

Kristina KLEMEN
 Petra PERGAR
 Nataša SIRNIK
 Matej RADINJA
 Nataša ATANASOVA
 Katarina KONDA
 Bernarda BEVC ŠEKORANJA

Inovativna orodja za predstavitev in oceno hidrološkega vpliva ukrepov modro-zelene infrastrukture na kroženje vode v urbanem prostoru

V prispevku bomo predstavili vpliv ukrepov modro-zelene infrastrukture na kroženje vode v urbanem prostoru in predlagali nadgradnjo norme 3-30-300 z načelom 15 mm padavin na vsako stavbo. Tako nadgrajena norma 3-30-300-15 ob merilu dostopnosti do zelenih površin zagotavlja tudi zadrževalni prostor za padavinsko vodo v okolici stavbe. Vpliv ukrepov modro-zelene infrastrukture za ravnanje s padavinsko vodo na ravni mestnih stavb in nadgradnja norme s faktorjem F15 sta bila razvita v sklopu inovacijskega evropskega projekta BUILDSPACE. V projektu razvijamo orodje v podporo odločanja pri prilagajanju mest na podnebne spremembe. Kot eden od primerov uporabe orodja za slovenski pilotni projekt bo orodje omogočalo prostorsko analizo za določitev najbolj kritičnih mestnih območij. Pri tem bo upoštevan tudi vpliv podnebnih scenarijev in

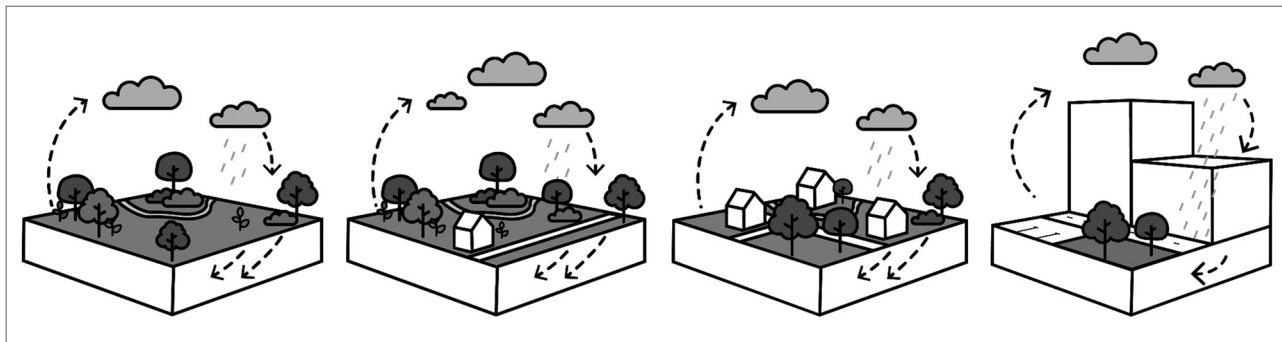
scenarijev umestitve ukrepov modro-zelene infrastrukture. Razvoj orodja temelji na razpoložljivih podatkih, tudi satelitskih. V sklepu prispevka navajamo usmeritve za preverbo in usklajitev predlaganega kazalnika z obstoječimi urbanističnimi določili (kazalnik zelenih površin, kazalnik odprtih bivalnih površin, kazalnik pozidanosti, delež raščenega terena idr.), na podlagi katerih bo mogoče rezervirati dovolj velike površine za smiselno umestitev in načrtovanje ukrepov modro-zelene infrastrukture.

Ključne besede: modro-zelena infrastruktura, kazalnik kritičnih območij, podnebne spremembe, urbanistični kazalniki

1 Uvod

Norma za ozelenitev mest 3-30-300, ki jo je leta 2021 predlagal Cecil Konijnendijk, je postala izzivajoče izhodišče za razmislek ter motivacija za ozelenitev mest za strokovno in širšo javnost v Evropi in po svetu. »Pravilo treh dreves« je argumentirano pravilo, ki ga lahko posamezniki, vlade, podjetja in organizacije uporabljajo za izboljšanje dostopnosti zelenih površin v svojih skupnostih in zagotavljanje številnih koristi mestnih zelenih površin. Tudi sonaravno upravljanje padavinskih voda je ena od številnih koristi, ki jih pravilno načrtovane zelene

rešitve prinašajo v mestna območja. Z načrtovanjem ukrepov modro-zelene infrastrukture dajemo zadrževalni prostor vodi, ki ga ob podnebnih spremembah s pogostejšimi in intenzivnejšimi padavinami še bolj potrebuje. Urbano načrtovanje, ki sledi normi dostopnosti zelenih površin in celovitemu upravljanju padavinskih voda, zagotavlja doseganje vseh koristi, ki jih vegetacija lahko ponudi pri oblikovanju večfunkcionalnih zelenih površin. Lokalno upravljanje padavinske vode in njeno vračanje v vodni krog zahteva načrtovanje zelenih površin za



Slika 1: Vračanje padavinske vode v vodni krog se zmanjšuje ob urbanizaciji ter z zmanjšanim obsegom zelenih in neprepustnih površin zaradi nje (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor).

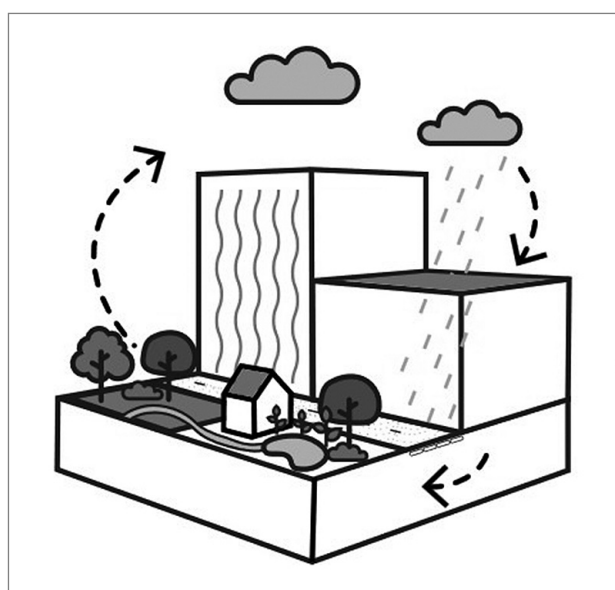
zadrževanje, infiltracijo in evapotranspiracijo padavinske vode (tj. modro-zelena infrastruktura, v nadaljevanju: MZI). Decentralizirano upravljanje padavinskih voda sovpada s ciljem lokalne dostopnosti zelenih površin, zato je bistveno, da pri njihovem načrtovanju sodelujejo vse kompetentne stroke.

Vrednost take norme vidimo kot merljiv kazalnik, s katerim ocenjujemo vračanje padavinske vode v vodni krog v urbanem prostoru. Pri tem želimo oceniti tudi vpliv vgradnje tehnik MZI, ki povečujejo vračanje padavinske vode v vodni krog v urbanem prostoru. Razvoj kazalnika, s katerim lahko merimo, omogoča primerjavo in določitev merljivih ciljev znotraj specifičnega področja upravljanja padavinskih voda in pri oblikovanju urbanističnih pogojev rabe prostora. Sočasno tak kazalnik omogoča tudi lažjo uskladitev in argumentacijo rabe večfunkcionalnih zelenih površin. Z nadgradnjo norme 3-30-300 oziroma razvojem modrega dela norme, ki ocenjuje sposobnost urbanega prostora za zadrževanje padavinske vode, želimo po njenem zgledu predlagati kazalnik, ki bo omogočil postavitev bolj oprijemljivih ciljev celovitega ravnanja s padavinsko vodo v mestih.

2 Predlog kazalnika za oceno zadrževalne sposobnosti padavinske vode v urbanem prostoru

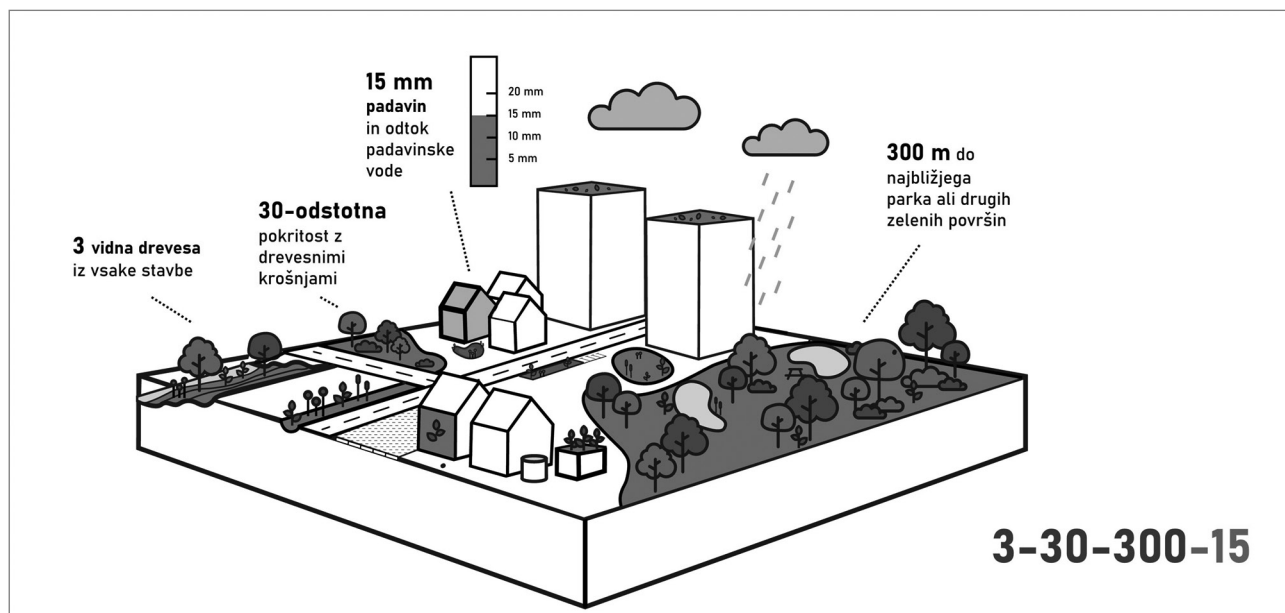
Razvitih je bilo že več kvantitativnih kazalnikov za merjenje uporabe MZI. Philadelphia Water Department je leta 2016 v ZDA kot prva institucija zastavila strateški načrt vgradnje MZI s programom *Green City, Clean Waters* in meri uspešnost programa z uporabo koncepta »greened acres«, ki je definiran kot dovolj zelene infrastrukture, da lahko upravlja en palec padavinske vode z enega hektarja prispevnih površin.

V Oslu so leta 2019 uvedli modro-zeleni kazalnik (ang. *Blue-Green Factor* – BGF) za mestno normo, na podlagi ka-



Slika 2: Uporaba tehnik MZI povečuje vračanje padavinske vode v vodni krog v urbanem prostoru (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor).

terega so razvili norveški nacionalni standard, namenjen vsem njihovim občinam. Norma BGF je kazalnik zelenih površin, ki temelji na uspešnosti ter je namenjen zagotavljanju zadostne vegetacijske pokritosti in upravljanja površinskih voda v posameznih gradbenih projektih. Seznam zunanjih modrih in zelenih površin in struktur – tj. MZI – se kvalitativno točkuje, meri glede na površino, pri čemer se ponderirana vsota deli s skupno površino projekta, izračunano na »modro-zeleni kazalnik«. Ta mora biti enak ali večji od norme za območje mesta, kjer se izvaja projekt. Podobna kazalnika zelenih površin, ki temeljita na uspešnosti uvajanja MZI, sta poleg zgoraj opisanih tudi berlinski kazalnik biotopskih površin (ang. *Berlin's Biotope Area Factor* – BAF) in stockholmski kazalnik zelenih površin (ang. *Stockholm's Green Area Factor* – GYF). Ti in podobni kazalniki zelenih površin so na splošno opredeljeni kot razmerje med površino biološko razpoložljivih površin (tj. tistih, ki so pokrite z vegetacijo, odprtimi vodami, prepustnimi



Slika 3: Predlog nadgradnje norme 3-30-300 glede dostopnosti zelenih površin po Cecilu Konijnendijku (2021) z normo referenčnih 15 mm padavin (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

tlaki in ponikovalnimi površinami) glede na celotno površino parcele (Stange idr., 2022). Površine z večjo pokritostjo z vegetacijo, večjo prepustnostjo za deževnico in večjo primernostjo kot habitat za biološko raznovrstnost bodo območja z večjo ekološko učinkovitostjo in številnimi ekosistemskimi storitvami v urbanih območjih (Gómez-Baggethun in Barton, 2013).

Ker so zelene površine tesno povezane z vodo, ne samo pri neposredni uporabi MZI, želimo tudi za zadrževanje padavinske vode postaviti normo, ki jo nameravamo doseči v zvezi z zelenimi površinami. S predlogom norme se želimo osrediniti na funkcijo zadrževanja padavinske vode na urbanih tleh ter po zgledu norme 3-30-300 oblikovati oprijemljiv in lahko predstavljen kazalnik, ki bo zanimiv za strokovno in širšo javnost. Zato predlagamo kazalnik F15, ki bo kazal zmožnosti stavbe in njene okolice, da zadrži normirano vrednost padavin. Opremljen je kot razmerje med odtokom padavinske vode in površino pripadajoče okolice stavbe, pri čemer se pripadajoča okolica stavbe določa glede na namen primerjave. Norma se določi glede na politiko upravljanja padavinske vode in izraža postavljen cilj, koliko padavinske vode želimo zadržati na mestu njenega nastanka. Primer postavljene norme je odtok, ki je manjši kot 5 mm. To pomeni, da želimo 5 mm padavin v pripadajoči okolici stavbe zadržati, dopuščamo pa odtok 10 mm. Mera za količino padavin je debelina vodne plasti na vodoravnih tleh, če ta voda ne bi odtekla, izhlapela ali pronicala v zemljo. Mm padavin je enak litru vode na kvadratni meter površine oziroma z drugimi besedami, če zlijemo liter vode po površini enega kvadratnega metra, bo višina te vodne plasti en milimeter (Brilly in Šraj, 2000). Kazalnik je poimenovan F15 zaradi referenčnih 15 mm padavin na vsako stavbo. 15 mm

padavin masne bilance na neposredno površino stavbe namreč ustreza tipičnemu dimenzioniranju kanalizacije za urbano odvodnjo, na primer za Ljubljano je to 15-minutni naliv z 2-letno povratno dobo.^[1]

Za izračun smo uporabili racionalno metodo z SCS-CN modelom padavinskih izgub, ki odtok oceni kot funkcijo celotnih padavin, pokrovnosti tal, rabe tal in vlažnost tal (Brilly in Šraj, 2010). Racionalna metoda je pogosto uporabljena empirična metoda za izračun površinskega odtoka z majhnih povodij. Z njo določamo maksimalni odtok. Padavinske izgube so pri tem del padavin, ki ne prispevajo k površinskemu odtoku in so prestrežene, infiltrirane ali akumulirane, imenujemo jih padavinske izgube. Medtem ko padavine, ki sodelujejo pri površinskem odtoku, imenujemo učinkovite padavine (neto padavine). Celotna količina padavinskih izgub je sestavljena iz infiltriranih padavin v zemljo, zadržanih padavin v površinskih depresijah ter prestreženih padavin oziroma padavin, ki ostanejo na listih dreves in drugi vegetaciji. Vrednost odtoka, ki ponazarja tudi naš kazalnik F15, je pri tem izračunu (z uporabo enačb na sliki 5) dejansko odvisna samo od vrednosti brezdimenzijskega faktorja CN, dobljenega empirično, in ponazarja zadrževanje vode na tleh oziroma retenzije. CN smo povzeli iz literature, kot je navedeno v preglednici 1.

2.1 Razvoj orodja za vizualizacijo kritičnih območij v projektu BUILDSPACE

V okviru projekta BUILDSPACE, ki poteka od leta 2023 do konca leta 2025 in promovira uporabo satelitskih podatkov

$$F15 = \frac{\text{odtok padavinske vode}}{\text{pripadajoča okolica stavbe} \text{ (npr. radij 15 m, gradbena parcela)}} < \text{npr. 5 mm}$$

Slika 4: Definicija kazalnik F15 in postavitev primera norme (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \text{ [mm]}$$

$$S = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \text{ [mm]}$$

CN ... kazalnik retenzije

P_e ... F15 ... ефективne padavine; del padavin, ki odteče

$$CN_{skupaj} = \frac{\sum (A_i \cdot CN_i)}{\sum A_i}$$

P_{ak} ... akumulirane padavine; padavinske izgube, ki ostanejo na mestu nastanka; $P - P_e$

Slika 5: Enačbe za izračun vrednosti odtoka, ki ponazarja tudi naš kazalnik F15 (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

Preglednica 1: Vrednosti brezdimenzijskega faktorja CN glede na rabo tal, ki smo jih uporabili pri izračunih

Raba tal	Vrednost CN glede na odtočni potencial				
	A	B	C	D	vir
drevesa	32	58	72	79	1
zelenica (trava)	52	70	80	84	1
makadam (pesek)	76	85	89	91	2
prepustne tlakovane površine	70				3
neprepustne tlakovane površine	98				1
strehe/stavbe	98				1
ceste	98				1

Vir: 1 – United States Department of Agriculture (1986); 2 – US Army Corps of Engineers (2000); 3 – Philadelphia Water Department (2018)

za analize v urbanem prostoru, razvijamo orodje v podporo odločanju. Trenutno je v fazi testiranja orodje za analizo in vizualizacijo predvidenih poplavnih škod, naslednji korak pa je razvit primer uporabe F15 s primerjavo scenarijev ter uporabniku podanimi pogoji za načrtovanje in vzdrževanje MZI.

Uporabniku prijazno orodje je z različnimi načini vizualizacije uporaben pripomoček za ozaveščanje ter pridobivanje informacij, ki so podlaga za določitev kritičnih mest in nadaljnje ukrepanje. Vizualizacije so na voljo kot karte, grafi in tabele. Z osnovnimi funkcijami, kot so *izbor lokacije*, *izbor scenarija* in *izračun*, dobimo informacijo o vrednosti kazalnika F15. Funkcija izbora ali oblikovanja scenarijev omogoča primerjavo dveh

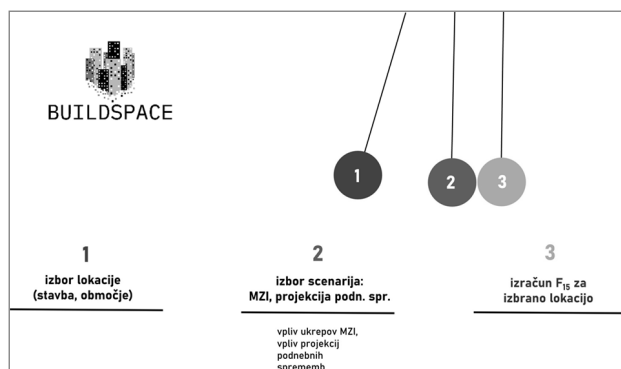
območij in/ali scenarijev in rangiranje urbanih območij glede na postavljeno normo s pomočjo merljivega kazalnika.

2.2 Vzorčna določitev kazalnika F15

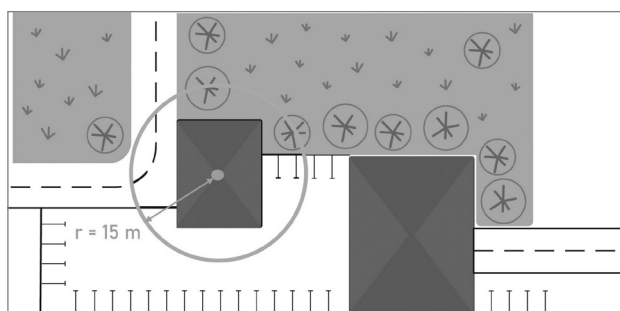
Za razvoj orodja oziroma ustrezne aplikacije GIS, ki bi omogočala hkraten izračun kazalnika za večje število stavb, smo preverili možnost avtomatskega izračuna znotraj t. i. bufferja, ki je v primeru stavb (točke) radij določenega obsega. Zato smo za izhodišče pri vzorcih izbrali radij 15 m, ker z njim zajamemo površino, ki ustreza povprečni velikosti gradbene parcele. Radij je namreč ugoden z vidika preprostosti in širše uporabnosti v prostorskih analizah. Pri tem moramo posebej poudariti, da



Slika 6: Posnetek zaslona orodja, ki ga razvijamo v projektu BUILDSPACE (ilustracija: Kristina Klemen)



Slika 7: Osnovne funkcije orodja, ki ga razvijamo v projektu BUILDSPACE (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

Slika 8: Izhodišče pri vzorčnem določanju F_{15} (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

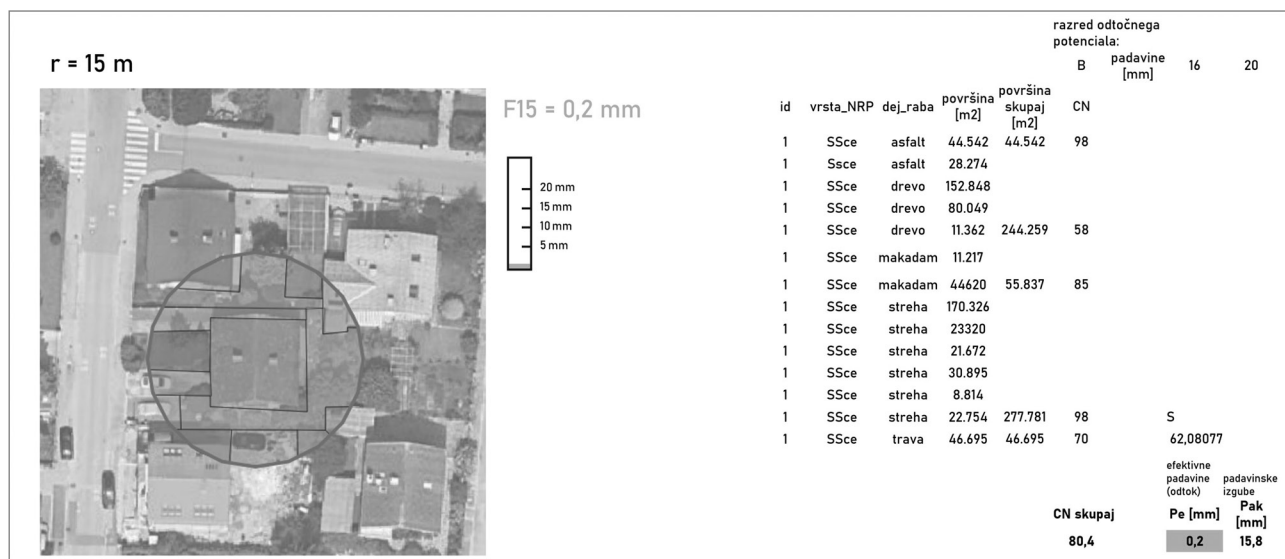
radij 15 m ni povezan z vrednostjo 15 pri poimenovanju F_{15} . Pri F_{15} se vrednost 15 namreč nanaša na referenčne 15 milimetrovske padavine, radij 15 m pa na velikost gradbene parcele, kot smo pojasnili zgoraj. Smiselnost dobljenih rezultatov po predlagani normi smo preizkusili pri vzorčnih tipologijah stavb

in enotah urejanja prostora. Rezultati vzorcev so predstavljeni v nadaljevanju.

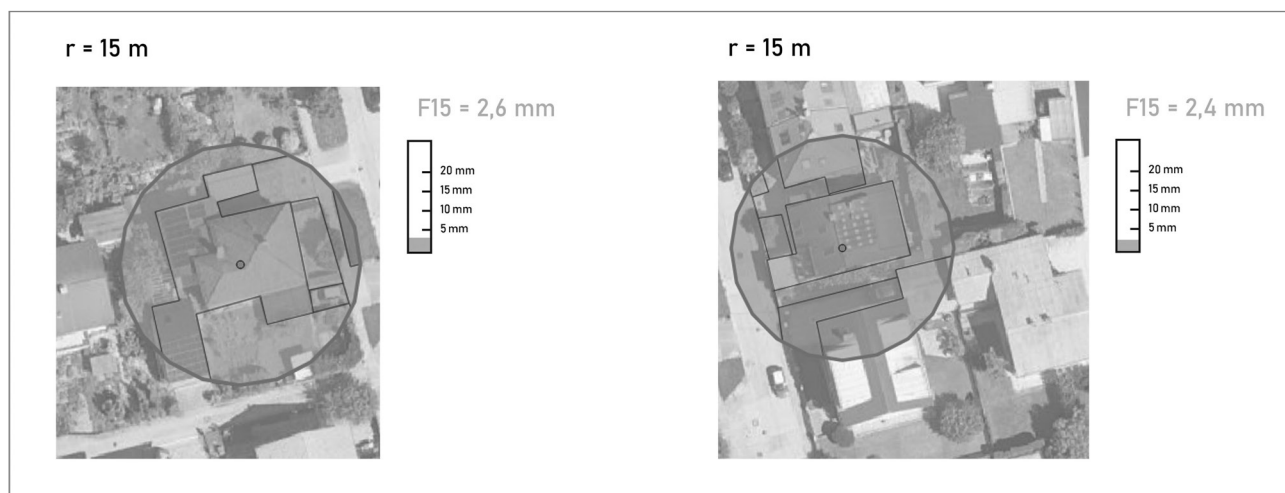
Pri prvem primeru vzorca smo za enostanovanjsko stavbo na splošnih stanovanjskih površinah (Ulica Pohorskega bataljona, Ljubljana) v razmeroma zeleni soseski dobili vrednost 0,2 mm, kar bi bilo ob primeru postavljenega cilja 5 mm »fantastično«, saj je vrednost kazalnika daleč od tega, da bi presegala normo.

Za drugi enostanovanjski stavbi na splošnih stanovanjskih površinah (Soška ulica, Ljubljana) v nekoliko manj zeleni soseski smo dobili vrednosti 2,6 mm in 2,4 mm, kar bi bilo ob primeru postavljenega cilja 5 mm »odlično«, saj vrednost kazalnika še vedno ne bi presegala norme.

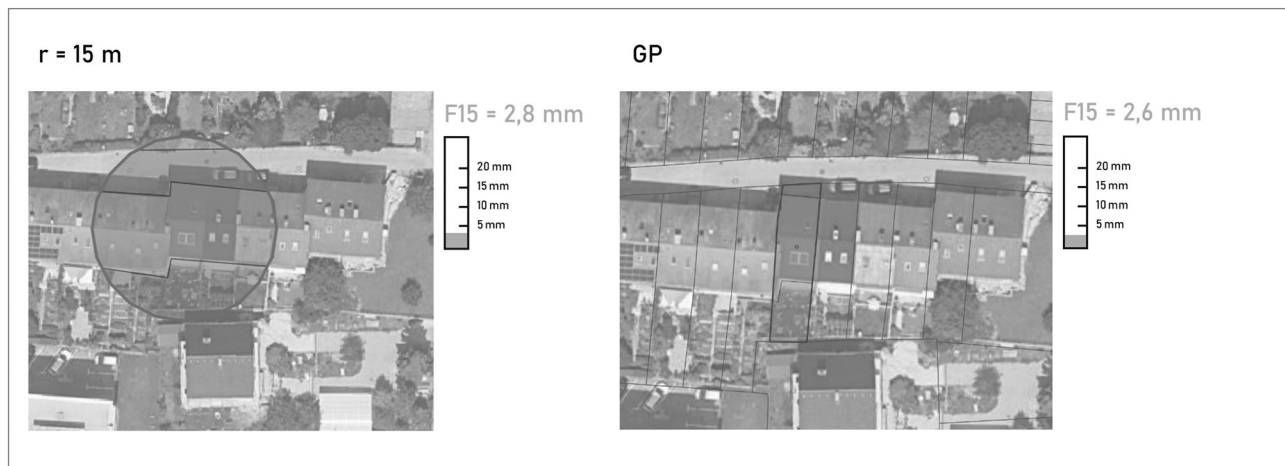
Pri vzorcu vrstne hiše na splošnih stanovanjskih površinah (Ulica Pohorskega bataljona, Ljubljana) smo zaradi podolgovate oblike gradbene parcele izračunu površine obravnavanega območja z radijem 15 m dodali tudi izračun na površino konkretne gradbene parcele, vendar se rezultat vrednosti kazalnika F_{15} ne razlikuje bistveno. Kot kaže slika 11, za površino z radijem 15 m dobimo vrednost 2,8 mm, medtem ko za površino gradbene parcele dobimo vrednost 2,6 mm, kar oboje brez bistvene razlike ne presega dane norme 5 mm. Za enostanovanjske in vrstne hiše smo tako ugotovili, da avtomatiziran izračun v aplikaciji, ki temelji na uporabi radija 15 m, lahko zadovoljivo nadomesti izračune znotraj posamezne gradbene parcele. V nadaljevanju navajamo še rezultate analize za stavbe večjih dimenzij.



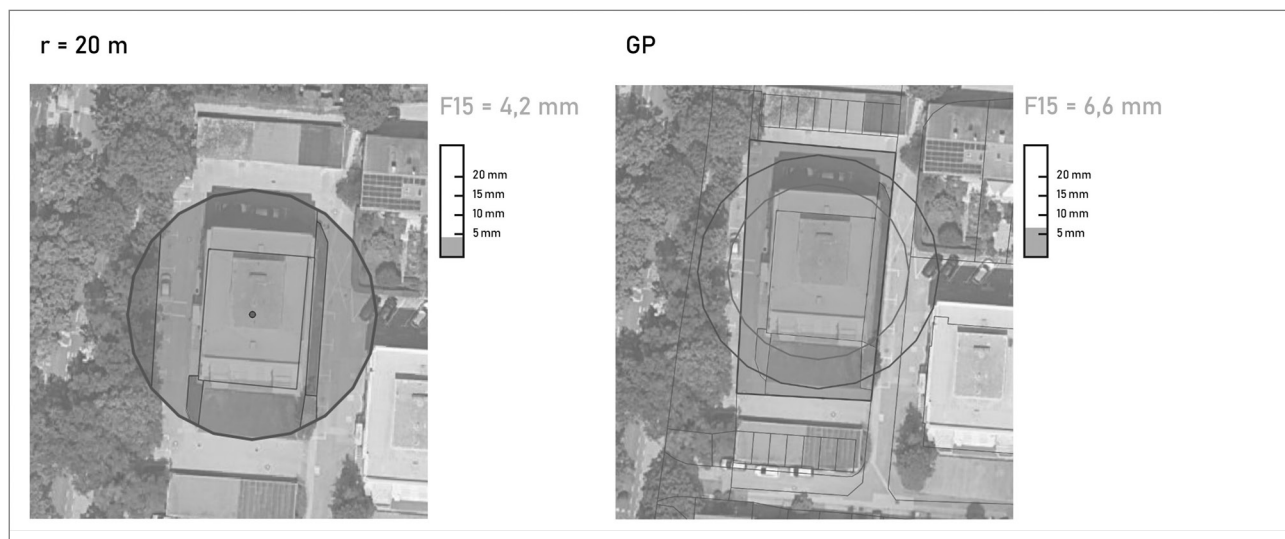
Slika 9: Izračunana vrednost kazalnika F15 za enostanovanjsko stavbo na splošnih stanovanjskih površinah (Ulica Pohorskega bataljona, Ljubljana) (levo) in prikaz izračuna vrednosti Pe (efektivne padavine), ki daje vrednost kazalnika F15 (desno) (ilustracija: Kristina Klemen)



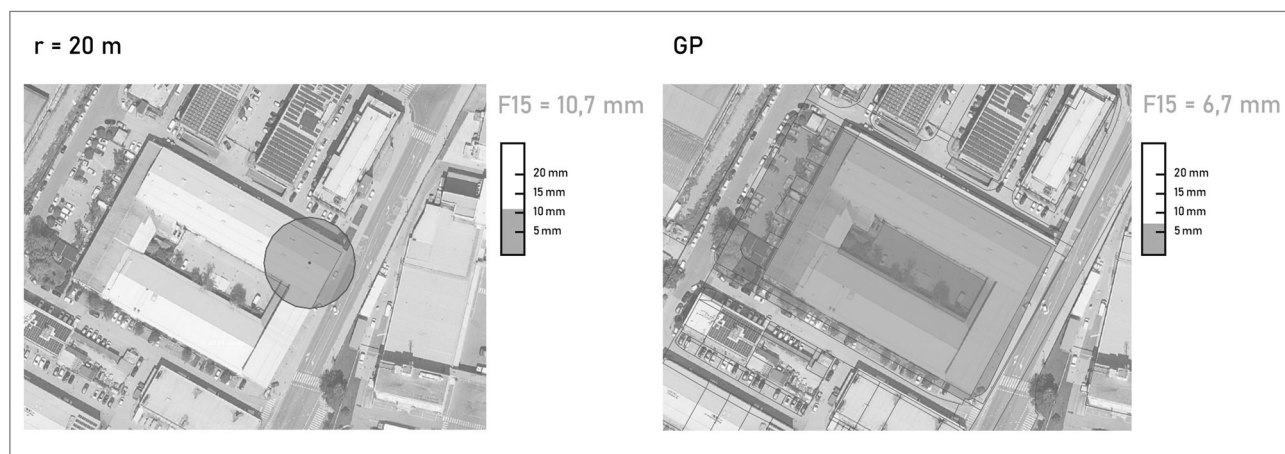
Slika 10: Izračunana vrednost kazalnika F15 za enostanovanjski stavbi na splošnih stanovanjskih površinah (Soška ulica, Ljubljana) (ilustracija: Kristina Klemen)



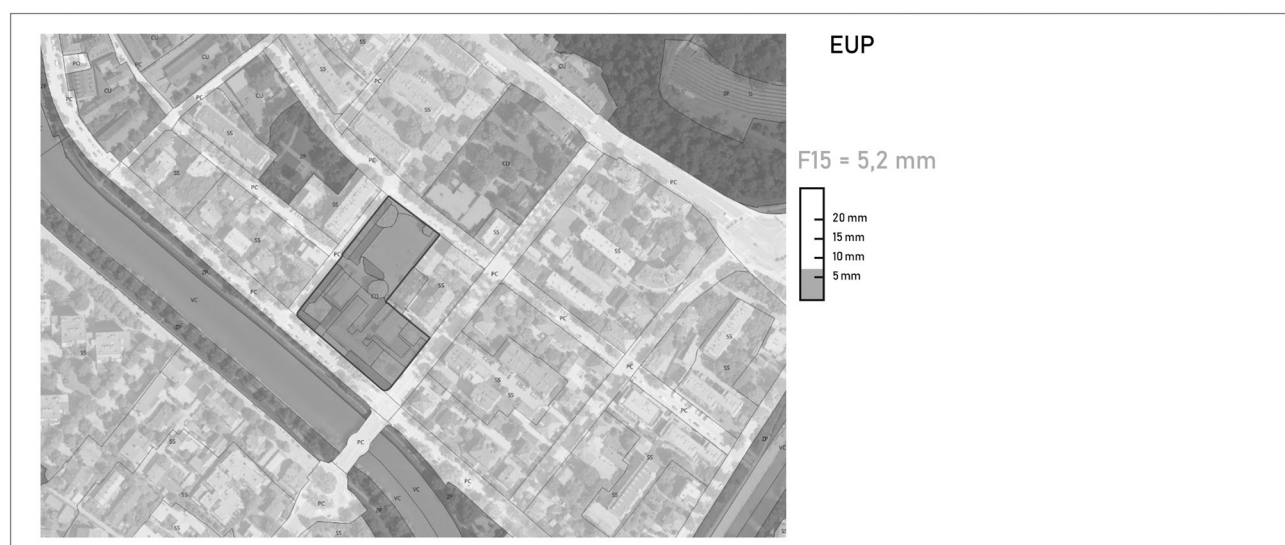
Slika 11: Izračunana vrednost kazalnika F15 za vrstno hišo na splošnih stanovanjskih površinah (Ulica Pohorskega bataljona, Ljubljana) na površino, določeno z radijem 15 m (levo), in površino gradbene parcele (desno) (ilustracija: Kristina Klemen)



Slika 12: Izračunana vrednost kazalnika F15 za stolpič na splošnih stanovanjskih površinah (Slovenčeva ulica, Ljubljana) na površino, določeno z radijem 20 m (levo), in površino gradbene parcele (desno) (ilustracija: Kristina Klemen)



Slika 13: Izračunana vrednost kazalnika F15 za industrijski objekt v gospodarski coni (Ulica Alme Sodnik, Ljubljana) na površino, določeno z radijem 20 m (levo), in površino gradbene parcele (desno) (ilustracija: Kristina Klemen)



Slika 14: Izračunana vrednost kazalnika F15 za stavbe osnovne šole na območju osrednjih dejavnosti (Prule, Ljubljana) na površino celotne enote urejanja prostora (EUP) (ilustracija: Kristina Klemen)

Pri vzorcu stolpiča smo radij najprej povečali na 20 m, saj je že velikost objekta presegala izhodiščni radij zajema 15 m, in kot rezultat vrednosti kazalnika F15 dobili 4,2 mm, ki še zadošča postavljeni normi – manj kot 5 mm, medtem ko je vrednost kazalnika F15 na gradbeno parcelo 6,6 mm, kar je že močno čez postavljeno normo. Razlika v rezultatu je pokazala, da je treba pri razvoju orodja dodatno pozornost posvetiti ustreznemu zajemu podatkov. Za dovolj natančen izračun je treba uporabniku omogočiti zajem območja poljubne oblike. Samo tako bo uporabnik lahko zajel podatke, ki se nanašajo na analizirano gradbeno parcelo.

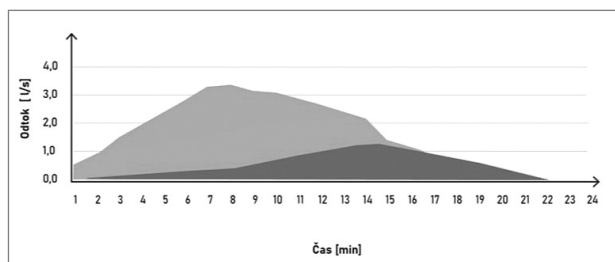
Za velike objekte, kot je industrijska stavba, pa niti radija 15 in 20 m ne dosežeta celotne stavbe, zato smo naredili primerjavo z gradbeno parcelo. Kot smo pričakovali, smo dobili rezultata vrednosti kazalnika F15, ki se bistveno razlikujeta: 10,7 mm, ki močno presega postavljeno normo, in 6,7 mm, ki nekoliko presega zastavljeno normo 5 mm. To pomeni, da lahko z neustreznim zajemom podatkov prikazujemo stanje, ki je celo slabše, kot je v resnici. Naredili smo tudi izračun na ravni enote urejanja prostora za OŠ Prule, kjer smo pri vzorcu upoštevali celotno območje namenske rabe in dobili vrednost kazalnika F15, ki skoraj dosega zastavljeno normo 5 mm.

Na podlagi rezultatov izvedenih vzorcev lahko predlagani način kazalnika potrdimo kot ustrezen, saj dobljene vrednosti kazalnika smiselno izražajo sposobnost urbanega prostora, da zadrži normirano vrednost padavin. Očitno pa je, da ni vedno ustrezen način določitve območja z radijem ali 15 m ali večjim, saj se okolica stavbe v določenem radiju od njenega središča velikokrat razlikuje od formalno pripadajoče okolice stavbe.

Pri tem moramo upoštevati namen takega kazalnika. Če namreč želimo kazalnik, ki bo omogočal oceno kritičnih območij mesta glede sposobnosti zadrževanja padavin brez vezanosti na formalno pripadajočo okolico stavbe, kot so gradbene parcele, moramo najti način, na katerega bomo določili merodajno pripadajočo okolico, ki bo še vedno dovolj dobro za dani namen izražala pripadajočo okolico, in ki ga bomo lahko uporabili za avtomatski zajem pripadajoče okolice pri uporabi prostorskih analiz. Cilj kazalnika na tej ravni nikakor še ni vplivati na urbanistična določila, ampak opozoriti, ozaveščati in promovirati razmislek o vplivu rabe prostora na urbano hidrologijo in z njo povezana tveganja. Medtem ko mora biti kazalnik za neposreden vpliv na urbanistične pogoje vezan na formalno pripadajočo okolico stavbe ter zahteva specifične in točne podatke.

3 Uporaba scenarijev s tehnikami MZI

MZI vpliva na odtok tako, da zmanjša konico odtoka, kot ponazarja slika 15. Scenarij uporabe tehnik MZI smo preizkusili



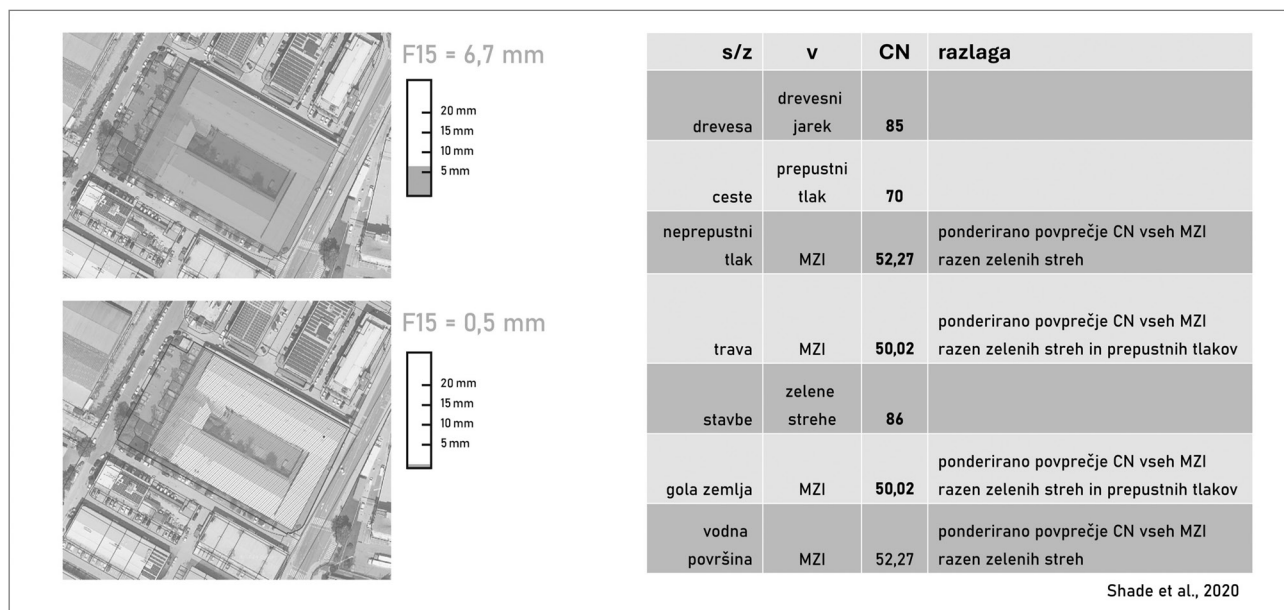
Slika 15: Odtok z zelenih površin z zakasnjeno konico odtoka (spodnji hidrogram) v primerjavi z odtokom z utrjenih površin (zgornji hidrogram) (ilustracija: Kristina Klemen in Marjana Raspor)

na industrijskem objektu, kjer smo z ustrezno spremenjenim koeficientom CN simulirali vgradnjo nabora tehnik MZI. Vrednost kazalnika F15 na površino gradbene parcele smo z upoštevanjem uporabe MZI izračunali z uporabo vrednosti CN po Charlotte Shade (2019), ki temeljijo na posameznih ukrepih in ponderiranih povprečjih posameznih vrednosti CN teh ukrepov MZI: travnat jarek, bioretenzijska enota, dežni vrt, umetno mokrišče, drevesni jarek, zasajen zabojsnik, zelena streha, zadrževalnik, prepustno tlakovanje, cisterna. Ponderirana povprečja je avtorica dobila z analizo izvedenih projektov zelene infrastrukture v Filadelfiji (ZDA) in predvidevala, da delež posameznih vrst tehnik MZI ostane enak.

Pri uporabi scenarijev uporabe tehnik MZI je po Charlotte Shade (2019) privzeto, da se vsa drevesa preoblikujejo v drevesne jarke, vse ceste v prepustne tlake, vsa neprepustna tlakovanja v kombinacijo tehnik MZI razen zelenih streh itd. Tako se s simulacijo tehnik MZI na industrijskem objektu odtok z obravnavane pripadajoče površine (v tem primeru gradbene parcele) zmanjša s 6,7 mm, kar že presega dano normo, na 0,5 mm, kar bi bilo »fantastično«, saj vrednost kazalnika niti zdaleč ne presega norme.

4 Uporaba podnebnih scenarijev

Pri izračunih smo upoštevali tudi projekcije podnebnih sprememb in njihov vpliv na referenčne vrednosti padavin. Med podnebnimi scenariji smo upoštevali RCP 2.6 (najbolj optimističen scenarij glede segrevanja planeta), RCP 4.5 in RCP 8.5 (najbolj pesimističen scenarij) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021). Na osnovi predvidenih trendov naraščanja temperature ozračja je Agencija Republike Slovenije za okolje (glej Bertalanč idr., 2018) ocenila pričakovane spremembe značilnih vrednosti padavin za območje Republike Slovenije. Med padavinskimi kazalniki smo za modeliranje vpliva ukrepov MZI na vrednosti zadrževanja padavin kot najustreznejšega izbrali kazalnik Rx1day, ki izraža največjo pričakovano dnevno višino padavin v milimetrih, saj nas pri projektiranju MZI zanima predvsem zmožnost ukrepov,



Slika 16: Izračunana vrednost kazalnika F15 za industrijski objekt v gospodarski coni (Ulica Alme Sodnik, Ljubljana) za sedanje stanje (levo zgoraj) in scenarij uporabe tehnik MZI (levo spodaj) (ilustracija: Kristina Klemen) z ustrežno spremenjenim koeficientom CN (preglednica desno, vir: Shade idr., 2020)

Preglednica 2: Pričakovane vrednosti ekstremnih kratkotrajnih nalivov za območje Ljubljane za leta 2040, 2070 in 2100, če upoštevamo scenarij RCP 8.5 in pričakovane vrednosti današnjih ekstremnih 15-, 20-, 30- in 120-minutnih nalivov za povratne dobe 2, 5, 25 in 100 let.

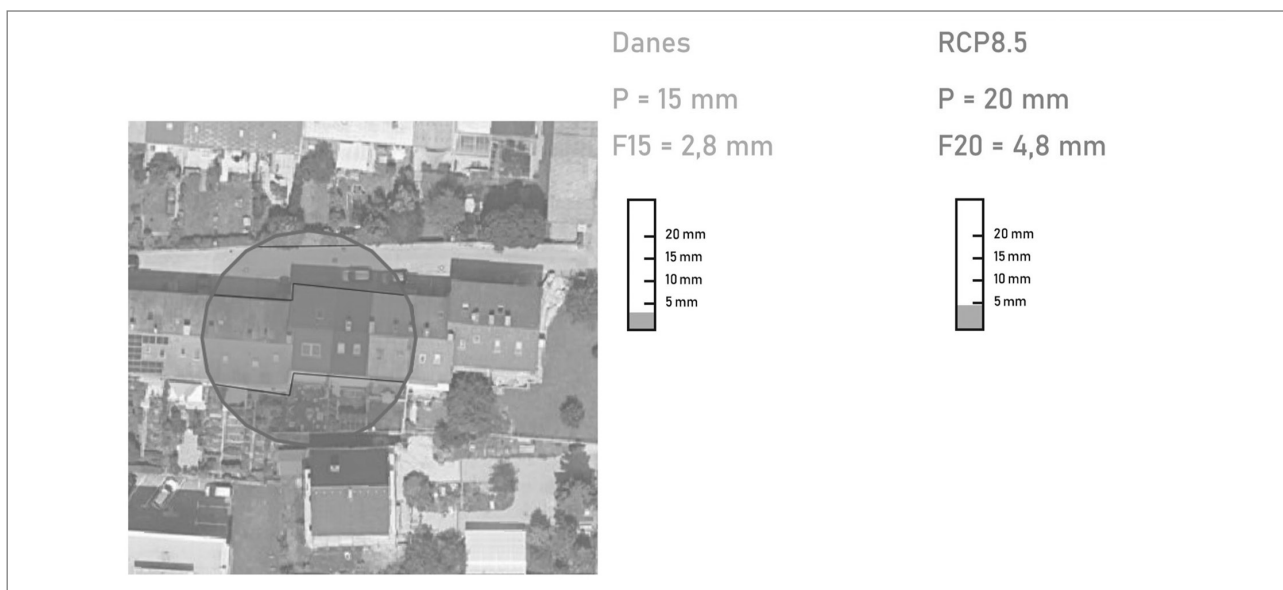
Dolžina naliva (minute)	Obdobje	Povratna doba (leta)			
		2	5	25	100
15	danes	16	21	29	38
	2040	19	25	35	46
	2070	22	29	41	53
	2100	26	34	46	61
20	danes	18	23	33	43
	2040	22	28	40	52
	2070	25	32	46	60
	2100	29	37	53	69
30	danes	21	28	40	51
	2040	25	34	48	61
	2070	29	39	56	71
	2100	34	45	64	82
120	danes	35	46	66	86
	2040	42	55	79	103
	2070	49	64	92	120
	2100	56	74	106	138

Vir: lasten izračun na osnovi Bertalanč idr. (2018)

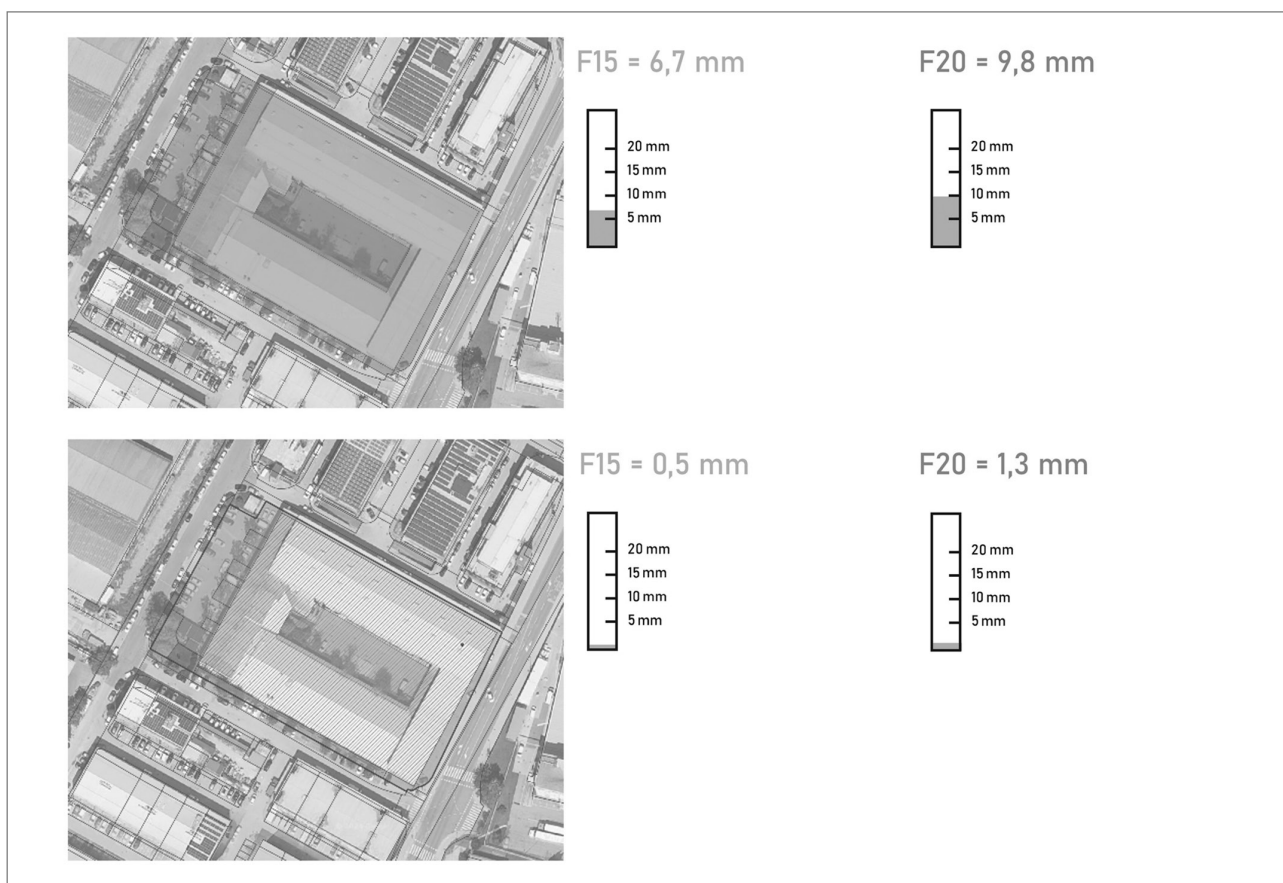
da zadrži konični odtok z urbanih površin – še posebej ob kratkotrajnih intenzivnih nalivih.

Pri uporabi podnebnih scenarijev se referenčne padavine spremenijo glede na zeleno simulacijo. V preglednici 2 so poda-

ne pričakovane vrednosti ekstremnih kratkotrajnih nalivov za območje Ljubljane za obdobja do leta 2040 (kratkoročna podnebna napoved), 2070 (srednjeročna podnebna napoved) in 2100 (dolgoročna podnebna napoved) po scenariju RCP 8.5 za območje Ljubljane, povzete po Bertalanč idr. (2018),



Slika 17: Izračunana vrednost kazalnika F15 za vrstno hišo na splošnih stanovanjskih površinah (Ulica Pohorskega bataljona, Ljubljana) na površino za sedanje stanje (levo) in F20 za srednjeročni scenarij RCP 8.5 (desno) z referenčnimi padavinami P = 20 mm (ilustracija: Kristina Klemen)



Slika 18: Izračunana vrednost kazalnika F15 za industrijski objekt v gospodarski coni (Ulica Alme Sodnik, Ljubljana) za sedanje stanje (levo) in F20 za srednjeročni scenarij RCP 8.5 (desno) z referenčnimi padavinami P = 20 mm; zgoraj za sedanje stanje in spodaj po scenariju vgradnje MZI (ilustracija: Kristina Klemen)

ki jih vzamemo za izračun kazalnika kot referenčne padavine glede na zelen podnebni scenarij. V teh primerih moramo spremeniti tudi poimenovanje kazalnika, saj gre za druge referenčne padavine. Tako v spodaj prikazanih primerih izračunov s simulacijami podnebnih sprememb poimenujemo F20, saj upoštevamo referenčne padavine $P = 20$ mm.

V nadaljevanju so za simulacije po najbolj pesimističnem scenariju RCP 8.5 prikazani izračuni za 15-minutni naliv za 2-letno povratno dobo za srednjeročno napoved, tj. do leta 2070. Za vrstno hišo se bo po scenariju RCP 8.5 odtok znatno povečal in nekoliko presegel normo 5 mm (slika 17). Za industrijski objekt bo v obstoječem stanju, tj. brez vgradnje MZI, kazalnik odtoka močno presegel normo 5 mm, medtem ko ob vgradnji MZI tudi po scenariju RCP 8.5 še zdaleč ne preseže dane norme (slika 18).

5 Sklep

Kot rezultat prostorske analize na ravni stavb, soseske ali mesta dobimo podlago za določitev kritičnih območij glede odtoka z urbanih površin in kako lahko stanje spremenimo z uvajanjem MZI. Z ustrezno conacijo glede na druge dejavnike lahko rezultat take analize služi kot podlaga za vpliv na urbanistične ukrepe, argumentirana s funkcijo upravljanja padavinskih voda v urbanem prostoru, in sicer za:

- F15 kot normirano vrednost, ki omogoča merjenje in oblikovanje urbanističnih pogojev glede na funkcijo ravnanja s padavinsko vodo;
- ovrednotenje funkcije zelenih površin za upravljanje padavinske vode;
- preverbo in usklajevanje obstoječih urbanističnih pogojev (določil), ki določajo rabo večfunkcionalnih zelenih površin;
- določitev dodatnih območij zelenih površin, če se izkaže, da obstoječ položaj ne zadošča normiranim vrednostim.

Bolje kot spreminjati obstoječe urbanistične kazalnike, ki določajo rabo zelenih površin, kot so kazalnik zelenih površin, kazalnik odprtih bivalnih površin, kazalnik pozidanosti, delež raščenege terena idr., predlagamo oblikovanje novega kazalnika, ki opredeljuje funkcijo upravljanja padavinskih voda ter bo v oprijemljivo pomoč tudi pri rezervaciji dovolj velike površine za smiselno umestitev in načrtovanje ukrepov, tudi MZI. Pri tem je določitev norme kot zastavljenega cilja upravljanja padavinske vode ključnega pomena, saj omogoča jasnost in merljivost ter preverjanje doseganja ciljev.

Kristina Klemen

Inštitut za modro-zeleno infrastrukturo, Moravče

E-pošta: kristina.klemen@imzi.si

Petra Pergar

Inštitut za modro-zeleno infrastrukturo, Moravče

E-pošta: petra.pergar@imzi.si

Dr. Nataša Sirnik

Inštitut za modro-zeleno infrastrukturo, Moravče

E-pošta: natasa.sirnik@imzi.si

Dr. Matej Radinja, asistent

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana

E-pošta: matej.radinja@fgg.uni-lj.si

Dr. Nataša Atanasova, izredna profesorica

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana

E-pošta: natasa.atanasova@fgg.uni-lj.si

Mag. Katarina Konda

Mestna občina Ljubljana, Oddelek za urejanje prostora, Ljubljana

E-pošta: Katarina.Konda@ljubljana.si

Dr. Bernarda Bevc Šekoranja

Ljubljanski urbanistični zavod, d. d., Ljubljana

E-pošta: bernarda.bevc@luz.si

Opombe

[1] Za različne meteorološke postaje v Ljubljani se vrednost 15-minutnega naliva za 2-letno povratno dobo rahlo razlikuje, vendar smo v fazi razvoja kazalnika zaradi lepšega poimenovanja referenčno vrednost padavin za trenutno stanje zaokrožili na 15 mm (čeprav je v preglednici 2 zapisana vrednost 16 mm) in 20 mm za RCP 8.5 za leto 2070 (čeprav je v preglednici 2 zapisana vrednost 22 mm).

Viri in literatura

Bertalanč, R., Dolinar, M., Draksler, A., Honzak, L., Kobold, M., Kozjek, K., idr. (2018): *Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Sintezno poročilo – 1. del*. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje.

Brilly, M., in Šraj, M. (2000): *Osnove hidrologije: univerzitetni učbenik*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Brilly, M., in Šraj, M. (2010): *Modeliranje površinskega odtoka*. Univerzitetni učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Gómez-Baggethun, E., in Barton, D. N. (2013): Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, str. 235–245.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2021): *Climate Change 2021: The physical science basis*. Cambridge, Cambridge University Press.

Konijnendijk, C. (2021): The 3-30-300 rule for urban forestry and greener cities. *Biophilic Cities Journal*, 4(2), str. 1–2.

Philadelphia Water Department (2018): *Philadelphia stormwater management guidance manual*. Filadelfija.

Shade, C. (2019): *Green infrastructure policy as a strategy for climate change adaptation in Philadelphia*. Magistrsko delo. Filadelfija, Villanova University, Faculty of the Department of Geography and the Environment.

Shade, C., Kremer, P., Rockwell, J. S., in Henderson, K. G. (2020): The effects of urban development and current green infrastructure policy on future climate change resilience. *Ecology and Society*, 25(4), str. 1–11.

Stange, E. E., Barton, D. N., Andersson, E., in Haase, D. (2022): Comparing the implicit valuation of ecosystem services from nature-based solutions in performance-based green area indicators across three European cities. *Landscape and Urban Planning*, 219, str. 1–12.

United States Department of Agriculture (1986): *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release 55. Washington.

US Army Corps of Engineers (2000): *Hydrologic modeling system HEC-HMS. Technical Reference Manual*. Davis, Hydrologic Engineering Center.