

Stručni rad<https://doi.org/10.47960/2232-9080.2026.31.16.72>

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

Tatjana Uzelac,

Starum d.o.o. Pula, dipl.ing.građ., tanja@starum.hr

Sažetak: Svjedoci smo vremena u kojem klimatske promjene uvjetuju prilagodbe i nove načine rješavanja problema urbane odvodnje a koji imaju utjecaj i na ekosustave i na način života ljudi u gradovima. Jedan od načina prilagodbe su i rješenja temeljena na prirodi (NbS sustavi) posebno u dijelu urbane odvodnje. Tradicionalni načini odvodnje u gradskim sredinama pokazali su se kao nedovoljni, te izrazito skupi a nerijetko i neučinkoviti u pogledu otjecanja i zaštite od poplava ali i zaštite okoliša te urbanih ekosustava. U Republici Hrvatskoj već se niz godina primjenjuju rješenja temeljena na prirodi u urbanoj odvodnji, a u posljednje vrijeme ti se alati koriste i u drugim disciplinama posebno strategija zelenih urbanih obnova i urbanog planiranja kao neodvojivih dijelova, a zbog, u konačnici, sigurnijeg upravljanja vodom, hranom i energijom.

Ključne riječi: NbS sustavi, urbana odvodnja, plavo-zelene infrastruktura, klimatske promjene, upravljanje vodom, energija

NbS – Nature based Solutions as part of the blue-green urban drainage infrastructure

Abstract: We are witnessing a time when climate change necessitates adaptations and new approaches to solving urban drainage problems, which affect both ecosystems and the way people live in cities. One way to adapt is through nature-based solutions (NbS), especially in urban drainage. In urban areas, traditional drainage methods have proven insufficient, highly expensive, and often ineffective regarding runoff and flood control, as well as environmental and urban ecosystem preservation. In the Republic of Croatia, nature-based solutions have been implemented in urban drainage for a number of years, and recently these tools have also been used in other disciplines, especially green urban renewal strategies, and urban planning as inseparable parts, ultimately aiming for safer water, food, and energy management.

Key words: NbS, urban drainage, blue-green infrastructure, climate change, water management, energy

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

1. RJEŠENJA TEMELJENA NA PRIRODI – NbS SUSTAVI

Europska komisija definira NbS kao rješenja koja su „nadahnuti i podržana prirodom, koja su isplativa, istovremeno pružaju ekološke, društvene i ekonomske koristi i pomažu u izgradnji otpornosti. Takva rješenja donose i više raznovrsnijih značajki i procesa u gradove i krajolike, putem lokalno prilagođenih, resursno učinkovitih i sustavnih intervencija”, te pružanja niza usluga ekosustava.

Međunarodna unija za očuvanje prirode (IUCN) definira NbS kao „radnje za zaštitu, održivo upravljanje i obnavljanje prirodnih ili modificiranih ekosustava, koje rješavaju društvene izazove učinkovito i prilagodljivo, istovremeno osiguravajući dobrobit ljudi i koristi za bioraznolikost” [1].

1.1 NbS sustavi urbane odvodnje

NbS sustavi mogu se kategorizirati u tri tipa [2]. Prvi tip NbS sustava su minimalna ili nikakva intervencija u ekosustave, s ciljevima koji se odnose na održavanje ili poboljšanje pružanja usluga ekosustava unutar i izvan zaštićenih ekosustava. Drugi tip NbS sustava su ekstenzivni ili intenzivni pristupi upravljanju koji nastoje razviti održive, višenamjenske ekosustave i krajolike kako bi se poboljšala isporuka usluga ekosustava u odnosu na konvencionalne intervencije.

Treći tip NbS sustava odnosi se na:

1. ZELENI PROSTOR - višenamjenski otvoreni prostor karakteriziran prirodnom vegetacijom i propusnim površinama (urbani parkovi i vrtovi svih veličina, park baštine, botanički vrt, zajednički vrt, groblje, školska dvorišta i sportski tereni, livada, zelene trake, zeleni prometni kolosijek, „višenamjenski“ suhi bazeni za zadržavanje vode ili drenažni bazeni s vegetacijom), drveće i grmlje, šume (uključujući pošumljavanje), voćnjaci, vinogradi, živice/grmlje/zelene ograde, ulično drveće.

2. OČUVANJE TLA I UPRAVLJANJE KVALITETOM - revegetacija padina, pokrovni usjevi, vjetromrani, prakse konzervacijske obrade tla, permakultura, duboko ukorijenjene trajnice, obogaćivanje organske tvari (stajnjak, biokrutina, zelena gnojidba, kompost itd.), anorganski kondicioneri i dodaci tlu (biouglijen, vermikulit, itd.), uspostava ili obnova plavozelenog prostora, obalne tampon zone, mangrove (skupina drveća i grmlja koja živi u obalnoj međuplimnoj zoni), slana močvara/morska trava, međuplimna staništa, strukture dina.

3. ZELENO IZGRAĐENO OKRUŽJE - zeleni krov, zeleno-plavi krov, zeleni zid/fasada, zelena aleja, infiltracijske žardinjere i kutije za drveće, privremene i/ili manje intervencije uključujući zeleni namještaj, zelene dnevne sobe itd.

4. PRIRODNE ILI POLUPRIRODNE STRUKTURE ZA SKLADIŠTENJE I TRANSPORT VODE - površinska močvara, poplavna područja, ponovno spajanje poplavnih nizina s rijekama, obnova degradiranih vodnih tijela, obnova degradiranih vodenih putova, uključujući ponovno meandriranje potoka i dnevno osvjetljenje rijeke, retencijski bazen/mokri bazen za zadržavanje vode

5. INFILTRACIJSKE, FILTRACIJSKE I BIOFILTRACIJSKE STRUKTURE - infiltracijski bazen, vegetirana filtarska traka, kišni vrt, mokro/suho obrastao kanal s blago nagnutim stranama, s branama ili bez njih, podpovršinska močvara ili sustav filtracije, bioretencijski bazen/bioretencijska ćelija, lagune

Treći tip NbS sustava posebno se koristi u urbanoj odvodnji primjenom dostupnih alata matematičkog modeliranja, GIS tehnologije a sve povezano novom paradigmatom urbanog planiranja tzv. KBUD načinom (Knowledge based urban development) [3].

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje



Slika 1. Tip 3 NbS sustava – Kišni vrt, grad Pula (Starum) [4]



Slika 2. Tip 3 NbS sustava – Trg kralja Tomislava, grad Pula (Starum) [5]

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

1.2. Plavo – zelena infrastruktura

Plavo-zelena infrastruktura (PZI) predstavlja integrirani sustav prirodnih i polu-prirodnih elemenata koji povezuje vodne i vegetacijske komponente u cilju postizanja višestrukih ekoloških, hidrotehničkih i društvenih koristi. U kontekstu ubrzane urbanizacije i klimatskih promjena, tradicionalni pristupi upravljanju oborinskim vodama temeljeni na centraliziranim, tzv. “sivim” sustavima odvodnje, pokazuju ograničenja u pogledu kapaciteta, otpornosti i dugoročne održivosti.

Plavo-zelena infrastruktura uvodi paradigmu upravljanja vodom koja se temelji na principima zadržavanja, infiltracije, evapotranspiracije i prirodne filtracije, čime se postiže smanjenje hidrauličkog opterećenja sustava, poboljšanje kvalitete vode i povećanje otpornosti urbanih područja na ekstremne klimatske uvjete.

1. Koncept i sastavnice plavo-zelene infrastrukture

PZI se sastoji od međusobno povezanih elemenata koji djeluju kao funkcionalna mreža:

Plava komponenta uključuje površinske i podzemne vodne sustave: rijeke, potoke, retencijske i detencijske bazene, umjetne lagune, infiltracijske sustave i konstruirane močvare.

Zelena komponenta obuhvaća vegetacijske sustave: parkove, urbane šume, zelene koridore, zelene krovove i fasade, te vegetacijske elemente unutar sustava oborinske odvodnje (npr. kišni vrtovi).

Ključna značajka PZI-a je njihova prostorna i funkcionalna integracija, pri čemu se voda koristi kao resurs unutar krajobraza, a ne kao otpad koji se mora što brže ukloniti.

2. Hidrološka i hidraulička funkcija

Osnovna tehnička funkcija plavo-zelene infrastrukture je upravljanje oborinskim vodama kroz procese: retencije i detencije (privremeno zadržavanje vode), infiltracije u tlo (uz uvjet odgovarajuće vodljivosti i zaštite podzemnih voda), usporavanja otjecanja (smanjenje vršnih protoka), produženja vremena zadržavanja (tipično 24–72 sata, ovisno o sustavu).

Na taj način PZI doprinosi smanjenju rizika od urbanih poplava, rasterećenju kanalizacijskih sustava te stabilizaciji hidrološkog režima unutar slivnog područja.

3. Funkcija pročišćavanja i kvaliteta vode

Sustavi plavo-zelene infrastrukture djeluju kao prirodni biofiltri u kojima dolazi do uklanjanja različitih skupina zagađivala: suspendiranih tvari (TSS), teških metala (Zn, Cu, Pb), ugljikovodika i ulja, nutrijenata (N, P), patogena.

Procesi uklanjanja uključuju mehaničku filtraciju, sedimentaciju, adsorpciju na čestice tla te biološku razgradnju putem mikroorganizama u rizosferi biljaka. Posebno važnu ulogu imaju biljke s razvijenim aerenhimom, koje omogućuju dovod kisika u zasićeno tlo i time potiču aerobne procese razgradnje.

4. Klimatska i ekološka uloga

Plavo-zelena infrastruktura ima značajnu ulogu u prilagodbi klimatskim promjenama: smanjuje efekt urbanog toplinskog otoka putem evapotranspiracije i zasjenjenja, povećava kapacitet zadržavanja vode tijekom intenzivnih oborina, doprinosi očuvanju bioraznolikosti stvaranjem staništa za različite vrste, omogućuje sekvestraciju ugljika kroz vegetaciju i tlo.

Ovi sustavi time postaju ključni elementi prirodno utemeljenih rješenja (Nature-based Solutions) u urbanim sredinama.

5. Društveno-ekonomski aspekti

Uz tehničke i ekološke funkcije, PZI generira i značajne društvene i ekonomske koristi:

povećanje kvalitete javnih prostora i estetske vrijednosti okoliša,

pozitivan utjecaj na zdravlje i dobrobit stanovništva,

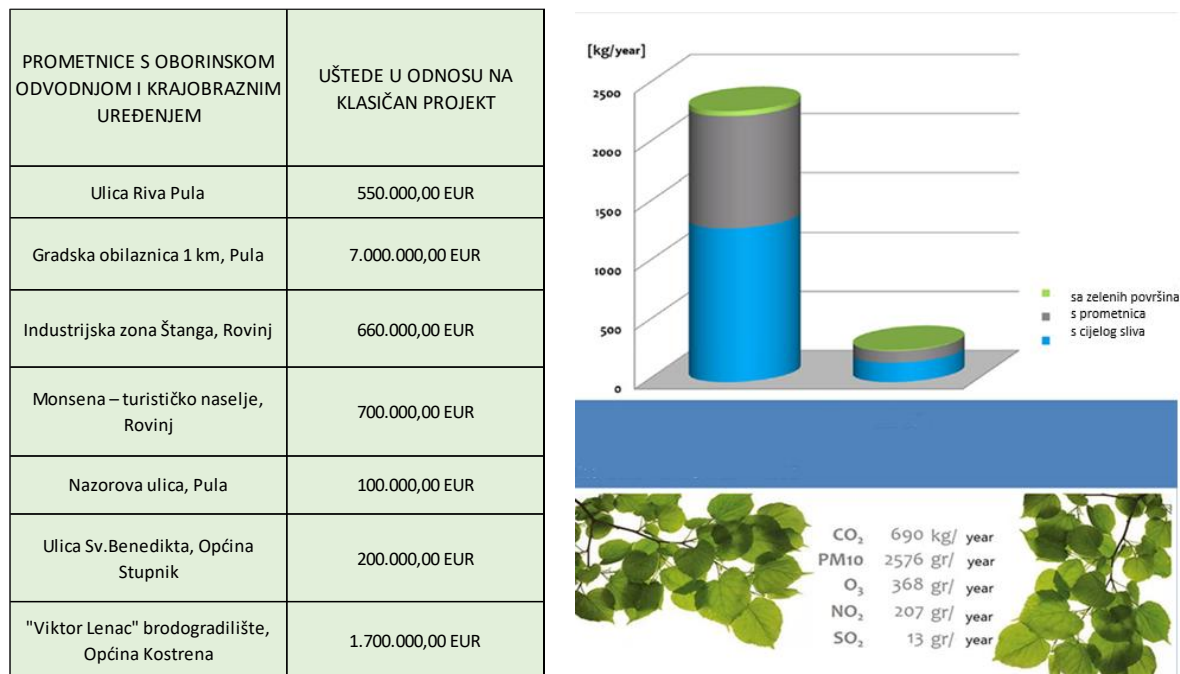
povećanje tržišne vrijednosti nekretnina,

smanjenje troškova izgradnje i održavanja u odnosu na konvencionalne sustave na dugoročnoj razini.

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

Analize troškova i koristi (CBA) pokazuju da, unatoč često višim početnim ulaganjima, plavo-zelena infrastruktura ostvaruje povoljniji omjer koristi i troškova tijekom životnog ciklusa.



Slika 3. Uštede plavo-zelene infrastrukture u odnosu na klasičan sustav te smanjenje tereta zagađenja Nazorove ulice u Puli (Starum) [6]

2. PRIMJERI UVOĐENJA NBS SUSTAVA ODVODNJE U GRADU PULI

Grad Pula je imala velikih problema s poplavama iz sljedećih razloga: topografija (na samom jugu Istarskog poluotoka), stari kanalizacijski kanali (mješovita sanitarna i oborinska voda), nagla urbanizacija i prostorni planovi koji nisu prepoznali promjene u otjecanju i dodatno skupa oborinska kanalizacija koja ne može pratiti brzu urbanizaciju, kratkotrajna jaka kiša (povezana s klimatskim promjenama), podzemlje (nepropusno glineno tlo)

Područje grada karakterizira zemlja crljenica (terra rossa) različite dubine od 0 do nekoliko desetina metara na vapnenačkoj stijenskoj podlozi. Što se tiče tipova tla na užem području grada Pule, možemo reći da su ona jako izmijenjena utjecajem čovjeka pa govorimo o antropogeniziranim tlima umjesto o određenom tipu tla.

U odnosu na reljef i topografske karakteristike grada kanalizacija grada Pule može se odrediti kao kanalizacija visoke i niske zone grada. U nižim dijelovima grada kanalizacija je položena plitko, malih nagiba i pod utjecajem je mora i podzemnih voda na mjestima gdje su evidentirani antropogeni i prirodni nasipni materijali, te zemlja crvenica. U višim dijelovima grada kanalizacija je dublje postavljena, kaskadna i većih nagiba. Kod viših dijelova grada kanalizacija ne funkcionira za vrijeme oborina i javlja se površinsko tečenje strmim ulicama grada a kanalizacija najnižih dijelova grada je pod utjecajem mora i podzemnih voda.

Uz to, površinske vode viših dijelova grada retencioniraju se u nižim, na glavnim gradskim trgovima. Problemi su veći jer se dio površinskih voda koji ne gravitira gradu (dolina Pragrande) na umjetan način uvode u najužu gradsku jezgru.

Uzelac, T.

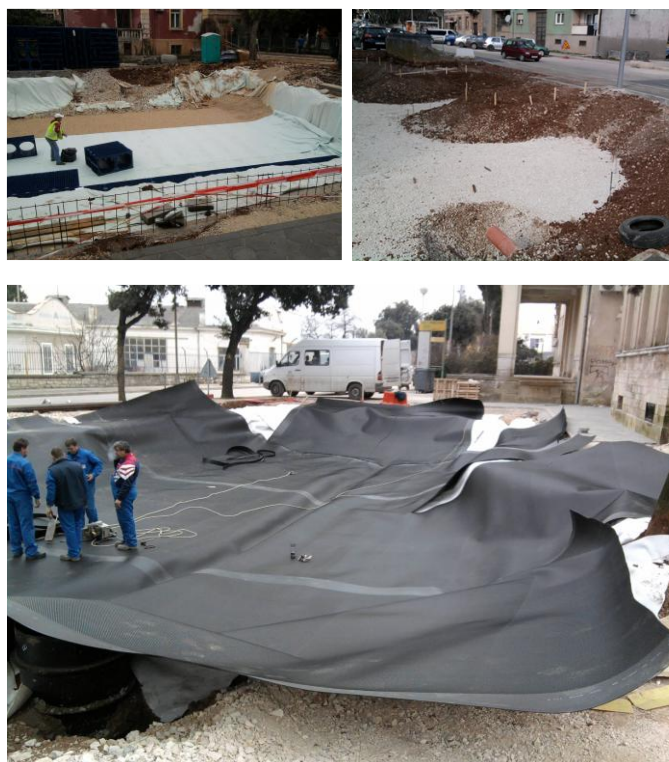
Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

Povećanjem izgrađenosti na strmijim dijelovima grada povećava se erozija i površinsko otjecanje te su i problemi odvodnje oborinskih i površinskih voda bili veći. Nakon pilot projekta uvođenja NbS sustava 2007. god., na Nazorovoj ulici izrađen je idejni koncept odvodnje cijelog grada te je kao takav unesen u GUP grada Pule.

2.1. Nazorova ulica

Nazorova ulica dio je centralnog gradskog sliva veličine cca 6 ha, u višim dijelovima izrazito strma a u nižim bez uzdužnog pada.

Primijenjeni NbS sustavi odvodnje sastoje se od tri kišna vrta - retencije, međusobno različita po nekoliko karakteristika, s ugrađenom geomembranom u najnižem dijelu a zbog sprječavanja prodiranja podzemnih voda u kišni vrt, središnji kišni vrt – retencija s drenažnim slojevima, te kišni vrt - retencija više zone gdje se oborinska cijev ulice uvodi u podzemne retencije a nakon retencioniranja vraća u sustav oborinske odvodnje.



Slika 4. Izgradnja kišnih vrtova – retencija Nazorove ulice [6]

Proračun je proveden racionalnom metodom za povratni period 100 godina, te trajanjem 24 sata. Potrebno je napomenuti da se projektni pljusak za cjevovode, preljeve i slivničke rešetke odnosi na maksimalni vršni protok, dok se retencije dimenzioniraju na volumen oborine stogodišnjeg povratnog perioda i trajanja 24 sata. Hidrološke podloge dobivene su za grad Pulu s Građevinskog fakulteta u Rijeci.

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje



Slika 5. Izgrađeni NbS sustavi Nazorove ulice (Starum) [6]

Prije rekonstrukcije teret zagađenja iznosio je 2309,02 kg godišnje, a nakon rekonstrukcije 270,34 kg godišnje. Procjena zagađenja izvršena je tzv. Jednostavnom metodom [7].

Jednostavna metoda (*Simple Method*) služi za brzo procjenjivanje godišnjeg opterećenja (izvoza) zagađivala s urbanih područja, a temelji se na stupnju nepropusnosti površine.

$$L = \frac{P \cdot P_j \cdot R_v}{100} \cdot C \cdot A \cdot 10 \quad (1)$$

L = Godišnje opterećenje zagađivalima (kg/god)

P = Prosječna godišnja oborina (mm) - za Hrvatsku obično 800–1000 mm

P_j = Korekcijski faktor (standardna vrijednost je 0,9) – uzima u obzir kiše koje su premale da bi proizvele otjecanje.

C = Srednja koncentracija zagađivala (mg/l) – npr. za fosfor u gradu uzima se 0,26 mg/l.

A = Površina cijelog sliva (ha)

100 i 10 = Faktori za pretvorbu mjernih jedinica

R_v = Koeficijent otjecanja

$$R_v = 0,05 + 0,009 \cdot I \quad (2)$$

I = Postotak nepropusnih površina nekog sliva

Za svako zagađivalo se onda radi procjena u odnosu na stanje prije i poslije izgradnje u ovisnosti o povećanju nepropusnih površina.

Jednostavna metoda je najprikladnija za procjenu i usporedbu relativnih promjena opterećenja onečišćujućim tvarima u oborinskim vodama različitih scenarija korištenja zemljišta i upravljanja oborinskim vodama te pruža procjene izvoza onečišćujućih tvari u oborinskim vodama koje su vjerojatno blizu "stvarnoj", ali nepoznatoj vrijednosti za lokaciju razvoja, sliv ili podsliv. Jednostavna metoda pruža opću procjenu planiranja vjerojatnog izvoza onečišćujućih tvari u oborinskim vodama s područja na razini lokacije razvoja, sliva ili podslivnog područja. Ona zanemaruje složene hidrološke procese (poput baznog toka) i fokusira se na zagađivala koja se ispiru s nepropusnih površina tijekom

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

oborina. Za analizu većih i složenijih slivova potrebno je sofisticiranije modeliranje. Nešto složenija metoda za proračun tereta zagađenja je "Split" metoda [8]. Da bi se ovom metodom izvršio proračun potrebno je poznavati više ulaznih podataka nego u "Jednostavnoj metodi". Potrebno je poznavati koeficijente za sušno i kišno razdoblje a da bi se dobile vrijednosti ovih koeficijenata (ulaznih veličina) potrebno je izvršiti terenska i laboratorijska ispitivanja u sušnom i kišovitom razdoblju pomoću odgovarajućih instrumenata.

Jednostavnu metodu možemo koristiti za predviđanje povećanja zagađenja nakon izgradnje objekta, za usporedbu različitih lokacija ili planerskih rješenja, te kao osnovu za dimenzioniranje sustava za pročišćavanje (NbS) te procjenu zagađenja prije i nakon implementacije NbS sustava.

Pored navedenih metoda često se koriste i matematički modeli kao što je npr. EPA SWMM model [9].

2.2. Gradska obilaznica i Šijanski sliv

Tijekom izgradnje gradske obilaznice a prema klasičnom sustavu odvodnje, nastao je problem s nemogućnošću smještaja potrebnog separatora ulja i masti u profil prometnice i ispustom u najbliži recipijent, pa je odlučeno da se pokuša s NbS sustavima. Oborinska odvodnja gradske obilaznice riješena je na način da se postojeći zeleni pojas između dva kolnika iskoristi kao bioretencija, te da se nakon završetka pljuska i zadržavanja od 24 sata, višak oborinske vode postepeno ispusti u postojeću mješovitu kanalizaciju. S time su ostvarene velike uštede (u otkupu zemljišta, zaštiti postojeće mješovite kanalizacije od naglih dotoka, a krajobrazno je uređeno više od 1 ha površine) i za manju cijenu od izgradnje klasičnog cijevnog sustava odvodnje.

Izgradnjom dionice autoceste „Istarskog ipsilona“ velike količine oborinske vode dolaze do samog gradskog središta klasičnim cijevnim sustavom, a postojeći gradski mješoviti sustav nije dimenzioniran ni izgrađen za te dodatne količine. Kako je izgradnja već bila u tijeku, moralo se pronaći hitno rješenje a da se ne poremeti postojeći režim odvodnje nizvodno. NbS sustavi pokazali su se opet kao jedino rješenje.

Već izgrađena prometnica i rotor, nisu se smjeli rekonstruirati pa su se prorezali ivičnjaci za prihvat oborinske vode do postojećih razdjelnih pojaseva koji su opet posložili kao bioretencije, a cijevni sustav s autoceste, doveden je do samog rotora veličine zelenog dijela od 1,5 ha, gdje su se formirale tri lagune. Lagune prihvaćaju oborinsku vodu s autoceste, i nakon 24 sata, iz njih se ispušta oborinska voda u gradsku mješovitu kanalizaciju. Bez obzira što je tijekom kišnih razdoblja tlo zasićeno i nije moguće ispuštati u podzemlje, kontroliranim ispuštanjem u postojeću mješovitu kanalizaciju, omogućeno je da se oborinska voda dodatno pročišćava na uređaju za pročišćavanje.

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje



Slika 6. Gradska obilaznica u izgradnji i nakon sadnje (Starum) [10]



Slika 7. Gradska obilaznica nakon sadnje (Starum) [10]

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje



Slika 8. Izgrađeni NbS sustavi Šijanskog sliva, cca 200 ha (Starum) [4]

Na ovim primjerima rađena je rekonstrukcija na postojećoj mreži i uvođenje NbS sustava na postojećoj gradskoj kanalizaciji, ali isto tako je jako važno u postupku planiranja voditi računa o uvođenju NbS sustava, te plavo – zelene infrastrukture.

3. PLAVO – ZELENA INFRASTRUKTURA OPĆINE VELIKA

Općina Velika nalazi se u Požeško – slavonskoj županiji, a Naselje Velika ima velike potencijale za uspostavu trajne mreže zelene infrastrukture. Veliki potencijali zelene infrastrukture nalaze se u povezivanju postojećih zelenih površina, a kao značajni potencijal razvoja zelene infrastrukture treba istaknuti izgradnju zelenih (pred)vrtova, krovova i fasada u zgradarstvu.

Da bi zelena infrastruktura u potpunosti bila efikasna, u urbanom prostoru potrebno je poduzimati i druge korake na putu prema zdravom okolišu i ljudima, a to su: smanjenje buke, unapređenje sustava (javnog) prometa, uspostava mreže biciklističkih staza te smanjenje i udaljavanje „prljavog“ prometa od neposrednog mjesta stanovanja i rada, proizvodnja zdrave hrane bez pesticida, proizvodnja „čiste“ energije iz obnovljivih izvora energije, recikliranje i ponovna upotreba materijala, proizvoda, zgrada i prostora, upotreba zdravih materijala, ekološko zbrinjavanje svih opasnih materijala. Također, primjena zelene infrastrukture prilikom urbane sanacije neplanske i nezakonite izgradnje, degradiranih i zanemarenih urbanih područja i javnih prostora, ima veliki potencijal za unaprjeđenje kvalitete tih prostora i okoliša, ali i kvalitete života cjelokupnog stanovništva. Integralni pristup urbanoj sanaciji, između ostalog, uz primjenu elemenata zelene infrastrukture obuhvaća i sveobuhvatnu energetske obnovu, uz poštivanje načela kružnog gospodarenja prostorom i zgradama.

Strategija zelene urbane obnove je strateška podloga od značaja za naselje Velika, a odnosi se na ostvarenje ciljeva razvoja zelene infrastrukture, integraciju NbS rješenja (rješenja temeljena na prirodnim sustavima), unaprjeđenje kružnog gospodarenja prostorom i zgradama, ostvarenje ciljeva energetske učinkovitosti, prilagodbe klimatskim promjenama i jačanja otpornosti na rizike.

U okviru koncepta privremenog korištenja, napušteni i nekorišteni prostori i zgrade mogu se aktivirati korištenjem elemenata zelene infrastrukture kao što su npr. javni otvoreni prostori (javni parkovi,

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

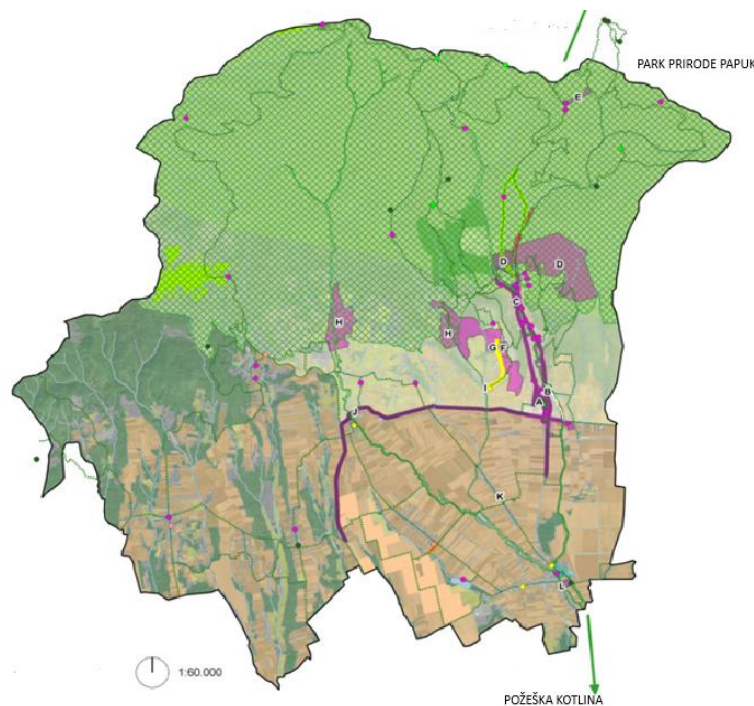
urbani vrtovi, dječja igrališta) i prostori za sport i rekreaciju (adrenalinski parkovi, tematski parkovi i sl.).

Razlog izrade Strategije zelene urbane obnove leži u kontekstu trenutnih europskih pa i svjetskih praksi, prijelaza na ugljično neutralno društvo s očuvanjem prirodnih resursa, ali i održivim razvojem, čineći grad ugodnijim i zdravijim za život, a na potpuno novim ekonomskim temeljima kružnog gospodarstva.

Strategija je izrađena na način da su prirodni i antropogeni utjecaji na nekom prostoru jednako vrijedni, te da očuvanje prirodnog okoliša nije kočnica razvoja nego poticaj održivom razvoju, te kao takav prirodni i već izgrađeni okoliš, osnova za daljnji održivi razvoj uz uvođenje kružnog gospodarstva kao načina života sadašnje i budućih generacija.

Plavo-zelena infrastruktura jača urbani ekosustav pomoću prirodnih procesa u ljudskom okruženju. Isto tako kruženje vode u prirodi dio je prirodnog hidrološkog procesa gdje voda ostaje na slivu. Kod sive infrastrukture (ceste, kanalizacija) načelo korišteno u klasičnoj izvedbi je „as soon as possibile“ što prije odvesti zagađenje van naselja, posebno putem mješovitih kanalizacijskih sustava, dok je kod plavo-zelene infrastrukture princip, što duže ostaviti vodu na slivu gdje je i nastala, primjenom načela „slow the flow“, a vodu vratiti u prirodni hidrološki ciklus, ponovo upotrijebiti te ona kao takva postaje i dijelom kružnog gospodarstva. To se odnosi i na sanitarne i na oborinske vode, te upotrijebljene vode na uređajima za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda.

Posljednjih godina razmišljanje o zelenoj infrastrukturi prešlo je iz ekologije u ekonomiju. Resursi poput ruralnih krajeva, obale, močvarnih područja, parkova, uličnih stabala i njihovih ekosustava smatraju se kritičnim za održivi gospodarski rast i društvene ciljeve, a ne samo kao način podrške okolišu. Brojne su prednosti zelene infrastrukture, a brojni su i načini na koji može poduprijeti uspjeh drugih gospodarskih sektora, pritom nudeći poboljšano okruženje, radna mjesta, održiva poslovna poduzeća, socijalna davanja, ekonomsku sigurnost i uštedu troškova. Ove uštede uključuju smanjenu potrebu za zdravstvom, bolju produktivnost zaposlenika i bolju prilagodbu na klimatske promjene, te ekonomska vrijednost okoliša, ne direktnu monetizacija.



Slika 9. Plavo- zelena infrastruktura Općine Velika (Starum) [11]

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

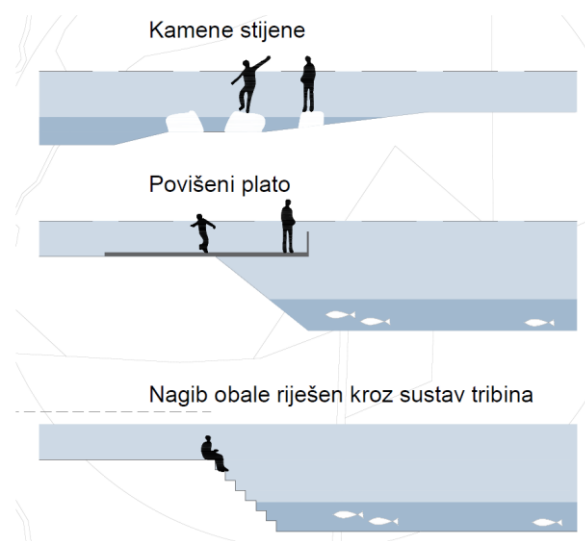
3.1. Revitalizacija potoka Veličanka

Potok Veličanka teče kroz naselje a otpadne nepročišćene vode ulijevaju se u sam vodotok. Revitalizacijom potoka dat će se novi poticaj razvoju naselja, turizma i suživota ljudi i prirode na istom području. Samo ime Velika, nastalo od toponima Veličanka, ukazuje na drevnu povezanost vode i ljudi na ovom prostoru, te će predstavljat novi početak razvoja naselja Velika.

Kod revitalizacije potoka Veličanka predviđeno je uvođenje NbS sustava kao mjera kojom će se ta revitalizacija i izvršiti [4].



Slika 10. Revitalizacija potoka Veličanka (Loodus Punkt, Starum) [12]



Slika 11. Revitalizacija potoka Veličanka (Loodus Punkt, Starum) [12]

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

3.2. MAR (Managed Aquifer Recharge) sustavi kao dio NbS rješenja na primjeru grada Vodnjana

Područje Vodnjan karakterizira tipično krško okruženje s izraženom sezonalnošću vodnih resursa, gdje se razdoblja obilnih oborina izmjenjuju s dugotrajnim sušnim periodima. Takav hidrološki režim rezultira značajnim gubicima oborinskih voda kroz brzo otjecanje i infiltraciju bez mogućnosti njihove učinkovite pohrane za kasniju uporabu. Istovremeno, povećani pritisci klimatskih promjena, uključujući porast temperatura i smanjenje raspoloživih količina vode tijekom vegetacijskog razdoblja, dodatno naglašavaju potrebu za održivim upravljanjem vodnim resursima.

U tom kontekstu, koncept upravljanog obnavljanja podzemnih voda (Managed Aquifer Recharge – MAR) predstavlja jedno od ključnih rješenja za povećanje dostupnosti vode i stabilizaciju hidrološkog sustava. MAR sustavi omogućuju kontrolirano unošenje vode u podzemlje, čime se nadopunjuju vodonosnici, smanjuju sezonske oscilacije razine podzemne vode te osigurava dugoročna otpornost na sušne uvjete.

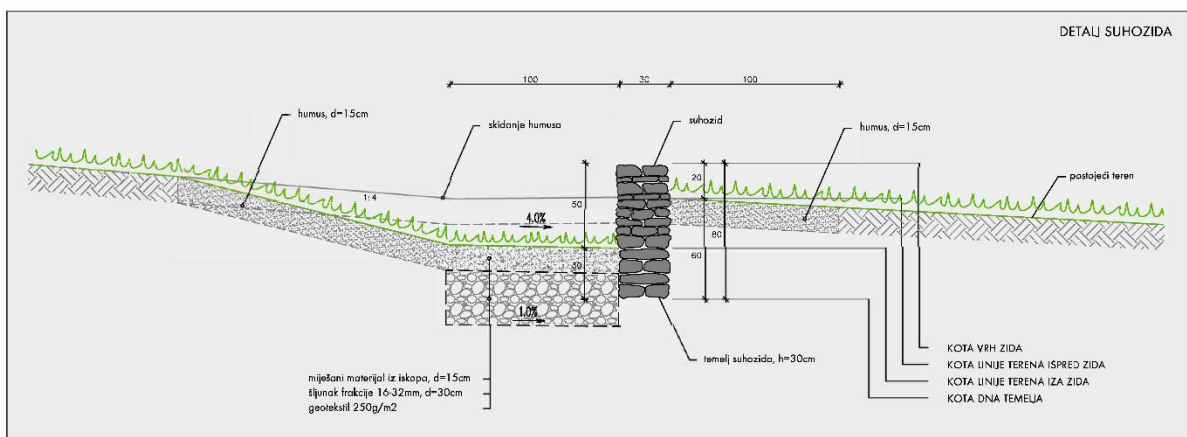
Za razliku od prirodne infiltracije, koja je u krškim sustavima često brza i nekontrolirana, MAR pristup uključuje tehnički vođene procese koji kombiniraju retenciju, filtraciju i postupno propuštanje vode u tlo. Time se postiže dvostruki učinak: povećava se količina dostupne podzemne vode, ali se istovremeno poboljšava i njezina kvaliteta kroz prirodne procese pročišćavanja u tlu i zoni nezasićenja.

Područje Vodnjana posebno je pogodno za primjenu MAR sustava zbog kombinacije geoloških, klimatskih i prostornih uvjeta. Propusni karbonatni slojevi omogućuju infiltraciju, dok dostupne površine za retenciju i infiltracijske građevine otvaraju mogućnost implementacije različitih tipologija sustava, uključujući infiltracijske bazene, kišne vrtove, suhe retencije i podzemne infiltracijske strukture. Ujedno, integracija MAR sustava s Nature-Based Solutions pristupom omogućuje dodatne koristi, poput poboljšanja mikroklima, povećanja bioraznolikosti i smanjenja ukupnog ugljičnog otiska sustava upravljanja vodama.

3.2.1. Primijenjeni NbS sustavi u sklopu MAR-a

U sklopu Interreg projekta Blue – recharge [5] predviđena je za urbane slivove izgradnja laguna s produženom retencijom, podzemnih infiltracijskih retencija i kišnih vrtova.

Zadržavanje površinskih voda na poljoprivrednim površinama predviđeno je revitalizacijom lokvi, obnovom suhozida te izgradnjom konturnih nasipa, primjenom šumskih melioracija.



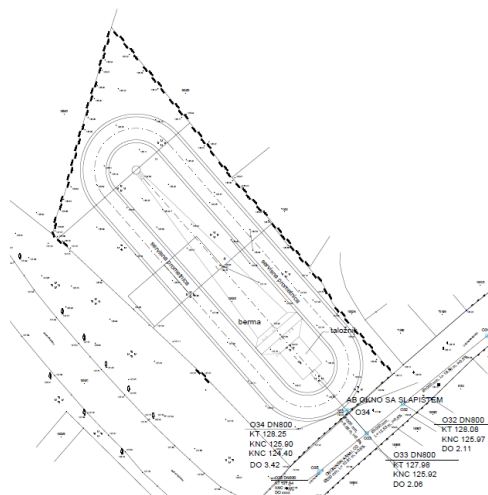
Slika 12. Obnova suhozida u svrhi zadržavanja površinskih oborinskih voda (Starum) [13]

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje



Slika 13. Trg slobode. NbS rješenja u funkciji MAR-a (Starum) [13]



Slika 14. Laguna s produženom retencijom u funkciji MAR-a (Starum) [13]

Područje Vodnjan pripada krškom hidrogeološkom sustavu, karakteriziranom visokom propusnošću, pukotinskom i kavernožnom strukturom te izrazito heterogenim infiltracijskim ponašanjem. U takvim uvjetima prirodna infiltracija oborinskih voda često je brza i nekontrolirana, pri čemu voda prolazi kroz tlo bez značajnog zadržavanja i pročišćavanja. Upravljanje obnavljanje podzemnih voda (MAR) u kršu zahtijeva

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

prilagođen pristup u odnosu na nekrška područja. Ključni cilj nije samo infiltracija, već kontrolirano usporavanje toka vode, povećanje vremena zadržavanja i poboljšanje kvalitete prije ulaska u vodonosnik. Zbog toga se MAR sustavi u Vodnjanu ne promatraju kao pojedinačne građevine, već kao hibridni sustav površinskih i podzemnih elemenata, koji uključuje retenciju, filtraciju i infiltraciju u više faza.

Tipologija sustava ovisi o:

- geološkoj strukturi (plitki/duboki krš)
- dubini podzemne vode
- dostupnosti prostora
- kvaliteti ulazne vode
- namjeni (navodnjavanje, zaštita vodonosnika, krajobraz)

U tom kontekstu, optimalan pristup za Vodnjan uključuje kombinaciju više tipova MAR sustava, koji zajedno čine funkcionalnu mrežu a ujedno se postiže i pročišćavanje oborinskih voda „u vlaku“ gdje više sustava u nizu ima funkciju postepenog pročišćavanja prije ispuštanja u podzemlje.



Slika 15. Park San Antonio u funkciji MAR-a (Starum) [13]

4. ZAKLJUČAK

Klimatske promjene, ubrzana urbanizacija i sve veći pritisci na vodne resurse zahtijevaju temeljitu transformaciju pristupa upravljanju urbanim vodama. Klasični, centralizirani sustavi odvodnje pokazali su ograničenja u pogledu kapaciteta, otpornosti i dugoročne održivosti, što otvara prostor za primjenu rješenja temeljenih na prirodi (NbS) kao ključnog alata suvremenog urbanog razvoja.

Uzelac, T.

Rješenja temeljena na prirodi – Nature based Solutions kao dio plavo-zelene infrastrukture urbane odvodnje

Primjeri iz prakse, osobito na području grada Pule, jasno pokazuju da NbS sustavi mogu učinkovito smanjiti hidrauličko opterećenje sustava, poboljšati kvalitetu vode te značajno reducirati teret zagađenja. Uz to, njihova primjena omogućuje integraciju tehničkih, ekoloških i krajobraznih funkcija u jedinstveni sustav koji doprinosi otpornosti urbanih sredina.

Plavo-zelena infrastruktura predstavlja evoluciju koncepta upravljanja vodom – od pristupa „što brže odvesti vodu“ prema principu „zadržati, usporiti i ponovno koristiti vodu u prostoru gdje nastaje“. Time voda postaje resurs, a ne problem, čime se dodatno jača povezanost urbanih sustava s prirodnim hidrološkim ciklusom.

Integracija NbS sustava u strateško planiranje, kao što je prikazano na primjerima Općine Velika i MAR sustava u Vodnjanu, potvrđuje da ova rješenja imaju širi značaj od same odvodnje – uključuju upravljanje vodnim resursima, prilagodbu klimatskim promjenama, povećanje bioraznolikosti te razvoj kružnog gospodarstva.

Zaključno, rješenja temeljena na prirodi i plavo-zelena infrastruktura nisu samo alternativni pristup, već nužan smjer razvoja urbanih sustava. Njihova uspješna implementacija zahtijeva interdisciplinarni pristup, integraciju u prostorno planiranje i promjenu paradigme u kojoj prirodni procesi postaju temelj tehničkih rješenja. U tom kontekstu, NbS sustavi predstavljaju ključan alat za izgradnju otpornijih, održivijih i kvalitetnijih urbanih prostora za buduće generacije.

LITERATURA

1. IUCN <https://inbs.iucn.org/>
2. Eggermont, H. et al.: Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe, GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society 24(4): str.243 – 248, 2015.
3. Yigitcanlar, T. et al.: Editorial: Knowledge based development of cities: a myth or reality? International Journal of Knowledge-Based Development (IJKBD), 1(3), str. 153-157., 2010.
4. Starum d.o.o. Pula: Šijanski sliv – oborinska odvodnja, Pula, 2015-2017.
5. Starum d.o.o. Pula: Trg kralja Tomislava u Puli, 2015 – 2017.
6. Starum d.o.o. Pula: Rekonstrukcija Nazorove ulice u Puli, 2009.
7. Schueler, T.R.: Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs, Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, str. 1.13 – 1.22, 1987.
8. Margeta, J.: Kanalizacija naselja, odvodnja i zbrinjavanje otpadnih voda, Sveučilište u Splitu, Građevinski-arhitektonski fakultet, Split, 2009.
9. Rossman, L. A. & Dickinson, R. E.: Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Research and Development. EPA/600/R-14/413. Washington, D.C., 2015
10. Starum d.o.o. Pula: Rekonstrukcija gradske obilaznice u Puli, 2017.
11. Starum d.o.o. Pula: Strategija zelene urbane obnove općine Velika, 2024.
12. Starum d.o.o. Pula, Loodus Punkt d.o.o. Pula: Masterplan uređenja naselja Velika, 2023.
13. Starum d.o.o. Pula: Interreg Italy – Croatia, Blue Recharge, Grad Vodnjan, 2026.