



## VODA V KROŽNEM GOSPODARSTVU Z UPORABO TRAJNOSTNIH KONCEPTOV

**izr. prof. dr. NATAŠA ATANASOVA<sup>1</sup>, doc. dr. DARJA ISTENIČ<sup>2</sup>,  
doc. dr. ALEKSANDRA KRIVOGRAD KLEMENČIČ<sup>3</sup>,  
asist. MATEJ RADINJA<sup>4</sup>, PETRA PERGAR<sup>5</sup>,  
dr. BARBARA GOLIČNIK MARUŠIČ<sup>6</sup>, MANCA DREMEL<sup>7</sup>,  
ŽIVA RAVNIKAR<sup>8</sup> in prof. dr. TJAŠA GRIESSLER BULC<sup>9</sup>**

### Povzetek

Podnebna kriza in kriza upravljanja z naravnimi viri, ki po uporabi postanejo odpadki, nas silita v prehod k bolj trajnostnim konceptom upravljanja z naravnimi viri, pri čemer je najpomembnejše zapiranje snovnih in energetskih tokov (t. i. krožno gospodarstvo). Vodo kot enega najpomembnejših virov večinoma še vedno obravnavamo neskladno z načeli krožnega gospodarstva. Glavni izzivi pri prehodu v krožno gospodarjenje z vodo so: (1) obnova in vzdrževanje naravnega vodnega kroga, (2) čiščenje in ponovna uporaba prečiščene odpadne vode ter (3) obnova in ponovna uporaba virov iz odpadne vode (npr. hranil, biomase, energije). Izzive lahko učinkovito rešujemo z uvedbo trajnostnih konceptov, ki jih v prispevku prikazujemo z vidika različnih strok. V prispevku podajamo različno terminologijo teh konceptov, inovativno klasifikacijo posameznih elementov, ki tvorijo te koncepte, njihovo uporabnost za različne dejavnosti, vezane na ravnanje z vodo, ter stanje njihove implementacije v Sloveniji. Kljub dolgi zgodovini uporabe posameznih elementov trajnostnih konceptov še vedno manjka sistemski pristop k implementaciji, predvsem pa boljše sodelovanje med strokami.

**Ključne besede:** gospodarjenje z vodo v mestih, krožno gospodarstvo, ponovna uporaba, trajnostni koncepti, zapiranje snovnih tokov.

- 1 Izr. prof. dr. Nataša Atanasova, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- 2 Doc. dr. Darja Istenič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Zdravstvena fakulteta.
- 3 Doc. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- 4 Asist. Matej Radinja, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- 5 Petra Pergar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.
- 6 Dr. Barbara Goličnik Marušič, Urbanistični inštitut Republike Slovenije.
- 7 Manca Dremel, Urbanistični inštitut Republike Slovenije.
- 8 Živa Ravnikar, Univerza v Deustu, Fakulteta za inženirstvo, Bilbao (Španija).
- 9 Prof. dr. Tjaša Griessler Bulc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Zdravstvena fakulteta.



## Abstract

Climate, environmental and resources depletion crises are forcing us to transition towards more sustainable concepts for management of natural resources, one that leads toward closing the material and energetic flows (i.e., circular economy). Water is one of the most important resources and it is still not managed according to the circular economy principles. The main challenges for transition towards circular management of water are (1) restoration and maintenance of natural water cycle, (2) treatment and reuse of wastewater, and (3) restoration and reuse of wastewater resources (e.g., nutrients, biomass, energy). These challenges can be overcome by implementing sustainable concepts, presented herein. The article presents the terminology used to describe these concepts, and an innovative classification of individual elements belonging to these concepts with their relevance for different sectors. Furthermore, the level of their implementation in Slovenia is presented. Regardless of the long history of using individual elements related to sustainable concepts, the interdisciplinary and systemic approach for their implementation are still missing.

**Keywords:** circular economy, closing materials' cycles, reuse, sustainable concepts, water management in cities.

## 1. UVOD

Za ohranjanje naravnih virov, skladno s trajnostnimi cilji Združenih narodov UN-Water SDG6 (6.5.1) ter s prehodom EU v krožno gospodarstvo (*Closing the loop – An EU Action plan for the Circular Economy*), je treba povsem spremeniti način ravnanja z viri. Vodo kot enega najpomembnejših virov večinoma še vedno obravnavamo neskladno z načeli krožnega gospodarstva (v nadaljevanju KG), ki nalagajo zmanjšano in večkratno uporabo virov. Ravnanje z vodo je treba prilagoditi tako, da odpadna voda in blato postaneta dragocen vir vode, hranil in energije, padavinska voda pa ugodno vpliva na naravni vodni krog. Glavni izzivi pri tem prehodu so: (1) obnova in vzdrževanje naravnega vodnega kroga, ki je prekinjen zaradi urbanizacije, (2) čiščenje in ponovna uporaba prečiščene odpadne vode ter (3) obnova in ponovna uporaba virov iz odpadne vode (npr. hranil, biomase, energije). V zadnjih 40 letih so se v Sloveniji razvili že številni trajnostni koncepti, ki so zasnovani z namenom naslavljanja teh izzivov.

Trenutno se trajnostni koncepti uveljavljajo zlasti za naslavljanje problemov, vezanih na ravnanje z vodo v mestih. Ti koncepti poleg osnovne funkcije odvajanja in čiščenja vode prinašajo številne ekosistemske storitve in večjo energetsko učinkovitost grajenega okolja ter so tako že prepoznani kot pomembni dejavniki pri prilagajanju na podnebne spremembe. To se najpogosteje kaže na področju ravnanja s padavinsko vodo oz. urbane odvodnje, kjer konvencionalne rešitve odvodnje nadomeščamo s koncepti ponikanja, evapotranspiracije in zadrževanja vode na mestu nastanka. Ker je za te koncepte značilna multidisciplinarnost in so bili v posameznih strokah zasnovani v različnih časovnih obdobjih, trenutno prihaja do uporabe različne terminologije.

V tem prispevku bomo osvetlili terminologijo trajnostnih konceptov za umestitev vode v krožno gospodarstvo z vidika več strok/področij in nakazali, kako konsolidirati znanje za boljše implementacijo tovrstnih konceptov v prihodnje. Prikazali bomo inovativno klasifikacijo tehnologij in posameznih elementov upravljanja z vodami, ki se poleg upravljanja s padavinskimi vodami nanašajo na gradnjo objektov, čiščenje vode in obnovo virov, obrežne ureditve v mestih, varovanje tal, urejanje zelenih površin ter urbano kmetijstvo. Nazadnje bomo obravnavane trajnostne koncepte osvetlili z vidika prostorskega načrtovanja, s poudarkom na trenutnem stanju v Sloveniji.

## 2. TRAJNOSTNI KONCEPTI

Za naslavljanje izzivov, vezanih na ravnanje z vodo po načelih KG, v slovenski in tuji literaturi zasledimo izraze, kot so ekoremediacija, zelene tehnologije, ekološki inženiring, zelena infrastruktura ter modro-zelena infrastruktura. V zadnjem času se je najbolj razširil angleški izraz »*nature-based solutions*« (NBS) (Preglednica 1), ki ga je leta 2008 definirala Svetovna banka, leta 2009 pa se je nanj sklicevala Svetovna zveza za varstvo narave (IUCN) v Okvirni konvenciji Združenih narodov o podnebnih spremembah. Izraz se je nato izjemno hitro uveljavil v političnih dokumentih na področju inovacij in zelenega gospodarstva, med drugim ga je sprejela in definirala tudi Evropska komisija.

V slovenskem prostoru se za NBS pojavljata izraza »sonaravne rešitve«, ki se je uporabljal že pred uveljavitvijo angleškega pojma NBS, ter »na naravi temelječe rešitve« (Dremel in Goličnik Marušič, 2021), ki je bil preveden v slovenščino po mednarodni uveljavitvi koncepta NBS. Po definiciji v SSKJ pridevnik sonaravno pomeni tisto, kar poteka vzajemno, skladno, povezano z zakoni narave in ne opredeljuje tudi uporabe naravnih virov ali procesov za reševanje družbenih izzivov, kar sicer opredeljuje definicija »*nature-based solutions*«. Zaradi navedenega je na področju urbanističnega načrtovanja in prostorskega planiranja predlagana uporaba termina »na naravi temelječe rešitve« (Dremel in Goličnik Marušič, 2021). Ne glede na navedeno dosedanja praksa uporabe izraza »sonaravne rešitve« kaže, da se sem uvrščajo vsi ukrepi in tehnologije, ki ustrezajo mednarodni definiciji »*nature-based solutions*«.

Pred uveljavitvijo izraza sonaravne rešitve sta bila v Sloveniji razširjena izraza ekoremediacija (ERM) in zelene tehnologije. Prve omembe v slovenski literaturi segajo v 80. leta prejšnjega stoletja (Vrhovšek in Kralj, 1983; Urbanc Berčič, 1994). Gre za koncepte, zelo podobne sonaravnim rešitvam; prav tako lahko primere aplikacije ERM in zelenih tehnologij zlahka preslikamo v kategorizacijo sonaravnih rešitev (Preglednica 1).

Koncept zelene infrastrukture (ZI) zagovarja načelo zavestne integracije »zaščite narave in naravnih procesov v prostorsko načrtovanje in razvoj«. ZI definiramo kot »strateško planirana naravna in polnaravna območja, kombinirana z drugimi elementi, ki nudijo širok spekter ekosistemskih storitev« – tako na ruralnih kot urbanih območjih. Ta koncept zelenih površin ne naslavlja več kot le »ostanke prostora«, ki so posledica razvoja pozidanega prostora, temveč prostorski razvoj aktivno usmerja na podlagi prepoznanih ekoloških vrednosti območij in območij, primernih za razvoj poselitve (Pauleit et al., 2017).



ZI nedvomno ugodno vpliva tudi na vodni krog, vendar se bistveno razlikuje od modro-zelene infrastrukture (MZI), saj je njen vpliv pasiven/slučajen, medtem ko je MZI načrtovana z namenom aktivnega upravljanja s padavinsko vodo. Z vidika vodarske stroke lahko MZI 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. Na področju ravnanja s padavinsko vodo obstaja kar nekaj sorodnih izrazov in konceptov, ki jih predstavljamo v poglavju 4.1.

**Preglednica 1:** Izrazi, njihovo pojavljanje, definicije in primeri na področju trajnostnih konceptov upravljanja vode v krožnem gospodarstvu.

Termin in pojav v Sloveniji in svetu	Definicija	Primeri
<b>Ekoremediacija (ERM) (angl. <i>ecoremediation</i>)</b> Urbanc Berčič et al. (1998), Kickuth (1984), Clayton (1988)	Uporaba naravnih sistemov in procesov za obnovo in zaščito okolja.	Rastlinske čistilne naprave, obnova vodotokov in jezer (revitalizacija), čiščenje tal in sedimentov (fitoremediacija, bioremediacija), vegetacijski pasovi in filtri, zasaditve obrežnih pasov za zaščito jezer, sonaravna sanacija deponij.
<b>Zelene tehnologije ali ekotehnologije (angl. <i>green technologies, ecotechnologies</i>)</b> 1989 – postavitve prve pilotne rastlinske čistilne naprave v Sloveniji	Ekoremediacija z uporabo tehnologij.	Rastlinske čistilne naprave, vrbni sistemi/evapotranspiracijski sistemi, zasajeni zadrževalniki za odpadno vodo, lagune, algne tehnologije, zelene strehe in stene, ekoremediacija zaprtih odlagališč (čiščenje, namakanje, produkcija biomase), akvaponika (gojenje rib in zelenjave v zaprtem sistemu).
<b>Ekološki inženiring (angl. <i>ecological engineering</i>)</b> Mitsch in Jorgensen (1989)	Ekološki inženiring uporablja ekologijo in inženiring za napovedovanje, načrtovanje, izgradnjo ali obnovo in upravljanje ekosistemov, ki povezujejo »človeško družbo z njenim naravnim okoljem v dobrobit obeh«.	Vsi ukrepi, pri katerih ob načrtovanju načela ekologije združujemo z inženirskim načrtovanjem.
<b>Zelena infrastruktura (angl. <i>green infrastructure</i>)</b> 1999 (ZDA), Benedict in McMahon (2002)	Zelena infrastruktura predstavlja strateški planski pristop načrtovanja in upravljanja prostora, ki temelji na zagotavljanju strukturne in funkcionalne povezljivosti posameznih naravnih in polnaravnih območij.	Zelene in vodne površine ter drugi krajinski elementi, ki zagotavljajo ekosistemске storitve ter so strateško načrtovani in upravljeni.
<b>Modro-zelena infrastruktura (angl. <i>blue-green infrastructure</i>)</b> Rozos in Makropoulos (2013)	Naravni in polnaravni (od tod zelena) sistemi, namenjeni upravljanju s padavinskimi vodami (od tod modra) v naseljih, ki hkrati opravljajo širok nabor ekosistemskih storitev.	Infiltracijske kotanje/jarki, zelene strehe in stene ter na sploh tehnologije in koncepti, ki uporabljajo procese infiltracije, zadrževanja in evapotranspiracije za ravnanje s padavinsko vodo.

Termin in pojav v Sloveniji in svetu	Definicija	Primeri
<b>Sonaravne rešitve (angl. <i>nature-based solutions</i>)</b> Svetovna banka (2008), Svetovna zveza za varstvo narave (IUCN, Cohen Shacham et al., 2016) in Evropska komisija (Eggermont et al., 2015)	V vodarski in biotehniški stroki so to rešitve, ki jih navdihuje in podpira narava ter so stroškovno učinkovite; hkrati zagotavljajo okoljske, socialne in gospodarske koristi ter pomagajo graditi odpornost. Takšne rešitve v mesta in pokrajine prinašajo več in bolj raznoliko naravo ter naravne značilnosti in procese. Sonaravni ukrepi so prilagojeni lokalnemu okolju, učinkovito uporabljajo vire in so sistematski.	Primeri so navedeni v Preglednici 2.
<b>Na naravi temelječe rešitve (NTR) (angl. <i>nature-based solutions</i>)</b> Svetovna banka (2008), Svetovna zveza za varstvo narave (IUCN, Cohen-Shacham et al., 2016) in Evropska komisija (Eggermont et al., 2015), Goličnik Marušič et al., 2021	Na področju urejanja prostora/urbanizma so to rešitve, ki jih navdihuje in podpira narava ter so stroškovno učinkovite; hkrati zagotavljajo okoljske, socialne in gospodarske koristi ter pomagajo graditi odpornost. Takšne rešitve v mesta in pokrajine prinašajo več in bolj raznoliko naravo ter naravne značilnosti in procese. Sonaravni ukrepi so prilagojeni lokalnemu okolju, učinkovito uporabljajo vire in so sistematski.	Sistem rešitev na ravni celotnega mesta: celovit sistem zelene infrastrukture za upravljanje s padavinskimi vodami, prostorsko načrtovanje v skladu z naravnimi zakonitostmi in danostmi lokacije, upoštevajoč družbene zakonitosti in potrebe, ustrezen izbor materialov, ustrezna fizična zasnova grajenega okolja (izboljšanje prevetrenosti, zmanjševanje hrupa, ustrezno senčenje, hlajenje ipd.), vzpostavitev posebnega režima uporabe prostora.

### 3. KLASIFIKACIJA ELEMENTOV SONARAVNIH REŠITEV

Sonaravne rešitve za krožno ravnanje z vodo so sestavljene iz posameznih elementov in tehnologij. Za sonaravne rešitve je ključna večfunkcionalnost, zato so lahko posamezni elementi teh konceptov hkrati uporabni za več dejavnosti. V tem poglavju prikazujemo klasifikacijo 51 elementov (Preglednica 2), ki tvorijo sonaravne rešitve, ter njihovo uporabnost za dejavnosti, ki so tesno povezane s krožnim ravnanjem z vodo v mestih in naseljih: gradnja objektov, upravljanje z vodami, obnova virov ter urbano kmetijstvo. Raziskavo smo opravili v okviru projekta COST Circular City (CA 17133), pri katerem je sodelovalo več kot 100 strokovnjakov iz različnih strok (Atanasova et al., 2021; Castellar et al., 2021).

Elementi sonaravnih rešitev so razvrščeni v 7 skupin glede na njihovo načrtovalsko sorodnost: 1) Upravljanje s padavinskimi vodami; 2) Vertikalni ozelenitveni sistemi in zelene strehe; 3) Remediacija, čiščenje in obnova hranil; 4) Obrežne ureditve; 5) Bioinženiring tal in vode; 6) (Javne) Zelene površine ter 7) Pridelava hrane in biomase. Pomembno je opozoriti, da je zapiranje snovnih tokov skoraj nemogoče doseči le s sonaravnimi rešitvami. Zato ta klasifikacija vsebuje tudi podporne elemente (angl. *supportive unit*, v Preglednici 2 označeni z (S)), ki pomagajo ali so celo ključni za delovanje sonaravnih rešitev.



**Preglednica 2:** Klasifikacija sonaravnih rešitev (● – primerno, ○ – pogojno primerno, odvisno od načrtovanja).

Skupina	(#) Elementi sonaravnih rešitev in podporni elementi	Dejavnosti				
		Gradnja objektov	Upravljanje z vodami	Obnova virov	Urbano kmetijstvo	
1) Upravljanje s padavinskimi vodami	(1) Infiltracijska kotanja	●	●	●	○	
	(2) Infiltracijski jarek	●	●	●		
	(3) Filtracijski pas	●	●			
	(4) Filtracijski jarek	●	●			
	(5) (Mokri) zadrževalnik	●	●	●	○	
	(6) (Suhi) zadrževalnik	●	●			
	(7) Bioretencija	●	●		○	
	(8) Jarek z (vlagoljubnim) rastlinjem	●	●		○	
	(9) Travnati jarek	●	●		○	
	(10) Drevo v sadilni jami	●	●		○	
	(11) Travnata rešetka	●	●		○	
	(12) Obrežni pas	●	●		●	
	(S1) Zadrževanje padavin za ponovno uporabo	●	●			
(S2) Zadrževalne cisterne	●	●				
2) Vertikalni ozelenitveni sistemi in zelene strehe	(13) Zelena stena – zasaditev v tleh	●	●		●	
	(14) Zelena stena – zasaditev na steni	●	●		●	
	(15) Zelena stena – zasaditev v sadilnih loncih	●	●		●	
	(16) Ozelenjena pergola	●	○		●	
	(17) Ekstenzivna zelena streha	●	●		●	
	(18) Intenzivna zelena streha	●	●		●	
	(19) Srednje intenzivna zelena streha	●	●		●	
	(20) Premično zelenje in premični vertikalni vrtovi	●	○		●	
	3) Remediacija, čiščenje in obnova hranil	(21) Rastlinska čistilna naprava	●	●	●	●
		(22) Lagunska čistilna naprava		●		
(26) Anaerobno čiščenje			●	●		
(27) Aerobno čiščenje			●	●		
(23) Kompostiranje		●		●	●	
(24) Bioremediacija		●	○	●		
(25) Fitoremediacija		●	○	●	●	
(S3) Precipitacija fosforja (za obnovo P)			●	●		
(S4) Odstranjevanje amonija (za obnovo N)			●	●		
(S5) Dezinfekcija (za obnovo vode)		●	●	●		
(S6) Proizvodnja bioogljja/hidroogljja		●	●	●		
(S7) Enota za fizično ločevanje trdnih in tekočih frakcij		●	●	●		
(S8) Membranska filtracija		●	●			
(S9) Adsorpcija		●	●			
(S10) Napredni oksidacijski procesi		●	●			

Skupina	(#) Elementi sonaravnih rešitev in podporni elementi	Dejavnosti			
		Gradnja objektov	Upravljanje z vodami	Obnova virov	Urbano kmetijstvo
4) Obrežne ureditve	(28) Revitalizacija vodotoka	●	●		●
	(29) Poplavna ravnica	●	●		●
	(30) Preusmeritveni rečni elementi	●	○		
	(31) Povezava mrtvice z reko	●	●		
5) Bioinženiring tal in vode	(32) Protierozijski obrežni elementi	●	●		○
	(33) Ohranjanje in izboljševanje tal	●	○	●	●
	(34) Obvladovanje erozije	●	○		○
	(35) Utrjevanje tal za boljšo povezljivost in oprijem korenin	●	○		
6) (Javne) Zelene površine	(36) Obrežne ureditve	●	○		○
	(37) Zeleni koridor	●	●		●
	(38) Zeleni pas	●	●		●
	(39) Obcestna drevesa	●	●	●	●
	(40) Velik urbani park	●	●	●	●
	(41) Žepni/vrtni park	●	●	●	●
	(42) Urbani travniki	●	●		●
(43) Prehodna zelena območja	●	●		●	
7) Pridelava hrane in biomase	(44) Ribogojstvo				●
	(45) Hidroponika in tehnologije brez prsti	●	○		●
	(46) Organoponika/Bioponika	●	○		●
	(47) Akvaponika	●	○		●
	(48) Fotobioreaktor		○	●	●
	(49) Pridelovalni vrt	●	●		●
	(50) Urbani gozd	●	●		●
	(51) Urbane kmetije in nasadi	●	●		●

Izkaže se, da je vsak element uporaben za več dejavnosti in da so ob **ustreznem** načrtovanju ti elementi večfunkcijski. Kot primer navedimo zeleno steno, ki je pomemben element pri dejavnosti Gradnja objektov. Če je načrtovan kot izolativni sloj, ki ga namakamo z vodo iz vodovodnega omrežja, ima le eno funkcijo. Če pa zeleno steno načrtujemo tako, da poleg izolacije služi za čiščenje npr. sive vode oz. jo z njo namakamo, bo to večnamenski element.

#### 4. KLJUČNA PODROČJA IMPLEMENTACIJE SONARAVNIH REŠITEV ZA KROŽNO GOSPODARJENJE Z VODO

##### 4.1 Področje urbane odvodnje

Za mesta z visokim deležem utrjenih površin je značilen povečan in hiter površinski odtok, kar negativno vpliva na vodno bilanco obravnavanega območja poselitve, saj odteče več vode, kot bi je sicer. To povečuje poplavno ogroženost ter zmanjšuje napajanje podzemnih voda in količine razpoložljive vode za rastlinstvo. Sonaravne rešitve na področju urbane odvodnje so



zasnovane tako, da blažijo našete probleme in hkrati nudijo dodatne ekosistemske storitve. Ponavadi uporabljajo procese, značilne za naravni vodni krog, kot so infiltracija, filtracija, evapotranspiracija in površinsko zadrževanje vode. Na splošno je zanje značilno zadrževanje padavin na lokaciji, kjer padejo, in posledično zmanjšanje količine površinskega odtoka s povodja. Elementi, ki so pogosto uporabljeni za namen urbane odvodnje, so v Preglednici 2 predstavljeni v skupinah: 1) Upravljanje s padavinskimi vodami; 2) Vertikalni ozelenitveni sistemi in zelene strehe; 6) (Javne) zelene površine. Ti ukrepi v slovenskem jeziku še nimajo enotnega izraza, v angleščini pa obstaja kar nekaj sorodnih izrazov, ki v veliki meri temeljijo na podobnih procesih in tehnologijah (Fletcher et al., 2015) (Preglednica 3). Med seboj se razlikujejo predvsem po obsegu območja obdelave, kot so posamezno zemljišče, ulica, soseska, mestna četrt, mesto ali celo večji regionalni sistemi. Poudariti želimo, da gre za koncepte, ki v veliki meri temeljijo na istih tehnologijah in zasledujejo iste cilje, ker pa so se sočasno razvijali v različnih delih sveta in izhajajo iz raznovrstnih strok, so poimenovani drugače.

**Preglednica 3:** Trajnostni koncepti na področju urbane odvodnje.

Kratica	Angleški pomen	Slovenski prevod
<b>BGI</b>	Blue-Green Infrastructure	Modro-zelena infrastruktura
<b>SUDS</b>	Sustainable Urban Drainage Systems	Trajnostni sistemi urbane odvodnje
<b>LID</b>	Low Impact Development	Posegi/gradnja z majhnim okoljskim vplivom
<b>BMP</b>	Best Management Practice	Najboljša upravljavska praksa
<b>SCM</b>	Stormwater Control Measures	Ukrepi za obvladovanje padavinskih voda

## 4.2 Področje revitalizacije vodnih teles

Na področju revitalizacije vodnih teles so uporabljeni predvsem elementi iz skupin: 4) Obrežne ureditve ter 5) Bioinženiring tal in vode (Preglednica 2). Prvi projekti revitalizacij vodnih teles v Sloveniji segajo v 80. leta prejšnjega stoletja. O revitalizaciji Želimejščice je bil celo posnet kratek dokumentarni film. Pozneje so bili v okviru projekta LIFE AquaLutra (2004-2009) izvedeni revitalizacijski ukrepi na številnih vodotokih na Goričkem, z namenom ohranjanja populacije vidre. V predmestju Ljubljane je bila leta 2009 zgrajena rastlinska čistilna naprava (RČN) v kombinaciji z meandrirano strugo za čiščenje meteornih vod na vtoku v poplavni zadrževalnik (Griessler Bulc et al., 2019).

## 4.3 Področje čiščenja in obnove virov iz odpadnih voda

Sonaravne rešitve lahko ponudijo varno čiščenje ter ponovno uporabo prečiščene odpadne vode in hranil, pri čemer se čistilna naprava iz porabnika energije in virov spremeni v njihov vir. Mednje spadajo predvsem elementi iz skupine 3) Remediacija, čiščenje in obnova hranil (Preglednica 2), npr. RČN v ruralnem in urbanem okolju, ki omogočajo stroškovno učinkovito čiščenje odpadne vode ter produkcijo biomase in vode za zalivanje ali namakanje kmetijskih površin, pa tudi drugi elementi, npr. elementi iz skupine 2) Vertikalni ozelenitveni sistemi in zelene strehe, ki prispevajo k temu področju. Take so zelene stene in strehe, ki omogočajo čiščenje in ponovno uporabo sive vode (tj. vsa odpadna gospodinjska voda, razen tiste iz stranišč) ter s tem ustvarjajo vodno in energetsko učinkovito grajeno okolje. Novejše raziskave

sonaravnih rešitev poročajo tudi o učinkovitem odstranjevanju novodobnih onesnažil (ostanki zdravil in izdelkov osebne higiene) ter o potencialno pomembni proizvodnji biomase (biognojila, biostimulansi), kar odpira številne možnosti za čiščenje in ponovno uporabo odpadne vode za različne namene v kontekstu blaženja podnebnih sprememb in ustvarjanja odpornejšega urbanega prostora.

## 4.4 Področje prostorskega načrtovanja – umeščanje trajnostnih konceptov v prostor

Obvladovanje urbanega vodnega kroga se poleg vodne infrastrukture neposredno nanaša na raščen teren in druge (ne)utrjene mestne površine ter njihovo zaledje, to je tudi na elemente zelene infrastrukture (Goličnik Marušić et al., 2021). Čeprav se predvsem pod terminom modro-zelena infrastruktura (MZI), ki pomeni strategijo načrtovanja urbanih okolij in pri zagotavljanju učinkovitega upravljanja voda v mestih vključuje naravo, poudarja, da gre za prepletanje in povezovanje upravljanja voda in načrtovanja zelenih površin (urbanih gozdov, parkov, uličnih dreves ipd.) (Krajnc, 2019), taki trajnostni koncepti še niso opredeljeni s parametri, ki bi bili uporabni v prostorskem načrtovanju, npr. povezljivost rešitev, prepoznavanje in določanje njihovih vplivnih območij, razumevanje dinamičnosti (naravnih) procesov in prepoznavanje sistema rešitev za doseganje sinergijskih učinkov pri reševanju družbenih izzivov urbanega razvoja.

Obseg implementacije trajnostnih konceptov lahko zajema posamezne elemente (stavba, ulica ali parkirišče) in območja (soseska, naselje, ožje mestno območje, širše mestno območje). Prednost na naravi temelječih/sonaravnih rešitev se kaže ravno v celovitem naslavljanju funkcij površin, ki so med seboj povezane in delujejo kot sistem. Pregled primerov iz prakse in literature kaže, da so v večini primerov v mestih in drugih urbanih naseljih take rešitve še vedno zastopane le kot posamezni fragmenti, ki ustrezajo ravni posameznega elementa, kot so zelene strehe in vertikalne ozelenitve, ozelenjena parkirišča, raščene površine in žepni parki (Goličnik Marušić et al., 2021).

V prostorskem načrtovanju izzive rešujemo v skladu s konceptom na naravi temelječih rešitev ne nujno zgolj zaradi varovanja naravnih virov, temveč zaradi kvalitetnejšega bivalnega okolja. Pri tem uporabimo zgled naravnih procesov ne zgolj za sinergijo s področjem upravljanja z vodami (zasnova MZI), ampak tudi za druge funkcije in procese, kot so prevetrenost mesta, orientacija stavb, zaščita pred hrupom ipd.

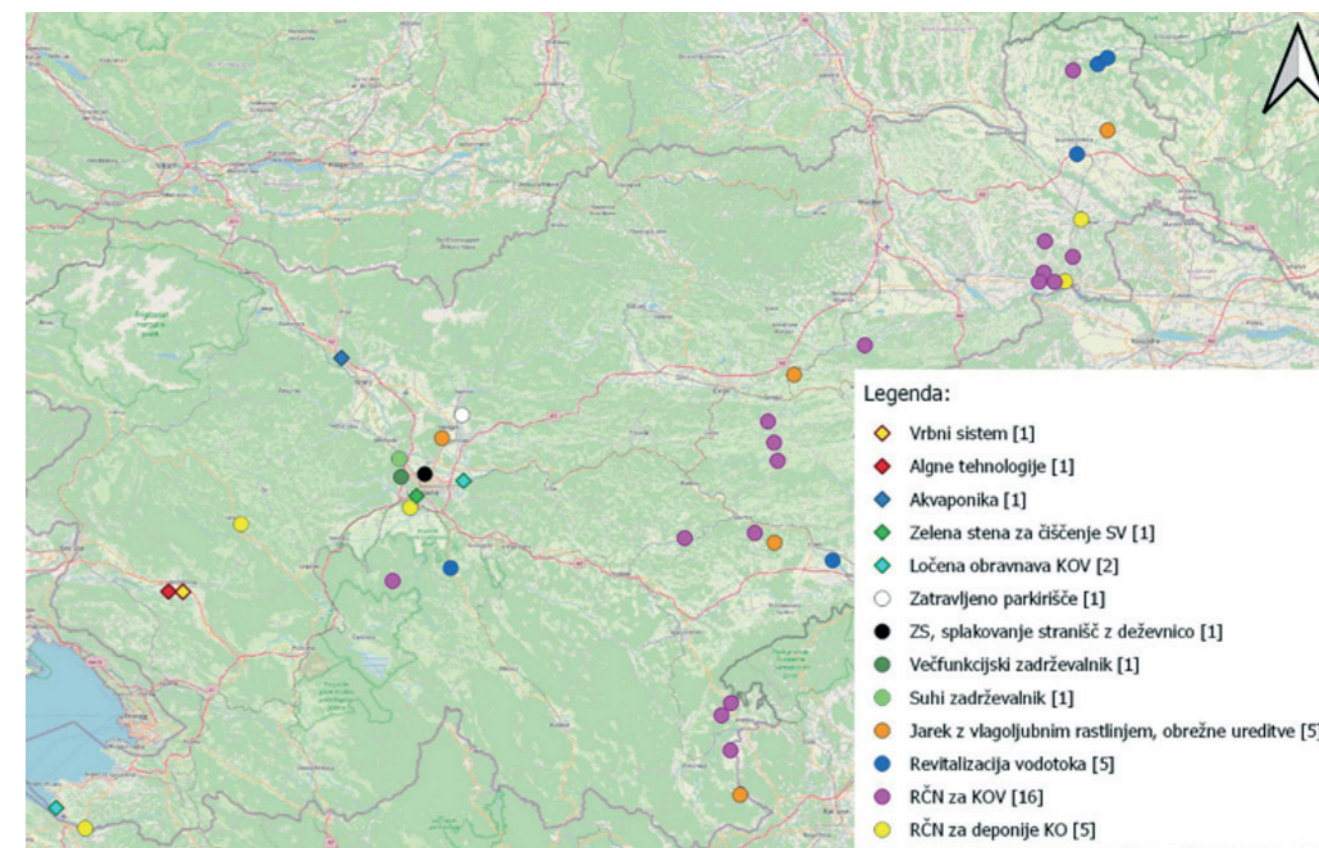
Prvi pogoj za sistemsko umeščanje sonaravnih rešitev v prostor (in tudi v dokumente, ki služijo kot podlaga razvoju prostora) je pravočasna rezervacija primerne prostora in ustrezna razmestitev dejavnosti, zato je ključnega pomena obravnavanje in upoštevanje problematike že v zgodnjih fazah načrtovanja prostora. Pomemben vhodni podatek za izdelavo prostorskih aktov bi morala biti strokovna podlaga, ki bi opredelila značilnosti območij, primernih za ponikanje ali zadrževanje padavinskih voda, ter drugih lastnosti prostora, kot so naravna prevetrenost, orientacija in druge fizične lastnosti lokacij, ki pomenijo izhodiščno stanje za možnosti njihovega umeščanja, saj lahko le tako prihajamo do celovitih sistemskih rešitev, ki so (lahko) večfunkcionalne.



## 5. SONARAVNE REŠITVE V SLOVENIJI

Vsestranske tehnološke sonaravne rešitve je v slovenski prostor vpeljal prof. dr. Daniel Vrhovšek, najprej v okviru Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, nato pa v okviru LIMNOS-a, prvega podjetja za aplikativno ekologijo v Sloveniji (Vrhovšek in Griessler Bulc, 1994). Razvoj je bil najprej usmerjen v rastlinske čistilne naprave (RČN) za čiščenje komunalnih odpadnih voda (KOV) (Vrhovšek in Kralj, 1983) ter ekoremediacijo zaprtih odlagališč komunalnih odpadkov (Griessler Bulc, 2006) (Slika 1). V okviru mednarodnih in domačih projektov ter ob podpori ministrstva za okolje so bile izvedene številne interdisciplinarne raziskave in implementacije sonaravnih rešitev. Tako beležimo postavitve prvih dveh RČN v letu 1989 za čiščenje KOV na komunalni čistilni napravi v Ajdovščini in izcedne vode iz komunalnega odlagališča v Mislinji. Z namenom ponovne uporabe hranil v odpadni vodi smo RČN nadgradili s ponovno uporabo prečiščene vode in za namakanje hitro rastočih dreves na zaključnem pokrovu odlagališč za namene pridobivanja lesne biomase in zmanjševanja količine izcedne vode. Inovativnost krožnega pristopa pri sanaciji odlagališč je bila večkrat nagrajena, in sicer v Evropskem parlamentu in na ministrski konferenci za znanost v Madridu. Pozitivne učinke namakanja poljščin s prečiščeno KOV iz RČN ter algnega sistema smo dokazali v sklopu projekta ARRS J2-8162 (2017-2020). Za čiščenje KOV v oddaljenih turističnih objektih, kot so planinske kočje, smo v okviru projekta EU FP7 SANBOX (2009-2011) razvili inovativen sistem ločenega zbiranja ter čiščenja sive in črne vode. Za čiščenje KOV na občutljivih območjih pa smo v okviru projekta ARRS Z2-6751 (2015-2018) razvili nov tip RČN, zasajen z vrbami, ki deluje brez iztoka ter proizvaja lesno biomaso in visoko hranljiv substrat. Prva tovrstna tehnologija je bila postavljena leta 2017 v Ajdovščini.

V letih od 1989 do 2021 je bilo v Sloveniji postavljenih okrog 200 RČN, poleg njih pa še lagunске čistilne naprave (Šajn Slak et al., 2005), vegetacijski jarki kot del melioracijskih kanalov, akvaponika za proizvodnjo zelenjave in rib (Junge Berberović et al., 2019) ter algne tehnologije za čiščenje KOV in pridobivanje algne biomase za gnojilo kmetijskih površin (Krivograd Klemenčič et al., 2018) (Slika 1). Na področju implementacije sonaravnih rešitev za ravnanje z vodo v urbanem prostoru prav tako obstaja kar nekaj primerov dobrih praks, predvsem pri ravnanju s padavinsko vodo (zelene strehe, infiltracijske kotanje), vendar pa manjka sistemski pristop.



**Slika 1:** Zemljevid Slovenije z lokacijami nekaterih že izvedenih ukrepov, ki sledijo trajnostnim konceptom (◊ – pilotni sistemi, o – delujoči sistemi).

V slovenskem kontekstu Klemen et al. (2020) ugotavljajo, da se ob pripravi prostorskih aktov strokovne podlage za ukrepe upravljanja padavinskih voda praviloma ne izdelujejo, kar vodi v nadaljnjo uporabo obstoječega netrajnostnega koncepta upravljanja z vodami. Zelene površine so sicer v slovenskem prostorskem načrtovanju precej dobro interpretirane in ovrednotene v kontekstu družbenih izzivov, ki naslavljajo zdravje in dobro počutje (Šuklje Erjavec et al., 2020), medtem ko so z vidika celovitega upravljanja urbanega vodnega kroga in drugih funkcij še nezadostno obravnavane. Pomembno je preseči miselnost, da so zelene površine vrednotene pretežno z določenih vidikov, ter jih nasloviti tudi z vidika zagotavljanja drugih funkcij, kot je sposobnost zelenih površin za trajnostno upravljanje z vodo (Radinja et al., 2021).

## 6. ZAKLJUČKI

Okoljska in podnebna kriza nas silita k prehodu v drugačno, bolj trajnostno/krožno ravnanje z naravnimi viri, tudi z vodo. Glavni izzivi pri prehodu na krožno ravnanje z vodo so (1) obnova in vzdrževanje naravnega vodnega kroga, ki je prekinjen zaradi urbanizacije, (2) čiščenje in ponovna uporaba prečiščene odpadne vode ter (3) obnova in ponovna uporaba virov iz odpadne vode (npr. hranil, biomase, energije). Trajnostni koncepti, ki naslavljajo te izzive, se v Sloveniji pojavljajo in razvijajo že od 80. let prejšnjega stoletja. V tem prispevku smo podali



pregled konceptov in njihovih poimenovanj, s poudarkom na najnovejši pojavnih obliki, znani pod angleškim imenom »*nature-based solutions*«, ki je pri nas najpogosteje prevajana kot na sonaravne in naravi temelječe rešitve. Te rešitve vsebujejo različne tehnologije in elemente. Tu podajamo predlog klasifikacije elementov in njihovo uporabnost v ključnih dejavnostih, vezanih na upravljanje z vodo. V Sloveniji imamo dolgo zgodovino uporabe posameznih elementov sonaravnih rešitev, manjka pa sistemski pristop k njihovem načrtovanju in implementaciji, predvsem zaradi pomanjkljivega sodelovanja med strokami. Ta prispevek je korak k poenotenju in predvsem razumevanju različne terminologije, ki je ključna za sodelovanje različnih strok pri implementaciji trajnostnih konceptov za ravnanje z vodo.

#### LITERATURA IN VIRI

- Atanasova, N., Castellar, J. A. C., Pineda Martos, R., Nika, C. E., Katsou, E., Istenič, D., Pucher, B., Andreucci, M. B. in Langergraber G., 2021. Nature-based solutions and circularity in cities. *Circular economy and sustainability*, 1–14. doi: 10.1007/s43615-021-00024-1.
- Benedict, M. A. in McMahon, E. T., 2002. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 20: 12–17.
- Castellar, J. A. C., Popartan, L. A., Pueyo Ros, J., Atanasova, N., Langergraber, G., Säumel, I., Corominas, L., Comas, J. in Acuña, V., 2021. Nature-based solutions in the urban context – terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of the total environment*, 779/146237, 1–13. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146237.
- Clayton, R. C., 1988. Report on the ATV (Technical Association for Wastewater). Seminar on Reedbed Treatment Systems, 29–30 Sept., Nürnberg, FRG.
- Cohen Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. in Maginnis, S., 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland, IUCN.
- Dremelj, M. in Goličnik Marušič, B., 2021. Kaj so *nature-based solutions* (NBS) in kako jih prevajamo. *Urbani izziv*, storkovna izdaja, 2021, 12, str. 102–108.
- Eggermont, H., Balian, E., N. Azevedo, J. M., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smith, M., van Ham, C., Weisser, W. W. in Le Roux, X., 2015. Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe. *GAIA*, 24, 4, str. 243–248.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., Trowsdale, S., Barraud, S., Semadeni Davies, A., Bertrand Krajewski, J. L., Mikkelsen, P. S., Rivard, G., Uhl, M., Dagenais, D. in Viklander, M., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12: 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>.
- Goličnik Marušič, B., Dremelj, M., Ravnikar, Ž. in Bizjak, I., 2021. Priprava predlogov in priporočil za razvoj programov in ukrepov v podporo prostorskemu in urbanemu razvoju. Poročilo o izvajanju sonaravnih/naravi temelječih rešitev na področju urbanega razvoja. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
- Griessler Bulc, T., 2006. Long term performance of a constructed wetland for landfill leachate treatment. *Ecological engineering*. 26: 365–374.
- Griessler Bulc, T., Istenič, D. in Krivograd Klemenčič, A., 2019. Case studies. Multifunctional water reservoir in Ljubljana (Slovenia). V: Langergraber, G. (ur.), *Wetland technology: practical information on the design and application of treatment wetlands*. Technical Report Series, 27, London: IWA Publishing, 142–144.
- Junge Berberović, R., Griessler Bulc, T., Anseeuw, D., Yavuzcan Yildiz, H. in Milliken, S., 2019. Aquaponics as an educational tool. V: Goddek, S. (ur.), *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Cham: Springer Nature, 561–595.
- Kickuth, R., 1984. The Root Zone Method. *Gesamthochschule Kassel-Universität des Landes Hessen*, 12.
- Klemen, K., Pergar, P., Fatur, M., Bevc Šekoranja, B. in Konda, K., 2020. Problematika načrtovanja sonaravnih ukrepov za celovito upravljanje padavinskih voda na urbanih območjih. *Gradbeni vestnik*, 69: 73–81.
- Krajnc, U., 2019. Podnebne spremembe in poplavna ogroženost urbanih območij z lastnimi padavinskimi vodami. *Gradbeni vestnik*, 68, 109–132.
- Krivograd Klemenčič, A., Žitnik, M., Šunta, U., Godič Torkar, K. in Griessler Bulc, T., 2018. »Escherichia coli« inhibition in municipal wastewater treated in microalgae based treatment systems. *International proceedings of chemical, biological & environmental engineering*. 103: 70–74.
- Mitsch, W. J. in Jorgensen, S. E., 1989. »Introduction to Ecological Engineering« V: Mitsch, W. J. in Jorgensen, S. E. (ur.), *Ecological Engineering: An Introduction to Ecotechnology*, John Wiley & Sons, New York, 3–12.
- Pauleit, S. et al., 2017. Nature-based Solutions and Climate Change – Four Shades of Green. V: Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., Bonn, A. (ur.). *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas: Linkages between Science, Policy and Practice*. 29–49. Dostopno na: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5_3) [11. 11. 2021].
- Radinja, M., Atanasova, N. in Zavodnik Lamovšek, A., 2021. Vodarski pogled na uvajanje modro-zelene infrastrukture v mestih. *Urbani izziv*, 1: 28–39.
- Rozos, E. in Makropoulos, C., 2013. Source to Tap Urban Water Cycle Modelling. *Environmental Modelling & Software*, 41: 139–150.
- Svetovna banka, 2008. Biodiversity, Climate Change, and Adaptation: Nature-based Solutions from the World Bank Portfolio. World Bank, Washington, DC. Dostopno na: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6216> [11. 11. 2021].
- Šajn Slak, A., Griessler Bulc, T. in Vrhovšek, D., 2005. Comparison of nutrient cycling in a surface-flow constructed wetland and in a facultative pond treating secondary effluent. *Water science and technology*, 51: 291–298.
- Šuklje Erjavec, I., Kozamernik, J. in Žlender, V., 2020. Ven za zdravje: priročnik za načrtovanje zelenih površin za spodbujanje telesne dejavnosti in zdravega življenjskega sloga. Ljubljana, Urbanistični inštitut Republike Slovenije, 103 str. Dostopno na: [http://www.uirs.si/pub/Ven\\_za\\_zdravje\\_jan\\_20\\_splet.pdf](http://www.uirs.si/pub/Ven_za_zdravje_jan_20_splet.pdf) [11. 11. 2021].
- Urbanc Berčič, O., 1994. Investigation into the Use of the Constructed Reedbeds for Municipal Waste Dump Leachate Treatment. *Water Science and Technology*, 29: 289–294.
- Urbanc Berčič, O., Griessler Bulc, T. in Vrhovšek, D., 1998. Slovenia. V: Vymazal, J. (ur.). *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. Leiden: Backhuys publishers, 241–250.
- Vrhovšek, D. in Griessler Bulc, T., 1994. Development of constructed wetlands in Slovenia. *Aquaphyte*, 14: 14–15.
- Vrhovšek, D. in Kralj, M., 1983. Čiščenje odpadnih voda s pomočjo vodnih rastlin. *Življenje in tehnika: revija za poljudno tehniko, znanost in amaterstvo*, 34: 29–33.