



## OBVLADOVANJE PADAVINSKIH ODPADNIH VODA S PRILAGAJANJEM URBANIH OBMOČIJ NA EKSTREMNE PADAVINE

asist. dr. MATEJ RADINJA<sup>1</sup>, mag. MAJA ŠTAJDOHAR<sup>2</sup>, NATAŠA ŠUŠTERŠIČ<sup>3</sup>,  
MARTIN ZIBELNIK<sup>4</sup>, izr. prof. dr. NATAŠA ATANASOVA<sup>5</sup>

### Povzetek

Urbanizacija v kombinaciji s podnebnimi spremembami, ki prinašajo pogostejše in intenzivnejše padavinske dogodke, povzroča dodatne pritiske na obstoječe sisteme urbane odvodnje. Posledično slednji pogosto ne opravijo svoje osnovne funkcije, kar vodi v poplave padavinskih voda in razbremenjevanje mešanih kanalizacijskih sistemov. V prispevku bomo najprej prikazali nedavne padavinske dogodke, ki so v Ljubljani povzročili poplave padavinskih odpadnih voda. Ker kanalizacijski sistem ni dimenzioniran za odvajanje ekstremnih padavin, moramo za zmanjševanje poplavne nevarnosti v urbanih območjih vzpostaviti komplementarne ukrepe za obvladovanje padavinskih voda. Tovrstno rešitev predstavlja modro-zelena infrastruktura, ki za razliko od tradicionalnega pristopa, ki obvladuje padavinske vode centralizirano (s sivo infrastrukturo), stremi k decentraliziranemu obvladovanju padavin na samem izvoru. V drugem delu prispevka bomo osvetlili različne vidike vpeljave modro-zelene infrastrukture v urbana območja z namenom obvladovanja padavinskih voda.

**Ključne besede:** ekstremne padavine, modro-zelena infrastruktura, padavinske odpadne vode, podnebne spremembe, prilagajanje urbanih območij, urbana odvodnja.

### Abstract

Growing urbanization combined with climate change consequences, i.e., more frequent and intensive rain events, puts additional pressure on existing urban drainage systems. Consequently, these systems frequently fail to effectively perform their function, resulting in pluvial floods and combined sewer overflows. In this article, we will first present recent rain events that caused stormwater floods in Ljubljana. Since the sewer systems are not designed for extreme rainfall, complementary measures for stormwater control should be implemented to reduce flood risk. Blue-green infrastructure presents this type of a solution

- 1 Mag. Matjaž Retelj, univ. dipl. mikrobiolog, Center za mikrobiološke analize živil, vod in drugih vzorcev okolja, Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano
- 2 Mag. Maja Štajdohar, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 3 Nataša Šušteršič, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 4 Martin Zibelnik, JP VOKA SNAGA, d. o. o.
- 5 Izr. prof. dr. Nataša Atanasova, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo



and is based on the decentralized control of rainfall at its origin, in contrast the traditional approach applies grey infrastructure in a centralized way. In the second part of the article, we will highlight different aspects of applying blue-green infrastructure in urban areas for stormwater control.

**Keywords:** blue-green infrastructure, climate change, extreme rainfall, stormwater, urban areas adaptation, urban drainage.

## 1. UVOD

Učinki podnebnih sprememb in zatečeno stanje v urbanih naseljih oblikujejo razmere, ki jim kanalizacijski sistemi v kritičnih trenutkih (npr. ekstremne padavine) vse pogosteje niso več kos (Krajnc, 2019). Tudi za Slovenijo projekcije podnebnih sprememb napovedujejo, da lahko do sredine stoletja pričakujemo večje število ekstremnih vremenskih dogodkov: več močnih padavinskih dogodkov, okrepitev hidrološkega cikla, pogostejše bodo zdajšnje stoletne poplave, verjetno povečanje števila dni z ugodnimi razmerami za nastanek poletnih neurij, znatno povečanje pogostosti poletne suše, večjo spremenljivost temperature in padavin poleti (ARSO, 2021a). Prilagajanje oz. večanje odpornosti mest na ekstremne dogodke je kompleksen proces, ki zahteva vključitev in sodelovanje vseh deležnikov, ki (so)oblikujejo in upravljajo mestni prostor (Klemen et al., 2020). V praksi deležniki pogosto delujejo samostojno in nepovezano, kar se vse bolj kaže kot ena od največjih ovir pri upravljanju z vodo v mestih (Globevnik in Simoneti, 2020). Pri tem še posebej izstopajo vsebine, ki se šele uvajajo in (v Sloveniji) še nimajo ustaljenih načrtovalskih in upravljaljskih pristopov, kot je modro-zelena infrastruktura (v nadaljevanju MZI) (Ravnikar in Goličnik Marušić, 2019).

Kanalizacijski sistemi v slovenskih mestih so praviloma dimenzionirani na nizke povratne dobe padavin (1 do 10 let), saj je njihova primarna funkcija odvajanje sušnega odtoka (tj. komunalne odpadne vode) in pogostih padavin z urbanih območij. Odvajanje presežnih padavinskih voda pa je prepuščeno stihijskemu razlivanju po cestah do najnižje točke v okolici. Ob odsotnosti sistemskih ukrepov države in občin, ki bi naslavljali ekstremne padavine v urbanih območjih, smo priča ponavljajočim se urbanim poplavam po vsej Sloveniji. V prispevku bomo najprej prikazali nedavne padavinske dogodke, ki so v Ljubljani povzročili poplave padavinskih odpadnih voda, ter v drugem delu prispevka osvetlili različne vidike vpeljave modro-zelene infrastrukture v urbana območja z namenom obvladovanja padavinskih voda.

## 2. NEDAVNE EKSTREMNE PADAVINE V LJUBLJANI

### 2.1 Padavinski dogodek 29. septembra 2021

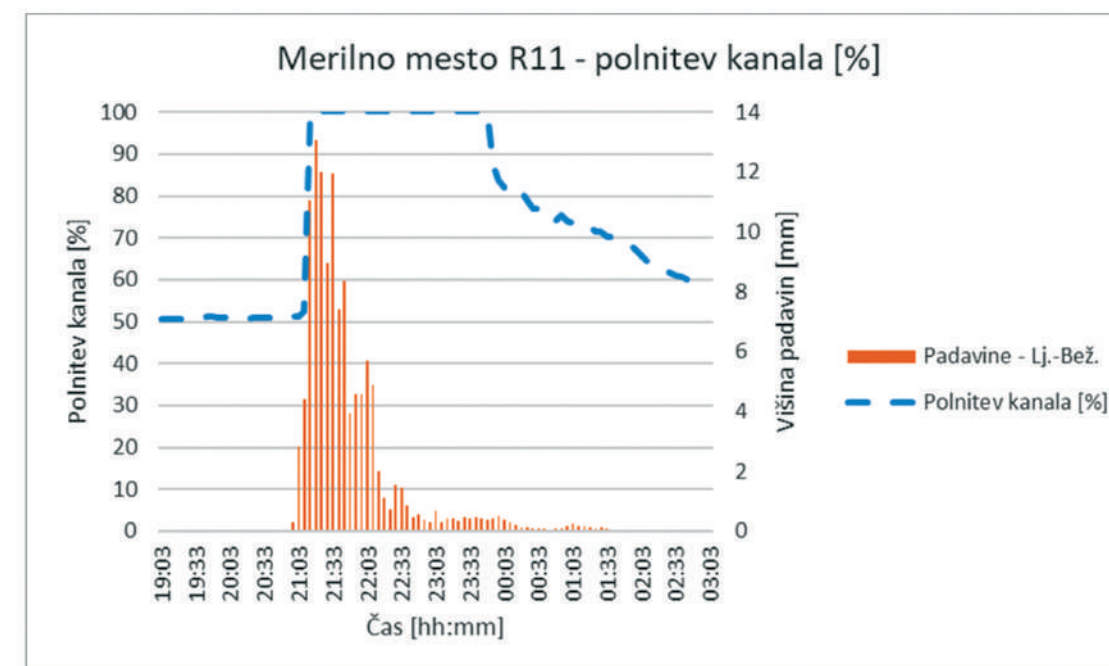
Ekstremnemu padavinskemu dogodku smo bili priča 29. septembra 2021, ko so na merilni postaji Ljubljana Bežigrad izmerili rekordno močan naliv, 101 mm v 65 minutah (ARSO, 2021b). Glede na meritve zadnjih desetletij lahko tako močan naliv na tem mestu pričakujemo enkrat

na nekaj stoletij (povratna doba > 250 let) (ARSO, 2022a). Na območju Bežigrada so se padavine pojavile malo pred 21. uro in v približno eni uri jih je zapadlo čez 100 mm (ARSO, 2021a). Padavine so bile v obravnavanem dogodku prostorsko izrazito neenakomerno razporejene, na kar kažejo tudi podatki sosednjih merilnih postaj. Na postaji Ljubljana Hrastje je v tem času zapadlo le 25 mm, na postaji Ljubljana Moste I pa okoli 50 mm padavin.

V Ljubljani se odpadna padavinska voda steka v javno kanalizacijo, ki je večinoma mešanega tipa. Kanalizacija gravitira proti glavnemu zbiralniku A0, ki ob levem bregu Ljubljanice odvaja odpadno vodo proti CČN Ljubljana v Zalogu. Na zbiralniku A0 so umeščeni razbremenilniki, ki z namenom hidravlične zaščite kanalizacijskega sistema in CČN Ljubljana prelivajo viške odpadne vode v Ljubljanico. Z namenom spremljanja delovanja kanalizacijskega sistema se na nekaterih razbremenilnikih izvajajo meritve pretokov. Na grafu 1 je prikazana polnitev kanala na razbremenilniku R11, ki odvaja presežno vodo v Ljubljanico pri Moščanskem mostu (Grablovičeva ulica). Razbremenilnik se nahaja na delu zbiralnika A0, v katerem se mu pridruži stranski zbiralnik (ZB-A2) iz smeri Bežigrada (ob dolenski železnici). Pred padavinskim dogodkom je bila polnitev kanala približno 51-%. Po nastopu padavin je znotraj enega 5-minutnega intervala prišlo do 100-% polnitve kanala (ob 21:13). Polnitev kanala je začela padati šele ob 23:53 (87-% polnitev). Razbremenilnik je bil torej zapolnjen 2 uri in 40 minut.

V Sistemu za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN, 2022) je bilo na območju Mestne občine Ljubljana v času dogodka zabeleženih 388 intervencij zaradi poplave meteorne vode. V največji meri je šlo za črpanja vode iz poplavljenih kleti stanovanjskih in javnih stavb (šole, zdravstveni domovi). Padavinska voda je zalila številne javne stavbe in poškodovala javno infrastrukturo (24ur.com, 2021).

**Graf 1:** Polnitev razbremenilnika R11 pri Moščanskem mostu za dogodek na dan 29. septembra 2021.



Vir: JP VOKA SNAGA d. o. o., 2022.



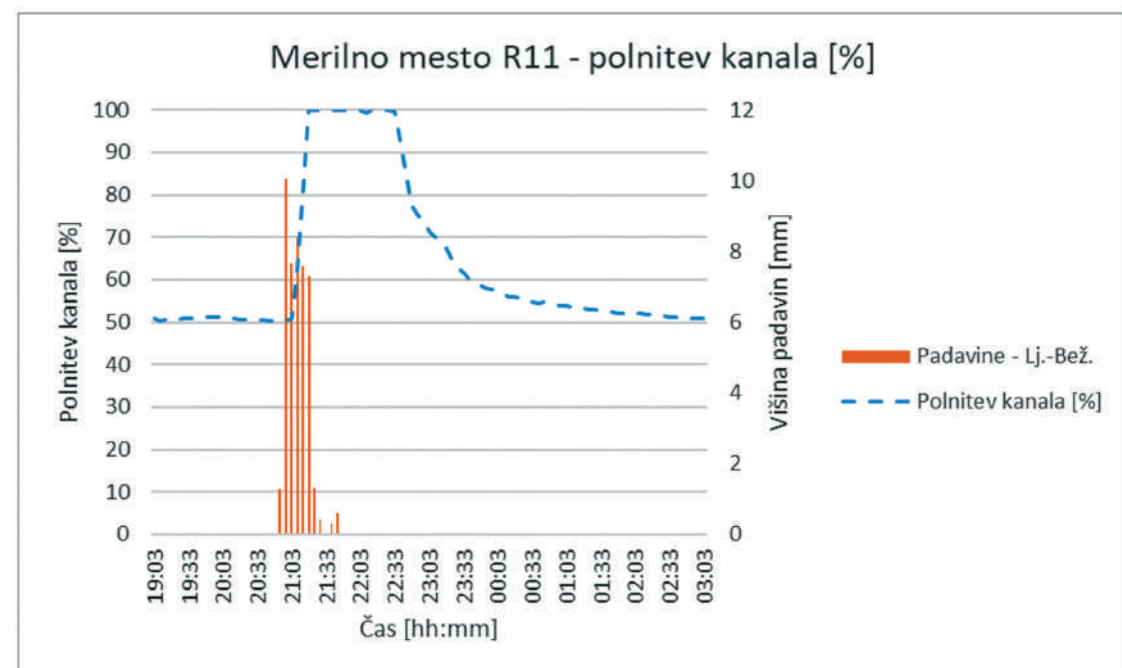
## 2.2 Padavinski dogodek 5. julija 2022

Preplavitvam kanalizacijskih sistemov pa smo bili letos priča tudi pri manjših padavinskih dogodkih, kot je bil naliv 5. julija 2022 zvečer. Izrazite nevihtne celice so nad širšim ljubljanskim območjem nastale po 20. uri. Zaradi počasnega pomikanja padavin je v predelih Ljubljane padla velika količina dežja, nevihtno območje pa je do 22. ure južno od Ljubljane razpadlo (ARSO, 2022a). Na območju Bežigrada se je naliv začel malo pred 20. uro, v dvajsetih minutah pa je zapadlo 41 mm padavin, kar glede na meritve zadnjih desetletij predstavlja dogodek z > 50-letno povratno dobo (ARSO, 2022a). Na postaji Ljubljana Hrastje so v tem času zabeležili 16 mm padavin, kar spet kaže na zelo neenakomerno porazdelitev padavin tudi v primeru tega dogodka.

Na grafu 2 je prikazana polnitev kanala na razbremenilniku R11 za padavinski dogodek 5. julija 2022. Pred padavinskim dogodkom je bila polnitev kanala znova približno 51%. Po nastopu padavin je tokrat ob manj intenzivnih padavinah do 100-% polnitve kanala prišlo »še« po petnajstih minutah (prav neverjetno, znova ob 21:13). Polnitev kanala pa je začela padati že ob 22:33 (93-% polnitev). Razbremenilnik je bil torej zapolnjen 1 uro in 20 minut.

V Sistemu za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN, 2022) je bilo na območju Mestne občine Ljubljana v času dogodka zabeleženih 76 intervencij zaradi poplave meteorne vode. Tudi tokrat je šlo v največji meri za črpanja vode iz poplavljenih klet stanovanjskih in javnih objektov (šole, zdravstveni domovi). Značilnost poplav padavinskih voda v Ljubljani so tudi poplave številnih cestnih podvozov pod železnico. K sreči se je do zdaj vedno končalo samo z »utopljenimi« vozili. Zaradi pogostosti in kritičnosti poplavljanja podvozov bi lahko ustrezno rešitev predstavljal sistem spremljanja nivoja voda v vplivnih kanalih in samodejnega zaprtja podvozov za promet ob preseganju kritičnega nivoja vode.

**Graf 2:** Polnitev razbremenilnika R11 pri Moščanskem mostu za dogodek na dan 5. julija 2022.



Vir: JP VOKA SNAGA d. o. o., 2022.

## 3. LJUBLJANSKI KANALIZACIJSKI SISTEM

Mesto Ljubljana se je skozi zgodovino, predvsem po drugi svetovni vojni, intenzivno širilo, česar v urbanističnih planih na začetku stoletja niso mogli predvideti. Zato je razumljivo, da dimenzije nekaterih temeljnih kanalov in objektov, ki so bili zgrajeni na začetku prejšnjega stoletja (npr. zbiralnik A0 in spremljajoči razbremenilniki), ne zadostujejo sedanjim obremenitvam. Po podatkih Hidravlične študije kritičnih pretokov na zbiralniku A0 so že leta 1986 ugotovili, da jih od 9 razbremenilnikov kar 7 ob kritičnem nalivu preliwa v Ljubljano ter da je na določenih odsekih zbiralnik A0 pod tlakom (Panjan, 1986). V 90. letih je Danski hidravlični inštitut (DHI) izdelal hidravlični model ljubljanskega kanalizacijskega sistema v okviru študije »Ljubljana sewerage system master plan«. S pomočjo simulacije padavin za izbrano »povprečno leto« so ugotovili, da je delovanje razbremenilnikov zelo neusklajeno in da nekateri začnejo razbremenjevati že pri intenziteti dežja 2 l/s/ha, kar pomeni skoraj pri vsakem dežju, frekvenca delovanja pa je tako več kot 50-krat letno (Šušteršič, 2012). S hidravličnim modelom so za statistični naliv z 10-letno povratno dobo preverili tudi kritične točke, kjer pride do preplavitve kanalizacijskega sistema. Na podlagi teh ugotovitev so predlagali nabor ukrepov za izboljšanje delovanja kanalizacijskega sistema in zmanjšanje negativnih vplivov na okolje. V grobem naj bi s temi ukrepi dosegli, da pri izbranem statističnem nalivu s povratno dobo 10 let ne bi prišlo do preplavitve terena na trasah glavnih zbiralnikov in da razbremenilniki ne bi preliwali več kot 10-krat na leto. Leta 2010 so bili na podlagi teh ugotovitev v okviru kohezijskega projekta »Hidravlične izboljšave kanalizacijskega sistema mesta Ljubljana« zgrajeni zadrževalni bazeni ob Stolpniški ulici, na Kajuhovi cesti in pred CČNL v Zalogu ter zadrževalni kanal DN 1200 na Kodeljevem.

DHI je v študiji predlagal tudi lokalno ponikanje padavinske odpadne vode v čim večji meri, saj bi lahko s tem maksimalne odtokove zmanjšali tudi do 80 %. Na primeru manjšega prispevnega območja v strogem mestnem središču Ljubljane je bilo v sklopu magistrskega dela (Štajdohar, 2016) ugotovljeno, da lahko s kombinacijo ukrepov za ponikanje padavinske odpadne vode s streh in utrjenih površin ter ob upoštevanju vseh prostorskih omejitev od kanalizacije odklopimo 24 % celotne površine obravnavanega območja in s tem maksimalne odtokove pri dogodkih s povratno dobo, manjšo od enega leta, zmanjšamo do 32 %, pri dogodkih s povratno dobo 2 leti za 17 %, pri dogodku s povratno dobo 100 let pa le še za 7 %.

Kljub vsemu pa se pri določenih padavinskih dogodkih preplavitvam v nobenem primeru ne moremo povsem izogniti. Glavni razlog za to je osnovni pristop dimenzioniranja kanalizacijskega sistema, ki temelji na izbiri kritičnega naliva glede na pričakovane stroške in koristi oz. pričakovana tveganja za škodo. V 70. letih, ko je bil razvoj mesta Ljubljane še posebej intenziven, je Pravilnik o smernicah za projektiranje in gradnjo kanalizacije za dimenzioniranje mešana in padavinske kanalizacije zahteval upoštevanje »statistično gospodarsko enakovrednega naliva s pogostostjo 1«. Tako je večina kanalizacijskega omrežja v Ljubljani dimenzionirana na 15-minutni naliv z 1-letno povratno dobo, kar v praksi pomeni intenziteto (jakost naliva) 160 l/s/ha. Od leta 1999 pa je v Tehničnih navodilih za kanalizacijo podjetja JP VOKA SNAGA za dimenzioniranje kanalizacije zahtevana uporaba evropskega standarda SIST EN 752-2 (Voda, 2003). Po tem pravilniku za dimenzioniranje mešanih in padavinskih kanalov izberemo pogostost naliva glede na tip poselitve. Za stanovanjska območja je to povratna doba 2 leti, za





dimenzioniranje prometnih podzemnih objektov in podvozov pa je treba upoštevati povratno dobo 10 let. Pri tem je treba za določeno povratno dobo projektirano kanalizacijo preveriti tudi na preplavitih. Zaradi takšnega pristopa dimenzioniranja kanalizacijskega omrežja začne pri ekstremnih dogodkih na nekaterih odsekih kanalizacije odpadna voda teči pod tlakom ter lahko prek revizijskih jaškov in požiralnikov preplavi teren, ogroža pa tudi neposredno priključene kletne etaže (Voda, 2003).

#### 4. ZAKONODAJA

Zakon o vodah je v 92. členu pristojnost za varstvo pred škodljivim delovanjem padavinskih voda v ureditvenih območjih naselij podelil lokalnim skupnostim. Slednje obsega zlasti ukrepe za zmanjšanje odtoka padavinskih voda z urbanih površin ter ukrepe za omejevanje izlita komunalnih in padavinskih voda. Podrobnejše ukrepe, ki naj bi jih predpisal minister, čakamo že od sprejetja zakona leta 2002. Svetla luč na tem področju je zakonodaja s področja varstva okolja, ki ureja odvajanje odpadne vode v javno kanalizacijo. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode tako v 24. členu nalaga, da mora biti pri načrtovanju, gradnji, rekonstrukciji ali vzdrževanju objektov v aglomeraciji zagotovljeno, da se predvidijo in izvajajo ukrepi za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo. Izvajalcem istoimenske obvezne občinske gospodarske javne službe je v 26. členu naložena tudi izdelava programa izvajanja javne službe, ki vključuje načrt ukrepov za zmanjševanje količin padavinske odpadne vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo. Ukrep zmanjševanja količine padavinske vode, ki se odvaja v javno kanalizacijo, navaja tudi Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. Vendar za razliko od komunalne odpadne vode za padavinsko vodo ni definirano, kaj je cilj ravnanja z njo.

Lokalne skupnosti na podlagi občinskih prostorskih načrtov in odlokov o odvajanju in čiščenju komunalne in padavinske vode predpisujejo ukrepe oz. pogoje za zmanjšanje odtoka padavinskih odpadnih voda. Tovrstni odlok Mestne občine Ljubljana, ki je bil sprejet leta 2018, namenja pozornost tudi izločanju padavinskih odpadnih voda iz kanalizacijskega sistema. Tako v 30. členu predpisuje, da mora uporabnik zagotoviti odvajanje padavinske odpadne vode s strehe in utrjenih površin v ponikanje, kjer je to možno in dopustno. V primeru priključitve na javni kanalizacijski sistem je treba odtok padavinske odpadne vode zmanjšati v čim večji možni meri z zadrževanjem pred priključitvijo na kanalizacijski sistem ali z ukrepi za ponovno uporabo padavinske vode. Tehničnih smernic in standardov za te ukrepe pa ni, prav tako ne obstajajo nikakršni kazalniki, ki bi pokazali, kako uspešni smo pri tem.

#### 5. MODRO-ZELENA INFRASTRUKTURA

Modro-zelena infrastruktura (MZI) lahko opredelimo kot naravne in polnaravne (od tod zelena) decentralizirane sisteme, namenjene upravljanju s padavinskimi vodami (od tod modra) v mestih, ki hkrati opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev (Liao et al., 2017; Lamond in Everett, 2019). Njihova osnovna filozofija je posnemanje naravnih hidroloških procesov (tj. zadrževanje, infiltracija, evapo(transpi)racija), katerih cilj je poskrbeti za padavinsko vodo na

mestu nastanka ter preprečiti mešanje čiste padavinske vode s sanitarno vodo. Gre za pristop, ki prinaša izboljšave ne le na področju upravljanja z vodami, temveč tudi na številnih drugih področjih, kot so podnebne spremembe, kmetijstvo, gozdarstvo, urbanistično načrtovanje, varstvo narave, preprečevanje nesreč in podobno. Gre torej za izrazito interdisciplinaren koncept, ki pa v slovenski praksi še ni polno zaživel. Elementi MZI v urbanem prostoru najpogosteje predstavljajo del zelenih površin in tako v prostorsko načrtovalskem kontekstu tvorijo del zelenega sistema naselja oz. zelene infrastrukture, kot jo uvaja Strategija prostorskega razvoja Slovenije do 2050 (MOP, 2020). V Preglednici 1 so predstavljeni elementi MZI glede na njihov osnovni namen: zmanjševanje površinskega odtoka, zmanjševanje konice pretoka ali izboljšanje kakovosti vode. Hkrati je predstavljeno tudi, s katerim procesom (npr. infiltracija) in v kolikšni meri ukrep dosega posamezen namen ter katere ekosistemske storitve nudi.

**Preglednica 1:** Elementi modro-zelene infrastrukture ter njene funkcije in koristi.

| Primarna funkcija<br>✓ Sekundarna funkcija<br>♦ Naključno<br>+ Dodatna korist | Zmanjšanje površinskega odtoka            |                            |               |       |             |                |                     | Zmanjšanje konice površinskega odtoka |                  | Izboljšanje kakovosti vode |            |                   |
|---|---|----------------------------|---------------|-------|-------------|----------------|---------------------|---------------------------------------|------------------|----------------------------|------------|-------------------|
|   | Zbiranje deževnice                        | Prepustne utrjene površine | Zelena streha | Drevo | Deževni vrt | Ponikov-alnice | Zadrževalna kotanja | Ribnik                                | Grajeno mokrišče | Zatravljeni jarek          | Filtni pas | Mehansko čiščenje |
| Količina površ. odtoka  | Kratkotrajno zadrževanje                  | ✓                          | ✓             | ✓     | ✓           | ✓              | ♦                   | ✓                                     | ♦                | ♦                          | ✓          |                   |
|   | Infiltracija                              | ♦                          | ✓             |       | ✓           | ✓              | ♦                   | ♦                                     | ♦                | ♦                          | ✓          |                   |
|   | Dolgotrajno zadrževanje                   |                            |               | ✓     | ✓           | ✓              | ♦                   | ✓                                     | ✓                | ♦                          | ✓          | ✓                 |
|   | Evapotranspiracija                        | ♦                          |               | ✓     | ✓           | ✓              |                     | ✓                                     | ♦                | ✓                          | ✓          | ✓                 |
| Hidrološka funkcija   | Sedimentacija                             | ♦                          | ✓             |       |             | ✓              |                     | ✓                                     | ✓                | ✓                          | ✓          | ✓                 |
|   | Filtracija                                | ♦                          | ✓             | ✓     | ♦           | ✓              |                     | ♦                                     |                  | ✓                          | ✓          | ✓                 |
|   | Precejanje                                | ♦                          |               |       |             | ✓              |                     |                                       |                  | ✓                          | ✓          | ✓                 |
|   | Nadaljnja obdelava (kemična)              |                            |               | ♦     |             |                |                     | ♦                                     | ♦                | ✓                          | ✓          |                   |
| Kakovost površ. odtoka  | Nadaljnja obdelava (biološka)             |                            |               | ✓     | ✓           | ✓              |                     | ♦                                     | ♦                | ✓                          | ✓          | ♦                 |
|   | Zivljenjsko okolje za živali              |                            |               |       | +           | +              |                     | +                                     | +                | +                          | +          | +                 |
| Ekosistemske storitve   | Prijeten videz                            | +                          | +             | +     | +           | +              |                     | +                                     | +                | +                          | +          | +                 |
|   | Ponovna uporaba površinskega odtoka       | +                          |               |       |             |                |                     |                                       | +                |                            |            |                   |
|   | Zagotavljanje dodatnih prepustnih površin |                            | +             | +     | +           | +              | +                   | +                                     |                  |                            |            | +                 |
|   | Izboljšuje kakovost zraka                 |                            | +             | +     | +           | +              | +                   | +                                     |                  | +                          | +          | +                 |
|   | Omogoča izobraževanje                     |                            | +             | +     |             | +              | +                   |                                       |                  | +                          |            | +                 |

Vir: Povzeto po Collet et al., 2013.

#### 5.1 Modeliranje in vrednotenje modro-zelene infrastrukture

Za razliko od tradicionalnega pristopa, ki temelji na odvajanju in zadrževanju vode znotraj kanalizacijskega sistema, za MZI še niso uveljavljene smernice ter programska orodja, namenjena odločevalskemu procesu. Posledično so dodatne koristi MZI lahko spregledane, saj so procesi ocenjevanja variant različnih rešitev nejasni, poleg tega dolgoročno delovanje teh sistemov predstavlja za deležnike negotovost oz. tveganje. Čeprav nekatera modelska orodja že vključujejo module za modeliranje MZI z vidika hidravlike (npr. EPA-SWMM) in kakovosti vode, je področje dodatnih koristi, kot so dodana vrednost, biodiverziteteta ter dolgoročni vidiki stroškov in koristi, v ta orodja nezadostno vključeno (Chow et al., 2014).





V okviru doktorske raziskave (Radinja, 2022) je bila z namenom učinkovite avtomatizacije dveh kompleksnih nalog na področju urbane odvodnje, to sta kalibracija modelov površinske odvodnje in enokriterijska optimizacija ukrepov za obvladovanje padavinskih voda, zapisana domenska knjižnica znanja, ki omogoča uporabo orodja »Process-Based Modelling Tool« (ProBMoT). Za testno območje v Rožni dolini, Ljubljana (Slika 1), je bilo z orodjem ProBMoT načrtovanih 6 scenarijev ukrepov za obvladovanje padavinskih voda: bioretenzijske enote, deževni vrtovi, zelene strehe, infiltracijski jarki, suhi zadrževalniki in zadrževalni bazeni. Namen je bil zmanjšanje konice in skupnega volumna odtoka iz prispevnega območja glede na ciljni odtok; na primer enourne padavine s povratno dobo 25 let lahko povzročijo odtok, značilen le za enourne padavine s povratno dobo 5 let. Razliko zadržijo dimenzionirani ukrepi.



**Slika 1:** Obravnavano območje v Rožni dolini, Ljubljana.

Vir: Radinja, 2022.

Razvit je bil tudi pristop, ki uporabi kalibrirane vrednosti parametrov posameznih ukrepov za njihovo večkriterijsko vrednotenje (Preglednica 2). Rezultati so pokazali, da dosegajo v krajino vključeni ukrepi za obvladovanje padavinskih voda (tj. suhi zadrževalniki, infiltracijski jarki, deževni vrtovi, bioretenzijske enote) boljše ocene (1,44–2,24) od v objekte vključenih ukrepov za obvladovanje padavinskih voda (tj. zelene strehe in zbiralniki deževnice) (2,57–2,73)

ter sive infrastrukture (tj. podzemni zadrževalni bazeni) (3,48). Rezultati so potrdili učinkovitost uporabe avtomatiziranega modeliranja na področju modeliranja površinskega odtoka in optimalnega načrtovanja ukrepov za obvladovanje padavinskih voda.

**Preglednica 2:** Uspešnost ukrepov za obvladovanje padavinskih voda, ocenjenih z dodatnimi kriteriji.

| Ukrep za obvladovanje padavinskih voda | Kriterij                  |                         |                                   |   |  |                         | Ocena večkriterijske analize (nižja vrednost – boljša ocena) |
|--|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|--|-------------------------|--|
|  | Ekonomski vidik           |                         | Dodatne koristi                   |   |  |                         |  |
|  | Investicijski stroški [€] | Stroški vzdrževanja [€] | Površina ukrepa [m <sup>2</sup> ] | Zadržana voda – ponovna uporaba [m <sup>3</sup> ] | Zadržana voda – vodni krog [m <sup>3</sup> ] | Prostor za rastline [%] |  |
| Suhi zadrževalniki                     | 330.012,29                | 16.448,93               | 1687                              | 0   | 3765   | 10,0                    | 1,44   |
| Deževni vrtovi                         | 775.704,87                | 29.169,53               | 4806                              | 0   | 3271   | 20,0                    | 1,83   |
| Infiltracijski jarki                   | 703.671,26                | 1.421,59                | 2347                              | 0   | 3314   | 0,0                     | 1,89   |
| Bioretenzijske enote                   | 1.368.431,32              | 39.448,29               | 6500                              | 0   | 3382   | 20,0                    | 2,24   |
| Zbiralniki deževnice                   | 1.178.101,23              | 96.617,57               | 1500                              | 3300  | 0  | 0,0                     | 2,57   |
| Zelene strehe                          | 8.448.316,37              | 38.636,78               | 0                                 | 0   | 0  | 20,0                    | 2,73   |
| Podzemni zadrževalni bazeni            | 3.465.287,91              | 114.527,50              | 0                                 | 0   | 0  | 0,0                     | 3,48   |

Vir: Radinja, 2022.

## 6. STRATEŠKO UVAJANJE MODRO-ZELENE INFRASTRUKTURE

Da gre pri uvajanju MZI za svetovni trend, dokazujejo tuji primeri systemskega uvajanja MZI na mestni oz. nacionalni ravni iz Danske, Nizozemske, Kitajske ter ZDA. Skupno vsem primerom je povezovanje med vodarskim in prostorskim sektorjem z namenom celovitega načrtovanja MZI (Preglednica 3). Za oba evropska primera so glavni povod za spremembe predstavljale preteče podnebne spremembe ter obet vse pogostejših in intenzivnejših padavin, ki bodo povzročale poplave. Na drugi strani je bil povod za primera iz Kitajske in ZDA kakovost vodnih teles oz. negativen vpliv urbanizacije nanje. Vsem primerom je skupno spoznanje, da siva infrastruktura ne more ponuditi odgovorov za vse nastale in porajajoče se težave, kakor tudi, da ne prinaša ekosistemskih koristi. Uspešnost predstavljenih mest pri uvajanju MZI je pogojena tudi z razvojem ustreznih smernic in načrtovalskih orodij, ki nudijo strokovno pomoč njihovim načrtovalcem. Poleg tega jim je skupno tudi vključevanje vodarske stroke v proces prostorskega načrtovanja, ki z uporabo hidrološko-hidravličnih modelov: 1) identificira (trenutne in potencialne) kritične točke poplavne ogroženosti v urbanem prostoru ter s simulacijami ovrednoti vpliv posameznih scenarijev MZI na urbani vodni krog; 2) ovrednoti vpliv MZI na kakovost urbanega površinskega odtoka in posledično ekološko stanje odvodnikov (vodnih teles).

V slovenskem kontekstu zakonsko podlago za izdelavo strokovnih podlag ob pripravi občinskih prostorskih načrtov, ki bi identificirale ustrezne ukrepe in jih umestile v prostor, že omogoča Zakon o urejanju prostora. Vendar se v praksi tovrstne študije za področje urbane odvodnje praviloma ne izdelujejo. Poleg tega lahko predlog ukrepov, predvsem pri posegih zunaj kana-



lizacijskega omrežja, vpliva na pogoje gradnje novih objektov v prostorskih aktih (npr. delež zelenih površin, zadrževanje in ponovna uporaba padavinske vode s streh). A ravno rezervacija prostora za izvedbo MZI pogosto ni zaželena, saj je prostor za investitorje dragocen.

**Preglednica 3:** Elementi modro-zelene infrastrukture (MZI) ter njene funkcije in koristi.

|  | Kopenhagen, Danska  | Rotterdam, Nizozemska  | Kitajska, 30 pilotnih mest   | Filadelfija, ZDA   |
|--|---|--|--|--|
| <b>Povod</b>   | Poplave, podnebne spremembe (PS)  | Poplave, podnebne spremembe  | Onesnaženost vodnega okolja, poplave   | Onesnaženost vodnega okolja  |
| <b>Ime in leto sprejetja programa</b>  | Copenhagen Climate Adaptation Plan, 2011; Cloudburst Management Plan, 2012  | Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy, 2013   | Sponge City Programme, 2014  | Green City, Clean Waters, 2011   |
| <b>Cilj</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Preprečiti odtok iz več kot 1/3 utrjenih površin v kanalizacijski sistem.</li> <li>Ob 100-letnem naliivu maks. 10 cm vode na površju.</li> </ul> | Popolna odpornost mesta na PS do leta 2025.  | Do leta 2030 naj bi se na 80 % urbanih območjih najmanj 70 % padavin infiltriralo ali ponovno uporabilo.   | V 25 letih preprečiti odtok iz več kot 1/3 utrjenih površin v kanalizacijski sistem.   |
| <b>Razvite smernice in načrtovalska orodja kot odziv na zaznane probleme</b> | 1) <i>Copenhagen Cloudburst Formula</i> (smernice za strateško načrtovanje MZI);<br>2) <i>Copenhagen Cloudburst Toolkit</i> (katalog tipskih elementov MZI).                            | 1) <i>Interactive Climate atlas</i> (atlas prikazuje predvidene posledice PS za posamezno lokacijo ob različnih scenarijih);<br>2) <i>Climate adaptation barometer</i> (orodje, namenjeno mestni upravi za oblikovanje strategije prilagajanja PS in sledenje njenemu izvajanju);<br>3) <i>Climate adaptation toolbox</i> (načrtovalsko orodje, ki nudi potencialne prilagoditvene ukrepe, na različnih ravneh urejanja prostora). | 1) <i>Code of the Design of Urban Green Space</i> (zakon, usklajen s smernicami za spužvasta mesta, s poudarkom na usklajenem pristopu za načrtovanje urbanih zelenih površin);<br>2) <i>Code for Design of Urban Road Engineering</i> (zakon, usklajen s smernicami za spužvasta mesta, vsebuje poglavje o MZI);<br>3) <i>Assessment Standard for Sponge City Effects</i> (tehnični standard za vrednotenje učinkov spužvastih mest). | 1) <i>Stormwater Management Guidance Manual</i> (smernice za načrtovanje MZI, katalog tipskih elementov MZI);<br>2) <i>A Homeowner's Guide to Stormwater Management</i> (priporočila gospodinjstvom za upravljanje s padavinsko vodo). |

Vir: Radinja, 2021.

## 7. ZAKLJUČEK

Odvajanje padavinske vode z urbanih površin je kompleksno, njegovo celovito urejanje pa zahteva predvsem ukrepe zunaj kanalizacijskega sistema, ki jih v Sloveniji sistemsko še ne vključujemo v prostorsko načrtovanje. Za konec prispevka Ministrstvu za okolje in prostor podajamo predloge sistemskih rešitev, ki bi omogočili nadgradnjo obstoječih kanalizacijskih sistemov z modro-zelena infrastrukturo (MZI):

- Določitev ukrepov za varstvo pred škodljivim delovanjem padavinskih voda (vključno z MZI), ki bodo podprti s standardi in tehničnimi smernicami, v skladu z 92. členom Zakona o vodah.

- Sprejetje operativnega programa za »nadgradnjo« trenutnih sistemov urbane odvodnje z mehanizmi za zagotavljanje evropskih in nacionalnih finančnih sredstev.
- Določitev kazalnikov za spremljanje stanja urbane odvodnje in njihove ciljne vrednosti (npr. delež utrjenih površin, ki ne prispevajo površinskega odtoka v kanalizacijo) ter njihova vključitev v poročevalske sisteme javnih služb varstva okolja kot tudi v Operativni program odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode. Obstoječe baze podatkov bi kazalo ustrezno nadgraditi za uporabo pri določanju kazalnikov.
- Predpisati hidrološko-hidravlične študije urbane odvodnje za različne scenarije podnebnih sprememb kot obvezno strokovno podlago za izdelavo ali novelacijo občinskih prostorskih načrtov (OPN) na območju naselij. Na podlagi teh študij lahko tudi občine prilagodijo pogoje za gradnjo (npr. faktor zazidanosti, delež zelenih površin) tako, da bi pri novogradnjah vedno lahko zagotovili dovolj prostora za implementacijo MZI.
- Preverjanje pripravljenosti lokalnih skupnosti na nevarne dogodke zaradi padavinskih voda, skladno z zakonodajo o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami, ter ali se pripravljenost izboljšuje.

Ob odsotnosti systemskega urejanja tega področja na nacionalni ravni naj občine v čim večji meri samoiniciativno pristopijo k izvajanju ukrepov, ki jih lahko izvajajo/zahtevajo v okviru svojih pristojnosti (npr. izdelava hidrološko-hidravličnih študij urbane odvodnje) ob umeščanju objektov v prostor.

## Zahvala

Zahvaljujemo se Agenciji Republike Slovenije za okolje za posredovane podatke in slikovno gradivo obravnavanih padavinskih dogodkov.

## LITERATURA IN VIRI

- 24ur.com, 2021. Dostopno na: <https://www.24ur.com/novice/slovenija/v-neurju-poskodovane-sole-in-vrtci-na-ljubljanskih-cestah-za-100000-evrov-skode.html> [20. 7. 2022].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021a. Podnebne spremembe 2021, Fizikalne osnove in stanje v Sloveniji, Poročilo IPCC 2021. Ljubljana, ARSO. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2021\\_11-Poro%C4%8Dilo%20IPCC%20Podnebje%202021.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/2021_11-Poro%C4%8Dilo%20IPCC%20Podnebje%202021.pdf) [12. 10. 2021].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2021b. Neurja 29. septembra 2021. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather\\_events/neurja\\_29sep2021.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/neurja_29sep2021.pdf) [12. 10. 2021].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2022a. Povratne dobe za ekstremne padavine (Projekt CROS-SRISK). Dostopno na: <https://crossrisk.eu/sl/climate> [20. 7. 2022].
- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2022b. Vročina in neurja med 26. junijem in 5. julijem 2022. Dostopno na: [https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather\\_events/vrocina-neurja\\_26jun-5jul2022.pdf](https://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/weather_events/vrocina-neurja_26jun-5jul2022.pdf) [20. 7. 2022].
- Chow, J. F., Savić, D., Fortune, D., Kapelan, Z. in Mebrate, N., 2014. Using a systematic, multi-criteria decision support framework to evaluate sustainable drainage designs. *Procedia Engineering*, 70, pp. 343–352. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.039.
- Collett, B., McCown, K. in Wall, S., 2013. Low impact development: Opportunities for the PlanET region. Dostopno na: [https://issuu.com/utkcoad/docs/2013\\_0807\\_-\\_lid\\_opportunities\\_for\\_t](https://issuu.com/utkcoad/docs/2013_0807_-_lid_opportunities_for_t) [19. 9. 2019].





8. Globevnik, L. in Simoneti, M., 2020. Obvladovanje vode v mestih – naša skupna skrb. Slovenski vodar, 30, str. 11–14.
9. Klemen, K., Pergar, P., Futar, M., Bevc Šekoranja, B. in Konda, K., 2020. Problematika načrtovanja sonaravnih ukrepov za celovito upravljanje padavinskih voda na urbanih območjih. Gradbeni vestnik, 69, str. 61–92.
10. Krajnc, U., 2019. Podnebne spremembe in poplavna ogroženost urbanih območij z lastnimi padavinskimi vodami. Gradbeni vestnik, 68, str. 109–132.
11. Lamond, J. in Everett, G., 2019. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. Landscape and Urban Planning, 191, 103639. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103639.
12. Liao, K-H., Deng, S. in Tan, P., 2017. Blue-green infrastructure: New frontier for sustainable urban stormwater management. In: Tan, P. in Jim, C. (eds.) Greening cities. Forms and Functions, pp. 203–226. Singapore, Springer. DOI: 10.1007/978-981-10-4113-6\_10.
13. Liu, H., Jia, Y. in Niu, C., 2017. "Sponge city" concept helps solve China's urban water problems. Environmental Earth Sciences, 76, 473. DOI: 10.1007/s12665-017-6652-3.
14. Ministrstvo za okolje in prostor, 2020. Strategija prostorskega razvoja Slovenije 2050: Osnutek dokumenta v javni razpravi. Ljubljana. Dostopno na: [https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-razvoj/SPRS/SPRS-2050\\_gradivo-za-javno-razpravo.pdf](https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Dokumenti/Prostorski-razvoj/SPRS/SPRS-2050_gradivo-za-javno-razpravo.pdf) [20. 1. 2020].
15. Panjan, J., 1986. Hidravlična študija kritičnih pretokov na zbiralniku A0, št. proj. 1235/5, DO VODOVOD-KANALIZACIJA Ljubljana.
16. Philadelphia Water Department, 2011. Green city, clean waters – implementation and adaptive management plan. Filadelfija, Pensilvanija, ZDA.
17. Philadelphia Water Department, 2014. Stormwater management guidance manual. Philadelphia. Filadelfija, Pensilvanija, ZDA.
18. Radinja, M., 2022. Avtomatizirano modeliranje in načrtovanje ukrepov za obvladovanje padavinskih voda v urbanih območjih: doktorska disertacija. Ljubljana: UL FGG.
19. Radinja, M., Atanasova, N. in Zavodnik Lamovšek, A., 2021. Vodarski pogled na uvajanje modro-zelene infrastrukture v mestih. Urbani izziv, leto 32, št. 1, junij 2021: 28–39.
20. Ravnikar, Ž. in Goličnik Marušič, B., 2019. Na naravi temelječe rešitve: predstavitev projekta Connecting nature. Urbani izziv, 30, str. 72–74.
21. Rotterdam Climate Initiative, 2013. Climate change adaptation strategy. Dostopno na: [http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB\\_RAS\\_EN\\_lr.pdf](http://www.urbanisten.nl/wp/wp-content/uploads/UB_RAS_EN_lr.pdf) [20. 1. 2021].
22. Sistem za Poročanje o Intervencijah in Nesrečah (SPIN), 2022. Dostopno na: <https://spin3.sos112.si/javno/zemljevid> [10. 7. 2022].
23. Štajdohar, M., 2016. Vpliv sonaravnih ukrepov na hidrogram odtoka z urbaniziranega prispevnega območja. Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, FGG, 115 str.
24. Šušteršič, N., 2012. Zadrževanje prvega vala padavinske vode v kanalizacijskem sistemu. Zbornik druge problemske konference komunalnega gospodarstva. Podčetrtak, 27. in 28. september 2012.
25. The City of Copenhagen, 2011. Copenhagen climate adaptation plan. Dostopno na: [https://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen\\_adaption\\_plan.pdf](https://en.klimatilpasning.dk/media/568851/copenhagen_adaption_plan.pdf) [12. 4. 2019].
26. The City of Copenhagen, 2012. The city of Copenhagen. Cloudburst management plan 2012. Dostopno na: [https://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph\\_-\\_cloudburst\\_management\\_plan.pdf](https://en.klimatilpasning.dk/media/665626/cph_-_cloudburst_management_plan.pdf) [12. 4. 2019].
27. Voda, Glasilo javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija Ljubljana: Kanalizacija in padavine, letnik 10, št. 38, december 2003. Dostopno na: [https://www.vokasnaga.si/sites/www.jhl.si/files/vo\\_ka\\_si/stran/dato-teke/467\\_bilte\\_voda\\_st\\_38\\_december\\_2003.pdf](https://www.vokasnaga.si/sites/www.jhl.si/files/vo_ka_si/stran/dato-teke/467_bilte_voda_st_38_december_2003.pdf) [16. 8. 2022].
28. Yin, D., Chen, Y., Jia, H., Wang, Q., Chen, Z., Xu, C. et al., 2021. Sponge city practice in China: A review of construction, assessment, operational and maintenance. Journal of Cleaner Production, 280(2921), 124963. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124963.

## LITERATURA IN VIRI

1. ARSO, 2021. Monitoring vodotokov za iztoki iz komunalnih in industrijskih čistilnih naprav. Poročilo za leto 2020. Dostopno na: <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/ARSO/Vode/Stanje-voda/Porocilo-o-ekoloskem-stanju-vodotokov-za-iztoki-iz-cistilnih-naprav-za-leto-2020.pdf> [22. 7. 2022].
2. Lapanje, A. 2006. Izvor in kemijska sestava termalnih in termomineralnih vod v Sloveniji. V: Zbornik povzetkov. 2. slovenski geološki kongres, Idrija, 26.–28. september 2006. Idrija, Rudnik živega srebra v zapiranju: 347–370.
3. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2007. Dopolnitev mejnih vrednosti BPK<sub>5</sub> za vrednotenje ekološkega stanja rek. V: Urbanič, G. Ekološko stanje rek, poročilo o delu za leto 2007. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije, 4–32.
4. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2012. Metodologija vrednotenja ekološkega stanja s podpornimi splošnimi fizikalno-kemijskimi elementi za vrednotenje stanja hranil (celotni fosfor). Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.
5. Štupnikar, N. in Urbanič, G., 2014. Predlog določitve mejnih vrednosti za parameter nitrat. Ljubljana, Inštitut za vode Republike Slovenije.