

Primjena zelene infrastrukture u cilju smanjenja rizika od poplava u urbanom području

Višak - Pavlović, Ivona

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:390514>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ivona Višak - Pavlović

**PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U CILJU
SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA U URBANOM
PODRUČJU**

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024. godina



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ivona Višak - Pavlović

**PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U CILJU
SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA U URBANOM
PODRUČJU**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: izv. prof. dr. sc. Kristina Potočki

Zagreb, 2024. godina



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ivona Višak - Pavlović

Application of Green Infrastructure for the flood risk reduction in the urban area

FINAL EXAM

Supervisor: Assoc. Prof. Kristina Potočki

Zagreb, 2024. year



OBRAZAC 3

POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Student/ica :

Ivona Višak - Pavlović

(Ime i prezime)

0082062485

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu završnog ispita pod naslovom:

Primjena zelene infrastrukture u cilju smanjenja rizika od poplava u urbanom području

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

Application of Green Infrastructure for the flood risk reduction in the urban area

(Naslov teme završnog ispita na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

Interakcija hidrotehničkih građevina i okoliša u uvjetima klimatskih promjena, 2024-GF17, Kristina Potočki

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio završnog ispita izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

/

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum:

17.09.2024.

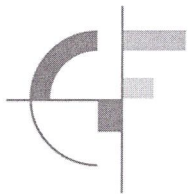
Mentor:

izv. prof. dr. sc. Kristina Potočki

Potpis mentora:

Kristina Potočki

Komentor:



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja :

Ivona Višak-Pavlović, 0082062485

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio završnog ispita pod naslovom:

PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U CILJU SMANJENJARIZIKA OD POPLAVA U URBANOM PODRUČJU

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

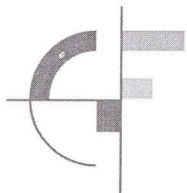
izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

17.09.2024.

Potpis:

Pavlović



OBRAZAC 6

IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA ZAVRŠNOG ISPITA

Ja :

Ivona Višak-Pavlović, 19586114762

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela završnog ispita i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela završnog ispita pod naslovom:

PRIMJENA ZELENE INFRASTRUKTURE U CILJU SMANJENJA RIZIKA OD POPLAVA U URBANOM PODRUČJU

(Naslov teme završnog ispita na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom prijediplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

Izv.prof.dr.sc. Kristina Potočki

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

24.09.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio završnog ispita bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum:

17.09.2024.

Potpis:

Pavlović

ZAHVALE

Iskreno se zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Kristini Potočki na ukazanom povjerenju, vodstvu i pomoći pri izradi ovoga rada.

Naravno, hvala i mojoj obitelji koja je uvijek bila uz mene, a posebno mami i tati.

Zahvaljujem se i Vodnim uslugama d.o.o. Križevci na ustupljenim podacima koji su doprinjeli kvaliteti izrade ovog rada.

Zahvaljujem svima koji su mi pomogli pri izradi ovog rada svojim savjetima i preporukama.

Također se želim zahvaliti svim djelatnicima, kolegama i prijateljima s Građevinskog fakulteta koji su mi svojim radom i znanjem pomogli u stjecanju mog inženjerskog znanja.

SAŽETAK

Primjena zelenih rješenja kao što je zelena infrastruktura, održivi sustavi odvodnje (engl. Sustainable drainage systems; SuDS), prirodna rješenja (engl. Nature-based solutions; NBS) itd. u sustavima urbane oborinske odvodnje za smanjenje rizika od poplava temeljena su na prirodi, a primjenjuju se unutar izgrađenih površina gradova i općina. Primjeri takvih rješenja su kišni vrtovi, infiltracijski jarci, umjetne močvare, drenažni rovovi, lagune s produljenom retencijom, mokre lagune, infiltracijski spremnici i dr.

U radu je dan osvrt na primjere rješenja u Hrvatskoj te je detaljnije opisan postojeći sustav urbane odvodnje Grada Križevaca. Opisano je ponuđeno idejno rješenje zelene infrastrukture na području Grada Križevaca. Također prikazana je primjena zelene infrastrukture u cilju volumnog rasterećenja postojećeg sustava odvodnje u Ulici Stjepana Radića. Volumno rasterećenje objekata u ulici predviđeno je tipskim kišnim vrtovima.

Ključne riječi: zelena infrastruktura, oborinska odvodnja, kišni vrt, idejno rješenje, Grad Križevci

SUMMARY

The application of green solutions such as green infrastructure, sustainable drainage systems (SuDS), nature-based solutions (NBS), etc. in urban drainage systems to reduce the risk of flooding are based on nature and are applied within built-up areas of cities and municipalities. Examples of such solutions are rain gardens, infiltration ditches, artificial wetlands, drainage trenches, lagoons with prolonged retention, wet lagoons, infiltration tanks, etc.

Final exam provides an overview of examples of solutions in Croatia and describes the existing urban drainage system of the City of Križevci in more detail. The proposed conceptual solution of green infrastructure in the area of the City of Križevci is described. The application of green infrastructure was also given in order to reduce the volume of the existing drainage system in Stjepana Radića Street. The volumetric relief of buildings in the street is provided by typical rain gardens.

Key words: green infrastructure, rainwater drainage, rain garden, conceptual design, City of Križevci

SADRŽAJ

ZAHVALE	i
SAŽETAK	ii
SUMMARY	iii
SADRŽAJ	iv
1. UVOD	5
2. ZELENA RJEŠENJA ZA SUSTAVE URBANE ODVODNJE	6
2.1. Pregled i definicija osnovnih koncepata	6
2.2. Zakonodavni okvir	8
2.3. Pregled primjene zelenih rješenja integriranih u sustavima urbane oborinske odvodnje	9
2.3.1. Cestovna mreža	9
2.3.2. Trgovi, parkovi, rekreacijske površine i otvorene površine bez namjene	15
2.3.3. Individualno stanovanje	16
2.3.4. Industrijska i ostala gospodarska područja	18
2.4. Primjeri zelenih rješenja u Hrvatskoj	18
2.5. Prednosti primjene zelenih rješenja za sustave urbane odvodnje	21
3. PRIMJER PRIMJENE ZELENE INFRASTRUKTURE NA DIJELU SUSTAVA ODVODNJE U KRIŽEVCIMA	23
3.1. Sustav urbane odvodnje Grada Križevaca – postojeće stanje	23
3.2. Idejno rješenje primjene zelene infrastrukture na dijelu sustava odvodnje u Ulici Stjepana Radića – presjek dokumentacije	27
3.2.1. Hidrološki proračun	28
3.2.1.1. Metode za određivanje količina oborina	28
3.2.1.2. Prikaz idejnog rješenja koncepta odvodnje Grada Križevaca	30
3.2.1.3. Proračun rasterećenja sustava upotrebom kišnih vrtova	32
4. ZAKLJUČAK	42
POPIS LITERATURE	43
POPIS SLIKA	44
POPIS tablica	46

1. UVOD

U urbanim gradskim područjima otjecanje oborinskih voda različito je od onog u prirodi. Za razliku od prirode gdje oborine infiltracijom ulaze u tlo i zadržavaju se na predmetnom području, u urbanom okruženju radi raznih nepropusnih površina (zgrade, ceste, parkirališta i sl.) iste se sakupljaju sustavom odvodnje i odvođe do koncentriranog ispusta. Kao rezultat toga, razina podzemnih voda u urbanom području pada, a bazni tok se smanjuje jer nema vegetacije koja bi ih izvukla za transpiraciju i nedostatak vlage u tlu.

Urbanizacijom izravno utječemo na hidrološke i geomorfološke prilike u slivu. Posljedice se brzo vide, ali su i dugoročne s vrlo štetnim posljedicama kao što su poplave (od unutrašnjih pluvialnih tj. oborinskih poplava), što je vidljivo posebno u urbanim dijelovima sliva koji su dodatno izloženi vanjskim poplavama (bujičnim, fluvijalnim), te u priobalju gdje je velik nedostatak vode ljeti a u kišnim razdobljima oborinska voda i podizanje mora (morske poplave) - uzrokuje poplave [1].

Korištenje elemenata zelene infrastrukture u odvodnji površinskih i oborinskih voda maksimalno oponašamo odvodnju kao u prirodi, a ujedno i ekonomski prihvatljiva rješenja klasičnog sustava. Time se pokušava minimalno utjecati na okoliš, unutar sliva, kroz prikupljanje, retencioniranje, usporavanje, evapotranspiraciju i infiltraciju oborinskih voda. To su suprotna rješenja od standardnih klasičnih sustava koji vodu pokušavaju što brže odvesti iz sliva i prenijeti.

Cilj rada je pregled primjene zelenih rješenja integriranih u sustavima urbane oborinske odvodnje koji podrazumijevaju uvođenje i korištenje zelene infrastrukture. Također smanjenje rizika od poplava te proračunom iskazano volumno rasterećenje sustava oborinske odvodnje.

2. ZELENA RJEŠENJA ZA SUSTAVE URBANE ODVODNJE

2.1. Pregled i definicija osnovnih koncepata

Zelena infrastruktura je strateški planirana mreža višenamjenskih otvorenih prostora koja može uključivati prirodna, poluprirodna i/ili urbana područja, zaštićena područja, prirodna područja (šume, travnjaci, jezera, rijeke, močvare itd.), ruralna područja, poljoprivredne krajolike, zelene površine unutar urbane matrice (parkovi, plaže, vrtovi, drvoredi, zelene površine uz javne ustanove, višestambena stambena naselja i zelene površine uz poslovne objekte), bilo privatne ili javne, sa ili bez mogućnosti javnog pristupa. Koncept zelene infrastrukture u biti obuhvaća širi raspon krajobraznih struktura, funkcija i procesa. U posljednje se vrijeme taj pojam sve češće koristi za definiranje različitih aspekata održivog prostornog razvoja [2].

Zbog povezanosti staništa zelena infrastruktura tvori različite oblike ekoloških veza koje se razvijaju u obliku kontinuiranih zelenih poteza ili u obliku isprekidanih koridora. Kada se zelena infrastruktura promatra u urbanom kontekstu, njezina je društvena funkcija također iznimno važna jer poboljšava kvalitetu stanovanja za ljude. Budući da su najčešći dijelovi urbane zelene infrastrukture trgovi, parkovi, područja uz obalu, groblja i drugi elementi zelenih površina u gradovima, ona objedinjuje javne otvorene površine u jedinstveni sustav koji može definirati urbano područje.

Nedavno je zelena infrastruktura podijeljena u potkategoriju – plava infrastruktura. Budući da su vodeni fenomeni iznimno važni prostorni elementi, oni su postajali sve važniji i počeli su se promatrati zasebno. Unutar gradova, vodotoci često igraju temeljnu ulogu kao okosnica zelene infrastrukture. Zelena infrastruktura postaje sve važniji način gledanja na prostor, budući da Strategija zelene infrastrukture pokreće implementaciju zelene infrastrukture i njezinih načela u zakonima i politikama država članica Europe [3].

Posljednjih 20 godina u okviru svjetske prakse postupno se uvode nove metode i rješenja upravljanja gradskim vodnim resursima, tzv "održivi sustavi urbane odvodnje oborinskih voda" (engl. SUDS – sustainable urban drainage systems) ili „najbolji postupci upravljanja oborinskim vodama“ (engl. Runoff best management practices) . U ovim se postupcima površinske vode ne ispuštaju izravno kroz zatvorenu mrežu kanala oborinskih ili mješovitih sustava odvodnje, već se u sustav odvodnje uvodi niz "zelenih" objekata koji djelomično oponašaju prirodne hidrološke pojave unutar sliva. Njihova primjena podrazumijeva "zelena" tehnološka rješenja kao što su travnati rovovi, bioretencije, akumulacijske i detencijske lagune, vegetativne instalacije, podzemne detencije, bazeni za oborinske vode, kišni vrtovi, infiltracijski rovovi, zeleni krovovi, zeleni zidovi i slično [1].

Relativno nov i inovativan koncept su rješenja temeljena na prirodi (eng. Nature-based solutions, NBS) koja strateškim korištenjem prirode daju odgovor na nove ekološke i društvene izazove. NBS rješenja (slika 1.) rade s prirodom, a ne protiv nje, kako bi pružila održive i troškovno učinkovite načine za postizanje zelenijeg, konkurentnijeg i resursno učinkovitijeg gospodarstva [2].



Slika 1.: Tipovi prirodnih rješenja (NBS) (Izvor: [2])

Važno je naglasiti da NBS ne podrazumijeva samo djelatnost rada sa zelenom vegetacijom, već i različite procese i ideje rada s prirodom i za prirodu [2].

Pojam NBS obuhvaća sljedeće pristupe:

- zelena infrastruktura (Green infrastructure, GI)
- plava infrastruktura (Blue infrastructure, BI)
- integralna odvodnja (Sustainable urban drainage systems, SuDS)
- prilagodba temeljena na ekosustavu (Ecosystem-based adaptation, EBA)
- upravljanje temeljeno na ekosustavu (eng. Ecosystem based management, EBM)
- prirodna rješenja za klimatske promjene (Natural climate solutions, NCS)

- smanjenje rizika od katastrofe temeljeno na ekosustavu (Ecosystem-based disaster risk reduction, ECO DRR)
- ekološko inženjerstvo (Ecological engineering, EE)
- usluge ekosustava (Ecosystem services, ESS)
- prirodni kapital (Natural Capital, NC) itd [2].

Opisani postupci omogućuju da se dio kišnice pohrani, infiltrira, ispari i zadrži unutar slivnog područja gdje nastaje. To će smanjiti vodene valove i smanjiti ukupnu količinu oborinskih voda koje prolaze nizvodno kroz kanalsku mrežu, a istodobno će pružiti dodatne ekološke, urbane, društvene, gospodarske i kulturne koristi. Svi navedeni postupci mogu se uspješno primijeniti kako na novoprojektiranim tako i na postojećim sustavima oborinske odvodnje [1].

2.2. Zakonodavni okvir

Zakonodavni okvir vezan uz zelenu infrastrukturu i njenu primjenu u konteksta vodnog gospodarstva, smanjenja poplavnih rizika, prilagodbi na klimatske promjene i urbanoj odvodnji je prikazan na različitim razinama, kao što je: međunarodna, nacionalna, regionalna i lokalna.

Međunarodni pristup prema urbanoj odvodnji spominje se u strategiji Europske unije (EU) za zelenu infrastrukturu donesenoj 2013. godine. Urbana odvodnja implementirana je i kroz razne ostale EU legislative kao što su: „Okvirna direktiva o vodama“(2000/60/EC), „Direktiva o poplavama“(2007/60 / CE), „Direktiva o staništima i pticama“(92/43/EEZ i [2009/147/EC](#)) i slično. Zelena infrastruktura prepoznata je kao troškovno učinkoviti pristup ostvarivanju ciljeva „Okvirne direktive o vodama“ i „Direktive o poplavama“. Na europskoj razini zelena infrastruktura je prepoznata i kod drugih dokumenata kao što su: „Sedmi program djelovanja za okoliš“(ODLUKA (EU) 2022/591), „Direktiva Europskog Parlamenta i Vijeća o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike“ (2000/60/EZ), „Direktive Vijeća o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora“ (91/676/EEZ) i drugi [4]. Također, u Europskoj uniji provedeni su brojni projekti koji se bave obilježjima i potencijalima zelene infrastrukture, a neki od njih su: „GREEN SURGE - Zelena infrastruktura i urbana bioraznolikost za održivi urbani razvoj i zelenu ekonomiju, 2013-2017“, „GRETA – Zelena infrastruktura: poboljšanje bioraznolikosti i usluga ekosustava za teritorijalni razvoj“, „URBACT III program europske teritorijalne suradnje u svrhu razmjene znanja i izgradnje kapaciteta europskih gradova i općina u području održivog urbanog razvoja“. Kroz navedenu legislativu i programe vidljivo je da je jedan od prioriteta Europske Unije ostvarenje klimatski neutralne, održive i zelene Europe.

Na nacionalnoj razini unutar Republike Hrvatske, Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne imovine, donijelo je „Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje od 2021. do 2030. godine“. Navedni program definiran je „Zakonom o gradnji“ (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19) koji propisuje da navedni program donosi Vlada Republike Hrvatske. Zelena infrastruktura je kao pojam definirana „Zakonom o prostornom uređenju“ (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19) kao planski osmišljeno zeleno rješenje koje pridonosi očuvanju, poboljšanju i obnavljanju prirode kroz održivi razvoj [5].

Za lokalnu razinu donesene su smjernice za izradu Strategija zelene urbane obnove koje su od velike važnosti za jedinicu lokalne samouprave. Navedena strategija se donosi za razdoblje od 5 do 10 godina, a obuhvaća projekte uređenja i/ili izgradnju zelene infrastrukture na javnoj površini (kao npr. izgradnja kišnih vrtova, ozelenjavanje sive infrastrukture, sadnja raznovrsnih vrsta stabala i slično). Također Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine izradilo je Registar zelene infrastrukture, modul Informacijskog sustava prostornog uređenja (ISPU), koji omogućuje unos, održavanje i analizu podataka o zelenoj infrastrukturi za urbana naselja u Republici Hrvatskoj na lokalnoj razini [5].

Strateško planiranje novije generacije (dokumenti poput strategija razvoja grada ili općine usvojeni u posljednjih 5 do 6 godina) ukazuju na jačanje svijesti jedinica lokalne samouprave (JLS) o potrebi planiranja zelene infrastrukture u kontekstu urbane odvodnje. Međutim, mali broj JLS ima usvojenu takvu strategiju zelene urbane obnove pa se može zaključiti da se cjelovit i umrežen sustav zelenih površina na području cjelokupnog područja JLS je sada tek u začetku [5].

2.3. Pregled primjene zelenih rješenja integriranih u sustavima urbane oborinske odvodnje

Zeleni elementi sustava integrirani u sustave oborinske odvodnje mogu biti: bioretencije, kišni vrtovi, drenažni rovovi, infiltracijski jarci, močvare i lagune s produženom retencijom, upojni bunari i dr. U nastavku je dana podjela SUDS elemenata prema cestovnoj mreži, trgovima, parkovima, rekreacijskim i otvorenim prostorima, industrijskim i gospodarskim područjima te područjima vezanim za individualno stanovanje.

2.3.1. Cestovna mreža

- **Bioretencije, kišni vrtovi, infiltracijski kanali i žardinjere**

Bioretencije, kišni vrtovi, infiltracijski kanali i žardinjere (slika 2.) mogu usporiti, retencionirati i pročistiti oborinsku vodu. U slučaju većih dotoka zadržavaju i pročišćavaju prvu količinu oborinske vode koja se zatim kroz podzemnu drenažu polako ispušta u recipijent (mješovitu kanalizaciju, oborinsku kanalizaciju, more, vodotoke, tlo). Vrijeme zadržavanja, izbor biljaka, debljina filterskih slojeva, dimenzioniranje drenaža i način ispuštanja se rješavaju posebno za svaki slučaj i uvjetima in situ. Obično se koriste na relativno malim slivovima i u gusto urbaniziranim djelovima naselja gdje su koeficijenti otjecanja veći od 0.5 [6]. Isto tako mogu se koristiti na jako zagađenim površinama kao što su industrijske zone, tvornice i benzinske stanice. Međutim, ne smiju se upotrebljavati u vodozaštitnim zonama i područjima gdje se crpi voda za vodoopskrbu.

Sam dizajn, oblik i položaj ovise o mogućnostima na terenu te su izbor projektanta. Bez obzira na dizajn, svaki sustav sastoji od pet komponenti: prethodne obrade, tretmana, prijenosa i zadržavanja vode kroz slojeve i na površini te smanjenje održavanja i krajobraznim uređenjem [6]. Problemi uzrokovani vremenskim prilikama mogu se izbjeći pravilnim odabirom biljaka, ukrasnih trava i grmova, odabirom onih sa svojstvima da podnose duga sušna razdoblja i dugotrajna vlažna razdoblja.



Slika 2.: Prikaz bioretencija, infiltracijskih kanala i žardinjera (Izvor: [6])

Bioretencijski ili kišni vrtovi su plitko iskopane površine ili tzv. zelene udubine s vrtnom zemljom. Odabrana vrsta vegetacije, trave, trajnice, grmlje i drveće, mora dugoročno izdržati prekomjernu vlagu u tlu te time biti izdržljive na dugotrajnu sušu. Područja bioretencija mogu biti integrirana u razna krajobrazna područja, od najvećih i najsloženijih do najmanjih i najjednostavnijih, uključujući sve tipove zelenih pojaseva u sustavu cesta, zelenih otoka na kružnim tokovima, parkinga u svim formama s mogućnostima integracije zelenila [6].

- **Porozni kolnici, parkinzi i nogostupi**

Porozni kolnik je varijanta završnog kolnika u usporedbi s tradicionalnim kolnikom. Kolnička površina može koristiti propusni asfalt, propusnu betonsku galanteriju, propusni beton, parkirališta, protupožarne trake, nogostupe i druge travnate rešetke (slika 3.) izrađene od plastičnih materijala na principu infiltracije za skladištenje površinske vode pod zemljom [6]. Otvori u propusnim sustavima rešetki i plastičnih travnatih podova, betonskih opločnika i betonskih rešetki često su ispunjeni rizlom, pijeskom, zbijenom zemljom, pokrovom od trave itd. Za ravne dijelove naselja, nagiba i do 5%, preporuča se korištenje poroznih kolnika i nogostupa.



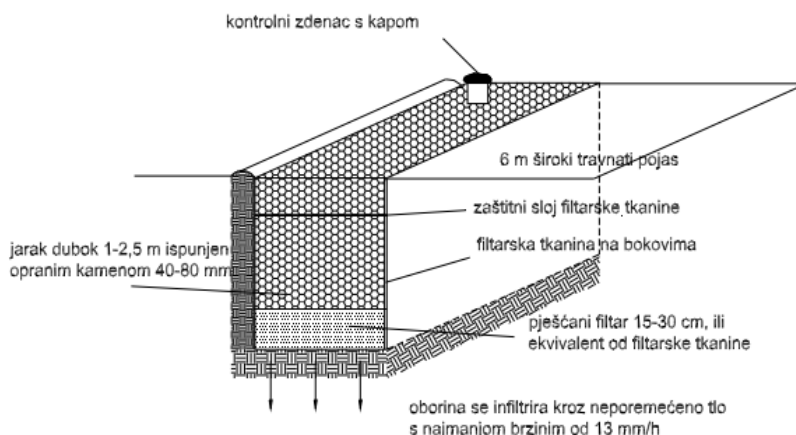
Slika 3.: Travnate rešetke na parkiralištu (Izvor: [2])

- **Drenažni rovovi – infiltracijski jarci**

Drenažni jarci su infiltracijski jarci, drenažni blokovi, galerije i slično. Izgrađeni su ispod razine tla te stoga zauzimaju malo ili nimalo površine. Time mogu biti građeni ispod tla, vrta, povrtnjaka, travnjaka i drugih privatnih okućnica.

Drenažni blokovi, galerije i druge vrste drenaže se postavljaju u širokom rasponu površina, uključujući stambena dvorišta, nogostupe, pješačke staze, parkirališta, parkove i sportske terene [7].

Infiltracijski jarci se ugrađuju ispod granuliranih podova. Otjecanje iz susjednih naseljenih prostora može se usmjeriti na infiltracijske jarke u slobodnom krajobraznom okruženju. Također, u novoplaniranim urbanističkim zonama, projektiranim na principima suvremenog urbanizma, drenažni rovovi ili jarci mogu se uključiti u sustav sporednih ulica. Time se otjecanje s krovova zgrada usmjerava se u sporednu ulicu, koja se može opremiti sustavom zelenih pojaseva i s podzemnim drenažnim blokovima [7]. Presjek infiltracijskog jarka prikazan je na slici 4.



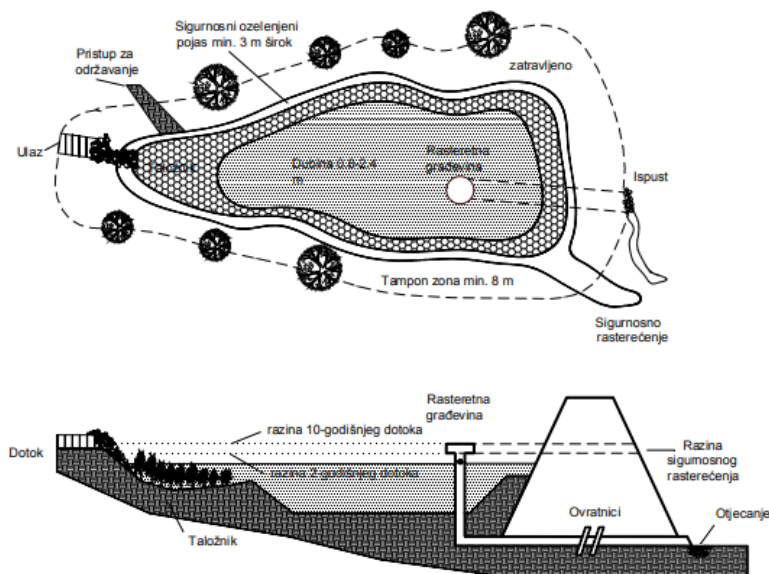
Slika 4.: Shematski prikaz infiltracijskog jarka (Izvor: [7])

- **Lagune s produljenom retencijom i mokre lagune**

Za slivove veće od 20 hektara, održavanje istih postaje presloženo pa je prikladnije korištenje laguna s produljenom retencijom ili mokrih laguna.

Lagune s produženom retencijom (LPR lagune) uklanjaju onečišćenja iz oborinskih voda i smanjuju vršne protoke. To znači da koeficijent otjecanja ostaje isti. Taložni i plutajući materijali uklanjaju se iz otjecanja oborinske vode, kao i hranjive tvari, teški metali i otrovne tvari. Od erozije se štite nizvodni objekti regulacijom otjecanja i time se smanjuje mogućnost poplava. Mogu se graditi u obliku kaseti s okolnim nasipima, iskopanim lagunama ili spremnicima za vodu. LPR nema stalnu količinu vode između padalina. Stoga su LPR depresije koje povremeno zadržavaju dio dotoka oborine. Njihova učinkovitost u uklanjanju onečišćenja raste s vremenom zadržavanja vode. Ako se voda zadrži 24 sata ili više, može se ukloniti 90% suspenzije [7].

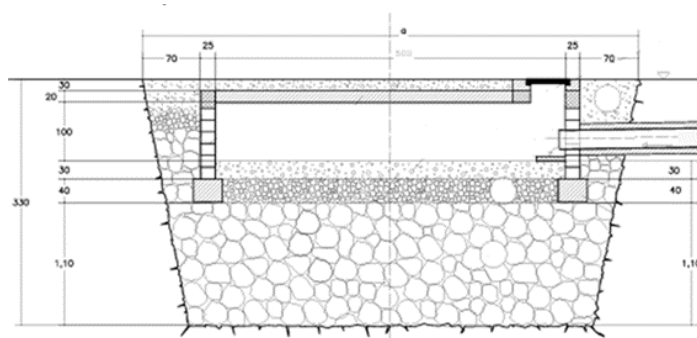
Mokra laguna (ML laguna) (slika 5.) je laguna koja koristi vodu iz dotoka oborina za uklanjanje onečišćenja taloženjem, biološkom razgradnjom i vegetativnom filtracijom. Biološki procesi u laguni uklanjaju metale i otopljene hranjive tvari poput nitrata i ortofosfata. Mokre lagune mogu također biti regulacijske građevine i kontrolirati dotok preko tzv. živog retencijskog volumena iznad stalne radne razine [6]. Ako se grade u formi stajačica mogu imati rekreacijsku i estetsku vrijednost. Kod odvodnje prometnica koriste se za slučajeve, kad osim same prometnice, postoji velik dio vanjskog sliva i pouzdani stalni izvor vode. Također su prikladne za korištenje na velikim parkiralištima i prostorima.



Slika 5.: Shematski prikaz tipične mokre lagune (Izvor: [7])

- **Upojni bunari**

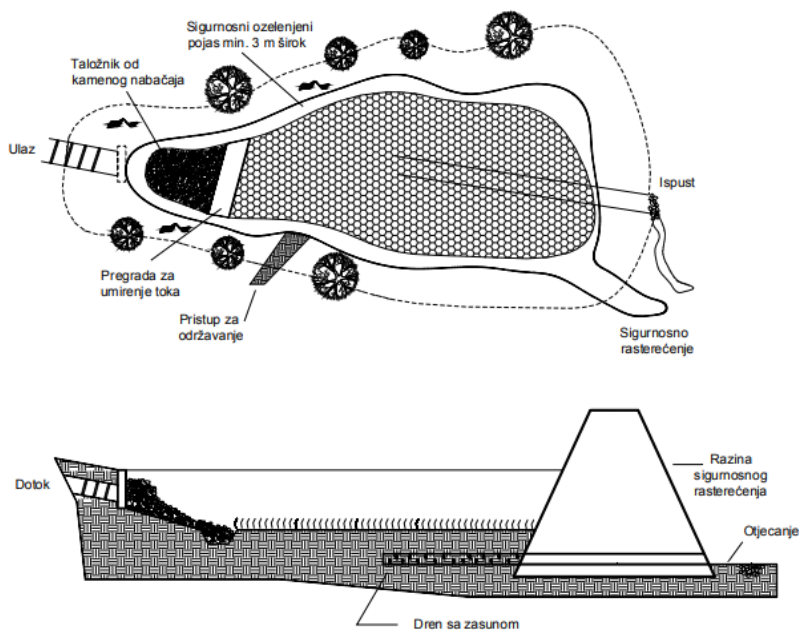
To su ukopane strukture pomoću kojih se kišnica i druge vrste vode s urbanih površina izravno i brzo provedu u podzemlje. Također se koriste pri isouštanju pročišćene vode iz malih komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, kod odvodnje oborinskih voda sa krovova i parkirališta te kod renoviranja zgrada. Mogu biti izvedeni kao široke bušotine ispunjene šljunkom ili kao montažni objekti izrađeni od cigli, betona, polietilena itd. Njihova dubina ovisi o razini podzemne vode te vrsti terena u koje se polažu, na teškim tlima mogu biti duboki i do 5m. Također, mogu biti locirani na kraju kanala prekrivenih vegetacijom, kanala i potočića, traka kroz koje se procjeđuje voda te jaraka za infiltraciju vode. Općenito, nisu povezani s drugim podzemnim elementima urbanog kanalizacijskog sustava [8]. Na slici 6. je prikazan presjek upojnog bunara.



Slika 6.: Presjek upojnog bunara (Izvor: [8])

- **Infiltracijski spremnici**

Infiltracijski spremnik (slika 7.) je otvorena zemljana struktura koja hvata prve nadošle oborine i pročišćava ih kroz propusno tlo. Fizikalni, kemijski i biološki procesi djeluju na kontaminiranu oborinsku vodu infiltracijom u tlo, uklanjanjem suspendiranih krutih tvari i otopljenih zagađivača. Utječu na povećanje vlage u tlu, prihranjivanje podzemnih voda te prihranjivanje otvorenih vodotoka tijekom sušnih razdoblja. To su prostori koji su većinom godine suhi. Koriste se u slivovima od 2 do 20 ha, dok su infiltracijski jarci prikladni za površine manje od 2 hektara [7].



Slika 7.: Potpuni infiltracijski spremnik (Izvor: [7])

Prilikom odabira mjesta potrebno je pažljivo odabrati njegov položaj, posebno s obzirom na propusnost tla. Ako tlo ima slabu propusnost, presporo će prodirati u tlo. Važni su i nagib tla sliva, dubina vodonepropusnog sloja i podzemne vode, udaljenost od izvora pitke vode i temelja zgrada. Pogodni su za postavljanje u blizini parkirališta (slika 8). Tla s filtracijom ispod 7 mm/h smatraju se neprikladnim za infiltracijske spremnike, kao i tla s visokim udjelom gline (>30%) [6].



Slika 8.: Infiltracijski jarci parkirališta (Izvor: [6])

Također osim navedenih, zelena rješenja koja koristimo u sustavima urbane oborinske odvodnje su: propusne površine (porozni betoni, armirana trava itd.) koje omogućavaju oborinama da se infiltriraju kroz njihove otvore na površini u podzemlje; kanali pokriveni vegetacijom koji mogu skladištiti zagađenu vodu s urbanih površina i provoditi ju u željenom smjeru; kanali i potočići u kojima se uzgaja vegetacija, a predstavljaju koncept održivog sustava površinske drenaže; vegetacijom pokrivene trake kroz koje se procjeđuje voda u urbanim područjima između nepropusnih (asfaltiranih i/ili betoniranih) gradskih prometnica [8].

2.3.2. Trgovi, parkovi, rekreacijske površine i otvorene površine bez namjene

U parkovima, rekreacijskim područjima i otvorenim prostorima prisutan je potencijal za integraciju zbrinjavanja oborinskih voda s ostalim sadržajima unutar uređenog krajolika. Međutim, važno je da takva integracija unutar javnih prostora ne ugrožava njegove funkcije ili korisnost.

Integracija sustava odvodnje oborinskih voda u parkovima i otvorenim prostorima pruža višestruke mogućnosti:

- uključivanja bioretencija, sustava trakaste vegetacije za filtriranje i širokih zelenih jarka u otvorene prostore kao dio krajobraznog plana
- integracija kao oblik vodene motivacije u sadržajima unutar parka,
- izvođenje infiltracijskih ili filtracijskih sustava/objekata ispod piknik zona, parkirališta, igrališta i sl.

- uključiti infiltracijske sustave u pojasu pored zaštitnih šuma, gdje njihova funkcija i ekološki integritet neće biti ugroženi [6].

2.3.3. Individualno stanovanje

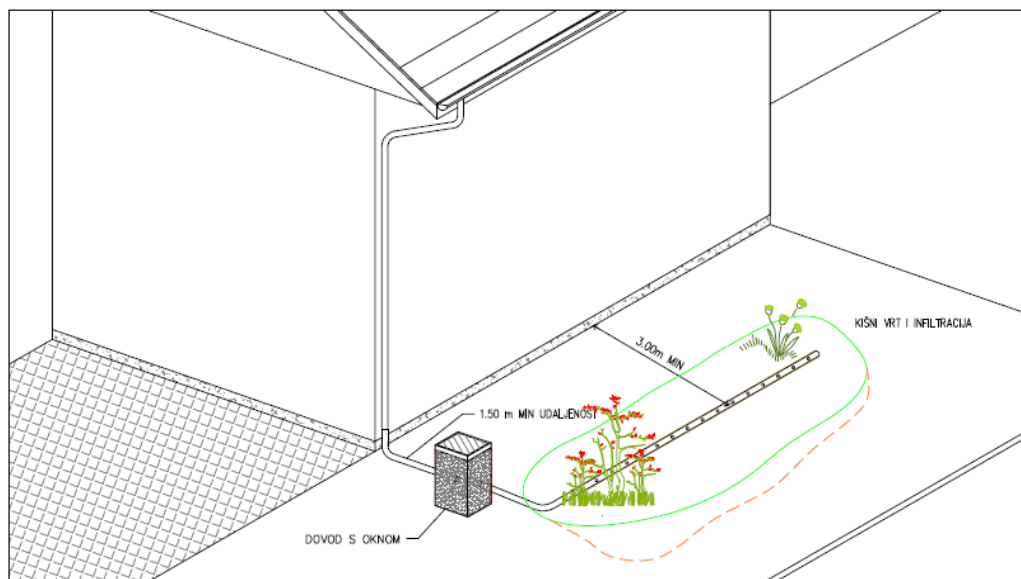
Jako je važno naglasiti da se oborinske vode s privatnih građevinskih čestica ne smiju ispuštati na ulice, trgove i ostale javne površine kao ni na nizvodna područja, a radi zaštite istih, već se moraju retencionirati na samim građevinskim česticama. Preporučljivo je oborinske vode uklopiti u uređenje okućnica i/ili sakupljati ih za ponovnu uporabu. Na slici 8. prikazan je primjer uređene okućnice koja se osim estetske funkcije koristi i za odvodnju oborinskih voda.



Slika 9.: Odvodnja oborinskih voda za vlasnike okućnica (Izvor: [6])

- **Kišni vrtovi**

Kišni vrtovi (slika 10.) su uređena područja zasađena divljim cvijećem, livadnim travama i ostalim autohtonim biljnim vrstama koja upijaju kišnicu s krovova kuća i okućnica. Kišni vrt sastoji se od slobodnog vodnog lica u visini nekoliko centimetara (ovisno o nagibu terena), plodne zemlje s biljkama, te drenažnog sloja, putem kojeg se oborine nakon pljuska postepeno ispuštaju i infiltriraju u tlo. Smanjenjem otjecanja oborinskih voda kišni vrtovi su jedni od promjena načina odvodnje. Iako se pojedinačni kišni vrt može činiti kao mali napredak, više kišnih vrtova u jednoj ulici djeluju kao planirani sustav odvodnje te stvaraju znatne dobrobiti za okoliš i zajednicu.



Slika 10.: Kućni kišni vrt (Izvor: [6])

- **Zeleni krovovi**

Zeleni krovovi (slika 11.) su višeslojni krovovi koji mogu pokrivati krovove zgrada, kuća i svih ostalih objekata različitom vegetacijom. Izgrađuju se kako bi naturalizirali urbani pejzaž te time i povećali razinu udobnosti života za stanovnike izvedenih objekata. Također, zeleni krovovi imaju i hidrološku funkciju zadržavanja oborinskih voda, smanjivanja koeficijenta otjecanja i smanjivanja vrha hidrograma, a time i smanjivanja opasnosti od poplava. Postoje dvije vrste zelenih krovova. Ekstenzivni zeleni krovovi grade se korištenjem biljaka koje traže malo održavanja (biljke s malim korijenjem, izvorne biljke i trave koje pružaju izvrsno pokrivanje). Intenzivni krovni sustavi traže dodatne drenažne ćelije da bi se intenzivna oborinska voda drenirala s krova, ali i da bi se ventilirao cijeli sustav [8].



Slika 11.: Zeleni krovovi na stambenim objektima (Izvor: [8])

2.3.4. Industrijska i ostala gospodarska područja

Za industrijska i gospodarska područja potrebno je osigurati odvodnju unutar zone, a prostornim planom odrediti hoće li ovisno o veličini građevinske čestice biti potrebno oborinsku vodu zbrinjavati na vlastitoj čestici korištenjem zelenih površina, poroznih parkinga i zelenih krovova ili će se na pojedinim dijelovima cijele zone riješavati odvodnja i za koliku površinu čestica. Isto tako vrijede sve tehnike zbrinjavanja vode kao i za ostala područja [6].

2.4. Primjeri zelenih rješenja u Hrvatskoj

Oborinska odvodnja u urbanim područjima u Hrvatskoj još uvijek nije prioritet, a rješavanje ovog problema prepušteno je gradovima ili jedinicama lokalne samouprave koje najčešće nemaju dovoljno financijskih sredstava za realizaciju projekata [9]. Unatoč tome, pojedine lokalne zajednice i stručnjaci mogu se pohvaliti pozitivnim primjerima iz prakse implementacijom integralnih zelenih rješenja.



Slika 12.: Infiltracijska retencija u sklopu trgovačkog centra te izgradnja infiltracijskog jarka, Pula (Izvor: [1])

Na području grada Pule tijekom nekoliko posljednjih godina u suradnji isporučitelja vodnih usluga (Vodovod Pula d.o.o.) i projektne tvrtke Starum d.o.o. iz Pule specijalizirane za inovativne sustave odvodnje oborinskih voda - uspješno se pronalaze kvalitetna rješenja odvodnje oborina, koja uključuju neke od prethodno navedenih integralnih postupaka upravljanja oborinskim vodama [1]. Mnogi objekti, od kojih su neki već i u funkciji, predstavljaju primjere pozitivne prakse – kišni vrtovi, infiltracijsko-retencijske lagune, infiltracijski jarci (slika 12.), podzemne retencije i dr.

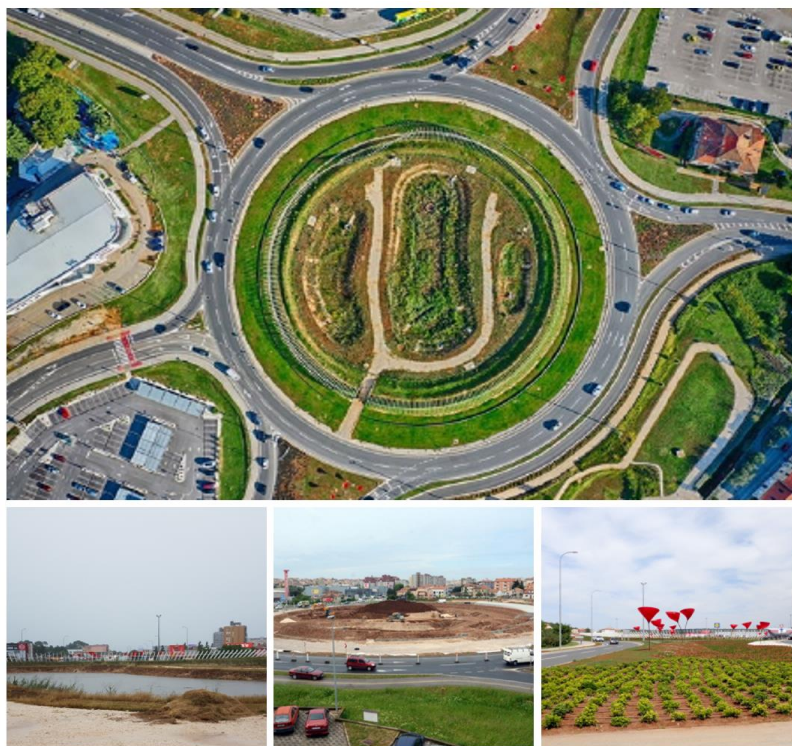


Slika 13. Projektno rješenje uređenja Trga kralja Tomislava u Puli s primjenom integralnog upravljanja oborinskim vodama (Izvor: [1])

Trg kralja Tomislava u Puli (slika 13.) uvršten je među 30 najboljih svjetskih projekata zelene infrastrukture u obliku odvodnje oborinskih voda trga s kišnim vrtovima. Trg se rekonstrukcijom iz „močvare“ (slika 1.) preobrazio u pravi urbani trg.



Slika 14.: Trg kralja Tomislava prije i nakon rekonstrukcije (Izvor: [6])



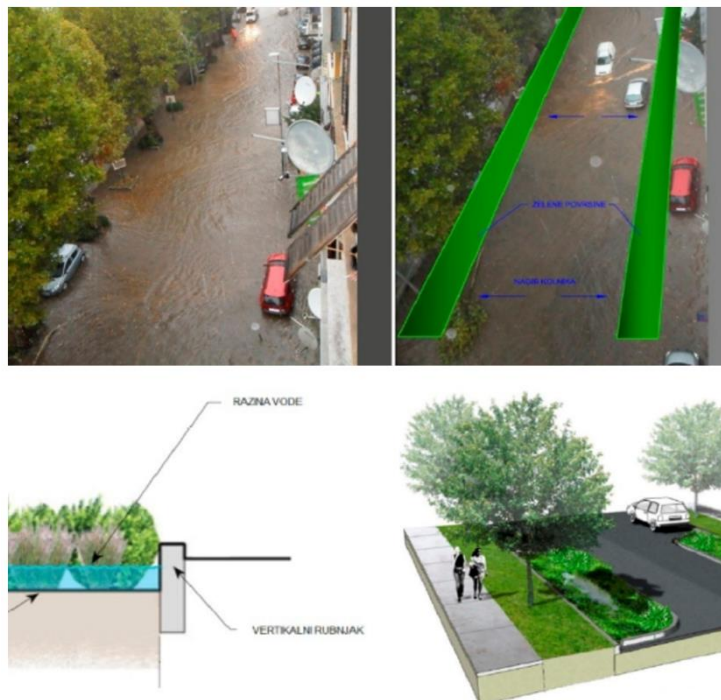
Slika 15.: Rekonstrukcija oborinske odvodnje – izgradnja laguna i kišnih vrtova u Puli (Izvor: [6])

Od ostalih pozitivnih primjera ističe se Grad Zadar gdje je trenutno u fazi izgradnje park Bokanjac (slika 16.). To je suradnja isporučitelja vodnih usluga (Odvodnja d.o.o., Zadar) i tvrtke Donat d.o.o. iz Zadra s implementacijom različitih postupaka integralnog upravljanja oborinskim vodama (bioretencije i dr.).



Slika 16.: Izgradnja zelene infrastrukture u parku Bokanjac (Izvor: [6])

U Gradu Rijeci zbog velikih količina oborina dolazi do čestog plavljenja prometnica, trgova i lokalnih terena te bi se implementacijom rješenja zelene infrastrukture doprinijelo smanjenju i sanaciji istih. Navedeni su neki primjeri (slika 17.) takvih rješenja kao što su zeleni pojasi, infiltracijska polja i drugi [2].



Slika 17.: Prikaz primjene rješenja zelene infrastrukture u Gradu Rijeci
(Izvor: [6])

2.5. Prednosti primjene zelenih rješenja za sustave urbane odvodnje

Prednosti primjene zelene infrastrukture kod prirodne pojave, kao što su poplave je da zadržava i smanjuje količinu voda. Zelenim površinama se smanjuje brzina otjecanja oborina, a infiltracije se povećava. Zelena infrastruktura kod suša osigurava propusnu površinu, hvata onečišćivače i osigurava održavanje kvalitete vode. U slučaju povećanih vrućina je cilj osigurati što više zasjenjenja i hlađenja. Stoga primjenom zelene infrastrukture smanjujemo sve moguće nastale rizike te time ujedno smanjujemo ekonomske troškove [10].

Tablica 1: Uloga zelene infrastrukture u pomaganju prilagodbe urbanih područja klimatskim promjenama Izvor: [11]

PRIRODNE POJAVE POVEZANE S VODOM	POTREBE PRILAGODBE	KAKO I ZAŠTO ZELENA INFRASTRUKTURA MOŽE POMOĆI?
POPLAVE	Upravljanje otjecanjem površinske vode	Urbani razvoj rezultira bržim otjecanjem površinskih voda te većim stopama i volumenima otjecanja jer je kapacitet lokalnog zadržavanja/infiltracije smanjen. Povećanje zelenih površina, kako bi se smanjila brzina otjecanja kišnice i povećanje infiltracije, može pomoći u boljem upravljanju rizikom od poplava.
	Upravljanje kopnenim putovima	Opcija za bolje upravljanje rizikom od urbanih poplava je usmjeravanje vršnih tokova poplava duž zelenih pojaseva gdje je rizik za infrastrukturu, zgrade i ljude minimalan.
	Upravljanje riječnim putovima	ZI može osigurati područja za skladištenje i zadržavanje vode, smanjujući i usporavajući vršne protoke i time pomažući u ublažavanju poplava iz rijeka i gradskih vodotoka.
SUŠE	Održavanje količina vode	ZI može osigurati propusnu površinu koja pomaže u održavanju infiltracije u vodonosnike, obnavljanju podzemne vode i održavanju osnovnog protoka u rijekama.
	Održavanje kvalitete vode	ZI hvata sediment i može ukloniti druge onečišćivače iz površinske vode, čime se osigurava održavanje kvalitete vode; ovo je posebno važno u Ujedinjenom Kraljevstvu gdje se kvaliteta izvora vode iz planina pogoršava navodno zbog klimatskih promjena.
	Održavanje izvora	ZI može pomoći u osiguravanju i upravljanju zdravim i bioraznolikim slivovima u cjelini; smanjenje opterećenja na floru i faunu.
VRUĆINE	Upravljanje visokim temperaturama	Urbana područja izložena su povećanom riziku od toplinskih valova zbog efekta urbanog toplinskog otoka (UHI). UHI nastaje jer materijali koji se koriste u gradovima (asfalt, beton, cigla) pohranjuju toplinu i polako je otpuštaju tijekom noći, održavajući urbane temperature višima od ruralnih. ZI se može suprotstaviti učinku toplinskih otoka gradova osiguravanjem zasjenjenja i/ili hlađenja putem evapotranspiracije.
	Pružanje rekreacije	ZI pruža usluge rekreacije, kako bi ljudi mogli uživati u pozitivnim posljedicama klimatskih promjena poput toplijih ljeta.

3. PRIMJER PRIMJENE ZELENE INFRASTRUKTURE NA DIJELU SUSTAVA ODVODNJE U KRIŽEVCIMA

3.1. Sustav urbane odvodnje Grada Križevaca – postojeće stanje

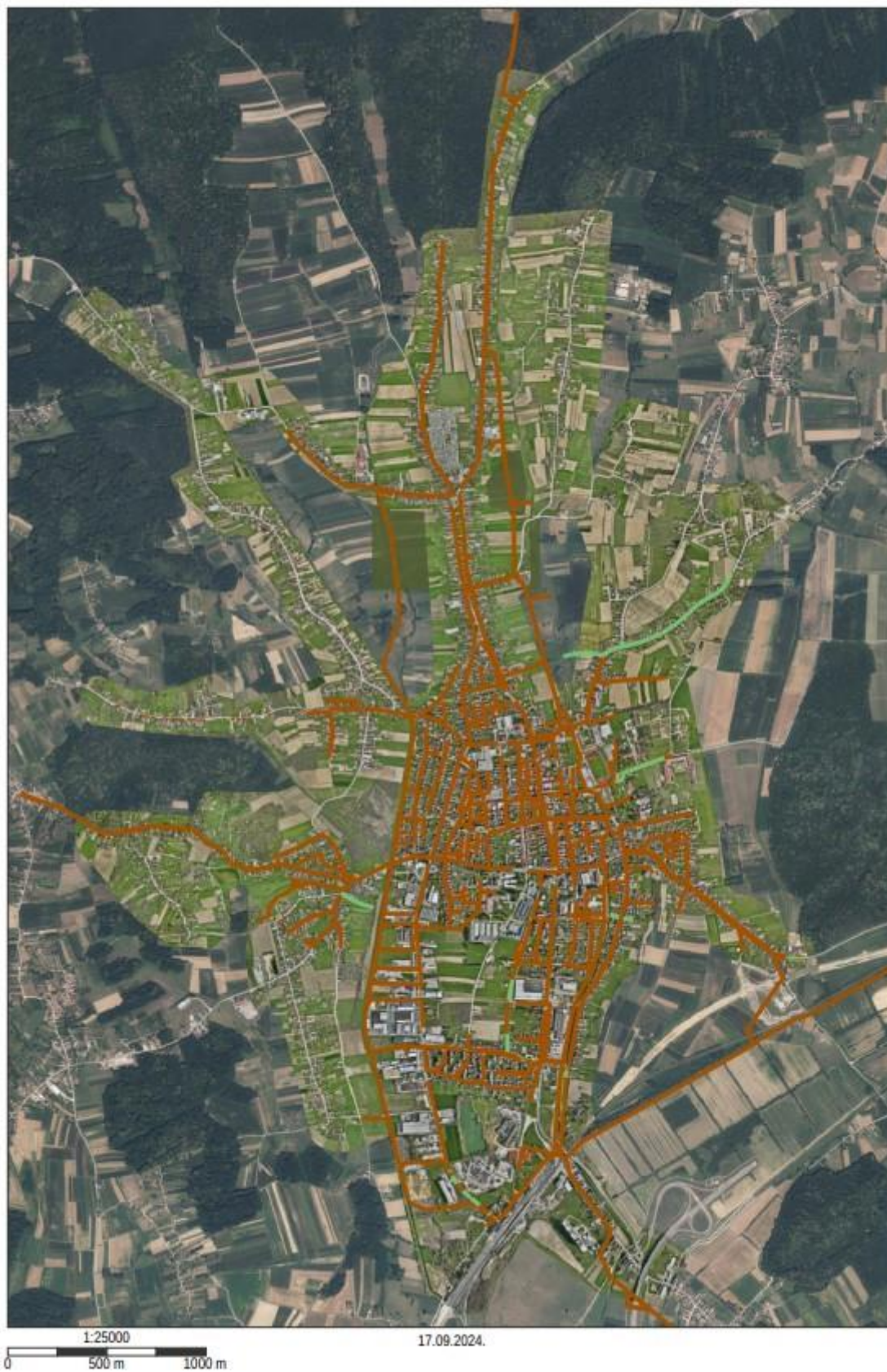
Na području Grada Križevaca sustavom odvodnje upravljaju Vodne usluge d.o.o. Križevci koja raspolaže internom dokumentacijom o infrastrukturi koje su za potrebe izrade ovog rada dozvolile uvid u internu dokumentaciju te korištenje online GIS portala iz čega je sustav nadalje opisan. Na području javnog isporučitelja vodnih usluga izgrađena je gradska kanalizacijska mreža (slika 18.) kojom se sve otpadne, fekalne i oborinske vode putem dva kolektora, kolektora „Koruška“ i kolektora „Vrtlin“, odvođe do skupnog kolektora „Željeznička stanica – Uređaj za pročišćavanje“ čije je ishodište kod željezničke stanice kraj ceste Križevci – Bjelovar [11].

Kanalizacija grada Križevaca projektirana je i izgrađena u mješovitom sustavu. Starost sustava odvodnje je u prosjeku između 30 i 40 godina. Većina gradskog područja ima sekundarnu kanalizacijsku mrežu koja je zajedno s kolektorima duga oko 39 kilometara.

Postojeći mješoviti sustavi odvodnje postoje samo u gradu te ima višu prosječnu starost. Sastoji se od kanalizacijskih cijevi kružnog presjeka i revizijskih okana za prikupljanje otpadnih voda i njihovo odvođenje do uređaja za pročišćavanje.

Mješoviti kanalizacijski sustav izveden je kao gravitacijski. Najveći dio cijevi je od betona, samo manji dio od PEHD-a, promjera kružnog presjeka $\varnothing 300$, $\varnothing 350$, $\varnothing 400$, $\varnothing 450$, $\varnothing 500$, $\varnothing 600$, $\varnothing 700$, $\varnothing 800$, $\varnothing 850$ i $\varnothing 1000$ mm, uključujući spojeve koji ne osiguravaju potrebnu vodonepropusnost. Revidirani poklopci šaftova su betonski, pravokutnog i kružnog presjeka i prosječne dubine 2,00 m. Poklopci revizijskih okana su četverokutni od lijevanog željeza i betona.

Općenito, postojeći sustav odvodnje ne zadovoljava kapacitete i u lošem je stanju. Iz navedenog razloga je tvrtka Komunalno poduzeće d.o.o. Križevci inicirala izradu projektne dokumentacije za neophodne sanacije sustava, uključivo potrebna proširenja sustava. Štete na postojećem sustavu odvodnje posljedica su starosti i neadekvatnog održavanja.



Slika 18.: Sustav odvodnje Grada Križevaca (Izvor: [11])

Otpadne vode pripljene na području grada se dovode do uređaja za pročišćavanje (slika 20.) koji je izgrađen na lokaciji Male Livade – Cubinec. Uređaj je lociran oko 2 km južno od južnog ruba grada uz potok Glogovnicu i cestu Cubinec – Poljana Križevačka [11].

Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda je preliminarnog mehaničkog stupnja, uključujući grube i fine rešetke, kao i rešetke za ulje i pijesak. Otpad sakupljen na grubim i finim rešetkama skladišti se u prijenosne spremnike, dok se mast prikupljena iz sabirnog betonskog okna ručno prebacuje u prijenosne spremnike. Proizvedeni pijesak pumpa se u uzdužne kanale i zatim separira. Ispušteni pijesak odlazi u prikladnu posudu, a voda se vraća u izlazni bunar. Na mjestu ispusta prati se volumen ispuštene otpadne vode i kakvoća otpadne vode na kontrolnim zdencima prije istjecanja u vodotok Glogovnicu. Podaci o kontroli i kakvoći otpadnih voda (ulaz i izlaz) vode se u posebnim očevidnicima, koji se zajedno s analizom otpadnih voda dostavljaju Službi za zaštitu voda sliva Save "Hrvatske vode" VGO četiri puta godišnje.

Općenito, postojeći sustav odvodnje ne zadovoljava kapacitete i u lošem je stanju. Iz navedenog razloga je tvrtka Komunalno poduzeće d.o.o. Križevci inicirala izradu projektne dokumentacije za neophodne sanacije sustava, uključivo potrebna proširenja sustava, a same štete na postojećem sustavu odvodnje posljedica su starosti i neadekvatnog održavanja.

Zato je u tijeku provedba projekta Aglomeracija Križevci koja obuhvaća ulaganja u sustav javne vodoopskrbe, odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda na području aglomeracije Križevci koja se sastoji od sljedeća naselja: Križevci, Cubinec, Bukovje Križevačko, Donja i Gornja Brckovčina, Karane, Gračina, Lemeš Križevački, Mali Potočec, Majurec, Pesek, Prikraj Križevački, Poljana Križevačka, Veliki Potočec [11].

Terenskim pregledom radova na slici 19. dan je primjer izgradnje Aglomeracije Križevci u Ulici Branitelja Hrvatske.



Slika 19.: Primjer izgradnje Aglomeracije Križevci (Izvor: Ivona Višak-Pavlović)

Projekt obuhvaća:

- izgradnju 9.552 m nove i rekonstrukciju 19.493 m stare vodoopskrbne mreže
- izgradnju, rekonstrukciju i sanaciju sustava javne odvodnje i to: izgradnju 53.282 m sustava javne odvodnje, rekonstrukciju 4 kišna preljeva, izgradnju 17 crpnih stanica i 1.547 priprema za kućne priključke te rekonstrukciju 11.055 m i sanaciju 1.930 m sustava javne odvodnje,
- izgradnju uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kapaciteta 21.000 ES, III. stupnja pročišćavanja [11].



Slika 20.: Planirani UPOV III. stupnja pročišćavanja (Izvor: [11])

3.2. Idejno rješenje primjene zelene infrastrukture na dijelu sustava odvodnje u Ulici Stjepana Radića – presjek dokumentacije

Ulica Stjepana Radića nalazi se u uskom centru Grada Križevaca nedaleko od Hotela Kalnik Križevci. Ulica se sastoji od 11 stambenih zgrada i 12 privatnih kuća. Prometnica u ulici (slika 21.) je u dosta lošem stanju zajedno sa pripadajućom infrastrukturom (vodopskrba i odvodnja). Uz pojas prometnice ima dovoljno slobodnih zelenih površina koje se u sklopu ulice daju urediti jer se time smanjuju utjecaji klimatskih promjena, toplinskih otoka i općenito prirodnije otjecanje.



Slika 21.: Ulica Stjepana Radića - postojeće stanje (Izvor fotografija: Ivona Višak – Pavlović)

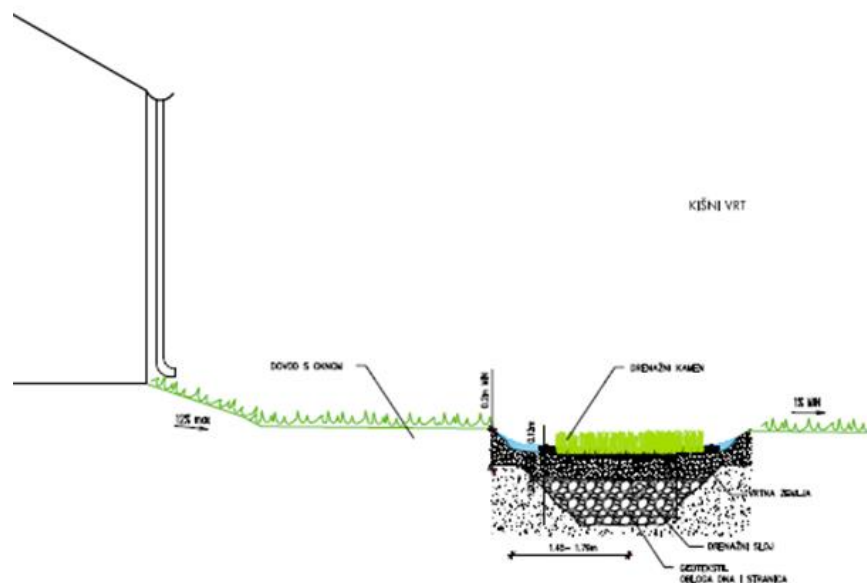
Rasterećenje odvodnje Ulice Stjepana Radića može se postići na način da se oborinska voda retencionira in situ, a to se može postići infiltracijskim jarcima, perforiranim slivnicima, ugradnjom zelenih krovova te retencioniranjem pješačkih i zelenih površina. Također prijedlog cestovne površine je upotreba poroznog betona kao „Topmix Permeable“.

Iz svega navedenog glavne smjernice u projektiranju zelenog rješenja Ulice Stjepana Radića bile bi:

- omogućiti održavanje propusnosti tla – smanjiti betonizaciju
- povećati zadržavanje vode na slivu i smanjiti veličinu dotoka – krajobraznim uređenjem

- koristiti postojeći reljef pri izgradnji dijelova sustava odvodnje – maksimalno koristiti prirodni okoliš
- povećati infiltraciju i filtraciju te smanjiti brzine tečenja i eroziju – krajobrazno uređenje sliva

Za Ulicu Stjepana Radića i podslivove ulice prijedlog rješenja rasterećenja odvodnje rađen je putem kišnih vrtova, gdje voda direktno ulazi u recipijent (kišni vrt) te nema vremena koncentracije sliva. Na slici 22. prikazan je presjek kišnog vrta.



Slika 22.: Presjek kišnog vrta (Izvor: [6])

3.2.1. Hidrološki proračun

3.2.1.1. Metode za određivanje količina oborina

Za proračun određivanja oborina dan je prikaz najčešće korištenih metoda u praksi za izračun otjecanja sa slivnih površina sukladno kojima se može dimenzionirati elementi sustava. U kontekstu ovog rada dimenzioniranje elemenata sustava za prihvat volumena oborina bitan je radi ukupnog rasterećenje sustava. Za dimenzioniranje sustava uzeti su podaci Q_{max} – vršni protok i pripadni volumen sa slivne površine kako bi se mogli dimenzionirati kišni vrtovi za prihvat potrebnog volumena oborina [12].

RACIONALNA METODA

Racionalna metoda koristi se za proračun oborinskih voda urbanih površina veličine do 13 ha kod kojih je slijevna površina većim dijelom nepropusna. Koristeći racionalne metode, mogu se konstruirati hidrogrami otjecanja na temelju hijetograma kiša za izračun retencija, kišnih bazena i preljeva. Na temelju iskustva i karakteristika svake zemlje, također su napravljene neke izmjene te metode s ciljem poboljšanja. Određuje se na temelju mjerenja palih oborina i površinskog otjecanja. Određeni podaci za pojedine slivove mogu se koristiti za određivanje otjecanja s drugih slivova na osnovi sličnosti karakteristika slivova i oborina [12].

Koeficijent otjecanja ili postotna metoda je odnos između otekle i pale oborine. Određuje se na temelju karakteristika slivnog područja, a može se prikazati i kao postotak otjecanja od ukupno pale oborine. Metoda se uglavnom koristi u proračunu otjecanja u urbanim područjima u kojima je zastupljenost vodonepropusnih površina velika.

Načelo racionalne metode je da će se pri jednolikom intenzitetu kiše na cijelom slivu maksimalno otjecanje na računskom profilu pojaviti u trenutku vremena koncentracije T_c . Vrijeme koncentracije je vrijeme maksimalnog otjecanja koje je jednako vremenu potrebnom da kap efektivne kiše stigne od najudaljenije točke sliva do razmatranog profila. Također pretpostavka na kojoj se metoda temelji je da povratno razdoblje vršnog otjecanja je isto kao za projektirani pljusak te da je intenzitet kiše jednolik u cijelom razdoblju i na cijelom analiziranom području [12].

$$Q = c \times i \times A$$

Gdje je:

Q - vršni protok (m^3/s)

c - koeficijent otjecanja

i - srednja vrijednost vjerojatnosti pojave u vremenskom periodu jednakom vremenu koncentracije (m/s)

A - površina otjecanja (m^2) [12].

SCS METODA

Jedna od najčešće korištenih metoda u američkoj praksi je takozvana SCS (Soil Conservation Service) metoda za određivanje relativne količine oborine, koja je razvijena pri određivanju mjerodavne količine oborine za ruralna i prigradska područja. Ova metoda se koristi u slučaju većih slivova i kada je potrebno odrediti hidrograme otjecanja na različitim točkama oborinske kanalizacije: bazeni oborinske vode, preljevi, uređaji za pročišćavanje [12].

Osnovna razlika između SCS metode i racionalne metode je u tome što se SCS metoda temelji na korelaciji između tipova pokrova površine koja se odvodnjava te otjecanja.

$$Q = i_e \times A \times y \times z \times 16,6$$

Gdje je:

Q - vršni protok (m³/s)

$i_e = P_e/t$ – intenzitet efektivne kiše (mm/min)

A - površina sliva (km²)

y – bezdimenzionalni klimatski faktor (1 za jednoliku oborinu po cijelom slivu)

z – faktor redukcije valnog vrha (t/tc) [12].

METODA SANTA BARBARA

Santa Barbara je jednostavna metoda za određivanje hidrograma otjecanja u urbanim sredinama. Pretpostavka je da se otjecanje s nepropusnih i propusnih površina odvija istovremeno, a na temelju projektnog pljuska konstruira se hidrogram otjecanja za jednake vremenske intervale. Za svaki vremenski interval izračunava se trenutačni hidrogram otjecanja pomoću formule:

$$I = \left((i \times d + i_e (1 - d)) \right) \times A \times C$$

Gdje je:

I – ordinata trenutačnog hidrograma

i - intezitet kiše (srednji intezitet korigiran faktorom f_c za odabrani projektni pljusak) (mm/min)

i_e – neto kiša s propusnih površina (mm)

d – nepropusna površina kao dio ukupne površine (m²)

A – ukupna slijevna površina (m²)

C – konstanta konverzije mjernih jedinica [12].

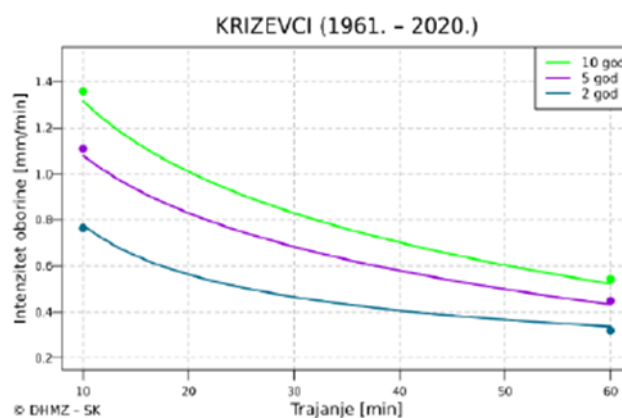
3.2.1.2. Prikaz idejnog rješenja koncepta odvodnje Grada Križevaca

Sukladno Idejnom rješenju koncepta odvodnje Grada Križevaca rađen je proračun otjecanja sa sliva ulice Stjepana Radića metodom Santa Barbara (The Santa Barbara Urban

Hydrograph; SBUH) izrađenog od projektnog ureda „Starum d.o.o. Pula“ [6]. Kao prijedlog rješenja za produljenje zadržavanja volumena voda i smanjenje vršnog otjecanja uzeti su kišni vrtovi koje bi bilo potrebno smjestiti u ulicu. Kišni vrtovi su projektirani tako da vrijeme zadržavanja vode u njima ne bude više od 30 sati te da nakon 30 sati kišni vrt bude spreman za idući kišni događaj. Projektni pljusak definiran je povratnim periodom PP 100 god i trajanjem pljuska 24 sata. To znači da kišni vrtovi zadovoljavaju u slučaju kad se isprazne na manje od 24 sata, maksimalno 30 sati, da bi mogli primiti sljedeći kišni događaj.

ITP krivulja

Cilj analize jakih kiša (kratkotrajne, intezivne oborine trajanja od 1 minute do 24 sata) je dobivanje funkcijske zavisnosti između inteziteta oborina i trajanja oborina. U nastavku su za Križevce procijenjene maksimalne količine oborine u trajanju od 10 i 60 minuta te 24 sata koja se mogu očekivati s povratnim razdobljem 2, 5 i 10 godina ovisno o trajanju. Analiza je provedena prema podacima iz meteorološke postaje Križevci iz raspoloživog razdoblja mjerenja 1961. – 2020.



Slika 23.: ITP krivulje za povratno razdoblje od 2, 5 i 10 godina za oborinu trajanja od 10 do 60 minuta

Ulazni podaci korišteni za potrebe proračuna su površina sliva ulice od $A = 5,3$ ha, a kišni vrtovi u ukupnoj predloženoj površini od: $A_k = 1264$ m². Također, u tablici uzetoj iz DHMZ-a za Križevce najveća količina oborina iznosi $H = 83,7$ mm za povratni period od 100 god, time prosječni intenzitet iznosi 0,0585 mm/min.

t	fin	isr	isr	Isrxfn	Isrxfn	Stopa prijevaja	Volumen prijevaja	Visina otjecanja	Stopa prijevaja kišnog vrta	Volumen prijevaja kišnog vrta	Volumen prijevaja-volumen prijevaja kišnog vrta	Kumulativni volumen prijevaja koji će se zadržati	Visina vode u drenažnom sloju	Visina vode u kišnom vrtu	t
(min)	-	mm/min	l/s/ha	mm/min	l/s/ha	l/s	m ³	m	l/s			m ³	m	m	(sati)
1600				0	0	0	0	0.000000000	29.072	1.74432	-1.74432	5.034251	0.00995698	0	26.66667
1601				0	0	0	0	0.000000000	29.072	1.74432	-1.74432	3.289931	0.00650698	0	26.68333
1602				0	0	0	0	0.000000000	29.072	1.74432	-1.74432	1.545611	0.00305698	0	26.7
1603				0	0	0	0	0.000000000	29.072	1.74432	-1.74432	0	0	0	26.71667

Slika 24.: Metoda Santa Barbara (Izvor: [6])

Metodom (slika 24.) su dobiveni rezultati na slici 21.

IZLAZNI REZULTATI			
Max.visina vode u kišnom vrtu =	0.14	m	izračunato
Visina vode u drenažnom sloju nakon 30 sati =	0.00	m	izračunato
Visina vode u kišnom vrtu nakon 30 sati =	0.00	m	izračunato
Da li su dimenzije kišnog vrta odgovarajuće?	TRUE		
OSTALE IZRAČUNATE VELIČINE			
Vršni intezitet=	9.69	l/s/ha	izračunato iz distribucije
Odnos slivne površine i kišnog vrta	0.024		izračunato -faktor dimenzije
Kapacitet drenažnog sloja=	404.48	m ³	izračunato
max.visina vode u drenažnom sloju	0.8		
Vmax=	976.4616179	m ³	

Slika 25.: Izlazni rezultati proračuna (Izvor: [6])

Iz proračuna je vidljivo da voda do drenažnog sloja dolazi u 214. minuti (3,56 h), dok u 384. minuti (6,4 h) visina vode dolazi do maksimalne visine drenažnog sloja od 0,8 m. Nakon punjenja drenažnog sloja, vodom se puni kišni vrt do maksimalne visine od 0,14 m u 862. minuti gdje je i maksimalan kumulativan volumen preljeva od 976,46 m³. Nadalje se prvotno prazni kišni vrt do 1365. minute, a zatim se i u potpunosti isprazni drenažni sloj u 1603. minuti. Zaključujemo da se kišni vrt prazni nakon 1603 min tj. 26,7 sati te zadovoljava uvjet: 26,7 < 30 sati. Time kišni vrt može primiti sljedeći kišni događaj.

3.2.1.3. Proračun rasterećenja sustava upotrebom kišnih vrtova

Proračun volumena efektivne oborine koji sudjeluje u otjecanju na u odvodnji s ulice je rađen analizom slivnih površina i pripadnih koeficijenata otjecanja (opisan u racionalnoj metodi u poglavlju 3.2.1.1).

Ulica se sastoji od 6 različitih površina koje čine podslivove (PS 1, PS 2, PS 3, PS 4, PS 5 i PS 6) kao što je prikazano na slici 26. Točke A, B i C prikazuju točke na sustavu kanalizacije u koje se slijevaju oborine. Oborine koje padnu na podslivove 1 i 2 otječu u točku A; oborine koje padnu na podslivove 3 i 4 otječu u točku B dok oborine s podslivova 4 i 6 otječu u točku

C. Osnovne fizičke karakteristike slivova (površine, nadmorske visine i nagibi pripadajućih slivova ulice) dane su u tablici 2.



Slika 26.: Slivovi Ulice Stjepana Radića (Izvor: Ivona Višak-Pavlović)

Tablica 2.: Karakteristike slivova

NAZIV SLIVA	OZ-NAKA	POVRŠINE (m ²)	X (m)	Y (m)	H1 (m)	H2 (m)	S (%)	S (m/m)
PODSLIV 1	PS1	2507,00	45,00	53,00	144,00	143,00	1,27	0,01
PODSLIV 2	PS2	2756,00	45,00	53,00	142,50	142,00	0,64	0,01
PODSLIV 3	PS3	5201,00	50,00	98,00	141,00	140,00	3,43	0,03
PODSLIV 4	PS4	4541,00	43,00	98,00	142,50	142,00	0,67	0,01
PODSLIV 5	PS5	17462,00	56,00	235,00	138,00	134,00	4,08	0,04
PODSLIV 6	PS6	10422,00	50,00	235,00	137,00	136,00	1,15	0,01

Proračun volumnog oborinskog opterećenja sustava odvodnje Ulice Stjepana Radića

Proračun volumnog oborinskog opterećenja sustava odvodnje Ulice Stjepana Radića je napravljen je u sljedećim koracima :

1. izračun površina slivova s kojih voda otječe u pripadajuće točke kanala
2. izračun prosječnog koeficijenta otjecanja sukladno svakoj vrsti površine na slivu
3. izračun efektivne oborine pale na sliv koja direktno otječe
4. izračun volumena otjecanja za svaku točku slivu
5. ukupni volumen otjecanja cijele ulice

te su postupak i rezultati prikazani u nastavku.

Prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda za Križevce, najveća količina oborina iznosi $H = 83,7$ mm.

Srednje mjesečne vrijednosti i ekstremi

Podaci za Križevci u razdoblju 1961-2022

	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studen	prosinac
TEMPERATURA ZRAKA												
Srednja [°C]	-0.3	2.0	6.2	10.9	15.4	19.0	20.5	19.8	15.4	10.4	5.5	0.9
Aps. maksimum [°C]	16.8	22.0	25.2	29.6	32.7	35.1	37.6	38.5	33.5	27.9	23.9	21.6
Datum(dan/godina)	29/1988	28/2019	31/1989	29/2012	27/2008	23/2003	11/1968	6/2012	11/2011	23/1971	15/2002	17/1989
Aps. minimum [°C]	-25.5	-22.6	-18.7	-5.5	-3.0	0.5	4.0	2.4	-2.0	-7.0	-17.2	-21.0
Datum(dan/godina)	16/1963	13/1985	2/1963	2/2020	2/1962	5/1962	6/1962	25/1980	29/1977	31/1971	24/1988	31/1996
TRAJANJE OSUNČAVANJA												
Suma [sat]	61.2	95.1	147.3	184.6	237.5	253.5	289.7	266.6	189.3	136.7	68.6	48.9
OBORINA												
Količina [mm]	42.2	43.4	48.4	57.2	78.4	82.1	76.7	72.2	<u>83.9</u>	70.0	78.5	61.1
Maks. vis. snijega [cm]	45	53	35	5	-	-	-	-	-	-	75	75
Datum(dan/godina)	17/2013	6/1963	4/1986	1/1977	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	30/1993	1/1993

Slika 27.: Podaci DHMZ za mjernu postaju Križevci (Izvor: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci¶m=k1&Grad=krizevci)

• TOČKA A

A. Površina sliva

U otjecanju na točku A sudjeluju slivovi PS1 i PS2, površina podsliva PS1 = 2.507 m² i površina podsliva PS2 = 2.756 m².

Pripadajuća slivna površina: $A = PS1 + PS2 = 2.507 + 2.756 = 5.263$ m²

B. Prosječni koeficijent otjecanja

Dobiven je umnoškom karakterističnih površina sliva s danim koeficijentom otjecanja za svaku površinu sukladno tablici 3. koje su raspoređene po ukupnoj površini sliva.

$$C_{sr} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} = \frac{0,9 \cdot 250,70 + 0,9 \cdot 1754,90 + 0,25 \cdot 501,40 + 413,40 \cdot 0,9 + 275,60 \cdot 0,9 + 275,60 \cdot 0,4 + 1791,40 \cdot 0,25}{2.507 + 2.756} = 0,59$$

Tablica 3. Vrijednosti koeficijenta otjecanja (Izvor: [6])

DIJELOVI GRADA	KOEFICIJENT OTJECANJA
Stambene zgrade/krovovi	0,9
Cesta i parkinzi	0,9
Parkovi	0,15
Šljunčane površine	0,4
Zelenilo	0,25

C. Efektivne oborine

Veza između koeficijenta otjecanja i volumena otjecanja može se iskazati kroz sljedeći

izraz:

$$C = \frac{P_{eff}}{P} = \frac{V_{eff}}{V}$$

gdje je: C – koeficijent otjecanja (racionalni koeficijent)

P – bruto oborina koja pada na sliv (mm)

P_{eff} - efektivna oborina/neto oborina (ona koja direktno otječe) (mm)

Te se onda efektivna oborina može izraziti kao:

$$P_{eff} = C_{sr} \times P = 0,59 \times 83,7 \text{ mm} = 49,38 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 49,38 \times 10^{-3} \text{ m} \times 5263 \text{ m}^2 = 259,90 \text{ m}^3$$

- **TOČKA B**

- A. Površina sliva

U otjecanju sudjeluju slivovi PS3 i PS4, površina podsliva PS3 = 5.201 m² i površina podsliva PS4 = 4.541 m².

Pripadajuća slivna površina: $A = PS3 + PS4 = 5.201 + 4.541 = 9.742 \text{ m}^2$

- B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 3.380,65 + 0,9 \cdot 1.300,25 + 0,25 \cdot 520,10 + 0,9 \cdot 1.589,35 + 0,9 \cdot 227,05 + 0,4 \cdot 227,05 + 0,25 \cdot 2.497,55}{5.201 + 4.541}$$

$$C_{sr} = 0,69$$

- C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 0,69 \times 83,7 \text{ mm} = 57,75 \text{ mm}$$

- D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \cdot A = 57,75 \times 10^{-3} \text{ m} \times 9742 \text{ m}^2 = 562,63 \text{ m}^3$$

- **TOČKA C**

- A. Površina sliva

U otjecanju sudjeluju slivovi PS5 i PS6, površina podsliva PS5 = 17.462 m² i površina podsliva PS6 = 10.422 m².

Pripadajuća slivna površina: $A = PS5 + PS6 = 17.462 + 10.422 = 27.884,00 \text{ m}^2$

- B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i} =$$

$$\frac{0,9 \cdot 5238,60 + 0,9 \cdot 2619,30 + 0,4 \cdot 873,10 + 0,25 \cdot 8731,00 + 0,9 \cdot 3647,70 + 0,9 \cdot 521,10 + 0,4 \cdot 521,10 + 0,25 \cdot 5732,10}{17462 + 10422}$$

$$C_{sr} = 0,54$$

- C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 0,54 \times 83,7 \text{ mm} = 45,20 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{\text{eff}} * A = 45,20 \times 10^{-3} \text{ m} \times 27.884 \text{ m}^2 = 1260,30 \text{ m}^3$$

Ukupni volumen otjecanja:

$$V_A + V_B + V_C = 259,90 + 562,63 + 1260,30 = 2082,83 \text{ m}^3$$

Tablica 4.: Tablični prikaz izračuna volumnog opterećenja

NAZIV SLIVA	OZNAKA	POVRŠINE (m ²)	A (m ²)	c	P eff (mm)	V otjecanja (m ³)
PODSLIV 1	PS1	2507,00	5263,00	0,59	49,38	259,90
PODSLIV 2	PS2	2756,00				
PODSLIV 3	PS3	5201,00	9742,00	0,69	57,75	562,63
PODSLIV 4	PS4	4541,00				
PODSLIV 5	PS5	17462,00	27884,00	0,54	45,20	1260,30
PODSLIV 6	PS6	10422,00				
Ukupne vrijednosti		42889,00	42.889,00	0,58	152,33	2082,83

Proračun volumnog rasterećenja sustava odvodnje upotrebom kišnih vrtova

U nastavku je proračunom prikazano kako svu oborinsku vodu koja padne na krovove stambenih objekata Ulice Stjepana Radića zadržavamo upotrebom kišnih vrtova. Time nam količina oborina koja padne ovisi o površini krova stambenog objekta.

Ulica se sastoji od 11 stambenih zgrada i 9 obiteljskih kuća čija krovovišta različitih površina i nagiba čine u proračunu slivove. Osnovne fizičke karakteristike stambenih objekata dane su u tablici 5.

Tablica 5. Karakteristike krovovišta stambenih objekata

OBJEKTI	N komada	POVRŠINE (m ²)	X (m)	Y (m)	UKUPNE POVRŠINE (m ²)	S (%)	S (m/ m)
tipske obiteljske stambene zgrade s dvostrešnim krovovištem	6,00	126,00	13,70	9,20	756,00	0,57	0,01
tipske kuća s jednostrešnim krovovištem	6,00	126,00	12,00	10,50	756,00	0,57	0,01
stambene zgrade ravni krov	2,00	380,00	20,00	19,00	760,00	0,10	0,00
stambene zgrade kosi krov	1,00	380,00	20,00	19,00	380,00	0,60	0,01
stambene zgrade kosi krov	2,00	220,40	19,00	11,60	440,80	0,60	0,01
obiteljske kuće dvostrešni krov	3,00	97,75	11,50	8,50	293,25	0,57	0,01
tipske kuće jednostrešni krov	3,00	121,00	11,00	11,00	363,00	0,57	0,01

1) Tipska obiteljska stambena zgradaA. Površina objekta

$$A = 126 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

Koeficijent za sve stambene objekte iznosi 1 jer nema infiltracije kroz površine krovova to jest nepropusne su.

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 126 \text{ m}^2 = 10,55 \text{ m}^3$$

2) Tipska kućaA. Površina objekta

$$A = 126 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 126 \text{ m}^2 = 10,55 \text{ m}^3$$

3) Stambena zgrada ravnog krovistaA. Površina objekta

$$A = 380 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 380 \text{ m}^2 = 31,81 \text{ m}^3$$

4) Stambena zgrada kosog krovištaA. Površina objekta

$$A = 380 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 380 \text{ m}^2 = 31,81 \text{ m}^3$$

5) Stambena zgrada kosog krovištaA. Površina objekta

$$A = 220,40 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{eff} \times A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 220,40 \text{ m}^2 = 18,45 \text{ m}^3$$

6) Obiteljska kuća dvostrešnog krovištaA. Površina objekta

$$A = 97,75 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{sr} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{eff} = C_{sr} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{\text{eff}} * A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 97,75 \text{ m}^2 = 8,18 \text{ m}^3$$

7) Tipska kuća jednostrešnog krovišta

A. Površina objekta

$$A = 121,00 \text{ m}^2$$

B. Prosječni koeficijent otjecanja

$$C_{\text{sr}} = 1$$

C. Efektivne oborine

$$P_{\text{eff}} = C_{\text{sr}} \times H = 1 \times 83,7 \text{ mm} = 83,70 \text{ mm}$$

D. Volumen otjecanja

$$V = P_{\text{eff}} * A = 83,70 \times 10^{-3} \text{ m} \times 121,00 \text{ m}^2 = 10,13 \text{ m}^3$$

Izračunati volumeni otjecanja predstavljaju tipski kišni vrt, odnosno volumen istoga koji mora prihvatiti prilikom oborina. Budući da na slivu postoji više istih tipskih objekata sljedeći izračun predstavlja ukupni volumen oborina koji svaki pripadajući kišni vrt mora zadržati.

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 =$$

$$= 10,55 \times 6 + 10,55 \times 6 + 31,81 \times 2 + 31,81 + 18,45 \times 2 + 8,18 \times 3 + 10,13 \times 3 = 313,80 \text{ m}^3$$

Tablica 6.: Tablični prikaz izračuna volumnog rasterećenja

OBJEKTI	N komada	POVRŠINE (m ²)	UKUPNE POVRŠINE (m ²)	Tipski kišni vrt - potreban volumen otjecanja koji mora prihvatiti (m ³)	Ukupan volumen otjecanja (m ³)
tipske obiteljske stambene zgrade s dvostrešnim krovom	6	126,00	756,00	10,55	63,28
tipske kuća s jednostrešnim krovom	6	126,00	756,00	10,55	63,28
stambene zgrade ravni krov	2	380,00	760,00	31,81	63,61
stambene zgrade kosi krov	1	380,00	380,00	31,81	31,81
stambene zgrade kosi krov	2	220,40	440,80	18,45	36,89
obiteljske kuće dvostrešni krov	3	97,75	293,25	8,18	24,55
tipske kuće jednostrešni krov	3	121,00	363,00	10,13	30,38
Ukupne vrijednosti		1451,15	3749,05	121,46	313,80

Upotrebom kišnih vrtova za svaki stambeni objekt u Ulici Stjepana Radića isti bi zadržali 313,80 m³ oborina, dok na cijeli sliv ulice padne 2082,83 m³. Time bi svaki tipski kišni vrt odgovarao okućnici objekta. Korištenjem tih kišnih vrtova kao elemenata zelene infrastrukture volumno rasterećuje sustav urbane oborinske odvodnje Ulice Stjepana Radića.

4. ZAKLJUČAK

Možemo zaključiti da iz dosadašnje prakse jednostrana primjena pojedinih tehničkih rješenja odvodnje bez integracije u širi kontekst razvoja urbanog područja ne može omogućiti postizanje traženih ciljeva. Međutim, primjena zelene infrastrukture (najbolji pristup upravljanju oborinskim vodama), jamstvo je uspješnog, ekonomski, ekološki, tehnološki i socijalno održivog rješenja problema upravljanja oborinskim vodama u urbanim sredinama.

Primjena rješenja zelene infrastrukture poput infiltracijskih jaraka, kišnih vrtova... predstavljaju inovativna rješenja u odvodnji oborinskih voda urbanih područja te samim time doprinose zaštiti ekosustava. Preporuča se da sve oči budu uprte u gradove kao što su Pula i Zadar koji nam služe kao pilot projekti za novi i bolji pristup rješavanju problema upravljanja oborinskim vodama u urbanim sredinama. Ova pozitivna iskustva potrebno je primjenjivati u puno širim razmjerima i na druge gradove u Hrvatskoj. Stoga je u ovom završnom radu dan primjer primjene takvih rješenja u Gradu Križevcima.

Na temelju dostupnih podataka napravljen je hidrološki proračun svih podslivova Ulice Stjepana Radića. Kod izračuna podslivova svaki različite površine i koeficijenta otjecanja dobiven je volumen otjecanja oborina na pojedinom slivu. Za prijedlog rješenja odvodnje površinskih voda uzeti su kišni vrtovi koji sakupljaju kišnicu sa krovova objekata u navedenoj ulici te je za iste proračunat volumen zadržane vode u slivu. Na temelju podataka dobiven je ukupan volumen kojim se rasterećuje sustav odvodnje.

Predloženo rješenje kišnih vrtova pokazuje se kao dobar pristup u urbanim područjima gdje je potrebno unaprijediti sustav zelenih površina. Primjenom takvog rješenja ostvaruje se pozitivan utjecaj na izgled same ulice i grada kao i njegovo identitetsko obilježje.

POPIS LITERATURE

- [1] Vouk D., Potočki K. Zeleni gradovi i “gradovi spužve” - odgovor na ublažavanje poplava u urbanim područjima?. *Hrvatska vodoprivreda*. 2018; 26 (222): 14-18.
- [2] *Priručnik za primjenu u urbanom području Grada Zagreba*. Zagreb: Gradski ured za strategijsko planiranje i razvoj Grada; 2021.
- [3] Zelena infrastruktura d.o.o. Studija zelene infrastrukture Grada Rijeke. Dostupno: <https://www.rijeka.hr/wp-content/uploads/2021/03/Studija-zelene-infrastrukture-Grada-Rijeke.pdf> [Pristupljeno: 31.08.2024.]
- [4] Potočki K., Bekić D., Bonacci O., Kulić T. Hydrological Aspects of Nature-Based Solutions in Flood Mitigation in the Danube River Basin in Croatia: Green vs. Grey Approach. *The Handbook of Environmental Chemistry* 2021: 263-288.
- [5] Program razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima za razdoblje 2021. do 2030. godine. Zagreb: Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i državne mirovine; 2021
- [6] Uzelac T., Maksimović S., Modesto A., Matić D. Pula: Idejno rješenje koncepta odvodnje Grada Križevaca. 2022.
- [7] Ahac S. Odvodnja prometnica, *Građevinski fakultet Zagreb*. 2018. Dostupno: <https://www.grad.hr/nastava/hidrotehnika/gf/odvodnja/predavanja/ODVODNJA%20PROMETNICA.pdf> [Pristupljeno: 31.08.2024.]
- [8] Bonacci O. Zagreb: Mjere prirodnog retencioniranja vode. *Hrvatske Vode*, 2016, 24 (96): 161-169
- [9] Vouk D., Potočki K. Integralno upravljanje oborinskim vodama. *Glasnik Hrvatskog društva za zaštitu voda*, 2018, 13 (32): 44-49.
- [10] Ciria. Research Project RP993. Demonstrating the multiple benefits of SuDS – A business chase (Phase 2). 2013.
- [11] Interni podaci - Vodne usluge d.o.o. Križevci
- [12] Srebrenović D. Zagreb: *Primijenjena hidrologija*. Beograd: Tehnička knjiga; 1986.

POPIS SLIKA

Slika 1.: Tipovi prirodnih rješenja (NBS) (Izvor: [1]).....	7
Slika 2.: Prikaz bioretencija, infiltracijskih kanala i žardinjera (Izvor: [6]).....	10
Slika 3.: Travnate rešetke na parkiralištu (Izvor: [2]).....	11
Slika 4.: Shematski prikaz infiltracijskog jarka (Izvor: [7])	12
Slika 5.: Shematski prikaz tipične mokre lagune (Izvor: [7]).....	13
Slika 6.: Presjek upojnog bunara (Izvor: [8]).....	14
Slika 7.: Potpuni infiltracijski spremnik (Izvor: [7]).....	14
Slika 8.: Infiltracijski jarci parkirališta (Izvor: [6]).....	15
Slika 9.: Odvodnja oborinski voda za vlasnike okućnica (Izvor: [6]).....	16
Slika 10.: Kućni kišni vrt (Izvor: [6]).....	17
Slika 11.: Zeleni krovovi na stambenim objektima (Izvor: [8]).....	17
Slika 12.: Infiltracijska retencija u sklopu trgovačkog centra, te izgradnja infiltracijskog jarka, Pula (Izvor: [1]).....	18
Slika 13.: Projektno rješenje uređenja Trga kralja Tomislava u Puli s primjenom integralnog upravljanja oborinskim vodama (Izvor: [1]).....	18
Slika 14.: Trg kralja Tomislava prije i nakon rekonstrukcije (Izvor: [6])	19
Slika 15.: Rekonstrukcija oborinske odvodnje – izgradnja laguna i kišnih vrtova u Puli (Izvor: [6]).....	20
Slika 16.: Izgradnja zelene infrastrukture u parku Bokanjac (Izvor: [6]).....	20
Slika 17.: Prikaz primjene rješenja zelene infrastrukture u Gradu Rijeci (Izvor: [6]).....	21
Slika 18.: Sustav odvodnje Grada Križevaca (Izvor: [11]).....	25
Slika 19.: Primjer izgradnje Aglomeracije Križevci (Izvor: Ivona Višak-Pavlović).....	26
Slika 20.: Planirani UPOV III. stupnja pročišćavanja (Izvor: [11]).....	27
Slika 21.: Ulica Stjepana Radića - postojeće stanje(Izvor: Ivona Višak-Pavlović).....	28
Slika 22.: Presjek kišnog vrta (Izvor: [6]).....	29
Slika 23.: ITP krivulje za povratno razdoblje od 2, 5 i 10 godina za oborinu trajanja od 10 do 60 minuta.....	32

Slika 24.: Metoda Santa Barbara (Izvor: [6]).....	32
Slika 25.: Izlazni rezultati proračuna (Izvor: [6]).....	33
Slika 26.: Slivovi Ulice Stjepana Radića (Izvor: Ivona Višak-Pavlović).....	34
Slika 27.: Podaci DHMZ za mjernu postaju Križevci (Izvor: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k1&Grad=krizevci).....	35

POPIS TABLICA

Tablica 1: Uloga zelene infrastrukture u pomaganju prilagodbe urbanih područja klimatskim promjenama (Izvor: [11]).....	22
Tablica 2.: Karakteristike slivova.....	33
Tablica 3.: Vrijednosti koeficijenta otjecanja (Izvor: [6]).....	35
Tablica 4.: Tablični prikaz izračuna volumnog opterećenja.....	37
Tablica 5.: Karakteristike krovništa stambenih objekata.....	37
Tablica 6.: Tablični prikaz izračuna volumnog rasterećenja.....	40