiranja, C_2 je koeficijent brzine ispiranja, a q brzina otjecanja.

S obzirom da podaci o koeficijentu količine ispiranja nisu dostupni, vrijednosti su dobivene iterativnim postupkom, na način da rezultatna koncentracija onečišćenja C odgovara poznatim vrijednostima iz literature. Očekivane koncentracije su $C_N = 2,4$ mg/l, $C_{Pb} = 67,5\mu\text{g/l}$ i $C_{TSS} = 78,4$ mg/l [3]. Koeficijent brzine ispiranja je prema uputama iz SWMM priručnika [3] odabran s vrijednosti 1,8. Konačno, za svaki implementirani tip LID elementa definirana je učinkovitost uklanjanja onečišćenja prema tabličnim vrijednostima iz SWMM priručnika (Tablica 1) [3]. Treba napomenuti da vrijednosti prikazane u Tablici 1 utječu samo na učinak pročišćavanja te nemaju utjecaj na proračun nakupljanja i brzine ispiranja onečišćenja s urbanih površina. Naravno, zadani učinak pročišćavanja direktno je povezan se konačnim rezultatom u vidu poboljšanja kakvoće vode.

Tablica 1. Prosječna učinkovitost uklanjanja onečišćenja (%) LID elementima.

Prosječna učinkovitost uklanjanja onečišćenja (%)			
LID element	N	Pb	TSS
Bioretencija	59	46	80
Infiltracijski jarak	89	42	76
Propusni kolnik	89	42	76
Kišni vrt	80	31	60,5
Zeleni krov	85	56	68

5. Rezultati

U nastavku se prikazuju rezultati analize količine i kakvoće oborinske vode u okviru sustava odvodnje oborinskih voda prije i nakon implementacije zelene infrastrukture (LID elemenata).

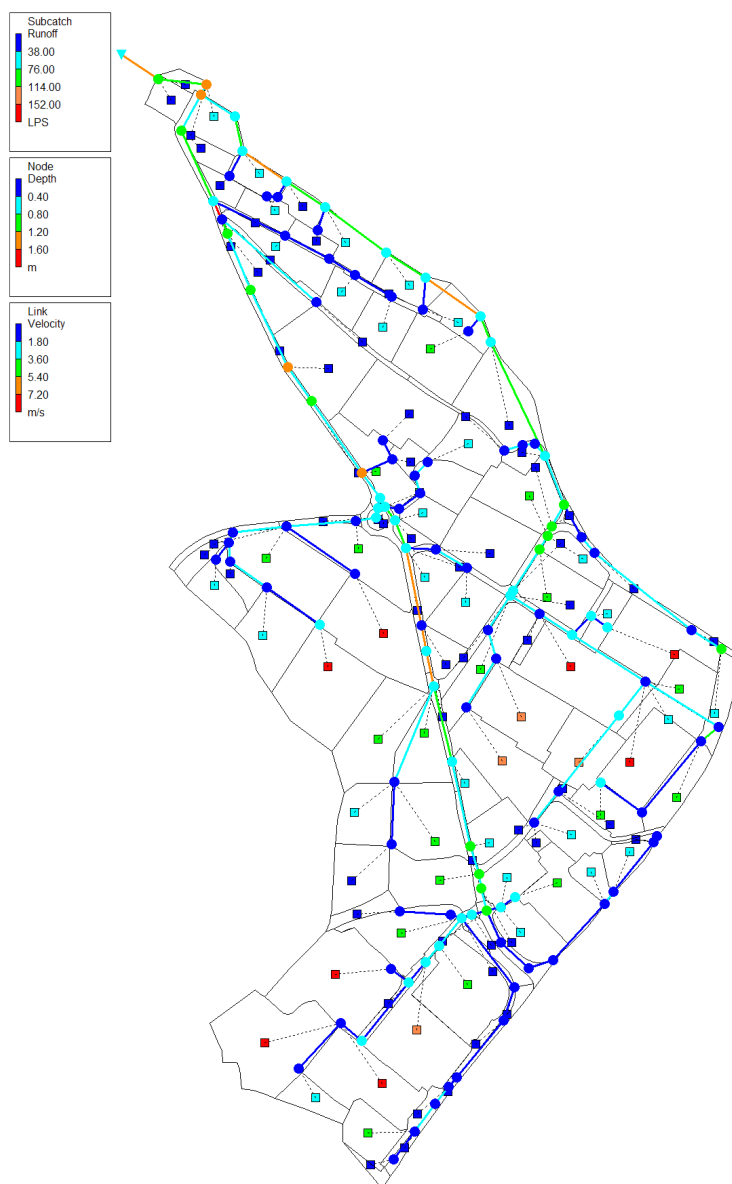
5.1. Stanje prije implementacije LID elemenata

Na Slici 8 prikazani su rezultati hidrološkog proračuna otjecanja oborinskih voda s predmetnog sliva, odnosno pojedinačnih podslivova, za projektni pljusak desetogodišnjeg povratnog razdoblja i trajanja dva sata (Slika 5). Površinsko otjecanje oborinskih voda ovisi o površini pojedinačnog podsliva te o hidrološkim karakteristikama, prvenstveno stupnju izgrađenosti, odnosno brzini infiltracije, ali i o drugim parametrima, kao što su nagib, hrapavost i oblik. Koeficijenti otjecanja stoga variraju od 0,07 do 0,99, a protoci od 1 do 184 l/s. Maksimalni protok na najnižvodnijoj točki sliva, odnosno ispustu u more iznosi 5511 l/s, a ukupni volumen oborinske vode 13.845 m³.

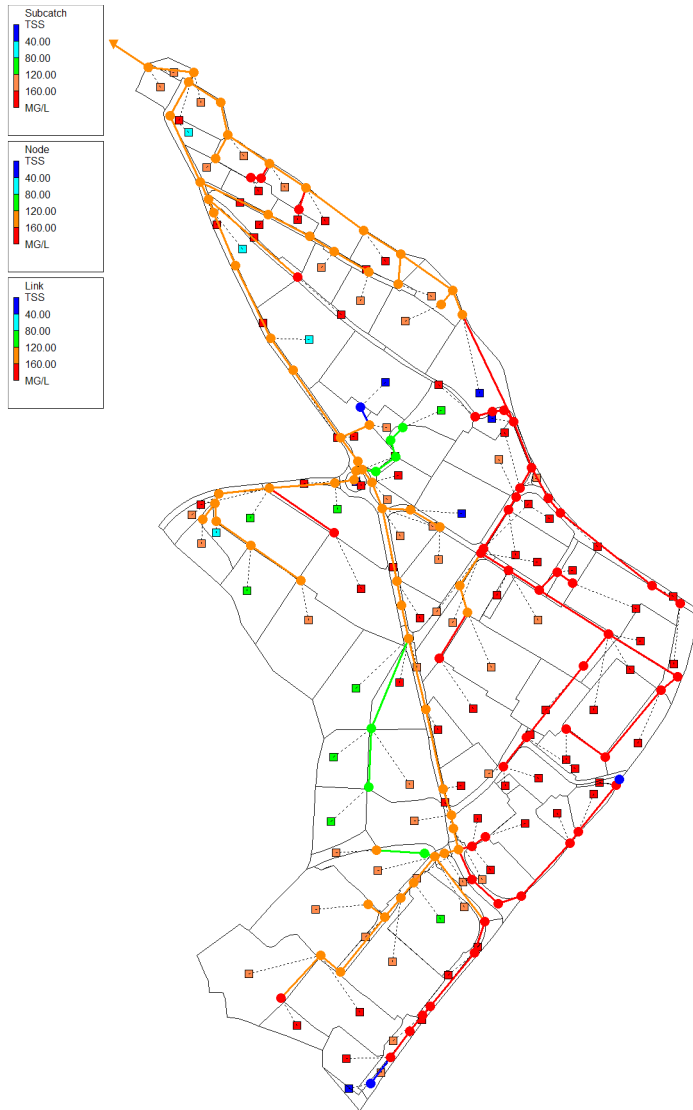
Na Slici 8 prikazani su i rezultati hidrauličkog proračuna u vidu maksimalne dubine vode u čvorovima te maksimalne brzine vode u kolektorima. Maksimalne brzine su u pravilu ispod 5 m/s, a samo na kraćim dionicima se javljaju maksimalne brzine oko 8 m/s. Treba naglasiti da je sustav odvodnje dimenzioniran na oborinu manjeg povratnog razdoblja za koju maksimalne brzine zadovoljavaju preporučene granične vrijednosti. Slično tome, maksimalna ispunjenost kolektora je generalno ispod 70 %, iako na kraćim dionicama doseže vrijednost 90 %. Ovdje jednako tako treba naglasiti da za oborinu manjeg povratnog perioda, preporučene granične vrijednosti ispunjenosti kolektora zadovoljavaju.

Na Slici 9 prikazani su rezultati analize kakvoće oborinske vode u vidu koncentracije onečišćenja u površinskim oborinskim vodama, što predstavlja količinu „ispranog“ onečišćenja s pojedinačnih podslivova koja

ulazi u sustav odvodnje te u čvorovima i kolektorima. Rezultati su grafički prikazani samo za ukupne suspendirane tvari, međutim slična raspodjela je prisutna i za druge dvije onečišćujuće tvari. Konačan teret onečišćenja na kraju sliva za oborinu trajanja 2 sata iznosi 1183 kg TSS, 35,9 kg N i 1,89 kg Pb uz ukupni volumen vode 13.845 m³.



Slika 8. Rezultati hidrološko-hidrauličke analize, otjecanje s podslivova (kvadrati), dubine vode u čvorovima (točke) te brzine vode u kolektorima (linije).

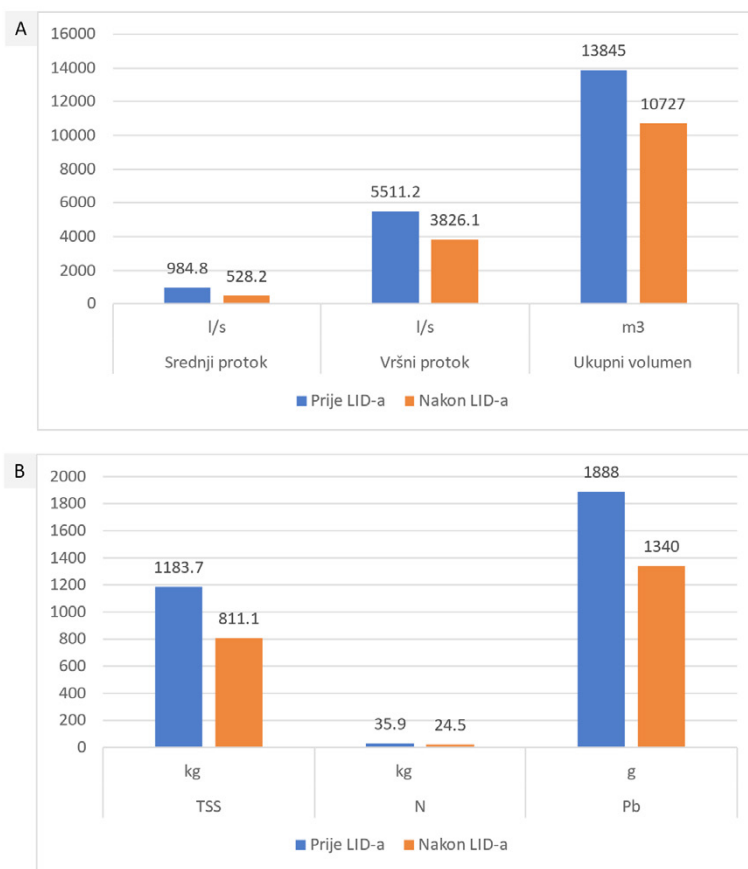


Slika 9. Rezultati analize kakvoće vode, koncentracija TSS-a u površinskim vodama na podslivovima (kvadrati) te u čvorovima (točke) i kolektorima (linije).

5.2. Stanje nakon implementacije LID elemenata

Nakon što je 30 % sliva prenamijenjeno u održivi sustav odvodnje oborinskih voda implementacijom zelene infrastrukture (prikazano na Slici 7), primijećeno je umanjeње vršnih protoka, ukupnih volumena te poboljšanje kakvoće oborinske vode. Slika 10A prikazuje srednje

protoke, vršne protoke i ukupni volumen prije i nakon implementacije zelene infrastrukture (LID elemenata), dok Slika 10B prikazuje ukupne količine ukupnih suspendiranih tvari, dušika i olova također prije i nakon implementacije LID-a. Iz danih prikaza može se primijetiti da je nakon implementacije LID elemenata srednji protok smanjen na 54 %, vršni protok na 69 %, a ukupni volumen na 69 % početnih vrijednosti. Što se tiče kakvoće oborinske vode, ukupna količina TSS-a smanjena je na 69 %, N na 68 %, a Pb na 71 % početnih vrijednosti.



Slika 10. Usporedba rezultata prije i nakon implementacije LID elemenata na krajnjoj točki sliva za protoke i volumene (A) te količine onečišćujućih tvari (B).

6. Zaključak

Predmetni rad obradio je problematiku urbanih vodnih sustava na primjeru trgovačke zone Dalmare u Šibeniku. Rezultati su potvrdili negativan utjecaj urbanizacije na otjecanje oborinskih voda. Rezultati su također potvrdili visoku učinkovitost održivih sustava odvodnje u rješavanju količine oborinskih voda. Pored toga, rad je dodatno razradio problematiku onečišćenja oborinskih voda te istaknuo pozitivan učinak zelene infrastrukture na uklanjanje onečišćenja iz oborinskih voda. Općenito, nakon što je 30 % sliva prenamijenjeno u održivi sustav implementacijom zelene infrastrukture, protoci, volumeni i količine onečišćenja također su smanjeni za približno 30 % na razini sliva. Međutim, u okviru predmetnih analiza korišteni su uprosječeni literaturni podatci za koncentracije onečišćenja i učinkovitost zelene infrastrukture, što ne mora vrijediti i za područje Šibenika te je stoga neophodno provesti daljnja istraživanja u smjeru boljeg razumijevanja koncentracije onečišćenja u oborinskim vodama i sposobnosti pročišćavanja oborinskih voda putem zelene infrastrukture.

Literatura

- [1] Makepeace, D.K., Smith, D.W. i Stanley, S.J. (1995) Urban Stormwater Quality: Summary of contaminant data. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 25 (2), str. 93-139
- [2] Dietz, M.E., (2007) Low Impact Development Practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water, Air, and Soil Pollution*, 186(1-4), str. 351-363.
- [3] EPA (2016) Storm Water Management Model Reference Manual Volume III: Water Quality, United States Environmental Protection Agency.
- [4] Hrvatske vode (2010) Smjernice u vezi s objedinjenom procjenom postojećih i planiranih građevinskih mjera za obranu od poplava.
- [5] Krvavica, N., Jaredić, K., & Rubinić, J. (2018) Metodologija definiranja mjerodavne oborine za dimenzioniranje infiltracijskih sustava. *Građevinar*, 70(8), str. 657-669.
- [6] Maretić, A., & Krvavica, N. (2021) Procjena učinkovitosti održivih sustava odvodnje oborinskih voda na primjeru Sveučilišnog kampusa na Trsatu. *Zbornik radova (Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci)*, 24(1), str. 103-118.
- [7] NRCS (2004) National Engineering Handbook: Part 630—Hydrology. USDA Soil Conservation Service: Washington, DC, USA.
- [8] Ružić, I., Krvavica, N., Rubinić, J., Radišić, M., Tadić, A., Lončar, G., Milvana, A., Vukić Lušić, D. (2021) Analiza ranjivosti obalne infrastrukture na klimatske promjene te definiranje i izvođenje podataka za analizu ranjivosti – projekt Adriapt. Studija. Građevinski fakultet u Rijeci.
- [9] EPA Storm Water Management Model (SWMM). <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (1. srpnja 2022.)