



**City Water Circles**  
transnacionalni online priručnik o  
kružnom upravljanju i korištenju urbanih  
voda



# Sadržaj

## Tematski katalog 1

Pametni alati za procjenu i mapiranje  
potencijala korištenja urbanih voda

3

## Tematski katalog 2

Inovativna tehnička rješenja te rješenja  
temeljena na prirodi za kružno korištenje voda

42

## Tematski katalog 4

Novi digitalni alati koji promiču učinkovitu  
potrošnju vode među građanima/potrošačima

151



Tematski katalog 1

# Pametni alati za ocjenu mapiranja potencijala korištenja urbanih voda



# Sadržaj

<b>1. UVOD</b>	<b>5</b>
<b>2. KRITERIJI OCJENJIVANJA, POKAZATELJI USPJEŠNOSTI I METODOLOGIJE</b>	<b>6</b>
2.1. KRITERIJI ZA OCJENJIVANJE	6
2.2. POKAZATELJI USPJEŠNOSTI ( <i>eng. Performance indicators - PI-ovi</i> )	7
2.3. OSNOVNE METODOLOGIJE KOJE SE KORISTE ZA OCJENU PONOVRNOG KORIŠTENJA VODA	8
2.3.1. Analiza životnog ciklusa ( <i>eng. Life Cycle Analysis - LCA</i> )	8
2.3.2. Analiza toka materijala ( <i>eng. Material Flow Analysis - MFA</i> )	8
2.3.3. Ocjena rizika za okoliš ( <i>eng. Environmental Risk Assessment - ERA</i> )	9
2.3.4. Analiza ekološkog otiska	9
2.3.5. Ocjena rizika za zdravlje	10
2.3.6. Višekriterijalna analiza ( <i>eng. Multicriteria analysis - MCA</i> )	10
<b>3. POSTUPAK ODLUČIVANJA I OCJENE ULAGANJA U GOSPODARENJE URBANIM VODAMA</b>	<b>11</b>
31. DIDAKTIČKI PRIMJER 1: Korištenje kišnice i pročišćenih otpadnih voda za proizvodnju recikliranog građevinskog materijala	12
32. ALTERNATIVA 0: Zadržavanje postojećeg stanja bez korištenja reciklirane vode u proizvodnom procesu	14
33. ALTERNATIVA 1: Korištenje reciklirane vode za proizvodnju građevinskih proizvoda	15
3.3.1. Oprema i ugradnja	20
3.3.2. Procjena troškova	23
3.3.3. Procjena koristi	24
3.3.4. Procjena troškova i koristi	26
34. VIŠEKRITERIJALNA ANALIZA ALTERNATIVA 0 i 1	27
3.4.1. Postavljanje MCA kriterija ulagačkih alternativa 0 i 1	28
3.4.2. Gospodarska usporedba alternativa 0 i 1	29
3.4.3. Ekološka usporedba alternativa 0 i 1	29
3.4.4. Opis koristi koje se ne mogu procijeniti novcem	30
35. USPOREDBA I PONDERI ZA ODABIR OPTIMALNE ALTERNATIVE	30
<b>4. PRIMJERI DOBRE PRAKSE RAZVIJENIH I ISPITANIH ALATA ZA OCJENJIVANJE UNUTAR OKVIRA EU INICIJATIVA</b>	<b>33</b>
4.1. iWater TOOL - INTEGRIRANI ALAT ZA UPRAVLJANJE OBORINSKIM VODAMA	33
4.2. AQUAENVEC TOOL - PROCJENE ZAŠTITE OKOLIŠA I GOSPODARSKE PROCJENE	38





# 1. Uvod

Gradovi Srednje Europe koji dobro funkcioniraju trebali bi se razvijati održivo, što znači da se njihova potrošnja prirodnih resursa treba uklopiti u kapacitete lokalnih, regionalnih i globalnih ekosustava. Slijedom ovog cilja, predlaže se da donositelji odluka u gradovima uzmu u obzir kritične utjecajne čimbenike koji se odnose na ulazni tok/ulazne tokove prirodnih resursa (npr. hrana, voda i energija) i učinkovito upravljaju njima.

Sukladno navedenom, projekt „City Water Circles“ nastoji uvesti i promovirati mjere učinkovitog iskorištavanja vode te ponovnu upotrebu kišnice i sivih voda za javne potrebe i potrebe kućanstava u urbanim područjima Srednje Europe.

Nastojanja projekta usmjerena su na:

- jačanje kapaciteta za stvaranje okvira mjera za kružno korištenje vode s više dionika u gradovima,
- poticanje prilagodbe inovativnih mjera testiranjem novih alata,
- osiguravanje šireg prihvaćanja politika mjera kružnog korištenja vode na lokalnoj, regionalnoj i nacionalnoj razini.

U dokumentu „Tematski katalog 1: Pametni alati za procjenu i mapiranje potencijala korištenja urbanih voda“ predstavljamo alate za procjenu koji mogu pomoći donositeljima odluka u njihovom planiranju budućih ulaganja u urbano kružno gospodarenje vodom.

Opći cilj alata za procjenu ponovnog korištenja urbanih voda je uspostaviti mehanizme i mjere koje se mogu primijeniti na postupak evaluacije i osigurati koherentan pristup za integriranu procjenu. To uključuje identifikaciju svih bitnih tehničkih, ekoloških, gospodarskih i društvenih uvjeta procjene koji karakteriziraju procese ponovnog korištenja vode.

Postoji mnogo skupova multidisciplinarnih procjena i metodologija analize, ali njihovo korištenje u postupku donošenja odluka prilično je zahtjevna. Zahtijeva jasnu viziju i ciljeve budućih politika, puno kapaciteta znanja i iskustva vezanih uz provedbu javnih ulaganja, dobru podatkovnu pozadinu, timski rad i puno vremena za pripremu.

U Katalogu 1 nismo u mogućnosti detaljno prikazati korištenje dostupnih metodologija i alata za ocjenjivanje budući da je korištenje metodologija i alata prilično složeno i svako bi zahtijevalo poseban katalog smjernica, stoga je katalog područja primjene usmjeren na:

**Poglavlje 2:** identificiranje mogućih kriterija ocjenjivanja i pokazatelja uspješnosti te osnovnih opisa metodologija i njihove svrhe.

**Poglavlje 3:** prikaz postupka donošenja odluka i procjene ulaganja u gospodarenje urbanim vodama pristupom višekriterijalne analize u DIDAKTIČKOM PRIMJERU 1: „Korištenje kišnice i pročišćenih otpadnih voda za proizvodnju recikliranog građevinskog materijala”.

**Poglavlje 4:** predstavljanje dvaju primjera dobre prakse razvijenih i testiranih alata za ocjenjivanje unutar okvira EU inicijativa.

**Prilog:** naučene lekcije i zaključci iz ulaganja u pilot projekt „City Water Circles”.



## 2. Kriteriji ocjenjivanja, pokazatelji uspješnosti i metodologije

Metodološki postupak ocjenjivanja ulaganja u mjere kružnog korištenja vode trebao bi uključivati sveobuhvatan pristup, uzimajući u obzir sljedeće mjere:

- ocjena uspješnosti tehnologija ponovnog korištenja pomoću unaprijed određenog skupa kriterija ocjenjivanja i pokazatelja uspješnosti,
- odabir relevantnih kriterija održivosti koji su međusobno povezani sa uspješnošću tehnologije uključujući utjecaje, koristi i rizike,
- pružanje objektivnog rangiranja i referentnog mjerila usmjerenog na najbolju praksu,
- generiranje visokokvalitetnih podataka o izvedbi koji se mogu koristiti kao mehanizam pomoću kojeg se može mjeriti, provjeravati ili uspoređivati uspješnost.

Neka pitanja na koja bi trebalo odgovoriti u ovom kontekstu:

- S kojim će se problemima susresti grad u budućnosti ako se ne promijeni način postupanja s vodom?
- Smanjuje li ili povećava planirani projekt ponovnog korištenja vode utjecaj na okoliš?
- Koji su troškovi i koje koristi relevantni za imovinu u užem pogledu i za općinu u općem pogledu?
- Kakva je uspješnost alternativnih rješenja za ponovnu upotrebu vode u usporedbi s postojećim (konvencionalnim) rješenjima?
- Koje pozitivne ili negativne društvene/gospodarske učinke stvara uporaba vode?
- Kako donijeti odluke vezano za odabir, projektiranje, provedbu i rad sheme ponovnog korištenja vode?
- Kako ocijeniti i usporediti uspješnost različitih shema ponovnog korištenja vode?
- Koji su parametri za jedinstveni postupak ocjenjivanja?
- Koja su znanja potrebna za poboljšanje postupka donošenja odluka?

### 2.1. Kriteriji ocjenjivanja

U postupku identifikacije različitih kriterija ocjenjivanja i odabira pokazatelja, ulagač treba izvršiti usporedno ocjenjivanje, uspoređujući postojeću upravljačku situaciju s predloženim novim rješenjem. Cilj novog rješenja/ulaganja je poboljšanje postojećeg upravljanja vodama.

Neki primjeri mogućih tehničkih, ekoloških, gospodarskih i društvenih kriterija koji se mogu koristiti u tu svrhu.

#### 1. Tehnička ocjena:

- Kakvoća reciklirane vode (standardi kakvoće)
- Rad i održavanje (troškovi)
- Uspješnost tehnologije
- Primjenjivost
- Tehnološki rizici itd.



Tehnologija je središnje obilježje obrade, a tehnička procjena ocjena je njezine uspješnosti i utvrđuje postiže li postupak obrade željene standarde.

### 2. Ocjena učinka na okoliš:

- Očuvanje vodnih resursa
- Smanjenje onečišćenja prihvatne vode
- Koristi za okoliš
- Utjecaji na okoliš
- Ugljični otisak
- Ekološki rizici itd.

### 3. Gospodarska ocjena:

- Kapitalni izdaci
- Operativni rashodi
- Razdoblje povrata (PBP)
- Gospodarska učinkovitost
- Financijska održivost
- Gospodarski pokretači
- Troškovne koristi itd.

### 4. Društveni učinci (koristi & rizici): npr.

- Javna percepcija i prihvaćanje
- Sudjelovanje i angažman javnosti s dionicima
- Zapošljavanje/stvaranje prihoda
- Socijalna uključenost i jednakost
- Financijske prilike
- Rizici po zdravlje (javna sigurnost i zdravlje)
- Državna potpora itd.

## 2.2. Pokazatelji uspješnosti (PI-ovi)

Pokazatelji uspješnosti jedan su od mnogih alata koji pomažu kvantificirati rezultate i ishode unutar postupka ocjenjivanja. Pokazatelji uspješnosti definirani su kao skup kvantitativnih pokazatelja kao što su parametri, stope, ograničenja, čimbenici itd. i mogu pokrivati sljedeća područja:

- Kvaliteta ulaznih otpadnih voda koja može utjecati na postupke u cjelini
- Predstupanj i prvi stupanj pročišćavanja
- Drugi stupanj pročišćavanja (biološko pročišćavanje)
- Napredna/ treći stupanj pročišćavanja (primjerice MF, MBR)
- Postupak dezinfekcije
- Kakvoća otpadnih voda
- Kakvoća reciklirane vode
- emisije CO<sub>2</sub> itd.



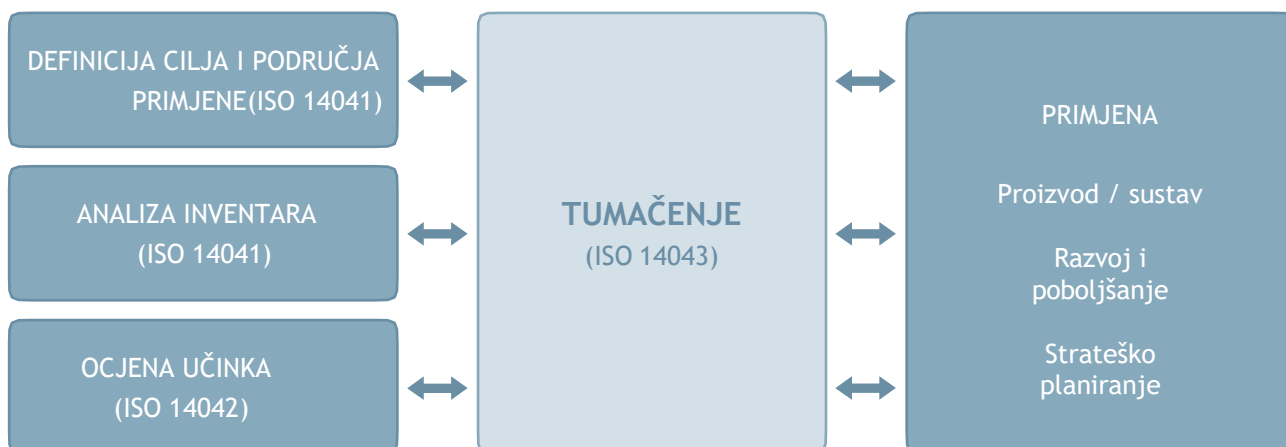
## 2.3. Osnovne metodologije koje se koriste za ocjenu ponovnog korištenja voda

U nastavku predstavljamo osnovne metodologije koje se mogu koristiti za ocjenu ulaganja u ponovnu upotrebu vode. Kao što je već spomenuto u UVODU, praktična upotreba metodologija prilično je složena, stoga u ovom potpoglavlju predstavljamo samo njihova glavna načela i svrhu.

### 2.3.1. Analiza životnog ciklusa (LCA)<sup>1</sup>

Definicija (G. ItskosN., Nikolopoulos D., S.Kourkoumpas A., KoutsianosI.,Violidakis P., Drosatos P., Grammelis, 2016., stranice 363-452): „LCA se može definirati kao metoda koja proučava ekološke aspekte i potencijalne utjecaje proizvoda ili sustava od ekstrakcije sirovina kroz proizvodnju, korištenje i odlaganje. Opće kategorije utjecaja na okoliš koje treba uzeti u obzir uključuju korištenje resursa, ljudsko zdravlje i ekološke posljedice. Kako bi se omogućila dosljedna usporedba između različitih scenarija, potrebno je definirati zajedničku referencu kako bi se izrazili rezultati za isti rezultat: ova zajednička referenca naziva se funkcionalna jedinica. Početnu tipičnu metodologiju predložio je SETAC<sup>2</sup>. U razdoblju 1997. - 2000., ISO norme uvele su faze LCA metodologije. ISO norme koje su sada na snazi navedene su u direktivi ISO 14044:2006.”

Stadiji analize životnog ciklusa:



### 2.3.2. Analiza toka materijala (MFA)<sup>3</sup>

Analiza toka materijala (MFA) odnosi se na praćenje i analizu fizičkih tokova materijala u, kroz i iz danog sustava (obično gospodarstvo). Općenito se temelji na metodički organiziranim kalkulacijama izraženim u fizičkim jedinicama. Koristi princip bilanciranja mase za analizu odnosa između materijalnih tokova (uključujući energiju), ljudskih aktivnosti (uključujući gospodarski i trgovinski razvoj) i promjena u okolišu. Tokovi materijala mogu se analizirati na različitim skalama i koristeći

1 Environment and Development: Basic Principles, Human Activities, and Environmental Implications (*Okoliš i razvoj: osnovna načela, ljudske aktivnosti i implikacije na okoliš*), G.ItskosN.Nikol-opoulosD. S.Kourkoumpas, A.KoutsianosI.ViolidakisP.DrosatosP.Grammelis. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-analysis>, 18.2.2021

2 Društvo za toksikologiju i kemiju okoliša (SETAC) (<https://www.setac.org/>).

3 MEASURING MATERIAL FLOWS AND RESOURCE PRODUCTIVITY (*MJERENJE PROTOKA MATERIJALA I PRODUKTIVNOSTI RESURSA*). Svezak I. OECD Vodič, 2008.





## Tematski kataloq 1

<https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/MFA-Guide.pdf> (18.2.2021)



različite instrumente ovisno o problematici i predmetima istraživanja. Izraz MFA stoga označava skup alata koji obuhvaća niz analitičkih pristupa i alata za mjerenje, uključujući račune i pokazatelje.

Načela MF studija i statističkih pristupa kalkulaciji tokova materijala i bilancama materijala datiraju u 1970-ih. Od sredine 1990-ih, povećava se interes za MF studije: prvo kao područje istraživanja koje promiču akademici (istraživački instituti, sveučilišta), nevladine organizacije za zaštitu okoliša, a sve više i statistički uredi; drugo kao politički i informacijski alati za potporu integriranom donošenju odluka u područjima prirodnih resursa, onečišćenja, upravljanja otpadom i materijalima (na poslovnoj i vladinoj razini) i za doprinos raspravama o pitanjima održivosti. Razne države također su sve više zainteresirane za korištenje studija toka materijala za bolju podršku politikama i odlukama koje se tiču gospodarskog rasta, međunarodne trgovine i globalizacije, razvoja tehnologije i inovacija.

### 2.3.3. Ocjena rizika za okoliš (ERA)<sup>4</sup>

ERA se može definirati kao postupak pripisivanja značajnosti i vjerojatnosti štetnim učincima ljudskih aktivnosti. Postupak uključuje identifikaciju opasnosti (npr. ispuštanje otrovnih kemikalija u okoliš) kvantificiranjem odnosa između aktivnosti povezane s emisijom u okoliš i njezinih utjecaja. U tom kontekstu razmatra se cjelokupna ekološka hijerarhija, što podrazumijeva potrebu razmatranja utjecaja na staničnoj razini, razini organizma, populacijskoj razini, razini ekosustava i utjecaja na cjelokupnu ekosferu.

Primjena ocjene rizika za okoliš temelji se na prepoznavanju da:

- Trošak otklanjanja svih utjecaja na okoliš je nemoguće visok,
- Odluka u praktičnom upravljanju okolišem uvijek se mora donijeti na temelju nepotpunih informacija.

ERA je proces koji dopunjuje ocjenu utjecaja na okoliš (EIA), pri čemu se potonja koristi za ocjenu utjecaja ljudske aktivnosti. EIA je prediktivna, usporedna i bavi se svim mogućim utjecajima na okoliš, uključujući sekundarne i tercijarne (neizravne) učinke, dok ERA pokušava ocijeniti vjerojatnost danog (definiranog) štetnog učinka koji proizlazi iz razmatrane ljudske aktivnosti.

### 2.3.4. Analiza ekološkog otiska<sup>5</sup>

Ekološki otisak metoda je koju promovira organizacija Global Footprint Network za mjerenje ljudske potrebe za prirodnim kapitalom, tj. količine prirode koja je potrebna za održavanje ljudi ili gospodarstva. Prati ovu potrebu kroz ekološki računovodstveni sustav. Računi suprotstavljaju biološki produktivno područje koje ljudi koriste za svoju potrošnju s biološki produktivnim područjem dostupnim u regiji ili svijetu (biološki kapacitet, produktivno područje koje može regenerirati ono što je ljudima potrebno od prirode). Ukratko, to je mjera utjecaja čovjeka na okoliš.

<sup>4</sup> Developments in Water Science. Part of volume: Lake and Reservoir Management (*Razvoj znanosti o vodama. Dio sveska: Upravljanje jezerom i akumulacijom*). Urednici S.E. Jørgensen, H. Löffler, W. Rast, M. Straškraba. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/environmental-risk-assessment>

<sup>5</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological\\_footprint](https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_footprint)



Analiza ekološkog otiska naširoko se koristi diljem svijeta kao potpora procjenama održivosti. Omogućuje ljudima da mjere i upravljaju korištenjem resursa u cijelom gospodarstvu te da istraže održivost pojedinih stilova života, dobara i usluga, organizacija, industrijskih sektora, susjedstava, gradova, regija i nacija.

### 2.3.5. Ocjena rizika za zdravlje<sup>6</sup>

Ocjena rizika za ljudsko zdravlje (HRA) postupak je namijenjen ocjenjivanju rizika za populaciju od izloženosti potencijalno opasnoj tvari. Postupak uzima u obzir vrstu i sastav tvari, njezin potencijal uzrokovanja štete, način na koji ljudi mogu biti izloženi (kao što je izravna izloženost, udisanje zraka ili konzumacija hrane i vode), koliko dugo su ljudi izloženi i koliko dugo mogu biti izloženi. Kvaliteta ocjene zdravstvenog rizika ovisi o točnosti dostupnih informacija o svim tim pitanjima.

Proces treba uzeti u obzir sve tvari kojima su ljudi izloženi i način njihova djelovanja. Kvalitetna HRA također će jasno identificirati sve nesigurnosti, pretpostavke i ograničenja koja se razmatraju tijekom procesa ocjene. Visoka nesigurnost povezana je s opreznijim upravljanjem rizikom.

### 2.3.6. Višekriterijalna analiza (MCA)<sup>7</sup>

MCA uključuje strukturirani pristup koji se koristi za određivanje ukupnih preferencija među alternativnim opcijama, pri čemu opcije postižu nekoliko ciljeva. U MCA se specificiraju poželjni ciljevi i identificiraju odgovarajući atributi ili pokazatelji. Stvarno mjerenje pokazatelja ne mora biti u monetarnom smislu, već se često temelji na kvantitativnoj analizi (kroz bodovanje, rangiranje i ponderiranje) širokog raspona kvalitativnih kategorija i kriterija utjecaja. Različiti ekološki i socijalni pokazatelji mogu se razvijati usporedno s gospodarskim troškovima i koristima. Izričito se naglašava činjenica da različiti i monetarni i nemonetarni ciljevi mogu utjecati na političke odluke. MCA pruža tehnike za uspoređivanje i rangiranje različitih ishoda, iako se koriste različiti pokazatelji. MCA omogućuje donositeljima odluka uključivanje cijelog niza društvenih, ekoloških, tehničkih, gospodarskih i financijskih kriterija.

<sup>6</sup> [https://ww2.health.wa.gov.au/Articles/F\\_I/Health-risk-assessment](https://ww2.health.wa.gov.au/Articles/F_I/Health-risk-assessment)

<sup>7</sup> Communities and local governments: Multi-criteria analysis: a manual (*Zajednice i lokalne samouprave: Višekriterijalna analiza: priručnik*). Odjel za zajednice i lokalnu samoupravu: London, 2009., stranice 6-7, 19-20.



### 3. Postupak odlučivanja i ocjene ulaganja u gospodarenje urbanim vodama

Metodološki postupak ocjene ulaganja u mjere kružnog gospodarenja vodama trebao bi uključivati sveobuhvatan pristup, uzimajući u obzir sljedeće mjere:

U gospodarenju urbanim vodama postoji puno različitih mjera i rješenja koja su na prvi pogled teško usporediva. U fazi pripreme ulagačkih projekata ulagač zajedno sa stručnjacima i dionicima (korisnicima budućeg ulaganja) treba odgovoriti na neka ključna pitanja:

- Što je problem, što treba poboljšati?
- Koji su ciljevi koje treba postići mjerom?
- Prema kojim kriterijima treba vrednovati različita predložena rješenja?
- Koji su nenovčani kriteriji relevantni za odabranu mjeru?
- Koja mjera/rješenje je izvediva za naš projekt?
- Koja mjera/rješenje je ekološki kompatibilna i gospodarski ostvariva?

Svakodnevna praksa identificirala je sljedeće izazove vezano za ocjenu ulaganja:

- mnoge odluke za ili protiv određenog koncepta ulaganja obično ne prolaze transparentan proces evaluacije,
- operativni troškovi i nenovčani aspekti obično su podcijenjeni u usporedbi s troškovima ulaganja,
- udio troškova za vode u ukupnim operativnim troškovima kontinuirano raste,
- da bi se donijela gospodarski ostvariva odluka, potrebno je razmotriti i ocijeniti različita moguća rješenja i alternative s obzirom na njihove troškove i koristi.

Općenito, nova ulaganja u zajednicu uključuju sljedeće korake:

- unaprijed definiranje i postavljanje ciljeva ulaganja,
- razmatranje novčanih i nenovčanih ciljeva i koristi,
- po odluci ulagača treba utvrditi ljestvicu važnosti monetarnih i nemonetarnih kriterija,
- izrada ocjene mogućih ulagačkih rješenja u najkraćem mogućem roku,
- uspoređivanje različitih alternativa sa sličnim prednostima.

Kako bismo pokazali kako se sveobuhvatno uhvatiti u koštac s navedenim izazovima ocjene te kako planirati i provoditi ulaganja u gospodarenje vodama u urbanim područjima, u skladu s ciljevima kružnog gospodarenja vodama, u sljedećem potpoglavlju predstavljamo DIDAKTIČKI primjer. Kako bi se omogućila ocjena ulagačkih alternativa iz ekološke i socijalne perspektive, novčane procjene, koje se obično temelje na analizi troškova i koristi (*eng. cost-benefit analysis - CBA*), nadopunjuju se višekriterijalnom analizom (MCA) s identifikacijom kriterija odabira i sustava ponderiranja, uključujući gospodarsku, ekološku i socijalnu perspektivu.





### 3.1. DIDAKTIČKI PRIMJER 1: Korištenje kišnice i pročišćenih otpadnih voda za proizvodnju recikliranog građevinskog materijala

#### UVODNA BILJEŠKA

Predstavljeni didaktički primjer “Korištenje kišnice i pročišćenih otpadnih voda za proizvodnju recikliranog građevinskog materijala” je pilot ulaganje koja će se realizirati u funkcionalnom urbanom području (*eng. functional urban area - FUA*) Maribor, Slovenija, u okviru projekta City Water Circle.

FUA Maribor prostire se na 147,5 km<sup>2</sup> s populacijom od 110 871 stanovnika, prema podacima iz 2018. godine. Glavna rijeka je Drava s protokom od oko 670 m<sup>3</sup>/s i dobrom kvalitetom vode. Prosječna godišnja količina oborina iznosi 926 mm.

Jezgra FUA Maribor je središte grada Maribora. Vodeni krug u FUA Maribor pokrivaju 3 društva. MBVOD (Vodovod Maribor) odgovorno je za opskrbu pitkom vodom, NIGRAD (dionik) odgovorno je za kanalizacijski sustav, a AQUASYSTEM je društvo odgovorno za pročišćavanje otpadnih voda.

#### IZAZOV I CILJEVI

U europskim urbanim i prigradskim područjima, gdje se odvija većina građevinskih aktivnosti, komunalne usluge, građevinski sektor i druge industrije stvaraju velike količine različitih vrsta otpada. Ovaj otpad može biti vrijedan izvor lokalnih sekundarnih sirovina za građevinske radove kao zamjena za građevinske materijale, a ujedno je i poslovna prilika za građevinska društva (kružno gospodarstvo). Zbog nedostatka odgovarajućih znanja, tehnologija, dobre prakse i poticaja, akteri ponude i potražnje skromno su uključeni u takve procese.

U Sloveniji je 2016. godine prikupljeno 5 498 milijuna tona otpada, od čega je najviše građevinskog (2,165 milijuna tona ili 39%), zatim komunalnog (0,982 milijuna tona ili 18%) i industrijskog otpada iz termičkih procesa (0,905 milijuna tona ili 17%). S obzirom na to da je građevinarstvo najveći proizvođač otpada u izvođenju građevinskih radova (osobito zemljanih) te je u graditeljstvu moguće koristiti prerađeni otpad u velikim količinama, ulazak u ciklus kružnog gospodarstva je neizbježan i nužan.

Pilot ulaganje pokazati će iskoristivost reciklirane vode u svrhu proizvodnje građevinskih proizvoda na bazi sekundarnih sirovina (*eng. secondary raw materials - SRM*). Proizvedeni materijal koristit će se za radove na održavanju cesta i revitalizaciju degradiranih područja od strane javnog društva Nigrad d.d. koje je u većinskom vlasništvu Općine Maribor i koncesionara za održavanje javnih cesta. Društvo MBVOD pokazati će da su pročišćene otpadne vode u kombinaciji s prikupljenom kišnicom prikladna za korištenje u proizvodnom procesu.

Ciljevi pilot ulaganja su sljedeći:

- maksimalno akumuliranje kišnice,
- ušteda pitke vode,
- promicanje biološke raznolikosti,
- zaštita vode i tla,
- obrazovanje o okolišu itd.



## Tematski katalog 1

Didaktički pilot primjer ulaganja ocjenjuje dvije moguće alternative:

1. ALTERNATIVA 0: ZADRŽAVANJE POSTOJEĆEG STANJA BEZ KORIŠTENJA RECIKLIRANE VODE U PROIZVODNOM PROCESU
2. ALTERNATIVA 1: KORIŠTENJE RECIKLIRANE VODE ZA PROIZVODNJU GRAĐEVINSKIH PROIZVODA KORIŠTENJEM PLASTIČNIH REZERVOARA S ODVOJENIM CRPKAMA I AUTOMATIZACIJOM U OKNU I JEDNIM ODVODOM

Svrha analize alternativa je sagledati pojedinačnu alternativu s više aspekata gospodarskog, ekološkog i društvenog te ih usporediti, što je temelj za donošenje odluke o izboru optimalne alternative.

**Pozadinske informacije o oborinama potrebne za ocjenu alternativa pilot ulaganja.**

Tablica 1: Prosječna mjesečna količina oborina u FUA Maribor

Mjesec	Količina u mm	Mjesec	Količina u mm
Siječanj	32	Srpanj	81
Veljača	108	Kolovoz	93
Ožujak	61	Rujan	49
Travanj	67	Listopad	53
Svibanj	221	Studeni	46
Lipanj	103	prosinac	8

Tablica 2: Prosječna godišnja količina oborina u FUA Maribor

Godina	Količina u mm	Godina	Količina u mm
1998.	1 012	2009.	1 078
1999.	1 022	2010.	986
2000.	788	2011.	720
2001.	827	2012.	929
2002.	918	2013.	924
2003.	689	2014.	1238
2004.	993	2015.	846
2005.	959	2016.	1 006
2006.	903	2017.	961
2007.	982	2018.	926
2008.	944		



### 3.2. ALTERNATIVA 0: Zadržavanje postojećeg stanja bez korištenja reciklirane vode u proizvodnom procesu

#### Tehnička prezentacija

Budući da Alternativa 0 podrazumijeva održavanje postojećeg stanja, nema ulaganja u sustav prikupljanja kišnice niti opskrbe otpadnim vodama za daljnju ponovnu upotrebu.

#### Procjena troškova i koristi

Ulagač ne ostvaruje prihod/uštedu, stoga procjena troškova i koristi ostaje u iznosu od 0,00 € za razdoblje od 30 godina.

Tablica 3: Procijenjeni prihodi/uštede Alternative 0, u €

Stavka	Godina 1	Godina 2	Godina 3	Godina 4	Godina 5	Godina 6..	..Godina 30
Prihodi	0		0	0	0	0	0
Ukupno	0		0	0	0	0	0

Kao operativni trošak Alternative 0 uključili smo opskrbu i odvodnju vode iz vodoopskrbnog sustava za razdoblje od 30 godina.

Tablica 4: Procijenjeni troškovi opskrbe i ispuštanja pitke vode Alternative 0, u €

Stavka	Godina 1	Godina 2	Godina 3	Godina 4	Godina 5	Godina 6..	..Godina 30
Troškovi opskrbe i ispuštanja pitke vode	0	1 025	1 035	1 046	1 056	1 067	1 354
Porez na onečišćenje	0	317	320	323	326	330	419
Ukupno	0	1 342	1 355	1 369	1 382	1 396	1 773

Budući da nije bilo ulaganja u izgradnju i opremu, nema obračuna amortizacije dugotrajne imovine i preostale vrijednosti projekta.

#### Učinkovitost ulaganja Alternative 0

Pokazatelji financijske učinkovitosti Alternative 0 prikazani su u sljedećoj tablici.



Tablica 5: Pokazatelji financijske učinkovitosti Varijante 0

Stavka	Kratica	Vrijednost
Prihodi		0,00 €
Rashodi		1 342,46 €
Dobit / gubitak	Prihod-trošak	-1 342,46 €
Operativna učinkovitost	Prihod/trošak	0,00
Profitabilnost poslovanja	Dobit/prihod	0,00
Razdoblje povrata ulaganja	(u godinama)	-
Financijska interna stopa povrata	FRR/C	Ne može se izračunati
Financijska neto sadašnja vrijednost	FNPV/C	-24 603,51 €
Relativna neto sadašnja vrijednost	relativna FNPV/C	-

**ZAKLJUČAK:** Iako se godišnji troškovi opskrbe i ispuštanja pitke vode čine prilično niskim (1 342 -1 773 €), alternativa 0 ne donosi nikakve koristi, poput tehničkih rješenja, koja bi se mogla testirati u lokalnoj zajednici, nikakve pozitivne učinke na okoliš ili na društvo, koji bi se mogli ocijeniti ili bi mogli poboljšati postojeće uvjete. To znači da će se za proizvodnju sirovina za građenje i dalje koristiti u budućnosti pitka voda. Neto sadašnja vrijednost troškova pitke vode za razdoblje od 30 godina znači da bi se ta sredstva mogla uštedjeti i predstavljaju oko polovicu vrijednosti ulaganja u Alternativu 1. Ocjenjivanje alternative isključivo s troškovnog stajališta bilo bi pogrešno. Alternativu 0 potrebno je usporediti s alternativom koja također može donijeti koristi (novčane i nenovčane).

### 3.3. ALTERNATIVA 1: Korištenje reciklirane vode za proizvodnju građevinskih proizvoda

Za Alternativu 1, kišnica i otpadne vode koriste se za proizvodnju građevinskog materijala, korištenjem rezervoara s odvojenim crpkama i automatizacijom u oknu i jednim odvodom.

#### Prezentacija lokacije

Točna lokacija pilota je na degradiranom urbanom području u Dogošama u Mariboru gdje će pilot projekt biti izravno povezan s proizvodnim pogonom za proizvodnju građevinskih proizvoda na bazi sekundarnih sirovina koji djeluje na istoj lokaciji. U blizini se nalazi postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda, što ovo čini savršenim prostorom za implementaciju.

Gradsko vijeće Općine Maribor potvrdilo je prostorno preuređenje lokacije na kojoj će se provoditi demonstracija (degradirano područje u Dogošama) kao temelj za daljnje postupanje. Demonstracija ovisi o procesu proizvodnje građevinskih proizvoda od sekundarnih sirovina, a budući da će se odvijati paralelno, predviđeno je da će se demonstracija održati najkasnije u drugoj polovici 2020. (nakon kolovoza).





## Tematski katalog 1

### Lokacija pilot projekta:

Približne koordinate na Google Kartama: 46.521096, 15.699536

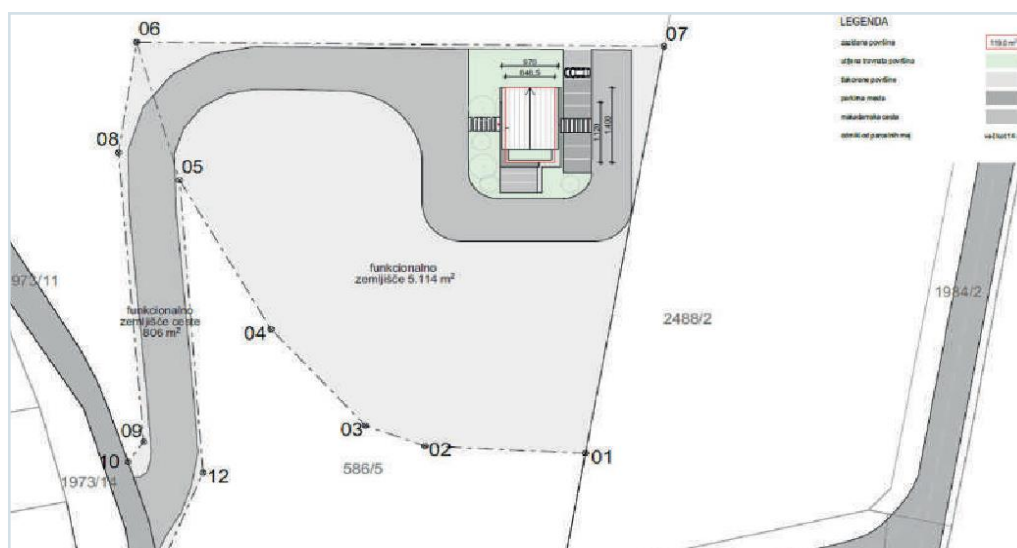
### Lokacija uređaja za pročišćavanje otpadnih voda - UPOV (eng. *wastewater treatment plant - WWTP*):

Približne koordinate na Google Kartama: 46.510826, 15.712678

Slika 1: Lokacija pilot projekta



Slika 2: Detaljni plan pilot projekta



### Tehnička prezentacija

Uagač gradi objekt ukupne raspoložive površine 220 m<sup>2</sup> (krov i parking) s kojeg se kišnica slijeva u komunalnu kanalizaciju. U proizvodnji građevinskih proizvoda do sada se ne koristi reciklirane otpadne vode, već pitka voda iz vodovodne mreže.



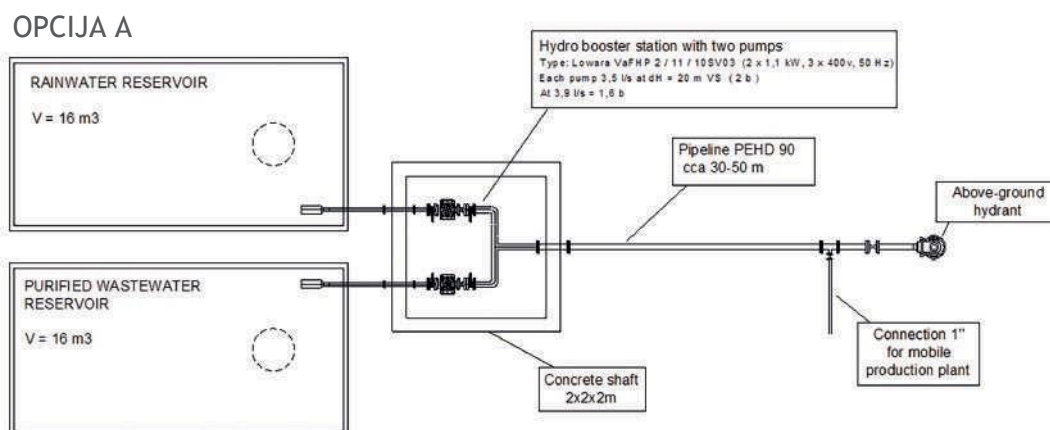
### Tehnički opis

Pod zemljom su postavljena dva plastična rezervoara, ispred kojih je postavljeno betonsko okno u koje su ugrađeni filtri, crpke i ostala potrebna oprema.

### Rad sustava:

Okno ima ugrađenu booster stanicu za podizanje tlaka s dvije crpke, objema crpkama upravlja kontrolni sustav (PLC) za održavanje konstantnog tlaka u tlačnom sustavu. Dva upravljačka modula sonde ugrađena su u energetski ormarić za svaku crpku zasebno. Dok su oba bazena puna, obje crpke rade, svaka otprilike 50 %. Ako se jedan od bazena isprazni, ta crpka ne radi dok se u bazenu ne dosegne postavljena razina. Odvojena je postavljena dodatna kutija s dva prekidača za daljinsko uključivanje i isključivanje crpke. Ormarić sadrži osigurače za svaku crpku zasebno, FID prekidač, prekidač za napajanje, dva upravljačka modula sa šest zatvorenih sondi, dodatni osigurač za svjetlo u oknu, ručni-automatski prekidač za svaku crpku zasebno. Odvodne slavine za uzorkovanje vode postavljene su za svaku crpku. Dodatni ormarić s kontrolom crpke nalazi se izvan okna u svakoj prostoriji.

Slika 3: Idejni plan izgradnje spremnika i opreme - Alternativa 1



Tablica 6: Pokazatelji tehničke učinkovitosti

Br.	Tehnički pokazatelji	Mjerna jedinica	Vrijednost
<b>A Spremnik</b>			
1	Zapremina	litra	2 x 16 000
<b>B Crpka</b>			
2	Rad sustava (crpke)	Ručno/automatsko upravljanje	Automatska
3	Potreba za strujom po danu	kWh	4,4
4	Potreban prostor	m <sup>2</sup>	31,2
5	Protok vode	l/s	3,5
<b>C Potrebna količina vode</b>			
6	Kišnica	m <sup>3</sup> /godina	168
7	Otpadne vode iz WWTP	m <sup>3</sup> /godina	192
8	Dostupna područja za prikupljanje kišnice	m <sup>2</sup>	320



## Tematski katalog 1

### Korištenje i analiza vode

Voda će se koristiti za proizvodnju građevinskih proizvoda koji se temelje na sekundarnim sirovinama. Na istom mjestu nalazit će se i mobilni proizvodni pogon.

U sklopu projekta predviđena je analiza svojstava nekoliko izvora vode, što će se provoditi istovremeno s početkom demonstracije. Vrste reciklirane vode koje treba analizirati:

- pročišćene otpadne vode iz UPOV-a,
- prikupljanje kišnice.

Uzorci će se uzimati u oknu opreme pored spremnika ili na servisnom mjestu prije nego što se voda iskoristi za proizvodni proces, uz praćenje i analizu koju će provoditi Nacionalni laboratorij za zdravlje, okoliš i hranu.

Također će se testirati građevinski proizvodi izrađeni korištenjem reciklirane vode.

Na temelju toga donijet će se zaključci je li reciklirana voda prikladna za korištenje u proizvodnom procesu.

Potrošnja proizvodnog procesa

- prosječna potrošnja vode: 3 m<sup>3</sup>/dan,
- maksimalna potrošnja vode: 10 m<sup>3</sup>/dan,
- maksimalni protok vode: 1,5 - 3 l/s.

### Prikupljanje vode

#### Kišnica

Kišnica se prikuplja s krovne površine zgrade i obližnjeg parkirališta. Također razmišljamo i o prikupljanju kišnice iz dvorišta. Raspodjela površina je sljedeća:

- krov otprilike 120 m<sup>2</sup>,
- parkiralište otprilike 100 m<sup>2</sup>,
- dvorište otprilike 100 m<sup>2</sup>.

Koeficijent otjecanja (metalni krov) = 0,8

Godišnja količina oborina u FUA Maribor (10-godišnji prosjek) = 962 mm

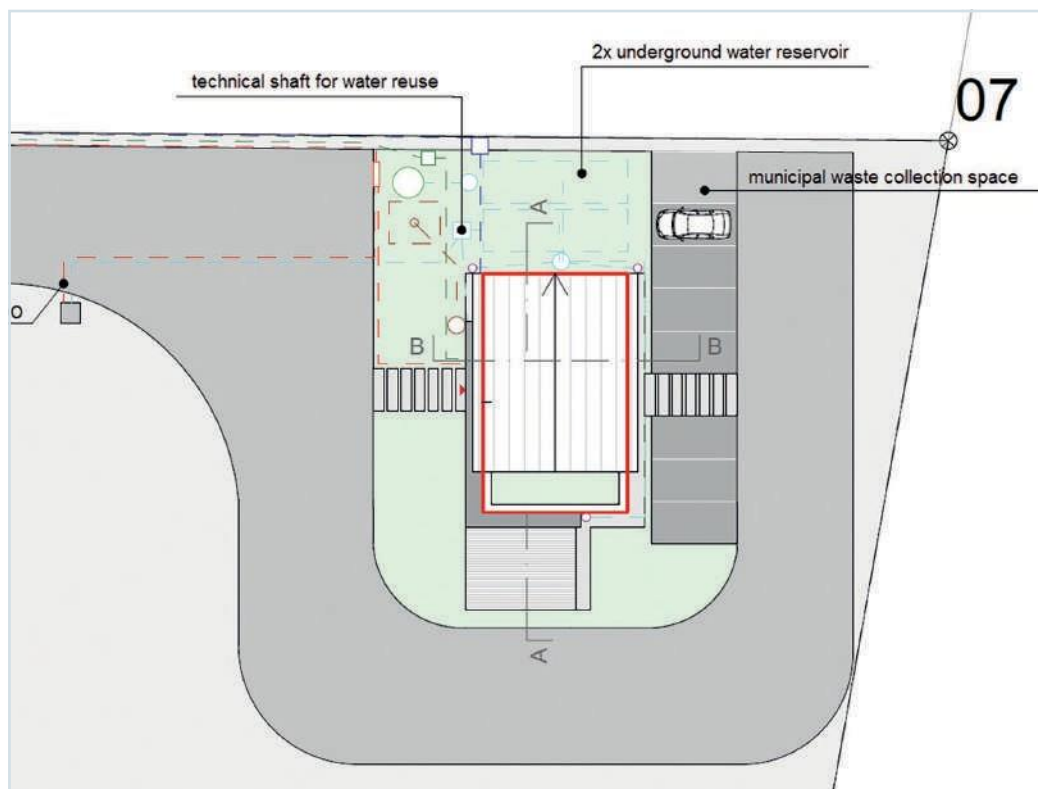
Ako uzmemo u obzir krovne i parkirne površine za prikupljanje kišnice, na temelju sljedećih izračuna možemo procijeniti količinu kišnice koja se može prikupiti u jednoj godini.

$$220 \text{ m}^2 \times 962 \frac{\text{l}}{\text{year}} \times 0,8 = 169,310 \frac{\text{l}}{\text{year}} = 169,31 \frac{\text{m}^3}{\text{year}}$$

Možemo procijeniti da ćemo prikupiti oko 170 m<sup>3</sup> kišnice godišnje, odnosno 14 m<sup>3</sup> mjesečno.



Slika 4: Prikaz postrojenja i područja za prikupljanje kišnice



Na temelju posječenih površina, predviđene potrošnje vode te godišnje i mjesečne količine oborina u FUA Maribor, prikazanih u tablicama i grafikonima ispod, trebao bi biti dovoljan spremnik zapremine 10-20 m<sup>3</sup>.

#### Pročišćene otpadne vode

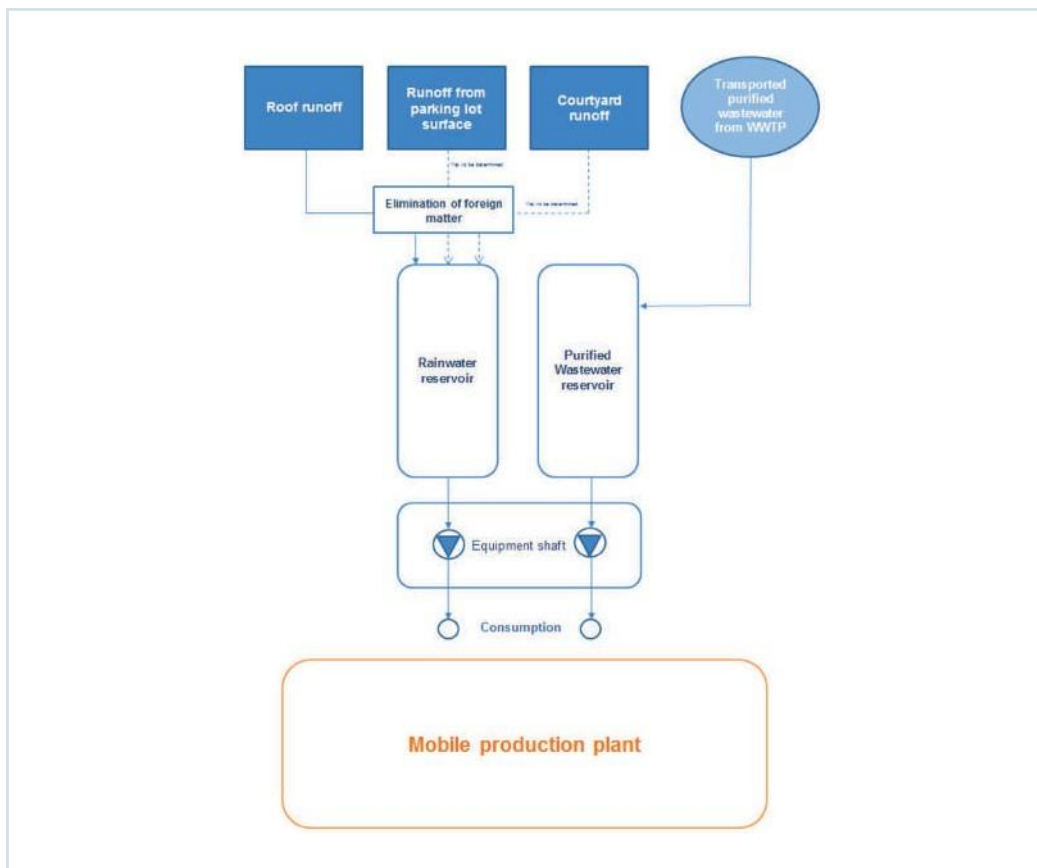
Pročišćene otpadne vode odvoziti će se iz Središnjeg postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda Maribor odgovarajućim vozilom. Koristit će se spremnik iste veličine kao za kišnicu (10-20 m<sup>3</sup>).

Kvaliteta otpadnih voda na istjecanju mehaničkih i bioloških procesa svakodnevno se ispituje automatskim uzorkivačem, a podatke analizira i pohranjuje koncesionar uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Osim internog dnevnog praćenja, Nacionalni laboratorij za zdravlje, okoliš i hranu također provodi nadgledanje dva puta mjesečno.





Slika 5: Shematski prikaz prikupljanja vode



### 3.3.1. Oprema i ugradnja

#### Idejni plan izgradnje

Uz proizvodni pogon bit će postavljena dva spremnika zapremine 16 m<sup>3</sup> (jedan za pročišćene otpadne vode, jedan za kišnicu). Pročišćene otpadne vode odvožit će se iz UPOV, a kišnica će se prikupljati na lokaciji pogona.

#### Građevinski radovi za ugradnju spremnika i transport recikliranih otpadnih voda

Iskop terena, nabava i ugradnja betona, izrada armiranobetonske podne ploče, montaža spremnika, mehaničko zatrpavanje terena, ugradnja tampon sloja od lomljenog kamena otpornog na mraz, završni radovi. Odvoz 384 m<sup>3</sup> reciklirane pročišćene otpadne vode posebnim vozilom s akumulacijskim spremnikom s lokacije UPOV Maribor.

#### Spremnici

RoTerra spremnici za vodu koriste se za prikupljanje kišnice za kućnu upotrebu. Izrađeni su od prirodnog polietilena i nude 100 % vodonepropusnost. Spremnik ima podesivu teleskopsku visinu Φ 600 x 500 mm, s kojom se može podesiti visina spremnika. Na dizalu je postavljen ravni poklopac za hodanje od polietilena koja može nositi teret do 200 kg. Na spremniku se može postaviti veliki broj priključaka za dovod i odvod iz spremnika. Oblik i dimenzije RoTerra spremnika omogućuju jednostavnu manipulaciju na gradilištu.



## Thematic Catalogue 1

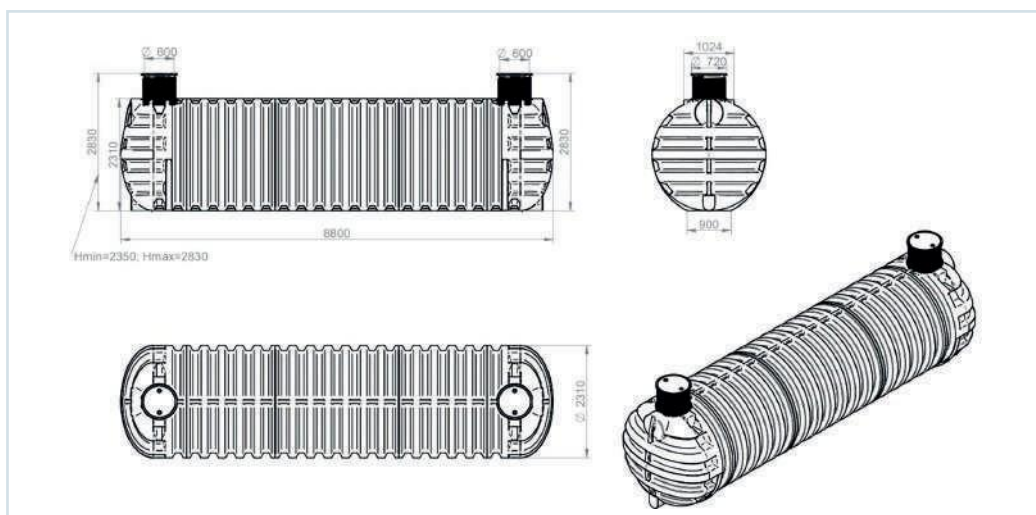
Spremnik je provjeren i ispitan u skladu s normom SIST EN 12566 - 3.

Tehnički podaci	Vrijednosti
Zapremina	16000 L
Dimenzije D x Š x V (mm)	4 840 x 2 300 x 2 350 - 2 850
Metoda ugradnje	podzemna
Promjer kontrolnih otvora	2 x $\Phi$ 600 mm
Teleskopsko dizalo	$\Phi$ 600 x 0 - 500 mm
Materijal	Polietilen PE
UV stabilnost materijala	Da
Promjer dovodne cijevi	DN 110, DN 125, DN 160
Promjer odvodne cijevi	DN 110, DN 125, DN 160
Standard	SIST EN 12566 - 3
Poklopac	PE poklopac za hodanje do 200 kg

Slika 6: RoTerra spremnik



Slika 7: Dimenzije RoTerra spremnika





### Booster stanica za pojačavanje tlaka

Lowara booster stanica za pojačavanje tlaka s dvije crpke.

Tip: Lowara VaFHP 2 / 11 / 10V03 (2 x 1,1 kW, 3 x 400v, 50 Hz)

Svaka crpka 3,5 l/s pri dH = 20 m VS ( 2 b )

Pri 3,9 l/s = 1,6

Stanica za pojačavanje tlaka s dvije crpke, objema crpkama upravlja kontrolni sustav (PLC), u svrhu održavanja konstantnog tlaka u tlačnom sustavu.

Set crpki - Lowara (nehrđajući čelik) sa spojkom i prirubnicom.

Vasco 209 pretvarači frekvencije postavljeni na motor crpke.

Komplet tlačnih crijeva od nehrđajućeg čelika sa svim potrebnim ventilima i protupovratnim ventilima, nakon ugradnje svakog odvodnog ventila pumpe za uzorkovanje na usisnoj strani bez montaže, samo kuglasti ventil.

2 x membranska tlačna posuda 20 l

Manometar.

2 x senzor tlaka 4-20 mA, 0-10.

#### Posebne značajke:

Dva kontrolna modula sonde ugrađena u ormar za svaku pumpu zasebno.

Sve dok su oba spremnika puna, obje crpke rade, svaka otprilike 50 %.

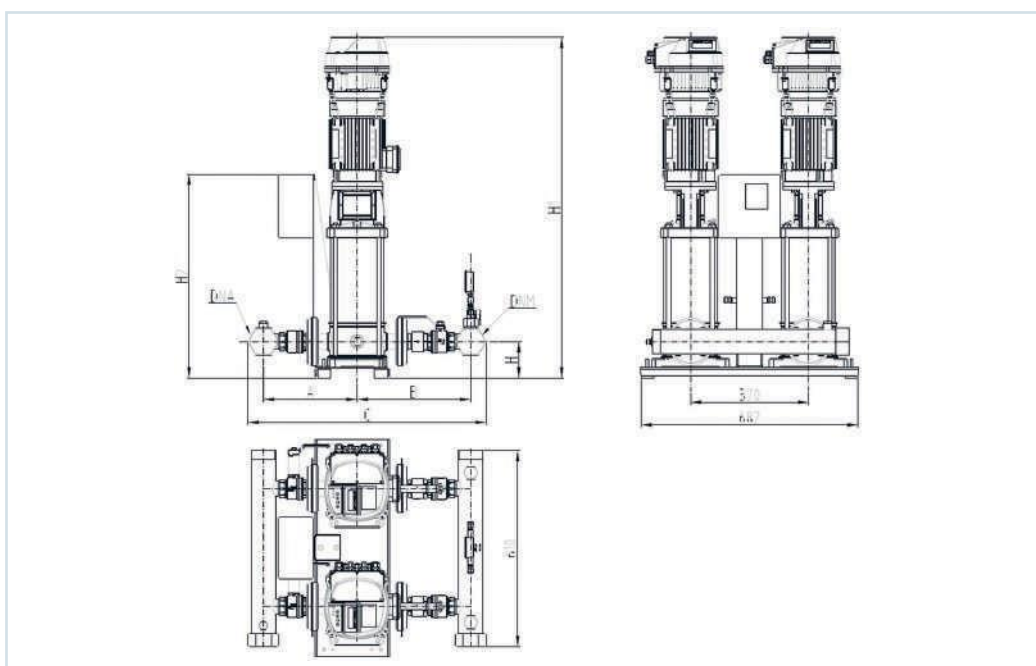
Ako se jedan od spremnika isprazni, odgovarajuća pumpa ne radi sve dok voda ne dosegne unaprijed zadanu razinu.

Dodatna doza s dva prekidača za daljinsko uključivanje i isključivanje svake stanice zasebno.

Osigurači za svaku crpku zasebno, FID prekidač, prekidač za napajanje, dva kontrolna modula sa šest sondi, dodatni osigurač za svjetlo u oknu.

Ručni automatski prekidač za svaku crpku.

Slika 8: Booster stanica za podizanje tlaka s dvije crpke.





### 3.3.2. Procjena troškova

#### Troškovi ulaganja

Vrijednost ulaganja ugradnje dvaju plastičnih spremnika sa zasebnim crpkama i automatikom u oknu i jednim odvodom je 39 255,47 € s PDV-om. Pregled vrijednosti ulaganja prikazan je u sljedećoj tablici.

Tablica 7: Procijenjena vrijednost ulaganja

Br.	Tehnički pokazatelji	Mjerna jedinica	Vrijednost	Ukupno u €
1	Građevinski radovi			
1.1	Izrada temelja	234,40	51,57	285,97
1.2	Zemljani i betonski radovi	7 863,84	1 730,04	9 593,88
1.3	Transport reciklirane vode od UPOV-a	3 609,60	794,11	4 403,71
1.4	Nepredviđeni radovi (10 %)	1 170,78	257,57	1 428,35
2	2 plastična spremnika za vodu 16 m <sup>3</sup>	4 720,00	1.038,40	5 758,40
3	Booster stanica za podizanje tlaka s dvije crpke s kontrolom i automatskom instalacijom	3 176,00	698,72	3 874,72
4	Visokoučinski filter	264,00	58,08	322,08
5	Filter za sanitarnu vodu	288,00	63,36	351,36
6	Dobava i izrada betonskog okna 2 x 2 x 2 m	3 850,00	847,00	4 697,00
7	Mjerači protoka <sup>8</sup>	2 000,00	440,00	2 440,00
8	Vodoinstalaterski radovi - materijal i ugradnja <sup>9</sup>	3 000,00	660,00	3 660,00
9	Električarski radovi <sup>10</sup>	2 000,00	440,00	2 440,00
<b>Ukupno</b>		<b>32 176,62</b>	<b>7 078,85</b>	<b>39 255,47</b>

8 Procjena troškova - imamo aktualnu javnu nabavu za mjerače protoka, ugradnju će izvesti radnici društva Mariborski vodovod.

9 Procjena troškova - imamo aktualnu javnu nabavu za vodoinstalatersku opremu, ugradnju će izvesti radnici društva Mariborski vodovod.

10 Procjena troškova - električarske radove izvesti će radnici društva Mariborski vodovod.



## Tematski katalog 1

### Operativni troškovi

Procijenjeni operativni troškovi uključuju tekuće troškove održavanja, dio plaće zaposlenika i električnu energiju. U sljedećoj tablici prikazano je razdoblje od 30 godina. Očekujemo da će troškovi rasti za 1 % godišnje.

Tablica 8: Procijenjeni operativni troškovi Alternative 1

Stavka	Godina 1	Godina 2	Godina 3	Godina 4	Godina 5	Godina 6	Godina 7	Godina 8	...	Godina 30
Tekući troškovi održavanja	0	400	404	408	412	416	420	425	...	529
Troškovi rada	0	548	553	559	564	570	576	581	...	724
Troškovi struje	0	190	192	194	196	198	200	202	...	251
<b>Ukupno</b>	<b>0</b>	<b>1 138</b>	<b>1 149</b>	<b>1 161</b>	<b>1 172</b>	<b>1 184</b>	<b>1 196</b>	<b>1 208</b>	<b>...</b>	<b>1503</b>

### Troškovi amortizacije

Troškovi amortizacije za razdoblje od 30 godina i preostala vrijednost ulaganja izračunati su u tablici ispod.

Tablica 9: Troškovi amortizacije u €.

Stavka	Vrijednost	Stopa amort.	Godina 1	Godina 2	Godina 3	Godina 4	Godina 5...	...Godina 30	Preostala vrijednost
Ulaganje	39.255	3,33 %	0	1 307	1 307	1 307	1 307	1 307	1 346
<b>Vrijednost</b>	<b>39.255</b>		<b>0</b>	<b>1 307</b>	<b>1 307</b>	<b>1 307</b>	<b>1 307</b>	<b>1 307</b>	<b>1 346</b>

### 3.3.3. Procjena koristi

#### Manja potrošnja pitke vode

Prema konceptu kišnice, u optimalnim uvjetima mogli bismo prikupiti otprilike 14 m<sup>3</sup> kišnice mjesečno. Pretpostavljamo da će se spremnik za pročišćene otpadne vode puniti jednom mjesečno (16 m<sup>3</sup>/mjesečno).

Tablica 10: Uštede potrošnje pitke vode

Stavka	m <sup>3</sup> /dan	m <sup>3</sup> /mjesec	m <sup>3</sup> /godina
Procijenjena prosječna potrošnja vode	3	66	792
Procijenjeni prosjek prikupljene kišnice		14	168
Procijenjene prosječne dostupne pročišćene otpadne vode		16	192
<b>Procijenjene uštede potrošnje pitke vode</b>		<b>30</b>	<b>360</b>



## Tematski katalog 1

### Financijske koristi

U nastavku su izračuni nefiksni troškova potrošnje vode koji ovise isključivo o potrošnji vode. Fiksni troškovi (poput mrežne naknade) koji se naplaćuju mjesečno neovisno o potrošnji nisu uključeni u izračune. Cijene su bez PDV-a i vrijede u kolovozu 2020. za Općinu Maribor, gdje se provodi pilot projekt.

Tablica 11: Cijena potrošnje i odvodnje vode u Općini Maribor

Stavka	€/m <sup>3</sup>
Cijena pitke vode	0,7437
Cijena zbrinjavanja otpadnih voda	0,3299
Cijena pročišćavanja otpadnih voda	1,3056
Cijena uklanjanja taloga	0,4679
<b>Ukupna cijena pitke vode i zbrinjavanja otpadnih voda</b>	<b>2,8471</b>

Tablica 12: Procijenjene financijske uštede za potrošnju pitke vode nakon implementacije

Stavka	€/mjesec	€/godina
Troškovi procijenjene prosječne potrošnje vode	187,91	2 254,90
Procijenjeni troškovi potrošnje vode nakon implementacije	102,50	1 229,95
Procijenjene uštede u potrošnji pitke vode nakon implementacije	85,41	1 024,95

U optimalnim uvjetima možemo procijeniti uštedu od 85,41 € mjesečno, odnosno 1024,95 € godišnje na troškovima potrošnje i zbrinjavanja vode. Ušteda je i naknada za onečišćenje u iznosu od 316,80 € godišnje ( $220 \text{ m}^2 \times 0,12 \text{ €/m}^2 = 26,40 \text{ € / mjesec} \times 12 \text{ mjeseci}$ ).

U sljedećoj tablici prikazani su procijenjeni prihodi ili uštede od kupovine pitke vode, bez mrežne naknade ( $180 \text{ m}^3$ ) za razdoblje od 30 godina. Očekujemo da će prihodi rasti 1 % godišnje.

Tablica 13: Procijenjeni prihodi/uštede

Stavka	Godina 1	Godina 2	Godina 3	Godina 4	Godina 5	Godina 6	Godina 7	Godina 8	...	Godina 30
Prihodi	0	145	147	148	150	151	153	154	...	192
Uštede	0	1 342	1 355	1 369	1 382	1 397	1 410	1 425	...	1 773
<b>Ukupno</b>	<b>0</b>	<b>1 487</b>	<b>1 502</b>	<b>1 517</b>	<b>1 532</b>	<b>1 548</b>	<b>1 563</b>	<b>1 579</b>	<b>...</b>	<b>1 965</b>





### 3.3.4. Procjena troškova i koristi

Procjena troškova i koristi izrađuje se na temelju prikazanih ulagačkih, operativnih troškova i financijskih koristi u potpoglavljima 3.3.1 i 3.3.2.

Za izračunavanje učinkovitosti alternative uzete su u obzir sljedeće pretpostavke:

- u stavku troškova ulaganja uračunat je PDV,
- svi troškovi i koristi (prethodne tablice) uzeti su u obzir u financijskim izračunima i ne uključuju poreze,
- u obzir je uzeta diskontna stopa od 4 %,
- sljedeća formula koristi se za izračunavanje NPV-a:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

$R_t$  = Neto novčani priljevi-odljevi tijekom jednog razdoblja  $t$

$i$  = Diskontna stopa ili povrat koji bi se mogao zaraditi alternativnim ulaganjima  $t$

$n$  = broj vremenskih razdoblja

- Promatrano razdoblje za koje se izrađuju izračuni ekonomsko je razdoblje od 30 godina.
- Sve vrijednosti izražene su u €

Tablica 14: Procjena troškova i koristi

Financijski pokazatelji		
Stavka	Kratice	Vrijednost
Prihodi		1 532,37 €
Rashodi		1 172,15 €
Dobit / gubitak	Prihod-trošak	360,21 €
Operativna učinkovitost	Prihod/trošak	1,31
Profitabilnost poslovanja	Dobit/prihod	0,24
Razdoblje povrata ulaganja	(u godinama)	30
Financijska interna stopa povrata	FRR/C	-5,58 %
Financijska neto sadašnja vrijednost	FNPV/C	-30 919,80
Relativna neto sadašnja vrijednost	relativna FNPV/C	-0,7877

**ZAKLJUČAK:** Procjena troškova i koristi pokazuje da je ulaganje neprofitno. Minimalni višak uštede vode nad operativnim troškovima nije dovoljan za pokrivanje troškova ulaganja u razdoblju od 30 godina uz tako nisku cijenu vode. U slučaju rasta cijena vode, ovaj izračun pokazao bi manju negativnu vrijednost ili čak pozitivnu vrijednost ovog ulaganja. Ali kao što smo već rekli u Alternativi 0, alternativu moramo također procijeniti i iz nenovčanih koristi.



### 3.4. VIŠEKRITERIJALNA ANALIZA ALTERNATIVA 0 I 1<sup>11</sup>

Kao što je već naglašeno, donošenje odluka o ulaganjima u javnoj zajednici zahtijeva više od same procjene ulagačkih alternativa na temelju novčanih procjena. Potrebno je uzeti u obzir sve aspekte potencijalnih učinaka - uključujući i nenovčane učinke. U tu svrhu možemo nadograditi donošenje odluka ograničeno na CBA analizu uz korištenje višekriterijalne analize (MCA) koja može pomoći donositeljima odluka u pronalaženju najprikladnijeg rješenja.

Postoje mnoge tehnike višekriterijalnih analiza (MCA) koje su široko priznate kao metode višekriterijalne analize koje pokrivaju širok raspon sasvim različitih pristupa. Svi MCA pristupi izričito navode opcije i njihov doprinos različitim kriterijima, a svi zahtijevaju procjenu. Međutim, razlikuju se po načinu na koji kombiniraju podatke. Formalne MCA tehnike obično pružaju izričiti relativni sustav ponderiranja različitih kriterija.

Glavna uloga tehnika je nositi se s poteškoćama za koje se pokazalo da ih imaju donositelji odluka u rukovanju velikim količinama složenih informacija na dosljedan način.

Iz literature možemo primijetiti da postoji mnogo MCA tehnika i njihov broj i dalje raste. Nekoliko je razloga tome:

- postoji mnogo različitih vrsta odluka koje odgovaraju širokim okolnostima MCA,
- vrijeme dostupno za provođenje analize može varirati,
- količina ili priroda dostupnih podataka koji podržavaju analizu mogu varirati,
- analitičke vještine onih koji podržavaju odluku mogu varirati, i
- administrativna kultura i zahtjevi organizacija variraju.

Ključna značajka MCA je naglasak na prosudbi tima za donošenje odluka u utvrđivanju ciljeva i kriterija, procjeni relativnih pondera važnosti i, u određenoj mjeri, u prosuđivanju doprinosa svake opcije svakom kriteriju uspješnosti.

Nije važno imamo li mali ili veliki broj opcija/alternativa, važno je imati na umu da se svaka opcija mora procijeniti po svakom od zadanih kriterija.

11 Communities and local governments: Multi-criteria analysis: a manual (*Zajednice i lokalne samouprave: Višekriterijalna analiza: priručnik*). Odjel za zajednice i lokalnu samoupravu: London, 2009, stranice 6-7, 19-20.



### 3.4.1. Postavljanje MCA kriterija ulagačkih alternativa 0 i 1

Sukladno postavljenim ciljevima pilot ulaganja, ulagači iz našeg didaktičkog primjera (društva Vodovod Maribor i Nigrad) identificirali su četiri skupine MCA kriterija za odabir optimalne alternative.

Za odabir optimalne varijante razmatrani su sljedeći kriteriji:

#### 1. Tehnički kriteriji:

##### A. Spremnik

- zapremina - optimalna zapremina spremnika

##### B. Crpka

- rad sustava (crpke) - ručno/automatsko upravljanje,
- potrošnja električne energije / dan - usporedba potrošnje električne energije u kWh,
- potreban prostor - usporedba prostornih potreba u m<sup>2</sup>,
- protok vode - količina vode (u litrama) koja teče u vremenu (sekundama).

##### C. Potrebna količina vode

kišnica - prosječna godišnja količina oborinskih voda koja će se akumulirati na površinama zgrade,  
otpadne vode iz UPOV-a - prosječna godišnja količina dovedene otpadne vode iz WWTP Maribor,

- raspoloživa područja za prikupljanje kišnice.

#### 2. Gospodarski kriteriji:

- iznos troškova ulaganja - uspoređujemo iznos troškova ulaganja,
- godišnji prihodi i uštede sustava, iznos godišnjih operativnih troškova - uspoređujemo iznos godišnjih operativnih troškova ulaganja,
- cijena operativnih troškova €/m<sup>3</sup>,
- neto sadašnja vrijednost (NPV) ulaganja - uspoređujemo koja je vrijednost najoptimalnija,
- rok povrata - uspoređujemo u kojoj se varijanti najbrže vraćaju uložena sredstva.

#### 3. Kriteriji okoliša:

- akumuliranje kišnice,
- korištenje otpadnih voda,
- ušteda pitke vode,
- manja potrošnja električne energije,
- zaštita vode i tla,
- obrazovanje o okolišu

#### 4. Društvene koristi (nenovčani učinci)

- pozitivni utjecaji na lokalnu zajednicu (nepitka voda može se koristiti za daljnju preradu i reciklira se, stoga se smanjuje potrošnja čiste pitke vode),
- obrazovna vrijednost,
- korištenje degradiranog područja u svrhu razvoja.



### 3.4.2. Gospodarska usporedba alternativa 0 i 1

Tablica 15: Usporedba ulagačkih alternativa i operativnih troškova, u €

Stavka	Mjerna jedinica	Alternativa 0	Alternativa 1
Troškovi ulaganja s PDV-om	€	0,00	39 255,47
Godišnji prihodi i uštede sustava (2024.)	€	0,00	1 532,37
Godišnji operativni troškovi (u 2024.)	€	-1 382,46	1 172,15
Operativni troškovi	€/m <sup>3</sup>	-1 382,46	3,26
Razdoblje povrata ulaganja	godine	-	30
Neto sadašnja vrijednost ulaganja FNVP	€	-24 603,51	-30 919,80
Interna stopa povrata ulaganja FIRR	%	-	-5,58 %

### 3.4.3. Ekološka usporedba alternativa 0 i 1

Pregled ekološke učinkovitosti varijanti pilot projekta prikazan je u sljedećoj tablici.

Tablica 16: Pokazatelji ekološke učinkovitosti Alternativa 0 i 1

Br.	Opis pokazatelja	Alternativa 0	Alternativa 1
1	Akumuliranje kišnice	Ne	Da
2	Korištenje otpadnih voda	Ne	Da
3	Štednja pitke vode	Ne	Da
4	Manja potrošnja električne energije	Da	Djelomično
6	Zaštita vode i tla	Ne	Da
7	Obrazovanje o okolišu	Ne	Da



### 3.4.4. Opis koristi koje se ne mogu procijeniti novcem

Prednosti korištenja reciklirane vode u svrhu proizvodnje građevinskih proizvoda koje se ne mogu procijeniti u novcu su sljedeće:

Tablica 17: Socijalne koristi

Br.	Opis pokazatelja	Alternativa 0	Alternativa 1
1	Pozitivni učinci na lokalnu zajednicu	Ne	Da
2	Obrazovna vrijednost: stjecanje novih kapaciteta znanja provedbom pilot ulaganja	Ne	Da
3	Korištenje degradiranog područja u svrhu razvoja	Ne	Da

## 3.5. USPOREDBA I PONDERI ZA ODABIR OPTIMALNE ALTERNATIVE

MCA tehnike obično primjenjuju numeričku analizu na matricu izvedbe u dvije faze:<sup>12</sup>

**1. Bodovanje:** očekivanim posljedicama svake opcije dodjeljuje se brojčana ocjena na skali jačine preferencije za svaku opciju za svaki kriterij. Poželjnije opcije ostvaruju više ocjene na ljestvici, a manje preferirane opcije niže. U praksi se često koriste ljestvice koje se protežu od 0 do 100, pri čemu 0 predstavlja stvarnu ili hipotetičku najmanje poželjnu opciju, a ocjena 100 je povezana sa stvarnom ili hipotetskom najpoželjnjom opcijom. Sve opcije koje se razmatraju u MCA ostvarile bi ocjenu između 0 i 100.

**2. Ponderiranje:** numerički ponderi dodjeljuju za se definiranje, za svaki kriterij, relativne vrijednosti pomaka između vrha i dna odabrane ljestvice.

Za identificirane skupine kriterija analize MCA: gospodarski, ekološki i društveni, ulagači su postavili rang ljestvicu od 5 pondera.

Evaluacija odabira najpovoljnije alternative za korištenje reciklirane vode za sustav proizvodnje građevinskih proizvoda ima sljedeće pondere:

- 1 - vrlo loše
- 2 - slabo
- 3 - zadovoljavajuće
- 4 - dobro
- 5 - vrlo dobro

<sup>12</sup> Communities and local governments: Multi-criteria analysis: a manual (*Zajednice i lokalne samouprave: Višekriterijalna analiza: priručnik*). Odjel za zajednice i lokalnu samoupravu: London, 2009, stranice 6-7, 19-20.



## Tematski katalog 1

Ocjenjivačke pondere ocjenjivali su ulagači (društva MBVOD i Nigrad) u skladu s postavljenim ciljevima, vezano uz ulaganje:

- mogućnost korištenja kišnice i otpadnih voda, što znači uštedu pitke vode za proizvodnju građevinskog materijala,
- maksimalno zadržavanje kišnice na lokaciji u retenciji,
- zaštita vode i tla,
- obrazovanje o okolišu, znanje iz pilot ulaganja može se koristiti u budućim ulaganjima u mjere kružnog korištenja vode.

Tablica 18: Procjena alternativa korištenjem skupa identificiranih četiri kriterija (tehničke, gospodarske, ekološke i socijalne koristi)

Br.	Stavke	Mjerna jedinica	Alternativa 0	Alternativa 1
<b>I TEHNIČKI KRITERIJI</b>				
<b>A Spremnik</b>				
1	Zapremina	litra	1	5
<b>B Crpka</b>				
2	Rad sustava (crpka)	Ručna/automatska kontrola	1	5
3	Potrošnja električne energije	kWh	1	3
4	Potreban prostor	m <sup>2</sup>	1	5
5	Protok vode	l/s	1	3
<b>C Potrebna količina vode</b>				
6	Kišnica	m <sup>3</sup> /godina	1	5
7	Otpadne vode iz UPOV-a	m <sup>3</sup> /godina	1	5
8	Dostupne površine za prikupljanje vode	m <sup>2</sup>	1	5
<b>II GOSPODARSKI KRITERIJI</b>				
9	Troškovi ulaganja s PDV-om	€	1	4
10	Godišnji prihodi i uštede sustava (u 2024.)	€	1	3
11	Godišnji operativni troškovi (u 2024.)	€	1	3
12	Operativni troškovi	€/m <sup>3</sup>	1	5
13	Razdoblje povrata ulaganja	godine	1	3
14	Neto sadašnja vrijednost ulaganja FNVP	€	1	4
<b>III EKOLOŠKI KRITERIJI</b>				
15	Akumulacija kišnice	-	1	5
16	Korištenje otpadnih voda	-	1	5
17	Ušteda pitke vode	-	1	5
18	Niža potrošnja električne energije	-	1	3
19	Zaštita vode i tla	-	1	5
<b>IV SOCIJALNI KRITERIJI</b>				
20	Pozitivni učinci na lokalnu zajednicu	-	1	5
21	Obrazovanje o okolišu	-	1	5
22	Korištenje degradiranog zemljišta	-	1	5
<b>REZULTAT</b>			<b>22</b>	<b>96</b>





## Tematski katalog 1

Zaključak: evaluacijska tablica pokazuje da je Alternativa 1 optimalna ulagačka alternativa jer donosi pozitivne tehničke, ekološke i društvene koristi koje su u skladu s postavljenim ciljevima ulagača. Kao što smo već rekli, procjena gospodarskih kriterija trebala bi biti manje važan dio ocjene (u ovoj ocjeni 6 kriterija od ukupno 22). To se posebno odnosi na javne zgrade ili javna ulaganja koja moraju pokazati i druge ekološke i društvene koristi osim gospodarskih.



## 4. PRIMJERI DOBRE PRAKSE RAZVIJENIH I ISPITANIH ALATA ZA OCJENJIVANJE UNUTAR OKVIRA EU INICIJATIVA

Urbano planiranje proteklih godina uvelike je evoluiralo i ima mnogo aspekata i domena (tehničkih, ekoloških, gospodarskih i društvenih) koje je potrebno uzeti u obzir kako bi se jamčio održiv i kvalitetan život u urbanim sredinama, uz činjenicu da se upravljanje urbanim vodama također razvilo i zahtijeva multidisciplinarni pristup.

Razvijene su i testirane brojne dobre prakse u okviru različitih EU inicijativa. U ovom poglavlju predstavljamo nekoliko takvih koje su koristile sveobuhvatan pristup u ocjeni upravljanja urbanim vodama.

### 4.1. iWater TOOL- INTEGRIRANI ALAT ZA UPRAVLJANJE OBORINSKIM VODAMA

Integrirani alat za upravljanje oborinskim vodama razvijen je i testiran u okviru projekta Interreg Central Baltic Program 2014-2020 pod nazivom »iWater<sup>13</sup>« s ciljem poboljšanja urbanističkog planiranja u gradovima regije Baltičkog mora. Projekt iWater ima status Strategije EU za Baltic Sea Region Flagship za horizontalno klimatsko djelovanje.

Ključne aktivnosti projekta:

- poboljšanje postojećeg urbanističkog planiranja,
- razvoj 7 strategija za oborinske vode,
- prilagodba novih pristupa i alata za oborinske vode,
- postavljanje kriterija za stručnu ocjenu unutar upravljanja oborinskim vodama,
- razvoj kapaciteta i razmjena najboljih praksi upravljanja oborinskim vodama,
- aktivnosti širenja informacija.

#### O ALATU

Alat uključuje uobičajene pristupe i praktične alate za upravljanje urbanim oborinskim vodama.

Kome je namijenjen?

- krajobraznim arhitektima,
- arhitektima,
- urbanistima,
- osobama koje su zainteresirane za rad ili rade na projektiranju/planiranju ili upravljanju urbanim vodama.

<sup>13</sup> <http://www.integratedstormwater.eu/about>



## Karakteristike

Alat pokriva tri domene. Ove tri domene pokrivaju radnje potrebne na različitim razinama planiranja za razvoj multifunkcionalnog i otpornog vodnog sustava.

PRISTUP U TRI TOČKE	
URBANA OTPORNOST	Uključuje rješenja ili alate prostornog planiranja koji se usredotočuju na ublažavanje učinaka moguće kiše i tehničku osnovu za prilagodbu budućim promjenjivim scenarijima.
TEHNIČKA OPTIMIZACIJA	Uključuje rješenja i alate za ublažavanje oborinskih voda sa svrhom zadovoljavanja politički definirane razine usluge, uzimajući u obzir lokalne karakteristike.
SVAKODNEVNE VRIJEDNOSTI	Rješenja za upravljanje oborinskim vodama imaju za cilj pružanje višestrukih usluga ekosustava i moraju biti uključena u svakodnevno funkcioniranje urbanih prostora kako bi se predstavilo kvalitetno rješenje.



## Tematski katalog 1

### Predstavljeni alati

Kako bi pomogli stručnjacima, dionicima i donositeljima odluka u sveobuhvatnom upravljanju oborinskim vodama u urbanim područjima, paket alata uključuje 16 različitih alata. Alati su kategorizirani u sljedeće grupe:

KATEGORIJA	*OPIS
1. STRATEŠKI PRISTUPI	<ul style="list-style-type: none"><li>• Obrazovanje i angažman (prakse koje pružaju priliku obrazovati i uključiti zajednice o upravljanju vodama)</li><li>• Zelena infrastruktura (mreža prirodnih i poluprirodnih obilježja, uključujući šume, parkove, zelene krovove, ulična drveća, rijeke i močvare)</li><li>• Urbani dizajn s malim utjecajem na okoliš koji uzima vodu u obzir</li><li>• Kontrola izvora (male tehnike za reprodukciju/održavanje hidroloških uvjeta prije razvoja)</li><li>• Dizajn koji uzima vodu u obzir</li></ul>
2. ALATI PODRŠKE ZA PLANIRANJE	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sustavi certificiranja</li><li>• Plan upravljanja prolomima oblaka</li><li>• Procjena rizika od poplava i mapiranje</li><li>• Zeleni (područni) čimbenik GAF (poznat kao čimbenik zelene površine i čimbenik biotopske površine, alat za poboljšanje zelene infrastrukture na privatnim posjedima)</li><li>• Revizija zelene infrastrukture (za mapiranje i analizu značajki zelene infrastrukture i elemenata određenog područja)</li><li>• Živi vodni putovi</li><li>• Programi i smjernice za oborinske vode (dokumenti koji opisuju vladina/općinska načela upravljanja oborinskim vodama)</li><li>• Izračun koeficijenta otjecanja (omjer efektivne i bruto oborine)</li><li>• Procjena sliva (analiza mogućih utjecaja promjena u namjeni zemljišta zbog otjecanja oborinskih voda)</li></ul>
3. DIZAJNERSKA /STRUKTURNA RJEŠENJA	<ul style="list-style-type: none"><li>• Održiva rješenja za upravljanje oborinskim vodama</li><li>• Zelene ulice</li><li>• Najbolja praksa upravljanja održivim sustavom odvodnje (Sustainable Drainage System - SuDS) u izgrađenom okolišu</li></ul>
4. ALATI ZA PROCJENU	<ul style="list-style-type: none"><li>• iWater kriteriji procjene</li><li>• Troškovi i koristi održivih sustava odvodnje (SuDS)</li><li>• Analiza usluga ekosustava održivih rješenja za oborinske vode</li></ul>

\*Detaljan opis svakog alata dostupan na: <http://www.integratedstormwater.eu/iwatertoolbox>, Tools Collection Archive.



## Tematski katalog 1

### Važne činjenice

Važne činjenice stečene korištenjem paketa alata:

*Za kvalitetno planiranje i procjenu potreban je kombinirani pristup različitih alata. Najrelevantniji izazovi koji se odnose na upravljanje oborinskim vodama je da treba uzeti u obzir karakteristike regija.*

*Alati za upravljanje urbanim vodama postaju sve širi i razvijaju se iz tzv. sustava odvodnje temeljenih na cijevima u višenamjenske sustave, uključujući SOCIJALNE i EKOLOŠKE aspekte.*

### Gradovi i lokacije pilot projekta

Paket alata testiran je u sljedećim projektnim gradovima pilot projekta koji se suočavaju s različitim izazovima oborinskih voda.

GRAD	IZAZOV OBORINSKIH VODA	CILJ
Gävle, Švedska (industrijsko područje Kryddstigen)	Mjesto za planiranje nalazi se unutar područja gradske odgovornosti za upravljanje oborinskim vodama, što znači da je grad odgovoran za primanje čiste oborinske vode u postojeće oborinske cijevi do protoka koji je ekvivalentan 10 godina oborina. Međutim, cijevi su često premale. Oborinskim vodama koje se ne mogu primiti u sustav odvodnje mora se rukovati lokalno odgodom i/ili infiltracijom.	Grad Gävle želi dobiti prijedloge o tome kako mjesto za planiranje može upravljati oborinskom vodom, s rješenjima koja funkcioniraju i s gledišta poplava i pročišćavanja.
Helsinki, Finska (pilot projekt jedinice za filtriranje oborinskih voda u Taivalahti)	Kako gradska struktura postaje gušća i povećava se površina nepropusnih površina, povećava se količina oborinskih voda. Oborinske vode često su onečišćene nepoželjnim tvarima koje potječu od onečišćenja zraka, raznih površina, otpadnih voda, nesreća, puknuća cijevi i drugih događaja. Kako bi se spriječilo onečišćenje, potrebno je poboljšati kvalitetu oborinske vode prije njezina puštanja u vodni sustav.	Oborinska voda iz obližnje izrazito prometne ulice Mechelininkatu bit će usmjerena u cijev za oborinske vode i ispuštena u zaljev Taivallahti. U pilot fazi, dio oborinskih voda usmjerava se u jedinicu za filtriranje oborinskih voda prije nego se one ispuste u more. Jedinica pročišćava onečišćenje cesta i krhotine (mikroplastiku, suspendirane krutine i druge onečišćujuće tvari) iz vode dok ona prolazi kroz jedinice za grubu i finu filtraciju.
Svete u gradu Jelgava, Latvija	Veće poplave događaju se na teritoriju svakih deset godina. U proljeće, kada se snijeg topi, u rijeku se s okolnih područja slijeva mnogo vode i uzrokuje poplave na području grada. Sustav oborinskih voda nije pravilno izgrađen na mnogim područjima, kanali se iskapaju bez otjecanja i njima se ne upravlja, zakrčenost čak i malog rova ili odvodnog kanala utječe na veliko urbano područje.	Općina Jelgava pokrenula je razvoj kompleksnih rješenja na područjima u razvoju i u postojećim stambenim naseljima.



## Tematski katalog 1

GRAD	IZAZOV OBORINSKIH VODA	CILJ
Riga, Latvija (predgrađe TORŅAKALNS)	Prema Planu korištenja zemljišta za grad Rigu, lokacija pilot projekta nalazi se unutar područja koje ima status „Teritorija odvodnje“ (teritorij koji bi trebao biti isušen prije izgradnje). Na pilot lokaciji odvodnja vode je osigurana kroz otvoreni sustav jaraka. Postavljeno je izravno otjecanje s parcela na otvorene jarke, međutim, otjecanje s praznih parcela je slabo pa je i drenaža nedostatna - uglavnom zbog loših uvjeta otvorenih jaraka koji su puni taloga ili uništeni.	Planovi razvoja lokacije pilot projekta odnose se na revitalizaciju zelenih zona i poboljšanje njihove funkcionalnosti dodavanjem održivih funkcija zadržavanja oborinskih voda i odvodnje na temelju zelenih infrastrukturnih rješenja.
Söderhamnsporten, Söderhamn, Švedska	U kolovozu 2013. obilne oborine izazvale su veliku poplavu na tom području. To je stvaralo probleme za važne prometne funkcije tog područja.	Rješavanje problema s poplavama i realizacija drugih planova vezanih uz razvoj područja.
Tartu, Estonija Lokacija A: područje Jaamamõisa Lokacija B: Annelinn, područje kanala Väike Anne	Lokacija A: GAF alat je prilagođen kao alat za planiranje u gradu Tartu.  Lokacija B: dio najvećih stambenih područja izgrađenih uglavnom 1970. godine. Istražuju se mogućnosti korištenja jaraka za pročišćavanje oborinskih voda prije nego dosegnu Ema-jõgi. Nadalje, u tijeku je analiza potencijalnih potreba kao i prednosti korištenja integriranog sustava upravljanja oborinskim vodama u postojećem stambenom području.	Lokacija A: Glavni fokus bio je na pronalaženju i testiranju ideja o tome kako koristiti oborinske vode kao resurs u urbanističkom planiranju.  Lokacija B: Otkrivanje može li se upravljati oborinskim vodama ovog slivnog područja bez korištenja kanala Väike Anne.
Plan grada Kirstinpuisto (Kirstinpuiston asemakaava) Turku, Finska	Oborinske vode odvede se u more oborinskim cjevovodom koji je već na granici svog maksimalnog kapaciteta. Situaciju pogoršava regionalno postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda koje svoje otpadne vode odvodi do istog cjevovoda.	Potrebno je smanjiti maksimalno opterećenje cjevovoda oborinskih voda. Stoga je cilj zadržati što više oborinskih voda unutar novih urbanističkih područja, kao što je Kirstinpuisto.

Za detaljnije informacije o projektu i paketu alata posjetite:

O projektu iWater: <http://www.integratedstormwater.eu/about>

O paketu alata: <http://www.integratedstormwater.eu/iwatertoolbox>

O lokacijama pilot projekta: <http://www.integratedstormwater.eu/pilot-sites>





## 4.2. AQUAENVEC TOOL - PROCJENE ZAŠTITE OKOLIŠA I GOSPODARSKE PROCJENE

„Aquaenvec tool” razvijen je i testiran u okviru LIFE projekta “Aquaenvec - Procjena i poboljšanje ekološke učinkovitosti ciklusa urbanih voda korištenjem LCA i LCC.

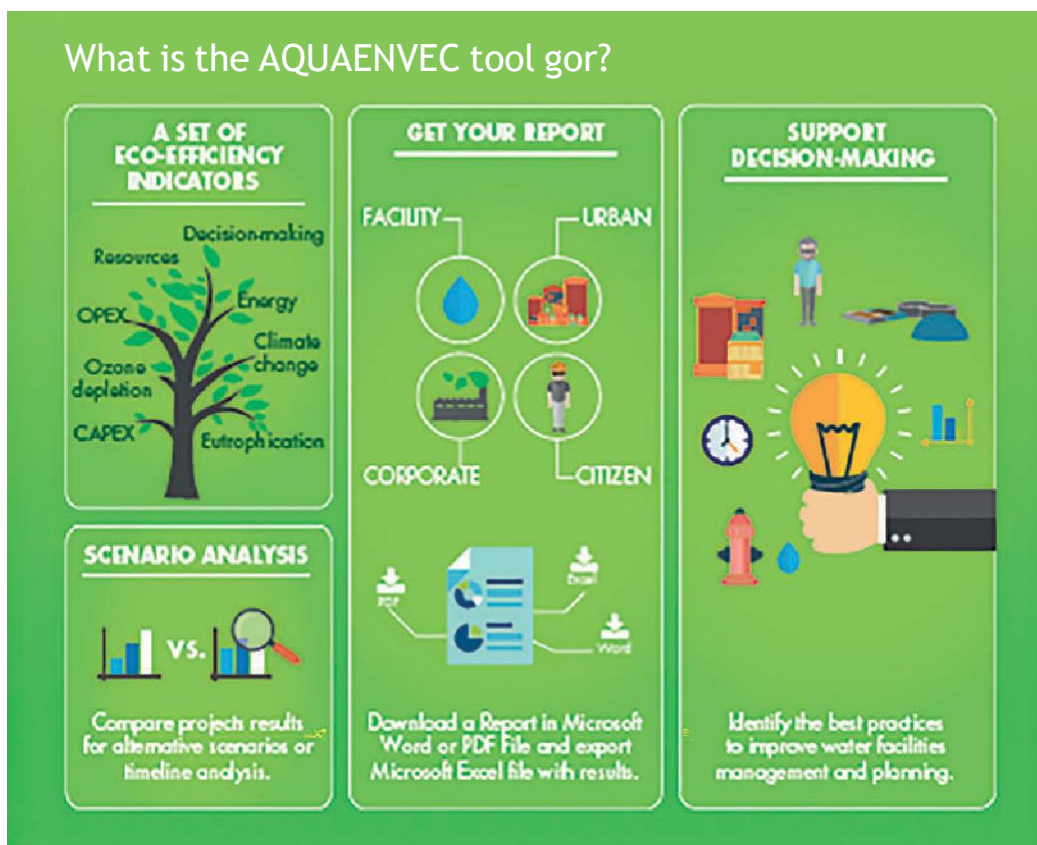
Fokus projekta bio je integrirati ekološku i ekonomsku procjenu u sveobuhvatnu studiju ekološke učinkovitosti ciklusa urbanih voda.

Projekt je ciljao pružiti alate za donošenje odluka za optimizaciju ekološke učinkovitosti kroz ekološku i ekonomsku analizu kako bi se osiguralo održivo upravljanje ciklusom urbanih voda. Dostupne su sljedeće analize:

- analiza životnog ciklusa (LCA) i potencijal smanjenja utjecaja ciklusa urbanih voda,
- obračun troškova životnog ciklusa (LCC) i procjena ušteda troškova u ciklusu urbanih voda,
- pokazatelji okoliša, gospodarstva i ekološke učinkovitosti za podršku donošenju odluka i promicanje održivog korištenja prirodnih resursa i ponovne upotrebe krajnjih proizvoda,
- razvoj alata prilagođenih korisnicima za podršku kreatorima politika te javnim i privatnim menadžerima.

### O ALATU

„Aquaenvec tool” je web-alat prilagođen korisniku razvijen za procjenu i poboljšanje ekološke učinkovitosti vodnih aktivnosti u urbanim područjima.<sup>14</sup>



<sup>14</sup> <http://www.life-aquaenvec.eu/the-aquaenvec-tool/>



## Tematski katalog 1

### Kome je namijenjen?

- javnim i privatnim upraviteljima vodama.

### Karakteristike

- uključivanje inovativnog pristupa ekološke učinkovitosti,
- cjelokupni ciklus urbanih voda,
- smanjenje utjecaja na okoliš (LCA),
- smanjenje troškova (LCC).

### Korištenje alata

- alat je dostupan on-line, nije potrebna instalacija,
- alat je razvijen na engleskom i španjolskom jeziku,
- Uključuje skup ekoloških, gospodarskih pokazatelja i pokazatelja ekoloških učinkovitosti,
- identificira najbolje prakse za poboljšanje rezultata,
- korisnik može preuzeti izvješće u Word ili PDF datoteci ili izvesti rezultate u Excel datoteku,
- mogu se usporediti rezultati različitih projekata (analiza scenarija).

### Značajke i rad alata

Registracija	Korisničko ime, lozinka, kontakt podaci, organizacija, područje stručnosti i prihvaćanje zakonskih uvjeta korištenja.
Izrada novog projekta za procjenu	<p>Postoje različite mogućnosti izrade novog projekta. Korisnik može birati između projekta ciklusa urbanih voda (uključujući sve faze ciklusa) i jednog vodnog objekta. U slučaju odabira jednog vodnog objekta, korisnik također mora navesti koje će se faze vodnog ciklusa uzeti u obzir: UPPV (Uređaj za pročišćavanje/ kondicioniranje vode za piće), opskrba mreža, kanalizacijska mreža i UPOV (Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda).</p> 



## MOGUĆNOST 1: UPOTREBA ALATA U SLUČAJU SUSTAVA CIKLUSA URBANIH VODA (uključene sve faze)

Podaci o gradu koji se proučava

1. FAZA	POSTROJENJE ZA PROČIŠĆAVANJE VODE ZA PIĆE
KORAK 1: unos općih podataka	<p>Kemijska obrada: kemijsko doziranje</p> <p>Obrada membranom: membranska obrada</p> <p>Produljena dezinfekcija: produžena dezinfekcija</p> <p>Obrada mulja: zgušnjavanje, odvodnjavanje (filtracija, centrifugiranje), sušenje (termalno sušenje, automatizacija, solarno sušenje)</p> <p>Mulj do konačnog odlaganja (transport taloga na odlagalište, talog za energetske uporabu i talog za recikliranje)</p>
KORAK 2: potvrđivanje	Nakon uključivanja općih podataka u koraku potvrđivanja, alat daje skup preporuka o procesima i pročišćavanjima u obliku uputa za korisnike
KORAK 3:	Uključivanje aktualnih podataka o radu i održavanju. U odjeljku Obrada vidjet ćete dizajniranu shemu i moći ćete modificirati specifične karakteristike svakog elementa. Ovaj korak također omogućuje uključivanje više podataka o zbrinjavanju otpada, kvaliteti vode, kvaliteti pitke vode, korištenju obnovljive energije.
2. FAZA	VODOVODNA MREŽA
KORAK 1: unos općih podataka	Karakteristike mreže i priključaka (životni vijek mreže, vršna naseljenost, priključak vode, itd.).
KORAK 2: unos podataka o vodovodnoj mreži	<p>Građevinski dio: korisnik dodaje opis cijevi i drugih materijala mreže.</p> <p>Sažetak informacija: prikazan je grafikon materijala cijevi, uključujući podatke o vrsti materijala, veličini, duljini.</p>
KORAK 3: unos podataka o radu i održavanju	Uključena su četiri pododjeljka: potrošni materijal (struja i dezinfekcija kloriranjem), zamjena mreže, zamjena oprema i ostala pitanja vezana za održavanje (curenja, troškovi osoblja, laboratorij, čišćenje, itd.).



## Thematic Catalogue 1

3. FAZA	
KORAK 1: unos općih podataka	KANALIZACIJSKA MREŽA Podaci koji se odnose na mrežu i vrstu kanalizacijske mreže: stanovništvo obuhvaćeno uslugom, prikupljena voda, klima itd. Ponovno su prikazane neke pretpostavke o elementima mreže.
KORAK 2: unos podataka o radu i održavanju	Potrošnja energije: podaci o električnoj energiji. Zamjena mreže: dodajte godišnje zamjenske cijevi kako je prethodno objašnjeno u odjeljku Izgradnja. Zamjena opreme: dodajte godišnje zamjensku opremu, kao što je prethodno objašnjeno u odjeljku Izgradnja. Čišćenje i pregled kanalizacije: potrošnja električne energije, benzina, dizela, troškovi čišćenja, gospodarenje otpadom itd. Ostala pitanja rada i održavanja: troškovi osoblja, održavanje, laboratorij i analiza.
4. FAZA	
POSTROJENJE ZA PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	
KORAK 1: unos općih podataka	Naziv objekta, podaci o protoku, broj općina koje koriste uslugu i ekvivalent stanovništva
KORAK 2: odjeljak dizajna	Dijagram dizajna vrlo je sličan onom u fazi UPPV, ali su postupci pročišćavanja drugačiji. Specifičnosti pročišćavanja vode. Pročišćavanje taloga.
KORAK 3: unos podataka o radu i održavanju	Uključivanje podataka o radu i održavanju. U odjeljku Pročišćavanje vidjet ćete osmišljenu shemu i unijeti više informacija o zbrinjavanju otpada s istim parametrima kao u UPPV fazi. Što se tiče kvalitete vode (ulazne ili izlazne), moguće je unijeti podatke koji se odnose na direktivu o pročišćavanju urbanih otpadnih voda (91/2717EEZ), metale, PPCP i prioritetne tvari. U odjeljku Ostala pitanja rada i održavanja možete unijeti potrošnju dizela i prirodnog plina.
5. FAZA	
PREGLED IZVJEŠTAJA O REZULTATIMA PROJEKTA	
REZULTATI	Nakon što ste ispravno dovršili sve aktivne faze u projektu, možete kliknuti na gumb Rezultati za pristup i pregled skupa izvještaja. Rezultati zaštite okoliša: prikaz podataka o potencijalu globalnog zatopljenja, potencijalu eutrofikacije, potencijalu oštećenja ozonskog omotača i kumulativnoj potražnji za energijom. Gospodarski rezultati: podaci o troškovima u životnom ciklusu, volumetrijski troškovi, godišnji troškovi rada i održavanja, godišnji troškovi po stanovniku i više informacija ovisno o odabranoj fazi i dionici. Rezultat ekološke učinkovitosti uključuje poprečni prikaz ekoloških i gospodarskih podataka.

### MOGUĆNOST 2: UPOTREBA ALATA U SLUČAJU POJEDINAČNOG VODNOG POSTROJENJA

Odabirom jednog vodnog postrojenja korisnik mora naznačiti koje se faze vodnog ciklusa uzimaju u obzir: DWTP (postrojenje za pročišćavanje vode za piće), opskrbna mreža, kanalizacijska mreža i UPOV (Uređaj za pročišćavanje otpadnih voda).





Tematski katalog 2

# Inovativni inženjering i rješenja temeljena na prirodi za kružno korištenje voda



# Sadržaj | Dio 1: Upravljanje kišnicom

<b>1. UVOD</b>	<b>45</b>
1.1. O CWC-KATALOGU 2	46
1.2. KRUŽNO UPRAVLJANJE VODAMA	
1.3. RJEŠENJA TEMELJENA NA PRIRODI ( <i>eng- nature based solutions - NBS</i> )	48
1.4. ODRŽIVI URBANI ODVODNI SUSTAVI ( <i>eng. sustainable urban drainage systems - SUDS</i> )	48
1.5. EUROPSKE POLITIKE I ZAKONODAVSTVA	49
<b>2. ALATI ZA ODRŽIVO UPRAVLJANJE KIŠNICOM</b>	<b>50</b>
2.1. PRIKUPLJANJE KIŠNICE ( <i>eng. rainwater harvesting - RWH</i> ) ZA PONOVNU UPOTREBU KAO PITKE I NEPITKE VODE	52
2.1.1. Komponente sustava za prikupljanje kišnice	52
2.1.2. Određivanje veličine RHW sustava	57
2.1.3. Rad i održavanje	58
2.1.4. Primjena i uporaba prikupljene kišnice	58
2.1.5. Koristi	59
2.1.6. Uspješnost	59
2.1.7. Troškovi	59
2.1.8. Higijenski aspekti	60
2.1.9. Obrada kišnice za upotrebu kao pitka voda u zgrada	60
2.1.10. Normativni standardi	61
2.1.11. Prikupljanje kišnice za adijabatsko hlađenje u zgradama	61
2.2. ZADRŽAVANJE I EVAPOTRANSPIRACIJA KIŠNICE	62
2.2.1. Zeleni krovovi	62
2.2.2. Zeleni zidovi/fasade	64
2.2.3. Kišni vrtovi (bioretencijski sustavi)	66
2.2.4. Retencijske bare	68
2.2.5. Konstruirana močvarna područja sa slobodnim površinskim tokom	69
2.2.6. Konstruirana močvarna područja s podzemnim tokom	71
2.2.7. Slivovi za zadržavanje vode	72
2.3. INFILTRACIJA	74
2.3.1. Propusno / porozno popločavanje	76
2.3.2. Filtarska trake	79
2.3.3. Uleknuća (uleknuća s vegetacijom / biološka uleknuća)	80
2.3.4. Slivovi za infiltraciju	81
2.3.5. Rovovi za infiltraciju	83
2.3.6. Uleknuće-rov za infiltraciju	85





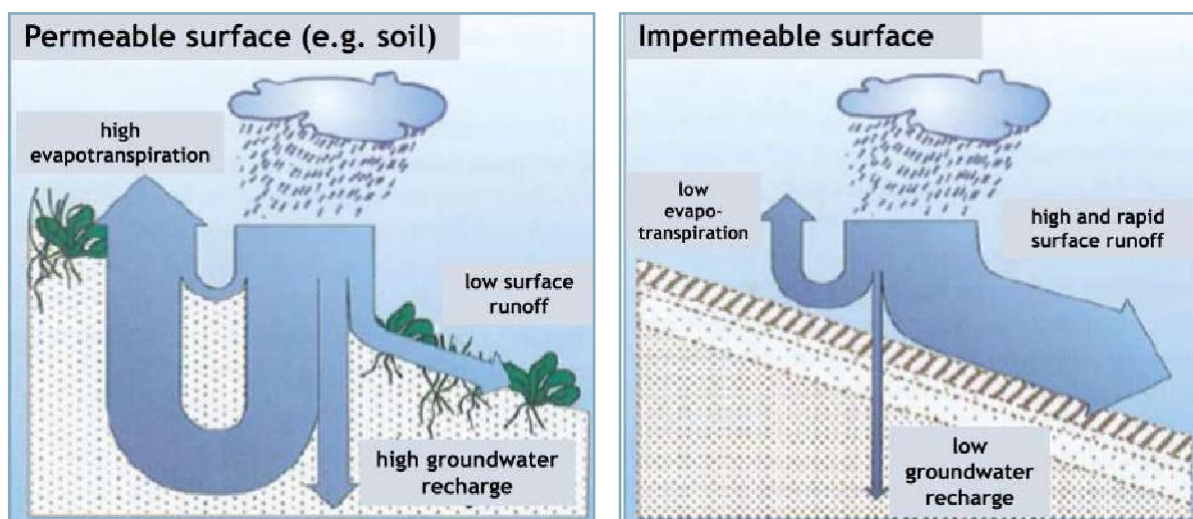
<b>3. MATRICA PREGLEDA RAZLIČITIH MJERA UPRAVLJANJA KIŠNICOM</b>	<b>87</b>
<b>4. NAJBOLJA PRAKSA</b>	<b>89</b>
4.1. PRIKUPLJANJE KIŠNICE U STAMBENOM PODRUČJU BELSS-LÜDECKE, BERLIN	89
4.2. TRG POTSDAMER PLATZ, BERLIN	91
4.3. OLIMPIJSKI STADION, BERLIN	94
4.4. MEĐUNARODNA ZRAČNA LUKA BERLIN-BRANDENBURG (BBI)	95
4.5. VODENI CIKLUS® HAMBURG ( <i>eng. Hambur water cycle - HWC</i> )	96
4.6. EMSCHERGENOSSENSCHAFT	98
4.7. KURAS - KONCEPTI UPRAVLJANJA URBANIM OBORINSKIM VODAMA, ODVODNIM I KANALIZACIJSKIM SUSTAVIMA	99
4.8. VODENI PARK GORLA MAGGIORE (KOMBINIRANO PROČIŠĆAVANJE PRELIJEVANJA KANALIZACIJSKOG SUSTAVA)	99
4.9. SUSTAV FILTERA ZA ZADRŽAVANJE TLA ( <i>eng. retention soil filter - RSF</i> ) U BERLIN-ADLERSHOFU	103



# 1. Uvod

Do 2030. godine svijet bi se mogao suočiti s jazom od 40 % u opskrbi vodom u odnosu na potražnju. Istodobno, 80 % otpadnih voda trenutno se vraća u okoliš nepročišćeno.<sup>1</sup> Stoga je krajnje vrijeme da se istraže rješenja za kružno upravljanje vodama i razvije sustav zatvorene petlje s optimalnom ponovnom upotrebom kako bi se spriječio gubitak ovih vrijednih resursa.

Konvencionalni, centralizirani model upravljanja urbanim vodama suočava se s višestrukim izazovima uglavnom zbog problema povezanih sa starenjem, prevelikom i skupom infrastrukturom, slabim strukturama upravljanja i ograničenim mogućnostima ulaganja u nove infrastrukturne projekte. Također je prisutna brza promjena u okruženju dostupnosti vode potaknuta klimatskim promjenama. Ovaj put konvencionalnog upravljanja urbanim vodama ima visoku cijenu društvene i ekološke degradacije i zahtjeva velika kapitalna ulaganja. Urbanizacija mijenja prirodni krajolik i utječe na prirodni ciklus voda koji se obično održava u ravnoteži kroz nekoliko hidroloških procesa kao što su isparavanje, oborine, infiltracija i transpiracija biljaka. Pojačanim zatvaranje, propusnih površina kao rezultat građevinskih aktivnosti, smanjuje se propusnost tla, kao i količina voda koja ponire u tlo, čime se utječe na cjelokupnu ravnotežu voda. Povećanje nepropusnih površina pridonijet će većim količinama otjecanja oborinskih voda, što će rezultirati povećanim urbanim poplavama i onečišćenjem površinskih vodnih tijela (Slika 1).



Slika 1: Promjena volumena otjecanja vode kao rezultat urbanizacije.<sup>2</sup>

Nestašica vode u urbanim područjima, također pojačana klimatskim promjenama, ima negativne utjecaje na urbane ekološke sustave, što dovodi do pada razine podzemnih voda, efekata urbanih toplinskih otoka, povećane potražnje za opskrbom vodom na daljinu i razdoblja najveće potrošnje, posebno tijekom ljetnih mjeseci i mnogi drugi.

<sup>1</sup> Connor, R., Renata, A., Ortigara, C., Koncagül, E., Uhlenbrook, S., Lamizana-Diallo, B.M., Zadeh, S.M., Qadir, M., Kjellén, M., Sjödin, J. and Hendry, S. (2017) The United Nations world water development report 2017. Wastewater: The untapped resource. The United Nations World Water Development Report (Izvešće Ujedinjenih naroda o svjetskom razvoju voda za 2017. Otpadne vode: neiskorišteni resurs. Izvešće Ujedinjenih naroda o svjetskom razvoju voda).

<sup>2</sup> Dezentrale naturnahe Regenwasserbewirtschaftung (2006) Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt. <https://www.risa-hamburg.de/fileadmin/risa/Downloads/Dezentrale%20naturnahe%20Regenwasserbewirtschaftung.pdf>



## Tematski katalog 2 - DIO 1

Umjesto korištenja udaljenih vodnih resursa, trebalo bi pronaći načine kako najbolje rasporediti vodne resurse kako bi se zadovoljile ljudske potrebe. Dio (ako ne i sve) potrebe za vodom može se zadovoljiti iz zalih lokalnih izvora vode uključujući kišnicu, otpadne vode i sive vode. Ti lokalni izvori vode tradicionalno su tretirani kao „otpadne vode” u urbanim sredinama i ispuštaju se u javnu kanalizaciju.

Korištenje lokalnih vodnih resursa također je povezano s postojećom raspravom o urbanoj održivosti koja prepoznaje važnost lokalnih rješenja i ključnu ulogu lokalne samouprave i građana u potrazi za održivim razvojem. Ovo načelo provedeno je u praksi u Europi i drugdje na temelju lokalne Agende 21 i Ciljeva održivog razvoja (SDG, 2015.).<sup>3</sup>

Drugi značajan problem konvencionalnog upravljanja vodama u urbanim područjima je brza odvodnja oborinskih voda putem kombiniranog kanalizacijskog sustava, što rezultira povećanim hidrauličkim opterećenjem postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda i pogoršanjem kvalitete površinskih vodnih tijela. U skladu s tim i sa zahtjevima Okvirne direktive o vodama EU (WFD, 2000.)<sup>4</sup>, za postizanje dobrog statusa vode, potrebno je tražiti odvojeno ispuštanje oborinskih i otpadnih voda.

### 1.1. O CWC-Katalogu 2

Zemlje Srednje Europe značajno se razlikuju u dostupnosti vode i upravljanju svojim vodnim resursima. Nekoliko regija i gradova Srednje Europe također pokazuje visoke razine gubitaka vode u svojim centraliziranim mrežama vodoopskrbe koji mogu doseći i do 50 %. Stoga postoji hitna potreba za razmatranjem novih i inovativnih shema upravljanja vodama u svijetlu trajnih negativnih utjecaja klimatskih promjena i urbanog razvoja. Prikupljanje kišnice i ponovnu upotrebu voda trebali bi postati sastavni dio ukupnih shema upravljanja vodama u ovim zemljama kako bi se osigurala opskrba vodom, očuvali dragocjeni vodni resursi i zaštitio ekosustav.

Ovaj CWC tematski katalog za inovativno inženjerstvo i rješenja temeljena na prirodi (NBS) pruža nadležnim tijelima, planerima, građevinarima, inženjerima, vlasnicima nekretnina i drugim dionicima informacije o najsuvremenijoj tehnologiji održivog upravljanja oborinskim vodama i ponovnog korištenja sive vode unutar urbanog konteksta. Služi kao alat i nudi smjernice za odabir odgovarajuće sheme upravljanja oborinskim vodama/tehnologije ponovnog korištenja sive vode za određenu lokaciju.

Katalog ima za cilj podržati donositelje odluka u kretanju prema decentraliziranom pristupu upravljanju vodnim resursima i približavanju postizanju ciljeva održivog razvoja (SDG) i višoj samodostatnosti kada je u pitanju voda.

Katalog je podijeljen u dva glavna dijela koji se bave: 1) održivim alatima za upravljanje oborinskim vodama i 2) alatima za recikliranje i ponovnu upotrebu sive vode.

**U ovom će se katalogu pojmovi kišnica i oborinska voda koristiti međusobno zamjenjivo.**

<sup>3</sup> <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

<sup>4</sup> WDF - “Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća kojom je uspostavljen okvir za djelovanje Zajednice u području vodne politike”.

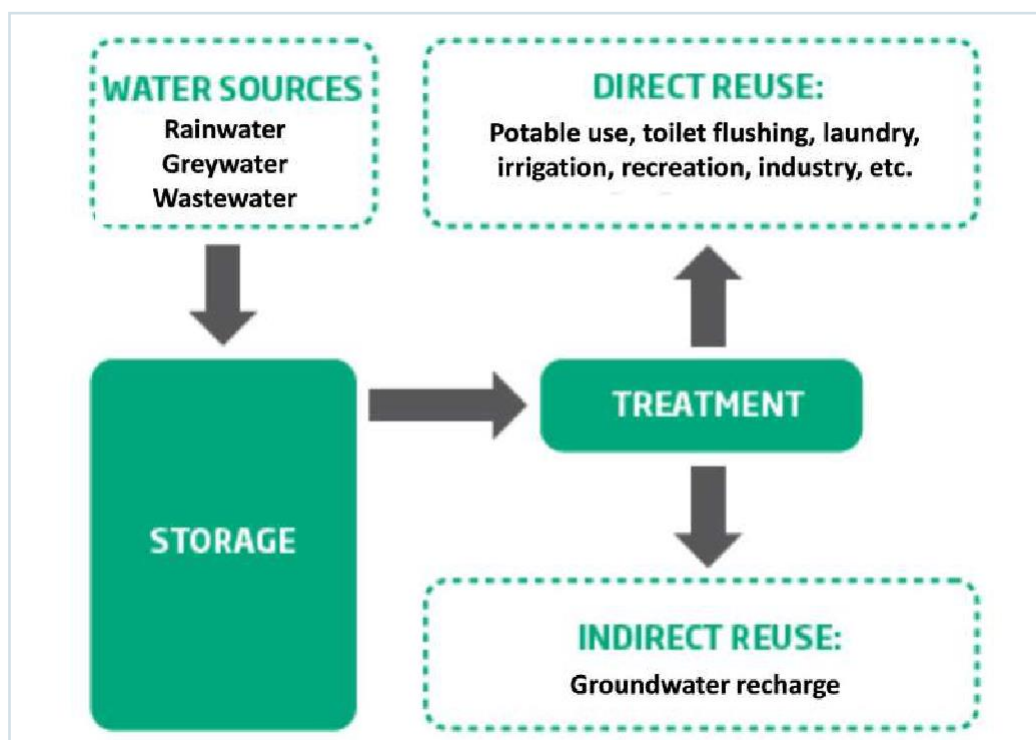


## 1.2. Kružno upravljanje vodama

Novi kružni put voda zamišljen je kao alternativa ili dopuna konvencionalnom linearnom modelu koji nudi mogućnosti decentraliziranog upravljanja vodama koje se mogu primijeniti na različitim prostornim razinama. Stoga je cilj kružnog upravljanja vodama korištenje otpadnih voda kao resursa (za vodu, energiju i hranjive tvari) u skladu s konceptom kružnog gospodarstva (*eng. circular economy - CE*) i na temelju sljedećeg reda prioriteta:

- izbjegavati (ako je moguće),
- smanjiti,
- reciklirati,
- ponovno upotrijebiti,
- odlagati (ako nema druge mogućnosti).

Postojeća infrastruktura za vodu i otpadne vode u većini industrijaliziranih zemalja nije prikladna za podršku kružnom vodnom gospodarstvu. To se mora optimizirati kako bi se smanjili gubici vode, a novu vodnu infrastrukturu treba osmisliti na način da promiče prakse kruženja voda. Kišnica i otpadne vode vrijedni su resursi za vodu, energiju i hranjive tvari koji se mogu prikupiti, prerađiti, reciklirati i ponovno upotrijebiti kako bi se zatvorio vodni ciklus i otvorio put prema kružnom vodnom gospodarstvu u Srednjoj Europi i drugdje (Slika 2).



Slika 2: Sudbina vodnih resursa u kružnom upravljanju vodama (prilagođeno iz Hoffmann i sur., 2015.)<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Hoffmann, B., Laustsen, A., Jensen, I. H., Jeppesen, J., Briggs, L., Bonnerup, A., Hansen, L., Sommer Lindsay, R., Rasmussen, J., Andersen, U. R., Rungø, M., Uggerby, M., Bay, H., Quist Rasmussen, S., Vester, M., Riise, J. C., Krag Strømberg, C., Dreiseitl, H., Astrup, R., ... Milert, T. (2015) Sustainable Urban Drainage Systems: Using rainwater as a resource to create resilient and liveable cities. State of Green (*Održivi sustavi urbane odvodnje: Korištenje kišnice kao resursa za stvaranje otpornih gradova pogodnih za život. State of Green*), <https://stateofgreen.com/en/news/new-white-paper-on-climate-adaptation-launched-at-aquatech>



### 1.3. Rješenja temeljena na prirodi (NBS)

EU<sup>6</sup> definira rješenja temeljena na prirodi (NBS) kao „rješenja koja su nadahnuta i podržana prirodom, koja su isplativa, istovremeno pružaju ekološke, društvene i gospodarske koristi i pomažu u izgradnji otpornosti. Takva rješenja donose raznovrsnije i prirodne značajke i procese u gradove, krajolike i morske krajolike kroz lokalno prilagođene, resursno učinkovite i sustavne intervencije.”

Pristupi NBS-u općenito se klasificiraju u 5 kategorija:<sup>7</sup>

- pristupi obnovi ekosustava (npr. ekološka obnova, ekološki inženjering i obnova šumskog krajolika),
- pristupi povezani s ekosustavom (npr. prilagodba temeljena na ekosustavu, ublažavanje posljedica na temelju ekosustava i smanjenje rizika od katastrofa temeljeno na ekosustavu),
- pristupi povezani s infrastrukturom (npr. pristupi prirodne infrastrukture i zelene infrastrukture),
- pristupi upravljanja temeljeni na ekosustavima (npr. integrirano upravljanje obalnim područjem i integrirano upravljanje vodnim resursima),
- pristupi zaštiti (npr. pristupi očuvanju temeljeni na području uključujući upravljanje zaštićenim područjima).

Primjeri NBS-a, među ostalim mjerama, uključuju zelene krovove i fasade, kišne vrtove, ribnjake i močvarna područja.

### 1.4. Održivi sustav odvodnje (SuDS)

Održivi sustavi odvodnje (SuDS, UK), također poznati kao najbolje prakse upravljanja oborinskim vodama (BMP, Sjeverna Amerika), urbani dizajn osjetljiv na vodu (WSUD, Australija) ili decentralizirano upravljanje oborinskim vodama (Njemačka), sustavi su koji upravljaju urbanim oborinskim vodama, oponašaju prirodne procese i umanjuju protok oborinskih voda unutar urbanih slivnih područja.<sup>8</sup> Ove mjere prvenstveno smanjuju otjecanje i štite vodne resurse i okoliš promicanjem prikupljanja kišnice, privremenog skladištenja vode (u retencijama), infiltracije i evapotranspiracije, obično u kombinaciji ili u nizu komponenti kako bi se formirao „lanac gospodarenja“, ovisno o uvjetima lokacije i lokalnim zahtjevima.

Tradicionalno se oborinske vode odvede što je brže moguće iz urbanih područja u vodna tijela koja primaju oborinske vode. Pristupi održivog upravljanja oborinskim vodama vide kišnicu kao vrijedan resurs. Stoga, SuDS koncept ima za cilj:<sup>9</sup>

- korištenje kišnice kao izvora (npr. kao alternativa pitke vode, za ispiranje WC-a, navodnjavanje, pranje rublja, industriju, itd.),
- zadržavanje kišnice na lokaciji i upravljanje njome iznad zemlje, ako je moguće blizu mjesta pada kiše,
- obnavljanje podzemnih voda promicanjem infiltracije kišnice,
- poticanje evapotranspiracije i poboljšanje mikroklimе,

6 <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>

7 <https://portals.iucn.org/library/node/46191>

8 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. and Mikkelsen, P.S., 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more. The evolution and application of terminology surrounding urban drainage (SUDS, LID, BMP, WSUD i još mnogo toga. *Evolucija i primjena terminologije koja okružuje urbanu odvodnju*). Urban Water Journal, 12(7), pp.525-542.

9 The SuDS Manual. Department for Environment Food and Rural Affairs (SuDS priručnik. *Odjel za okoliš, hranu i ruralna pitanja*), CIRIA 2015.



## Tematski katalog 2 - DIO 1

- usporavanje i skladištenje vode koja otječe kako bi se oponašale prirodne količine otjecanja,
- filtriranje i pročišćavanje otjecanja kroz prirodnu filtraciju u tlo,
- ako je potrebno, ispuštanje u vodno tijelo ili u kanalizaciju.

SuDS postiže optimalno decentralizirano upravljanje otjecanjem površinskih voda oponašanjem prirodnog hidrološkog ciklusa uzimajući u obzir sljedeća četiri stupa:

- količina vode: smanjenje brzine i količine ispuštene kišnice prikupljanjem, infiltracijom, zadržavanjem unutar retencija i transportom kišnice,
- kakvoća vode: poboljšanje kakvoće ispuštene kišnice i vodnih tijela koja primaju kišnicu. To se postiže taloženjem, filtracijom, adsorpcijom, biorazgradnjom, sadnjom biljaka itd.,
- pogodnosti: poboljšanje životnog okruženja,
- bioraznolikost: povećanje biološke raznolikosti divljih životinja i biljaka.

### 1.5. Europske politike i zakonodavstva

Neke politike i propisi na europskoj razini nude zakonske okvire za upravljanje urbanim oborinskim vodama. One uključuju:

- Okvirnu direktivu o vodama 2000/60/EZ (WFD)
- Direktivu o podzemnim vodama 2006/118/EZ (GWD)
- Direktivu o poplavama 2007/60/EZ (FD)
- Okvirnu direktivu o morskoj strategiji 2008/56/EZ
- Direktivu o komunalnim otpadnim vodama (91/271/EZ)
- Direktivu o standardima kvalitete okoliša (2008/105/EZ) (EQSD)
- Direktivu o vodama za kupanje (2006/7/EZ).

Okvirna direktiva o vodama 2000/60/EZ (WFD) je u središtu europskog zakonodavstva o vodama. Njezini primarni ciljevi su održavanje i poboljšanje vodnog okoliša, smanjenje ispuštanja opasnih tvari u vode te sprječavanje propadanja voda.

Direktiva EU o poplavama 2007/60/EZ o procjeni i upravljanju rizicima od poplava zahtijeva od država članica EU da procijene jesu li njihovi vodotoci i obale ugroženi te da nakon toga poduzmu odgovarajuće i koordinirane mjere za poboljšanje upravljanja rizikom od poplava. Direktiva EU o podzemnim vodama zabranjuje sve radnje koje mogu pogoršati kvalitetu podzemne vode, što bi moglo utjecati na primjenu praksi upravljanja oborinskim vodama temeljenih na infiltraciji.



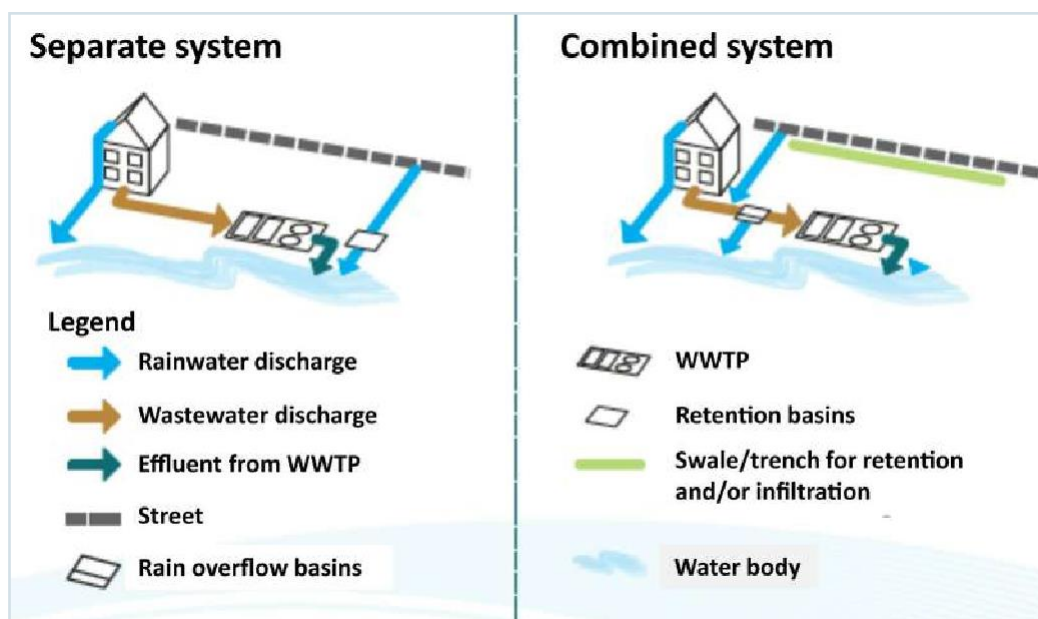


## 2. Alati za održivo upravljanje kišnicom

Postoji širok spektar tehnologija i mjera za smanjenje i ublažavanje utjecaja oborinskih voda i poplava na okoliš i infrastrukturu. Kišnica se može infiltrirati ili prikupiti i pohraniti za navodnjavanje, ozelenjavanje ili adijabatsko hlađenje. Zadržavanje kišnice u urbanim područjima (bare, močvarna područja) dobra je mjera za smanjenje vršnih ispuštanja i povećanje evapotranspiracije. Potencijal održivih sustava upravljanja oborinskim vodama za prilagodbu različitim uvjetima i zahtjevima je neograničen. Osim toga, uvijek treba uzeti u obzir uravnotežen omjer zapečaćenih i nezapečaćenih površina u urbanim područjima.

### Mješoviti i odvojeni kanalizacijski sustavi

U mješovitom kanalizacijskom sustavu oborinske i otpadne vode ispuštaju se u zajedničku kanalizaciju koja obično odvodi u postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda (UPOV). Budući da količine oborinskih voda često premašuju količine proizvedenih otpadnih voda, tehnički i gospodarski nije izvedivo pročišćavati cjelokupni tok otpadnih voda u UPOV. Stoga se bazeni za zadržavanje kišnice obično koriste za smanjenje hidrauličkog opterećenja koje ulazi u UPOV. Zadržani tok se na kraju ispušta, obično usporeno, u vodno tijelo (Slika 3).



Slika 3: Dijagram procesa odvojenih i mješovitih kanalizacijskih sustava.<sup>10</sup>

U odvojenom kanalizacijskom sustavu otpadne i oborinske vode prikupljaju se u dvije odvojene kanalizacije, pri čemu se otpadne vode ispuštaju u UPOV, a oborinske vode u najbliže vodno tijelo (potok, rijeka, more). Za ispuštanje kišnice u vodno tijelo obično je potrebna dozvola. Retencijski bazeni također se koriste za privremeno skladištenje kišnice, budući da je kapacitet infiltracije tla obično nedovoljan za smanjenje površinskog otjecanja. Osim smanjenja vršnog protoka kišnice, retencijski bazeni utječu na određeni stupanj obrade površinskog otjecanja putem sedimentacije.

<sup>10</sup> Geiger, W., Dreiseitl, H., Stemplewski, J. (2009) Neue Wege für das Regenwasser. Handbuch zum Rückhalt und z Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. Emschergenossenschaft, Essen (Hrsg.). 3. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag GmbH, München.

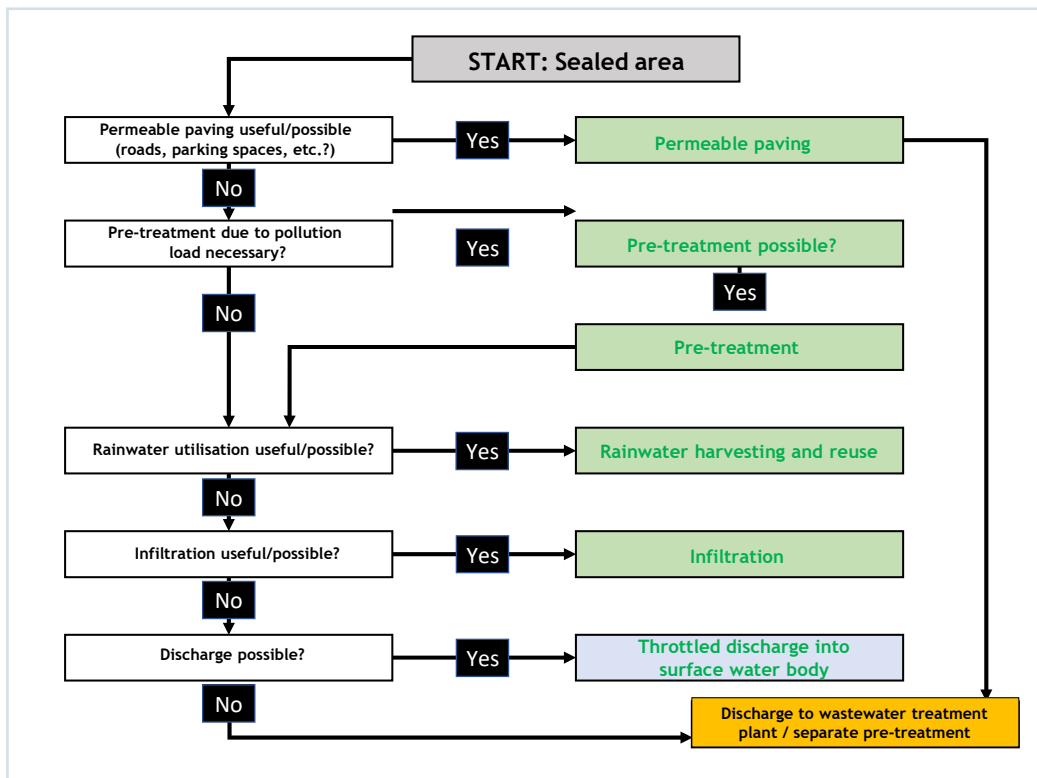




Odvojeni kanalizacijski sustav nudi nekoliko prednosti u odnosu na kombiniranu kanalizaciju:

- blago onečišćena kišnica može se izravno i isplativo prikupljati i ispuštati u obližnje vodno tijelo bez pročišćavanja,
- površinskim otjecanjem može se upravljati zasebno bez ikakve kontaminacije iz kanalizacije,
- kišnica se može prikupljati i ponovno upotrijebiti ili infiltrirati za ponovno punjenje podzemnih voda,
- veličina kanalizacije otpadnih voda može biti mala za pročišćavanje samo otpadnih voda,
- smanjeno je opterećenje UPOV-a,
- rizik od prelijevanja kanalizacije može se ograničiti ili ukloniti.

Slika 4 predstavlja opći prijedlog pristupa održivom upravljanju oborinskim vodama u urbanim područjima koji služi kao vodič za odabir odgovarajuće mjere ili niza mjera za određenu lokaciju i lokalne uvjete.



Slika 4: Shema provjere za održivo upravljanje oborinskim vodama u urbanim područjima (prilagođeno iz Emschergenossenschaft).



## 2.1. Prikupljanje kišnice (RWH) za ponovnu upotrebu kao pitka i nepitka voda

Kišnica, kako izlazi iz oblaka, je destilirana voda vrlo niske električne vodljivosti ( $EC = 0,05 \mu S/cm$ ), što je posredni parametar za određivanje ukupne otopljene anorganske krute tvari (TDS) u kišnici. Za usporedbu, pitka voda pokazuje tipičnu vodljivost u rasponu od 200-800  $\mu S/cm$ , dok morska voda pokazuje oko 50.000  $\mu S/cm$ .

Stoga, zbog vrlo niskog sadržaja minerala u kišnici i na mjestima gdje je pitka voda karakterizirana visokim stupnjem tvrdoće, kišnica se obično preferira za različite primjene u privatnom i industrijskom sektoru (npr. pranje rublja, vrtlarstvo, bojleri, tornjevi za hlađenje).

Općenito, kišnicu karakterizira znatna prostorna i vremenska varijabilnost. Njena kvaliteta uglavnom ovisi o onečišćenju atmosfere kao i o slivnom području i načinu prikupljanja. Obično industrijska područja i područja s gustim prometom pridonose većem onečišćenju otjecanja od manje gustog područja.

Na kvalitetu kišnice također utječe vrsta krova/površine i materijal. Primjerice, preferiraju se kosi krovovi s glatkim površinama jer akumuliraju manje prašine, dok se teški metali mogu isprati u kišnicu s nezabrtvljenih metalnih krovova. Otjecanje sa zelenih krovova može biti manje ili više smečkaste boje zbog supstrata tla, što nije problematično za potrebe navodnjavanja, ali manje prikladno kada se kišnica koristi za pranje rublja.

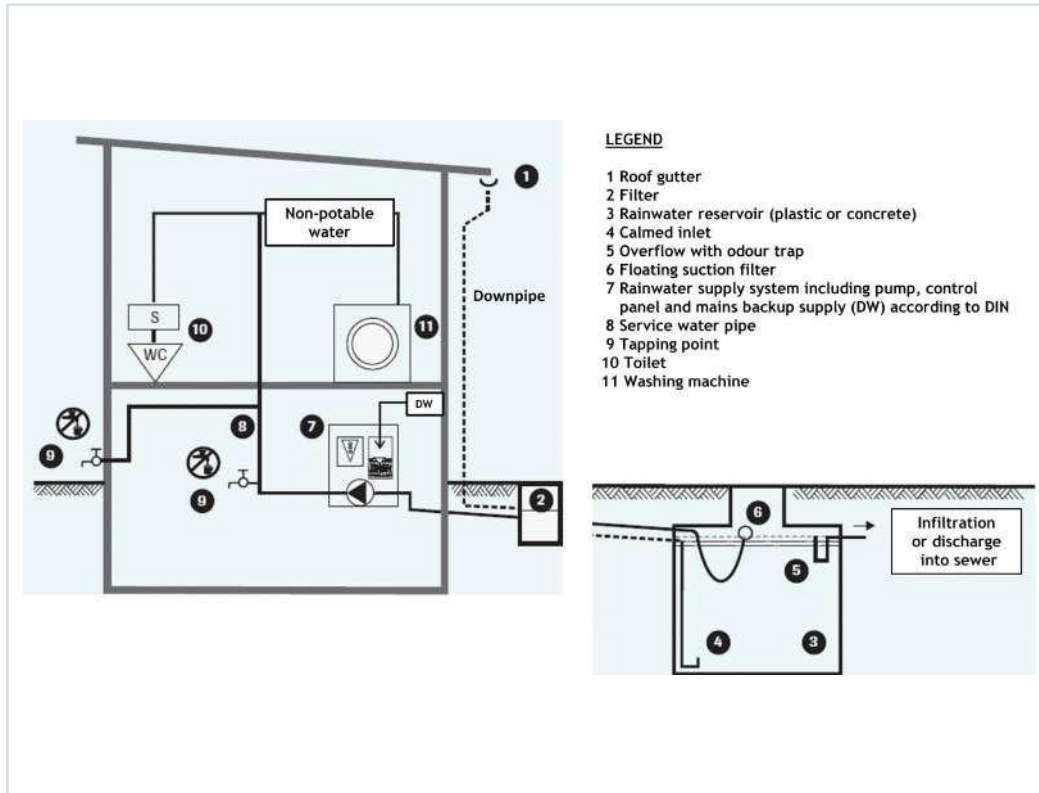
### 2.1.1. Komponente sustava za prikupljanje kišnice (RWH)

Stambeni ili komercijalni RWH sustavi uvelike se razlikuju u dizajnu od jednostavnih, malih bačvi za kišu na kraju krovne cijevi za navodnjavanje vrta, do naprednih sustava koji pročišćavaju vodu prema standardima pitke vode ili većim sustavima za cijeli okrug. Obično se RWH sustav sastoji od tri osnovna elementa:

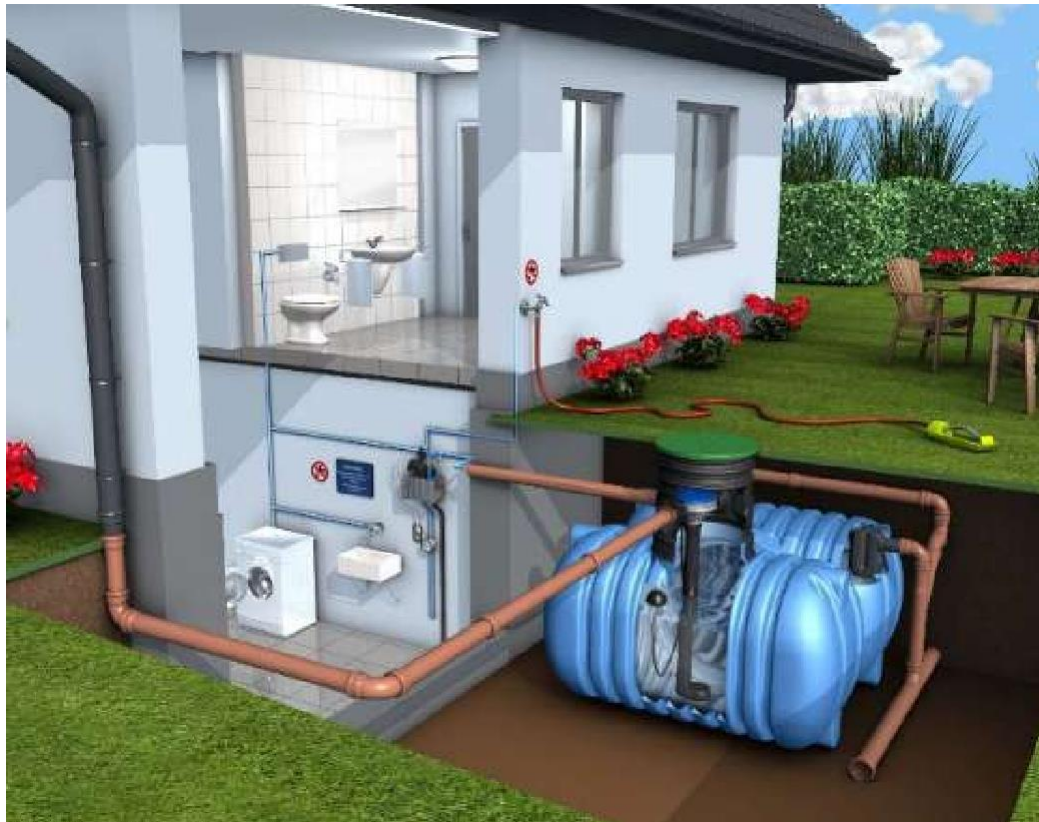
- **Sustav za prikupljanje:** površina sliva kao što je krov ili površina tla.
- **Sustav za transport:** koji transportira kišnicu, kao što su oluci i odvodne cijevi.
- **Sustav za skladištenje:** kao što su bačve za kišu, cisterne ili spremnici, pohranjeni pod zemljom ili iznad zemlje.

Ostale komponente sustava za prikupljanje kišnice uključuju:

- **zaštita filtra/ulaza:** zadržavanje krhotina s krovova i drveća kao što su filtri za odvodne cijevi, filtri ispred spremnika i filtri u spremniku ili
- **preusmjerivač prvog dotoka:** ventil koji preusmjerava prvu kišnicu (prvi dotok), koja je obično jako zagađena, dalje od spremnika,
- **ventil za usporavanje dotoka:** u spremnik,
- **preljev spremnika:** odvod u sustav infiltracije ili kanalizacijski sustav na lokaciji,
- **sustav razvoda:** uključuje cijevi, priključke i ekspanzijski spremnik,
- **sustav crpke:** s uređajem za usisavanje, isporučuje kišnicu do mjesta korištenja,
- **sustav s dvije cijevi:** za unutarnje korištenje vode,
- **rezervna mrežna opskrba:** dodaje vodu kada prikupljena kišnica ne zadovoljava potražnju,
- **upravljačka ploča:** prikazuje razinu napunjenosti, rezervnu količinu pitke vode itd.



Slika 5: Komponente sustava za prikupljanje kišnice (fbr).



Slika 6: Shematski dijagram podzemne cisterne za kišnicu za unutarnju i vanjsku ponovnu upotrebu vode (fbr).



### Sustav za prikupljanje

Skupljanje s krovne površine obično je poželjnije u usporedbi s drugim površinama, poput otjecanja s ulica, pločnika, iz dvorišta ili drugih površina tla zbog općenito manjeg onečišćenja kišnice koja je prikupljena od krovnog otjecanja. Prikupljanje s krovne površine također je poželjno s krovova od škrljevca, stakla, betona ili glinenog crijepa. Krovovi od neobloženog bakra i cinka mogu doprinijeti povećanju koncentracije metalnih iona u otjecanju. Zabrtvljeni metalni krovovi također su prikladni za prikupljanje kišnice.

### Sustav za transport

Oluci i odvodne cijevi tradicionalno se koriste kao transportna sredstva za transport kišnice s krovnih površina u cisternu ili sabirni spremnik. Korisno pravilo je osigurati da postoji najmanje 1 cm<sup>2</sup> poprečnog presjeka žlijeba za svaki 1 m<sup>2</sup> površine krova.<sup>11</sup> Kako bi se spriječilo nakupljanje prašine i krhotina u spremniku, prva kiša (prvo ispiranje) treba proći kroz grubi filter ili preusmjerivač prvog dotoka.

### Sustav za skladištenje

Bačve za kišu najčešće su sredstvo za skupljanje kišnice za korištenje u vrtu, obično s kapacitetom manjim od 1 m<sup>3</sup>. Cisterne i spremnici imaju veći skladišni kapacitet i mogu se postaviti iznad zemlje, u razini tla ili ukopani u zemlju (Slika 7). Treba ih zaštititi od svjetlosti i po mogućnosti smjestiti u hladno okruženje (podzemlje, podrum) te se na lokaciji spremnika može infiltrirati vodu koja se prelije iz spremnika. Armiranobetonske i plastične (PE) ploče najčešće su korišteni materijal cisterni/spremnika za kišnicu.

### Crpni sustav

Dovodna pumpa može se uroniti u spremnik ili se može ugraditi odvojeno u prostoriji u kojoj je spremnik. Većina dostupnih sustava koristi automatske pumpe aktivirane tlakom i protokom. Kada se pusti voda u WC-u, pumpa se uključuje i ponovno puni vodokotlić. Alternativno, kišnica se može pumpati do razvodne cijevi koja puni WC.

<sup>11</sup> Gould, J. and Nissen-Petersen, E. (1999). Rainwater Catchment Systems for domestic Supply. Design, construction and implementation (*Sustavi za prikupljanje kišnice za opskrbu kućanstava. Projektiranje, izgradnja i izvedba*). Intermediate Technology Publications, UK.



## Tematski katalog 2 - DIO 1



Podzemni plastični spremnik  
(GreenLife)



Podzemni betonski spremnik  
(3 - 12 m<sup>3</sup>) (Mall)



Ukrasni spremnik za  
navodnjavanje vrta (350  
litara)(Otto Graf)



Retencijski spremnik  
(20 - 100 m<sup>3</sup>) (GreenLife)



Armiranobetonski spremnik  
(24 - 100 m<sup>3</sup>) (Mall)



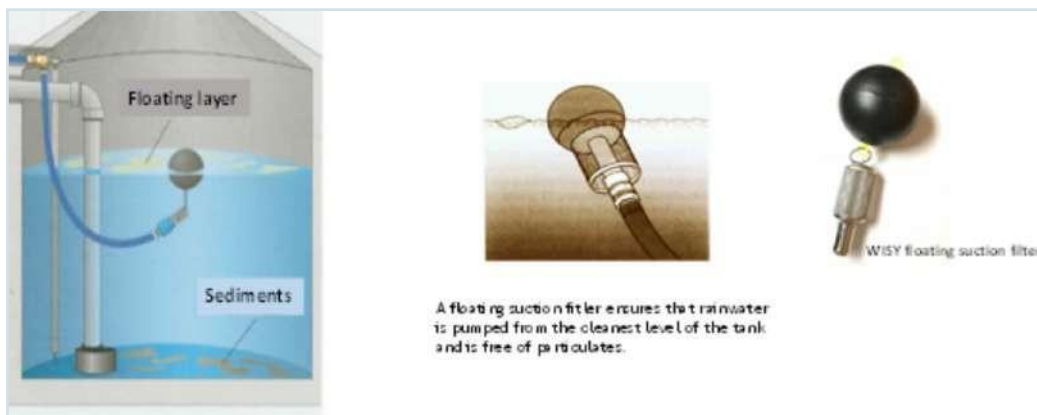
Podrumski spremnik  
(1.700 litara) (Otto Graf)

Slika 7: Različite vrste spremnika za kišnicu.





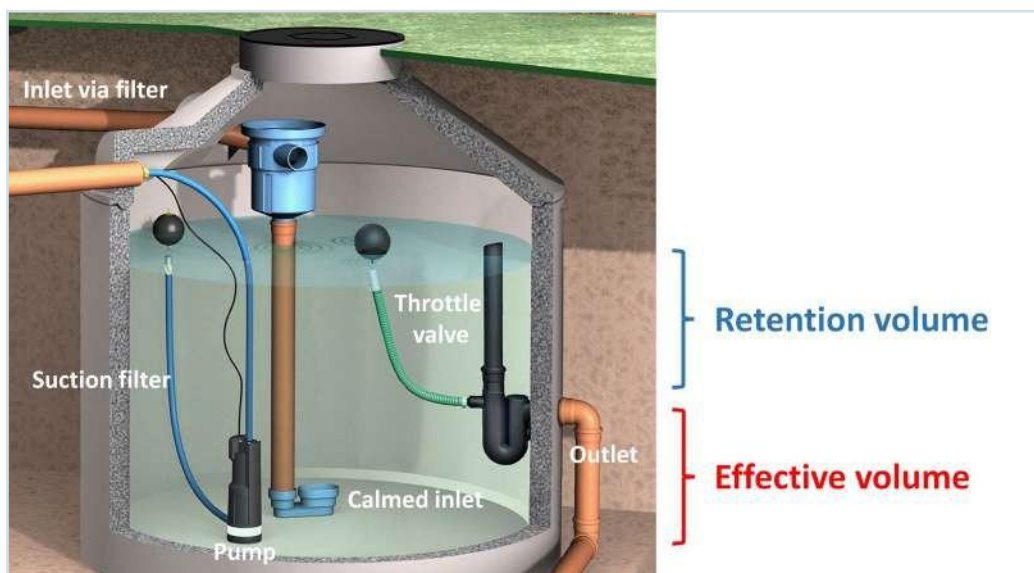
Kišnicu je poželjno crpiti iz cisterne pomoću plutajućeg usisnog filtra (Slika 8) postavljenog blizu površine vode, a ne na površini ili dnu spremnika, kako se ne bi miješao sediment.



Slika 8: Plutajući uređaj s usisnom pumpom koja isporučuje vodu na različita mjesta korištenja.

Volumen spremnika može se podijeliti na **efektivni volumen** (skladišni volumen) i **retencijski volumen** kako bi se postigla ravnoteža između dostupnosti vode u spremniku (spremnik bi trebao biti pun u svakom trenutku) i hidrauličkog rasterećenja kanalizacije (usporeno pražnjenje) (Slika 9). Određeni retencijski volumen može se ispustiti u kanalizaciju s odgodom pomoću prigušnog ventila. Stoga se spremnici za kišnicu obično izrađuju kao kombinirana struktura kako bi sadržavale ove količine i ispunjavale oba zahtjeva. Prigušni ventil postavljen je na pola puta niz cijev, ispuštajući kišnicu u kanalizaciju s određenim zakašnjenjem. Osim toga, u svakom spremniku koji je spojen na kanalizaciju trebao bi postojati mogućnost prelijevanja u slučaju potrebe.

Retencijski spremnici dizajnirani su da zadržavaju veće količine kišnice. Količine kišnice koja se usporenu ispušta standardno su podesive od 0,1 - 1 l/s. Retencijski spremnici dostupni su u ukupnim kapacitetima od 3.500 do 10.000 litara.



Slika 9: Retencijski spremnik s prigušnim ventilom (izvor: Fa. Finger Stockstadt GmbH & Co. KG).



## Filtri

Filtri su učinkoviti u održavanju čistoće kišnice i sprječavanju ulaska prljavštine i krhotina u spremnik. Na tržištu je dostupan širok raspon filtara za kišnicu različitih veličina i kapaciteta čišćenja (Slika 10). Ovi filtri mogu se postaviti u odvodne cijevi, prije spremnika (filtri prije spremnika), u spremnik (filtri u spremniku), pod zemlju ili iznad zemlje.



Slika 10: Različiti tipova filtara za kišnicu.

### 2.1.2. Veličina RWH sustava

Dizajn i veličinu RWH sustava uglavnom određuju dva čimbenika: opskrba vodom i potražnja, oba bi trebala biti u približnoj ravnoteži.

Za određivanje veličine RWH sustava:

- 1) odredite količinu kišnice koja je dostupna za prikupljanje. Ovo je procjena količine oborina tijekom tipične godine koja se može prikupiti s krova ili drugih nepropusnih površina;
- 2) procijenite potražnju za vodom u istom razdoblju. Ako je moguće, odredite mjesečnu/tjednu ili dnevnu potražnju za svaku aplikaciju tijekom cijele godine;
- 3) usporedite količinu kišnice koja se može prikupiti s potražnjom vode tijekom godina i za sušne sezone.

Za određivanje optimalne veličine spremnika:

- ako se razmatra samo iskorištavanje kišnice (npr. za korištenje za ispiranje WC-a, navodnjavanje, pranje rublja), gruba orijentacijska vrijednost koju bi trebalo osigurati iznosi 1 000 litara skladišnog volumena na 20 m<sup>2</sup> površine otjecanja, ili dimenzionirati spremnik tako da se može osigurati dovoljno vode za 3 - 4 tjedna suše;
- ako se skupljanje kišnice provodi samo sezonski ili treba uzeti u obzir dodatne zahtjeve za prikupljanje kišnice, treba koristiti posebne simulacijske programe za određivanje veličine spremnika.





Tablica 1: Čimbenici koji utječu na dizajn prikupljanja i skladištenja kišnice.

Sezonske oborine i godišnja raspodjela (mm)	Ovisno o području/regiji
Površina slivnog područja (m <sup>2</sup> )	Krovovi ili druge površine kao što su ulice, dvorišta, parkirališta itd.
Dnevna potrošnja vode koja nije za piće (l/stan./d)	Ovisno o veličini kućanstva ili broju osoba i navikama korisnika
Koeficijent otjecanja	Izračunava maksimalnu količinu ubranih oborina i ovisi o vrsti površine za prikupljanje (metalni krov, zeleni krov, itd.)
Kapacitet skladištenja (m <sup>3</sup> )	Ovisno o potražnji vode i dostupnosti prostora za skladištenje

### 2.1.3. Rad i održavanje

Preporuča se redovito čišćenje sustava slivnog područja, sustava za prikupljanje i distribuciju kako bi se osiguralo da sustav prikupljanja kišnice funkcionira ispravno.

Lišće i ostali otpad potrebno je često uklanjati s krovnih žlijebova, odvodnih cijevi i pokrova oluka s finim mrežama kako bi se smanjili ostaci otpada i taloga u cisterni (čišćenje 2-3 puta godišnje). Filtre je potrebno čistiti 1-2 puta godišnje, ovisno o opterećenju od pokrova drveća, peludi, prašine i sl. Preporuča se vizualni pregled spremnika jednom godišnje i po potrebi ukloniti prekomjerni talog. Crpke i cjevovod moraju se provjeravati jednom godišnje u pogledu curenja i funkcioniranja. Dovodni vodovi i slavine moraju biti adekvatno označeni (voda koja nije za piće/reciklirana voda) kako bi se spriječila slučajna upotreba prikupljene kišnice kao izvora pitke vode. Rezervna mrežna opskrba u slobodnom ulazu jamči da ne postoji poprečno povezivanje s mrežom pitke vode i osigurava kontinuiranu opskrbu vodom kada padne razina popunjenosti spremnika.

### 2.1.4. Primjena i uporaba prikupljene kišnice

Većinom nezagađena kišnica može se koristiti u različite svrhe za koje nije potrebna razina kvalitete vode za piće.

Vanjska primjena	Unutarnja primjena
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ vrtlarenje</li><li>✓ navodnjavanje krajolika</li><li>✓ poljoprivreda</li><li>✓ čišćenje</li><li>✓ pranje automobila</li><li>✓ gašenje požara</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ ispiranje WC-a</li><li>✓ perilice rublja</li><li>✓ čišćenje</li><li>✓ tehnološka voda (industrija)</li></ul>

Za korištenje prikupljene vode kao izvora pitke vode, kišnicu prvo treba pročititi (vidi 2.1.9 Obrada kišnice za upotrebu kao vode za piće u zgradama).



## 2.1.5. Koristi

RWH sustavi nude niz prednosti na različitim razinama (tablica 2). Potencijalne uštede potrebno je procijeniti na individualnoj osnovi. Čimbenici koji utječu uključuju potražnju za nepitkom vodom, količinu prikupljene kišnice i naplaćuje li se nekretnini trošak prema količini korištene vode (mjerna voda). Uštede, kako financijske tako i ekološke, obično su veće u poslovnim/industrijskim i javnim zgradama, budući da one općenito imaju veće površine krovova i veću potražnju za nepitkom vodom od privatnih stanova.

Tablica 2: Koristi od prikupljanja kišnice.

Individualna razina	Općinska razina	Okolišna razina
Smanjena ovisnost o opskrbi vodom	Smanjenje vršne potrošnje vode	Očuvanje resursa podzemnih voda
Smanjena potrošnja pitke vode	Smanjenje pritiska na kanalizaciju	Smanjen rizik od poplava
Značajno smanjenje troškova pitke vode	Smanjenje općinskih troškova energije za crpljenje i pročišćavanje vode	Smanjene emisije stakleničkih plinova i onečišćenja zraka (manja potrošnja energije za crpljenje vode na velike udaljenosti)
Dostupnost meke vode za pranje rublja i navodnjavanje	Odgođeni izdaci za nove uređaje za pročišćavanje vode ili postojeća proširenja postrojenja, što rezultira financijskim i ekološkim uštedama	Korištenje kišnice za pranje rublja ekološki je korisna (20 % uštede u prašku za pranje rublja)

## 2.1.6. Uspješnost

Uspješnost sustava za prikupljanje kišnice ovisi o pravilnom određivanju veličine spremnika i održavanju sustava u cjelini. Uspješnost se mjeri i u smislu njihovog kapaciteta za očuvanje vode kao i kapaciteta za smanjenje volumena otjecanja oborinske vode koja napušta mjesto.

Isplativost sustava za kišnicu specifična je za mjesto i potrebno je uzeti u obzir sljedeće čimbenike:

- trenutne naknade za vodu: što je veći trošak vode, veće su koristi,
- troškovi održavanja: razina održavanja koju sustav zahtijeva tijekom svog životnog vijeka.

## 2.1.7. Troškovi

Spremnik za kišnicu često je najskuplji dio RWH sustava te obično čini oko 30 % cjelokupnih životnih troškova. Stoga je odabir prave veličine ključan za smanjenje troškova. Veličina spremnika mora biti ravnoteža između troškova i kapaciteta skladištenja.

Ugradnja sustava tijekom nove gradnje općenito košta manje od naknadne ugradnje sustava u postojeću zgradu, ponajviše zbog radova kopanja za ugradnju spremnika i potrebnih promjena u postojećoj vodovodnoj mreži.



Ukupni troškovi izgradnje za jednu obiteljsku kuću iznose otprilike između 2 500 i 5 000 € ovisno o količini posla, kao i veličini spremnika i kvaliteti proizvoda.<sup>12</sup> Troškovi održavanja iznose otprilike 100 € godišnje.

### 2.1.8. Higijenski aspekti

Kišnica s krovnih površina može biti kontaminirana fekalijama ptica ili malih sisavaca koje mogu sadržavati patogene.<sup>13</sup> Međutim, svjetlosni i suhi uvjeti na krovu i preusmjerenje prvog ispiranja ili konačna filtracija značajno će smanjiti koncentraciju bakterija u otjecanju. Nadalje, podzemni spremnici imaju niske temperature koje ne pospješuju rast bakterija. Zbog ovih učinaka, osim pravilnog rada i održavanja, voda u spremniku općenito ispunjava zahtjeve Direktive EU za vodu za kupanje<sup>14</sup> i kao takva može se sigurno koristiti u kućanstvima i industriji u svrhe koje ne zahtijevaju korištenje pitke vode.

### 2.1.9. Obrada kišnice za upotrebu kao pitka voda u zgradama

Ovisno o kvaliteti kišnice koja ulazi u spremnik, kišnica se može pročititi različitim metodama za upotrebu kao pitka voda. Dostupne tehnologije koje se također tradicionalno koriste za pročišćavanje pitke vode uključuju:

- spore pješčane filtre za smanjenje broja suspendiranih čestica, bakterija i otopljenih organskih spojeva koji se nalaze u kišnici s ili bez dezinfekcije (UV svjetlo, ozon ili klor),
- filtri s aktivnim ugljenom za smanjenje broja čestica, bakterija i otopljenih organskih komponenti koje se nalaze u kišnici s ili bez dezinfekcije (UV svjetlo, ozon ili klor),
- membranska filtracija kao što su mikrofiltracija, ultrafiltracija, nanofiltracija i povratna osmoza. No, ove metode skuplje su od ostalih metoda filtracije.

Dezinfekcija UV svjetlom poželjnija je u odnosu na korištenje klora ili ozona jer ne proizvodi nusproizvode dezinfekcije kao što su trihalometani (THM) koji imaju štetne učinke na zdravlje ljudi. Osim toga, dezinfekcija UV svjetlom nudi nekoliko prednosti:

- može podnijeti velike brzine protoka,
- voda pročišćena UV svjetlom može se koristiti odmah nakon pročišćavanja,
- kišnica pročišćena UV svjetlom ima niži rizik od korozije za izložen metal.

Jedan nedostatak dezinfekcije UV svjetlom je taj što je nužno da kišnica ne sadrži suspendirane krutine kako bi proces dezinfekcije bio učinkovit.

Filtriranje kišnice ugljičnim filtrima poboljšava okus i miris vode te u određenoj mjeri poboljšava boju. Ugljik je također učinkovit u uklanjanju klora i drugih hlapljivih organskih spojeva (*eng. volatile organic compounds - VOC*).

<sup>12</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/regenwassernutzung#gewusst-wie>

<sup>13</sup> Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L.N., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H. and Han, M., 2017. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives (*Urbani sustavi prikupljanja kišnice: istraživanje, implementacija i buduće perspektive*). Water research, 115, pp.195-209.

<sup>14</sup> Direktiva EU o vodi za kupanje (2006). Direktiva 2006/7/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o upravljanju kvalitetom vode za kupanje i stavljanju van snage Direktive 76/160/EEZ, SL L 64, 4.3.2006.



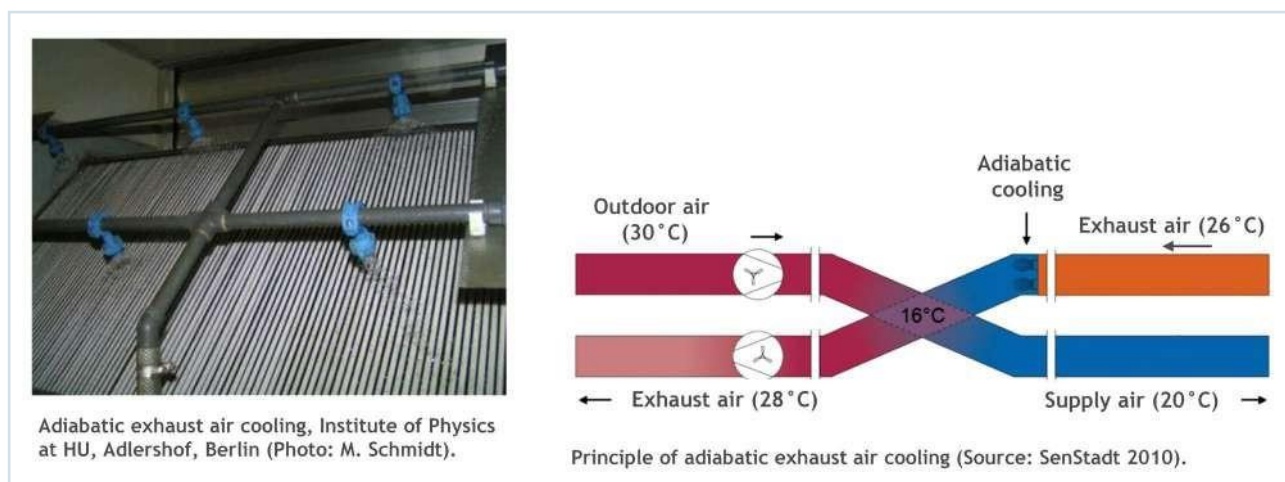
## 2.1.10. Normativni standardi

Europsku normu EN 16941-1:2018 objavio je 2018. Europski odbor za normizaciju (CEN)<sup>15</sup>. Određuje zahtjeve i daje preporuke za projektiranje, određivanje veličine, ugradnju i održavanje sustava za prikupljanje kišnice za korištenje kišnice kao izvora vode koja nije za piće. Ova europska norma također utvrđuje minimalne zahtjeve za ove sustave.

## 2.1.11. Prikupljanje kišnice za adijabatsko hlađenje u zgradama

Prikupljena kišnica može se koristiti za hlađenje neizravnim isparavanjem putem „adijabatskog hlađenja” (adijabatsko hlađenje ispušnog zraka) koje se može primijeniti za unutarnju klimatizaciju. To se temelji na principu „hladnog povrata” putem procesa isparavanja u kojem se temperatura dovedenog (ulaznog) zraka snižava izmjenjivačem topline. Zrak koji se uklanja iz prostorije kao ispušni zrak se vlaži i hladi. Ohlađeni zrak zatim se prenosi u kombinirani cirkulacijski sustav ili pločasti izmjenjivač topline na vanjski topliji zrak (Slika 11). Za svaki kubični metar vode može se osloboditi oko 700 kWh rashladnog kapaciteta.<sup>16</sup>

Iz tehničkih razloga, električna vodljivost vode koja se koristi za adijabatsko hlađenje ne smije biti veća od 1 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Budući da kišnica ima nisku vodljivost (otprilike 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), vrlo je prikladna za adijabatsko hlađenje.<sup>17</sup> Korištenjem kišnice za hlađenje zgrada mogu se uštedjeti pitka voda i energija.



Slika 11: Princip adijabatskog hlađenja u zgradama korištenjem kišnice.

15 EN 16941-1:2018 (2018) Sustavi za prikupljanje nepitke vode koja se upotrebljava na licu mjesta - 1. dio: Sustavi za uporabu kišnice. Europski odbor za normizaciju (CEN).

16 Berlin (2010) Rainwater Management Concepts - Green buildings, cooling buildings. Planning, construction, operation and maintenance guidelines. Senate Department for Urban Development and Housing (Berlin (2010.) *Koncepti upravljanja kišnicom - zelene zgrade, zgrade za hlađenje. Smjernice za planiranje, izgradnju, rad i održavanje. Odjel Senata za urbanizam i stanovanje*). [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/de/download/index.shtml](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/download/index.shtml)

17 fbr (2013) Energetische Nutzung von Regenwasser. Schriftenreihe der Band 136. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.

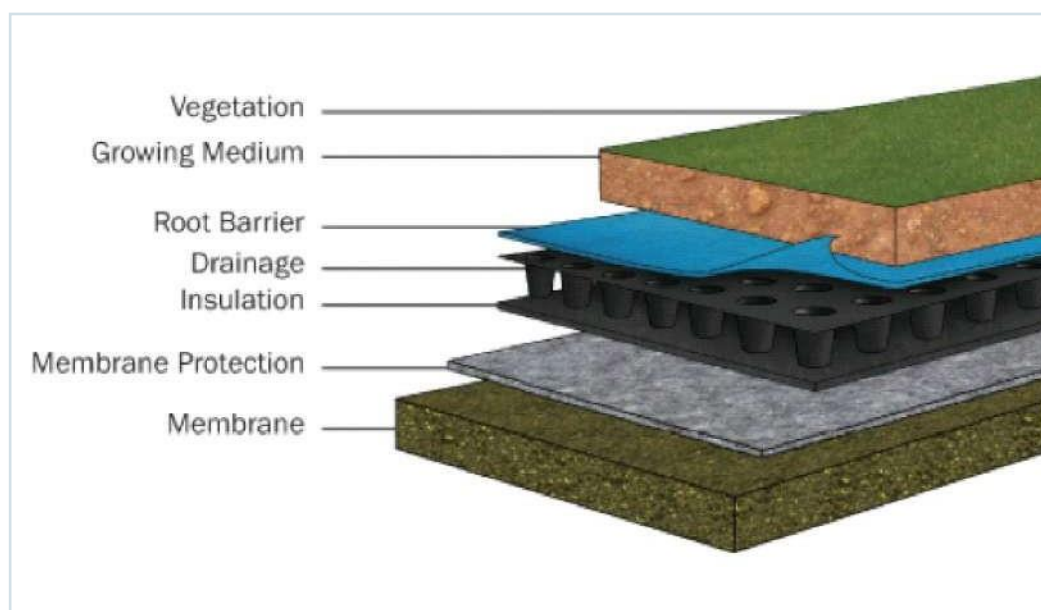


## 2.2. Zadržavanje i evapotranspiracija kišnice

Zadržavanje kišnice u urbanim područjima ima nekoliko prednosti kao što su povećanje evapotranspiracije, smanjenje stope i volumena otjecanja i osiguravanje skladištenja vode za različite svrhe kao što su navodnjavanje, ozelenjavanje ili adijabatsko hlađenje. Za usporedbu, sustavi infiltracije, kao što su sustavi uleknuća i sustavi uleknutih rovova, utječu na nisku evapotranspiraciju (10 %). Neki primjeri mjera zadržavanja kišnice uključuju zelene krovove i fasade, retencijske bare, kišne vrtove, močvare itd.

### 2.2.1. Zeleni krovovi

Zeleni krovovi su lagani krovni sustavi pokriveni vegetacijom koji se uglavnom sastoje od vodonepropusne zaštitne membrane, uzgojnog medija (supstrata), odabranih biljaka i drenažnog sloja (Slika 12). Mogu se ugraditi na većinu krovova zgrada (uglavnom na ravne krovove) i koriste se za sprječavanje ili usporavanje otjecanja kroz ciljano zadržavanje i za povećanje isparavanja. Razlikuju se ekstenzivni i intenzivni zeleni krovovi ovisno o biljnom materijalu i planiranoj namjeni krovne površine (Tablica 3).



Slika 12: Shematski dijagram višeslojnog sustava zelenog krova.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Green Building Alliance (Savez za zelenu gradnju). <https://www.go-gba.org/resources/green-building-methods/green-roofs/#lightbox/1/>





Tablica 3: Usporedba ekstenzivnih i intenzivnih zelenih krovova.

	Ekstenzivan zeleni krov	Intenzivan zeleni krov
Troškovi	niski	Visoki
Navodnjavanje	nema	Obično
Održavanje	nisko	Visoko
Vegetacija	sukulenti i trave otporni na sušu	travnjak ili trajnice, grmlje i drveće
Dubina sloja zemlje	8 - 15 cm	15 - 100 cm
Nosivost opterećenja (zasićeno vodom)	90 - 180 kg/m <sup>2</sup>	> 180 kg/m <sup>2</sup>
Primjene	ekološki zaštitni sloj	vrt nalik parku

Ljeti zeleni krovovi mogu zadržati 70 - 80 % oborina, a zimi između 25 i 40 % ovisno o podlozi, dubini i vrsti biljaka koje se koriste. Zeleni krovovi u početku smanjuju vršne protoke i poboljšavaju kvalitetu vode. Posjeduju visoku sposobnost zadržavanja i isparavanja, čime se smanjuje učinak toplinskih otoka u urbanim područjima. Zeleni krovovi također poboljšavaju izolaciju i produžuju životni vijek krova.

Prilikom izgradnje zelenih krovova treba uzeti u obzir oštećenje membrane rastom korijena. To se može odrediti korištenjem FLL postupka<sup>19</sup> za ispitivanje otpornosti na prodiranje korijena na zelenim krovovima.

Zelene krovove najlakše je projektirati za novu gradnju, ali se također mogu naknadno ugraditi. Zasadi zelenih krovova zahtijevaju njegu i zalijevanje dok se ne uspostave, obično prve 1 do 2 godine nakon postavljanja.



Slika 13: Intenzivan - trajnice, trave, grmlje - Sportski objekti La Tesorina, Torino, (fotografija: A. Aires).

<sup>19</sup>FLL Green Roof Guidelines (2018). Guidelines for the planning, construction and maintenance of green roofs (FLL Smjernice za zelene krovove (2018). Smjernice za planiranje, izgradnju i održavanje zelenih krovova) <https://shop.fll.de/de/english-publications/green-roof-guidelines-2018-download.html>



Slika 14: Ekstrenzivan zeleni krov - sedum, sempervivum - dječja igraonica Paguro, Torino (fotografija: A. Aires).



Slika 15: Intenzivni zeleni krovovi (Optigrün).

## 2.2.2. Zeleni krovovi / fasade

Zeleni zid definiran je kao sustav u kojem biljke rastu na okomitoj površini kao što je fasada zgrade uz redovito održavanje. Biljke penjačice prirodno rastu na fasadama zgrada pričvršćujući se na površinu pomoću različitih mehanizama. Glavni elementi zelenih zidova su biljke, medij za uzgoj (supstrat), konstrukcije koje podupiru i pričvršćuju biljke na fasadu i sustav za navodnjavanje (kišnica kao izvor vode). Zeleni zidovi općenito su grupirani u dvije kategorije: zeleni zidovi vezani za sustav i zeleni zidovi vezani za tlo.

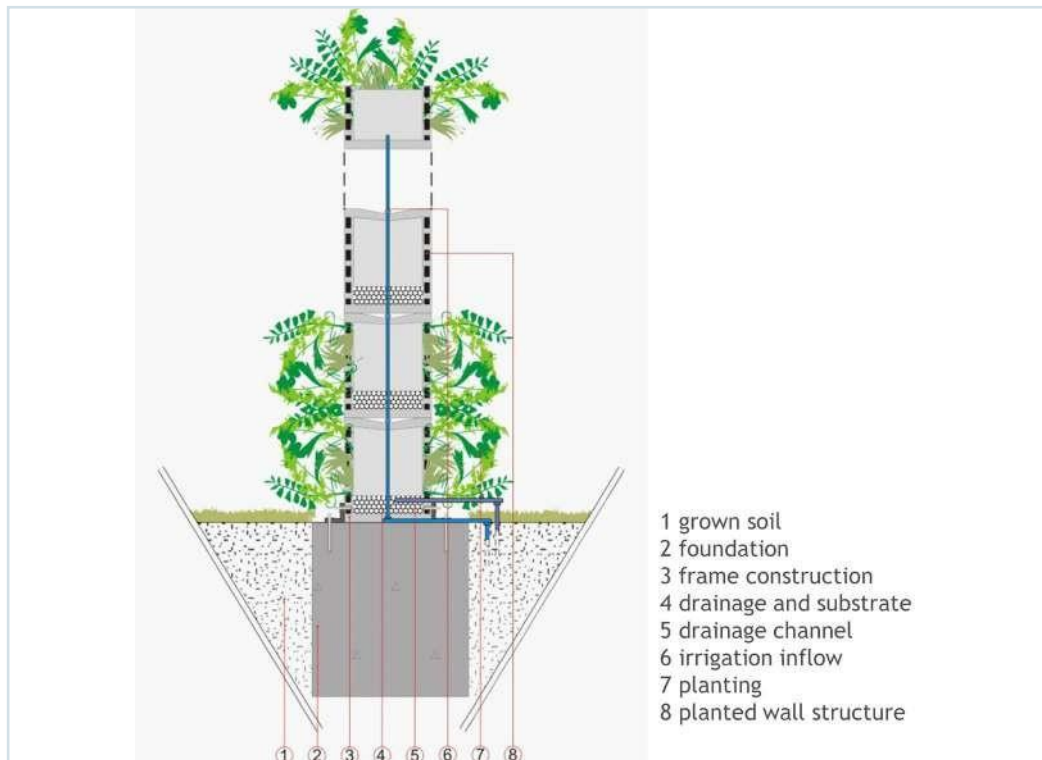
Zeleni zid vezan za sustav je sustav zelenih zidova gdje medij za sadnju nije sastavni dio fasade. Medij za sadnju obično se nosi u horizontalnim posudama za sadnju koje se mogu nalaziti na tlu ili u više razmaka po visini fasade (Slika 16). Biljke penjačice podržavaju horizontalne, vertikalne ili





## Tematski katalog 2 - DIO 1

dijagonalne rešetke pričvršćene na fasadu zgrade. Vegetacija vezana za tlo koristi biljke penjačice kao što su puzavica Virginia, bršljan ili penjačica Hortensia koje su posađene u zemlju.



Slika 16: Poprečni prikaz zelene fasade vezane za sustav.<sup>20</sup>



Slika 17: Zeleni zid vezan za tlo s puzavicama Virginije (lijevo, fotografija: D. Kaiser) i zeleni zid vezan za sustav na Institutu za fiziku u Berlin-Adlershofu (fotografija: M. Schmidt).

<sup>20</sup> Köhler (2012) ((Hsg.) Handbuch Bauwerksbegrünung - Planung, Konstruktion, Ausführung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln.



Zeleni zidovi vezani za tlo obično se navodnjavaju izravno u zoni korijena kroz infiltrirajuće otjecanje. Sustavno ozelenjavanje fasada zahtijeva odgovarajuće sustave navodnjavanja, uključujući gnojidbu. Navodnjavanje bi trebalo uslijediti automatski, osobito u slučaju većih zasada i posuda za sadnju. Pri korištenju vode iz cisterne važno je osigurati da nema površinskog otjecanja s mogućim sadržajem herbicida, što može dovesti do propadanja vegetacije.

Tablica 4: Biljke pogodne za zelene zidove.<sup>21</sup>

<b>Samoveznice visine rasta do 30 m</b>	obični bršljan ( <i>Hedera helix</i> ) trolisna puzavica ( <i>Parthenocissus</i> )
<b>Samoveznice visine rasta od 8 - 25 m</b>	Tekoma pavitina ( <i>Clematis vitalba</i> ) okrugolisni drvoguš ( <i>Celastrus orbiculatus</i> ) ruska loza ( <i>Fallopia baldschuanica</i> ) kineska glicinija ( <i>Wisteria sinensis</i> )
<b>Samoveznice i penjačice s penjaćom konstrukcijom i visine od 5 - 15 m</b>	kivi ( <i>Actinidia chinensis</i> ) vučja stopa ( <i>Aristolochia</i> ) divlji hmelj ( <i>Clematis virginiana</i> ) orlovi nokti ( <i>Lonicera</i> ) petolisna lozica (porodica <i>Parthenocissus</i> ) japanska glicinija ( <i>Wisteria floribunda</i> )
<b>Male penjačice visine do 5 m</b>	hibridi pavitine ( <i>Clematis vitalba</i> ) japansko vreteno ( <i>Euonymus</i> ) bljušt ( <i>Dioscorea communis</i> ) ruža penjačica
<b>Male biljke penjačice</b>	dvodomni bljuštac ( <i>Bryonia dioica</i> ) poljski stalak ( <i>Convolvulus arvensis</i> ) ladolež ( <i>Convolvulus sepium</i> ) paskvica ( <i>Solanum dulcamara</i> ) mirisna grahorica ( <i>Lathyrus odoratus</i> )

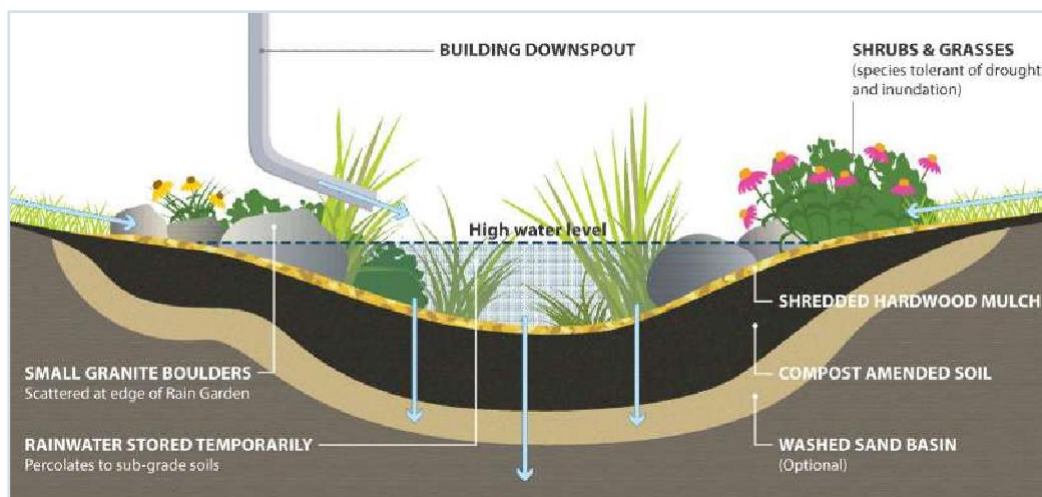
### 2.2.3. Kišni vrtovi (bioretencijski sustavi)

Bioretencijski sustavi, koji se također nazivaju kišnim vrtovima, uređeni su elementi dizajnirani za prikupljanje otjecanja s nepropusnih površina kao što su krovovi, šetnice i parkirališta i poniru ih u podzemlje. Tlo (proizvedeno ili miješano tlo) sastoji se od mješavine pijeska, gornjeg sloja zemlje i kompostiranog sječke. Kišni vrtovi zasađeni su drvećem, grmljem i trajnicama prije nego što se prekriju slojem organskog sječke koji presreće talog i onečišćujuće tvari. Obično zahtijevaju drenažni sloj s perforiranom cijevi i prelijevanjem, što prenosi relativno čistu vodu do sljedeće faze upravljačkog lanca ili do oborinske kanalizacije.

Kišni vrtovi mogu poprimiti bilo koji oblik, ali općenito su izgrađeni kao trapezoidne strukture. Površina ravnog dna (osnovna površina) koristi se kao mjera za veličinu kišnog vrta. Površina potrebna za bočne nagibe dodaje se osnovnoj površini i ta ukupna površina uzima se u obzir za ugradnju kišnog vrta na mjesto. Dno kišnog vrta mora biti zasađeno kako bi pravilno funkcionirao.

<sup>21</sup> Hermy M., Schauvliege M. & Tijskens G. (2005) Groenbeheer - een verhaal met toekomst; Velt i.s.m. afdeling Bos & Groen, Berchem.





Slika 18: Poprečni presjek kišnog vrta.<sup>22</sup>

Kišni vrtovi također mogu imati rezervoar kamenja koji osigurava dodatni kapacitet za hvatanje i infiltraciju. Akumulacija se može izgraditi sa podlogom za uzgoj, pijeskom ili kamenom. U tom slučaju, rezervoar je omotan geotekstilnom membranom kako bi se spriječilo da okolno tlo ili medij za uzgoj iznad njega uđu u ležište stijena, što uzrokuje smanjenje kapaciteta zadržavanja vode.

Kišni vrt zahtijeva zalijevanje u prve 2 godine dok se biljke ne uspostave. Ne treba ga zalijevati nakon prve 2 godine. Prva godina održavanja može biti izazovna kako se biljke razvijaju.



Slika 19: Primjeri urbanih kišnih vrtova.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Toronto and Region Conservation Authority (Uprava za zaštitu prirode grada i regije Toronto).  
<https://trca.ca/news/complete-guide-building-maintaining-rain-garden/>

<sup>23</sup> <https://www.c-ville.com/rain-gardens-lovely-way-protect-planet/>

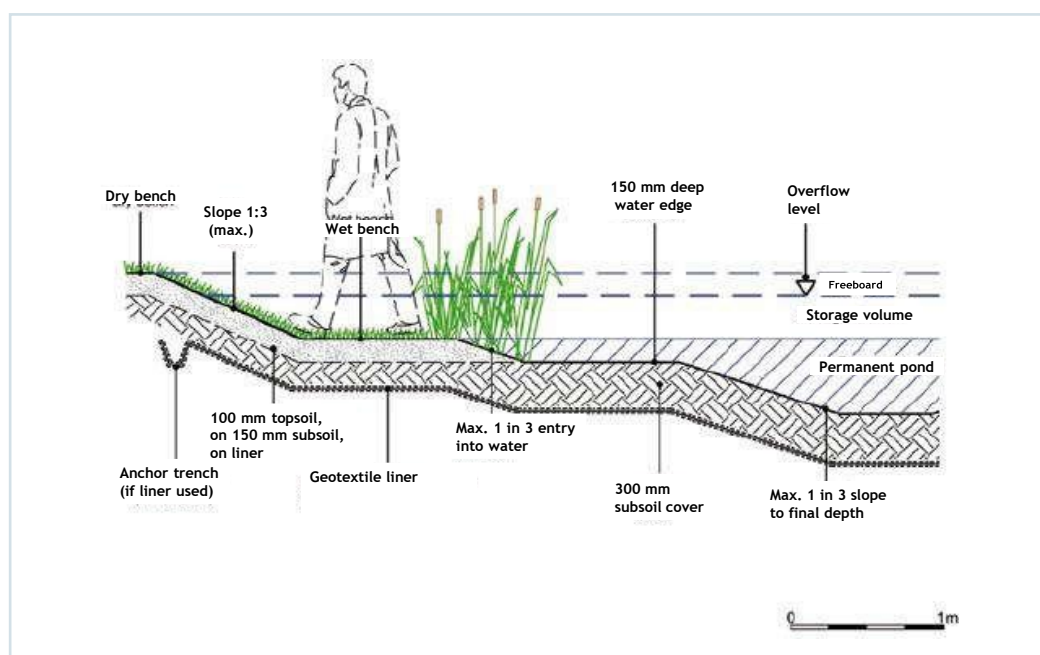


## 2.2.4. Retencijske lagune

Retencijske lagune su mokri ribnjaci dizajnirani za trajno zadržavanje određene količine vode i privremeno skladištenje otjecanja. One skupljaju kišnicu tijekom jakih kiša i polako je potiskuju u kanalizaciju ili kišnicu koriste u druge svrhe kao što je punjenje podzemnih voda ili navodnjavanje. Retencijske lagune razlikuju se od izgrađenih močvara po većoj prosječnoj dubini vode, što omogućuje velike varijacije u razini vode tijekom oluja. Vegetacija, koja doprinosi uklanjanju onečišćujućih tvari, sprječavanju erozije i stvara stanište, sastavni je dio retencijskih bara.

Retencijske lagune poboljšavaju kvalitetu vode prirodnim procesima kao što su sedimentacija, biorazgradnja, solarna dezinfekcija i filtracija tla. Kao prirodni sustav, ne zahtijevaju energiju ili uređaje visoke tehnologije. Tlo ispod bara treba biti dovoljno nepropusno da spriječi isušivanje vode. Geotekstilna obloga ili nepropusni materijal potrebni su ako je sloj ispod bara propustan.

Retencijske lagune dizajnirane su da podrže nastajuću i potoplenu vodenu vegetaciju i mogu se učinkovito ugraditi u parkove kroz kvalitetno uređenje krajolika.



Slika 20: Rubni profil retencijske bare.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Anglian Water. Towards sustainable water stewardship. Sustainable drainage systems (SUDS) adoption manual. (Prema održivom upravljanju vodom. Priručnik za usvajanje održivih sustava odvodnje (SUDS)), AnglianWater Services limited. [https://www.anglianwater.co.uk/siteassets/developers/aw\\_suds\\_manual\\_aw\\_fp\\_web.pdf](https://www.anglianwater.co.uk/siteassets/developers/aw_suds_manual_aw_fp_web.pdf)



Slika 21: Primjeri retencijskih bara<sup>25</sup>.

## 2.2.5. Konstruirana močvarna područja sa slobodnim površinskim tokom

Priručnici o održivim sustavima odvodnje obično se odnose na močvarna područja, pozivajući se na ono što je u literaturi poznato o izgrađenim močvarama (eng. *constructed wetlands* - CW) kao močvarnim područjima sa slobodnim površinskim tokom vode (eng. *Free Water Surface* - FWS).

FWS-ovi su močvarni sustavi za pročišćavanje oborinskih voda koji trajno zadržavaju određeni volumen vode. Više su obrasli vegetacijom u usporedbi s ribnjacima, budući da su FWS-ovi obično dizajnirani s različitim dubinama vode unutar korita, uključujući dublje bazene koji olakšavaju sedimentaciju i plića područja koja omogućuju rast biljaka i bolje uklanjanje otopljenih onečišćujućih tvari.<sup>26</sup>

FWS-ovi osiguravaju privremeno skladištenje otjecanja iznad stalnog bazena i smanjuju vršna otjecanja. Volumen otjecanja svake oborine obrađuje se i ispušta kroz prigušeni odljev. FWS-ovi zahtijevaju sustav za predobradu ili sedimentni umjetni spremnik prije močvarnog područja kako bi se izbjegao rizik od brzog nakupljanja taloga.

Biljke koje rastu u FWS-ovima smanjuju brzine protoka, čineći ovaj tip močvarnog područja vrlo učinkovitima u uklanjanju suspendiranih krutina i povezanih onečišćujućih tvari. U FWS se mogu posaditi nadvodnim i podvodnim biljem, pri čemu se obično preferiraju autohtone biljke budući da su jeftinije i otpornije.

Glavni izazov određivanja dimenzija predstavlja stohastička priroda padalina. Dizajn FWS-a uključuje:

- sedimentacijski bazen kao prednji dio, kao sustav predobrade koji omogućuje taloženje suspendiranih krutina kako bi se izbjegla moguća oštećenja i olakšalo održavanje,
- kombinacija močvara i dubljih laguna, plića područja podržavaju razvoj vegetacije i omogućuju dovoljnu razmjenu kisika, dublji bazeni omogućuju sedimentaciju i smanjuju rizik od ponovnog uvlačenja sedimenta u blizini ispusta,
- obala koja djeluje kao biološki filtar i pruža koristi sigurnosti i pogodnosti,
- dodatne značajke uključuju ulaz, izlaz sa sustavom za kontrolu protoka, mjesto prelijevanja u slučaju nužde, sigurnosni nasip (obalu) i pristup za održavanje.

<sup>25</sup> Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott T., Ashley, R. and Kellagher. 2015. The SuDS Manual. Department for Environment Food and Rural Affairs (*SuDS priručnik. Odjel za okoliš, hranu i ruralna pitanja*). CIRIA 2015. <https://www.susdrain.org/>

<sup>26</sup> Kadlec R.H., Wallace S.D. (2009), "Treatment wetlands - Second Edition" (*Močvarna područja za pročišćavanje - drugo izdanje*), Lewis, Boca Raton.



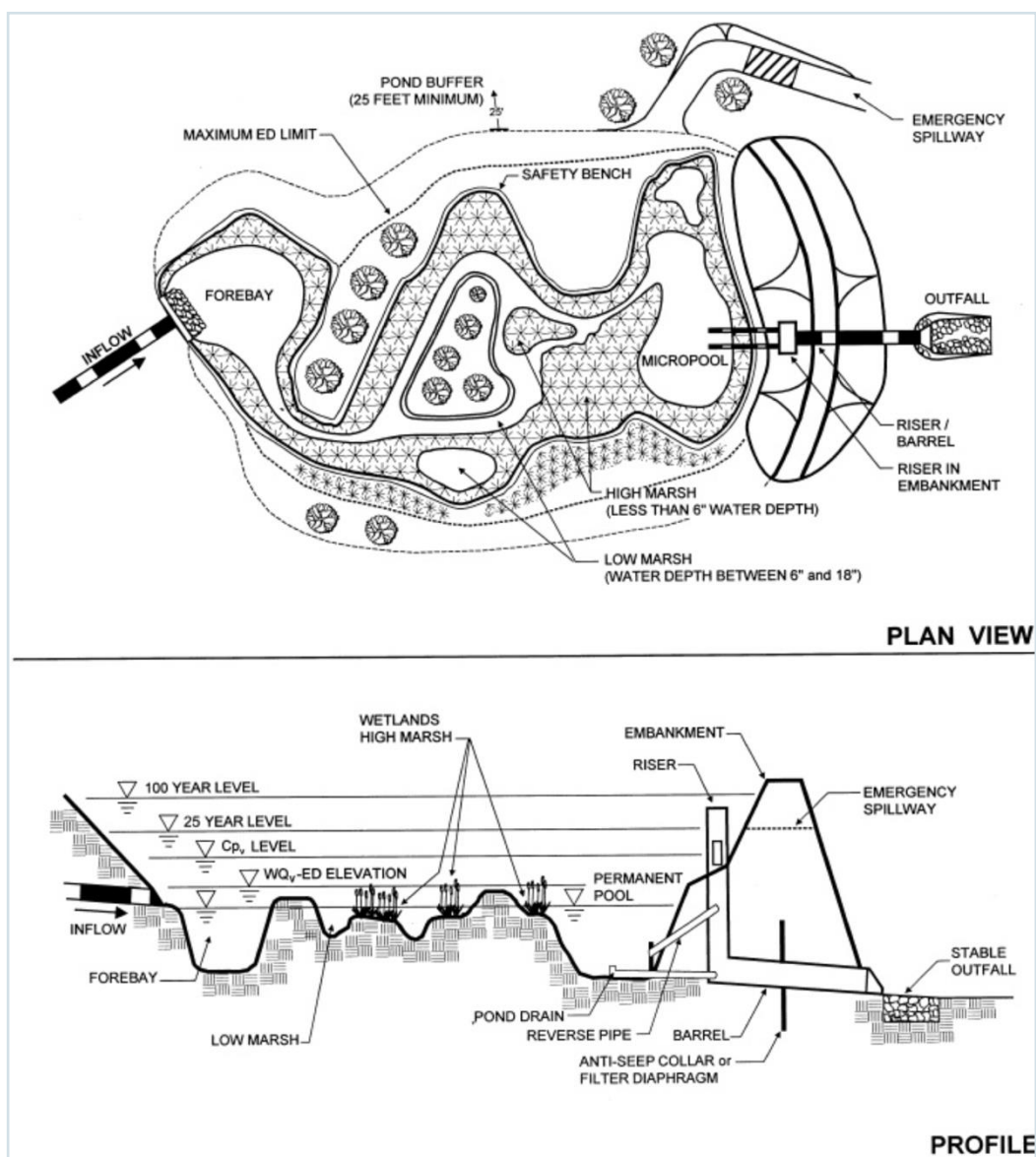


## Tematski katalog 2 - DIO 1

Budući da su močvarni sustavi izgrađeni korištenjem lokalne radne snage i materijala, troškovi su promjenjivi ovisno o lokaciji i udaljenosti od mjesta proizvodnje. Kapitalni troškovi usporedivi su s alternativnim tehnologijama koje uključuju zemljane radove, obloge (ako je potrebno) i postrojenja. Operativni troškovi mogu biti prilično niski: troškovi energije općenito su niski za FWS, a troškovi održavanja postaju značajni ako se održava određena vegetacija.

Implementacija močvara uključuje stvaranje novog staništa, što dovodi do povećanja biološke raznolikosti i pogodnosti te dodane rekreacijske vrijednosti u odnosu na jednostavne bare.

FWS se može kombinirati s CW-ovima podzemnog toka (Odjeljak 2.2.6) kako bi se povećala učinkovitost pročišćavanja, kapacitet skladištenja, biološka raznolikost i rekreacijska vrijednost.



Slika 22: Sheme FWS-a za pročišćavanje oborinskih voda.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Haubner, S.M. (2001) Georgia Stormwater Management Manual (Priručnik za upravljanje oborinskim vodama u Državi Georgia).





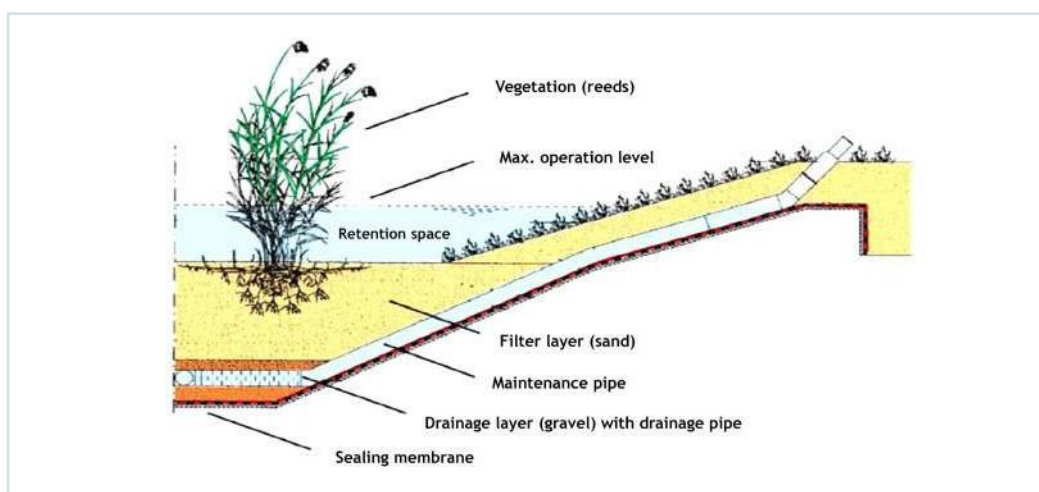
Slika 23: Primjeri FWS-a za pročišćavanje oborinskih voda (izvor: IRIDRA Srl).<sup>28</sup>

## 2.2.6. Konstruirana močvarna područja s podzemnim tokom

Močvare izgrađene podzemnim protokom su močvarni sustavi u kojima oborinska voda teče kroz porozni medij odabrane veličine (obično pijesak ili šljunak).

Dobro poznata primjena močvarnog područja s podzemnim tokom za pročišćavanje oborinskih voda su takozvani filtri za zadržavanje tla (RSF). Oni su specifičan oblik izgrađenih močvarnih područja vertikalnih tokova za pročišćavanje oborinskih voda. Naziv potječe iz kasnih 1980-ih kada su izgrađeni prvi sustavi koji su koristili tlo kao filtracijski materijal. Zbog problema sa začepljenjem, filtarski materijal danas je obično pijesak (0/2 mm) sa strmom granulometrijskom krivuljom. Kohezivno tlo više nije dopušteno za nove sustave. Njemački pristup i dalje se razlikuje kao RSF, iako bi bilo logičnije nazvati ga "filtrar za zadržavanje pijeska".<sup>29</sup>

Filtri za zadržavanje tla uglavnom su projektirani u dva stupnja, predфаза (spremnik za sedimentaciju) i filtrar za zadržavanje tla s vertikalnim protokom zasaden trskom. RSF je zatvoren uz tlo i radi u prigušenom načinu rada. Voda se dovodi do sustava odvodnje putem ispusta.



Slika 24: Rubni profil konvencionalnog filtra za zadržavanje tla (RSF).

<sup>28</sup> [www.iridra.com](http://www.iridra.com)

<sup>29</sup> Meyer, D., Mollé, P., Esser, D., Troesch, S., Masi, F. and Dittmer, U. (2013) Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment—Comparison of German, French and Italian approaches (*Izgrađena močvarna područja za kombinirano pročišćavanje prelijevanja kanalizacije—usporedba njemačkog, francuskog i talijanskog pristupa*). *Water* 5(1): 1-12.



Figure 25: Filtri za zadržavanje tla (fotografija: Andreas Süß).

Filtri za zadržavanje tla obično se dimenzioniraju iterativno korištenjem dugotrajnih simulacija. Opterećenje filtra sedimentima ne smije prelaziti 7 kg filtriranih tvari/m<sup>2</sup>. Osim toga, mora se poštovati prosječna učestalost punjenja od  $\geq 10$  godišnje i godišnje vrijeme zadržavanja od  $\leq 48$ .<sup>30</sup>

Filtri za zadržavanje tla, kao i močvarna područja s podzemnim tokom općenito, osiguravaju vrlo dobro zadržavanje čestica i djelomično otopljenih tvari (93 %). Za fosfor je učinkovitost uklanjanja otprilike 80 %. Zabilježena je i značajna učinkovitost uklanjanja patogena, metala i polutanata nove generacije.<sup>31</sup> Osim visokog kapaciteta čišćenja, filtri za zadržavanje tla značajno smanjuju vršna pražnjenja, zbog prigušenog pražnjenja, smanjujući hidrauličko opterećenje vodnog tijela. Zbog zatvorenog dizajna nema interakcije s podzemnim vodama.

Močvarna područja s podzemnim tokovima, uključujući RSF, također se mogu uspješno primijeniti za pročišćavanje kombiniranog kanalizacijskog prelijevanja u kojem se oborinske vode miješaju s otpadnim vodama.<sup>32</sup>

## 2.2.7. Slivovi za zadržavanje vode

Površinske retencije su suhi slivovi koji usporavaju otjecanje oborinskih voda osiguravajući privremeno skladištenje s kontrolom protoka smanjenog otjecanja. Kada sadrže vegetaciju, također osiguravaju pročišćavanje kišnice u smislu uklanjanja krutih tvari i taloženja. Slivovi za zadržavanje vode obično se nalaze na kraju upravljačkog lanca SuDS-a. Oni su inače suhi pa stoga pod određenim uvjetima mogu funkcionirati i kao rekreacijski objekti.

30 MUNLV 2015. Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen. 2 Auflage. [https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/retentionbodenfilter\\_handbuch.pdf](https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/retentionbodenfilter_handbuch.pdf)

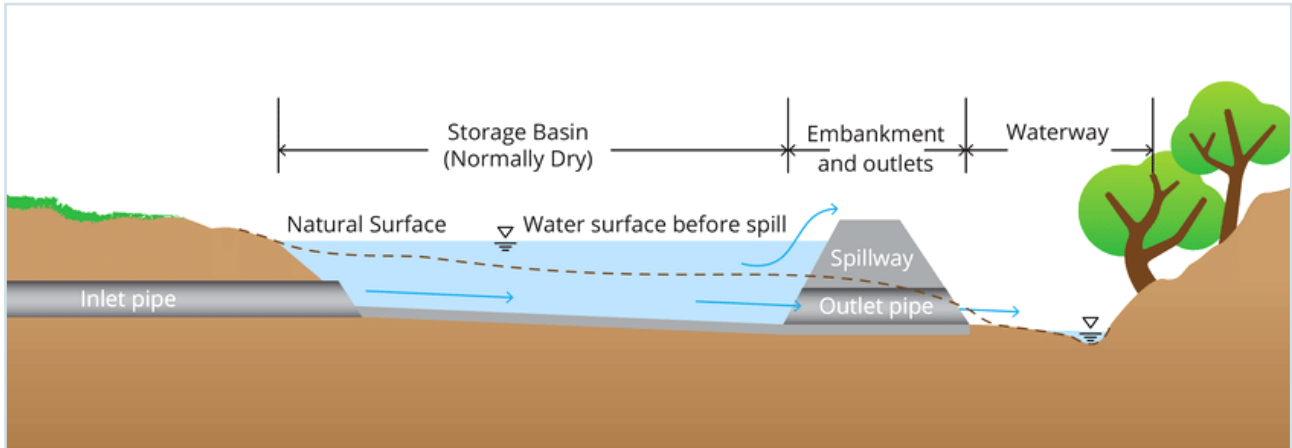
31 Tondera, K., Blecken, G. T., Chazarenc, F. and Tanner, C.C. (Editors) (2018) Ecotechnologies for the Treatment of Variable Stormwater and Wastewater Flows (*Ekotehnologije za pročišćavanje promjenjivih tokova oborinskih i otpadnih voda*). Springer Briefs in Water Science and Technology.

32 Rizzo, A., Tondera, K., Pálffy, T.G., Dittmer, U., Meyer, D., Schreiber, C., Zacharias, N., Ruppelt, J.P., Esser, D., Molle, P., Troesch, S., Masi F. 2020. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: A state-of-the-art review (*Izgrađena močvarna područja za kombinirano pročišćavanje prelijevanja kanalizacije: pregled najmodernijih tehnika*). Science of The Total Environment 727: 138618.





Površinska retencija vode ostaje suha sve dok se ne pojavi oluja, za razliku od retencijske bare koja zadržava vodu i tijekom suhih vremenskih uvjeta i dizajnirana je za zadržavanje većih količina vode kada pada kiša. Ključna briga nije njihova izvedba u ekstremnim uvjetima, već njihova dugoročna održivost i razina održavanja koja je potrebna za njihovo učinkovito funkcioniranje.



Slika 26: Tipičan dio površinske retencije vode.<sup>33</sup>



Slika 27: Površinske retencije vode tijekom suhih i vlažnih razdoblja.<sup>34</sup>

<sup>33</sup> Coombes, P., and Roso, S. (Editors) (2019) Runoff in Urban Areas, Book 9 in Australian Rainfall and Runoff - A Guide to Flood Estimation, Commonwealth of Australia, Commonwealth of Australia (*Otjecanje u urbanim područjima, Knjiga 9 o australskim padalinama i otjecanju - Vodič za procjenu poplava, Commonwealth Australija*) (Geoscience Australia).

<sup>34</sup> A guide to support the selection, design and implementation of Natural Water Retention Measures in Europe (NWRM): Capturing the multiple benefits of nature-based solutions (*Vodič za podršku odabiru, dizajnu i provedbi prirodnih mjera zadržavanja vode u Europi (NWRM): Iskorištavanje višestrukih koristi rješenja temeljenih na prirodi*) (2014). Europska komisija, Opća uprava za okoliš. [www.nwrm.eu](http://www.nwrm.eu)



## 2.3. Infiltracija

Infiltracija omogućuje kišnici da polako prodire kroz gornji sloj tla (sa ili bez vegetacije) u podzemlje, čime se smanjuje opterećenje onečišćujućim tvarima i pridonosi obnavljanju podzemnih voda. Infiltracija je uglavnom prikladna za nisko onečišćene vode. Tijekom procesa infiltracije treba uzeti u obzir pad u stopama infiltracije s vremenom kao rezultat začepjenja tla.

Površinska infiltracija kroz propusne pločnike ili rovove uspješno se koristi desetljećima za upravljanje oborinskim vodama na licu mjesta. U novije vrijeme, za smanjenje otjecanja u slabo propusnim tlima često se koriste kombinirani sustavi kao što je sustav infiltracijskog rova i kanala (*eng. swale-trench*).

Tijekom infiltracije kroz podzemlje, kišnica se pročišćuje kroz nekoliko biotičkih i nebiotičkih procesa uključujući adsorpciju, sedimentaciju, biološku razgradnju i filtraciju. Zona infiltracije treba imati najmanje 30 cm aktivnog gornjeg sloja tla za optimalan učinak filtriranja onečišćenja koja se nalaze u kišnici.

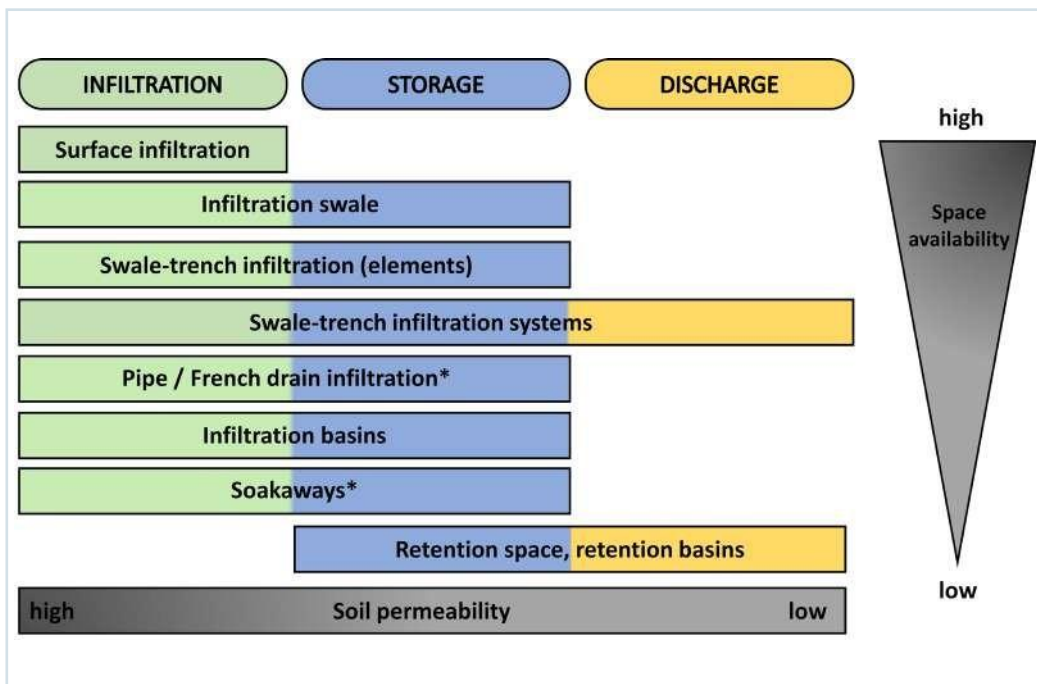
Preduvjet za svaki sustav infiltracije kišnice je propusnost tla, uključujući njegov biološki aktivan, humusom bogat gornji sloj. Propusnost tla izražava se koeficijentom propusnosti  $k^f$ , koji se utvrđuje jednostavnim ispitivanjem propusnosti. Značajna infiltracija može se postići u tlima s  $k^f$  između  $1 \times 10^{-3}$  m/s i  $1 \times 10^{-6}$  m/s.

Za svaku poduzetu mjeru infiltracije trebaju biti ispunjeni sljedeći zahtjevi:

- moraju se potvrditi hidrogeološki uvjeti tla i podzemlja u pogledu prikladnosti i stabilnosti geotehničkim ispitivanjima te se mora uzeti u obzir potreba zaštite podzemne vode koja se nalazi ispod tla od moguće kontaminacije,
- dobra propusnost tla za infiltraciju,
- podzemne vode trebaju biti više od 1 m ispod baze strukture za infiltraciju,
- infiltracijski sustavi ne smiju se graditi unutar 5 m od temelja zgrada
- treba infiltrirati samo slabo onečišćenu kišnicu ili prethodno pročišćene dotoke voda,
- treba izbjeći zbijanje tla na mjestu infiltracije.

Općenito, odabrana mjera infiltracije ovisi o propusnosti i svojstvima tla, raspoloživoj površini, osjetljivosti vodonosnog sloja i stupnju onečišćenja kišnice.

Slika 28 prikazuje potencijalna područja primjene za različite infiltracijske sustave kao funkciju propusnosti tla i dostupnosti prostora.



Slika 28: Područja primjene za različite infiltracijske sustave ovisno o propusnosti tla i dostupnosti prostora (\* ne preporučuje se).<sup>35</sup>

Tablica 5 prikazuje kriterije odabira za primjenu sustava ulekuća i ulekuća-rovova za infiltraciju kišnice ovisno o propusnosti tla ( $k_f$ ) i dostupnosti prostora.

Tablica 5: Kriteriji odabira za neke tehnologije infiltracije u različitim uvjetima tla i prostora (prilagođeno iz Londong & Nothnagel, 1999).

Propusnost		Postupak izbora mjera infiltracije kišnice			
Klasa	Propusnost	$k_f$ od	$k_f$ do	Niska dostupnost prostora <sup>(1)</sup>	Visoka dostupnost prostora <sup>(2)</sup>
II	visoka	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	 infiltracijski kanal	 infiltracijski kanal 10 : 1
II	srednja	$5 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	 kanal za infiltraciju bez ispusta	 kanal za infiltraciju 6 : 1
III	umjerena	$2 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-7}$	 kanal za infiltraciju s djelomičnim usporenim ispuvom	 kanal za infiltraciju 4 : 1
IV	niska	$7 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-7}$	 kanal za infiltraciju s usporenim ispuvom <sup>(3)</sup>	 kanal za infiltraciju 2 : 1

(1) Omjer spojene zatvorene površine i površine infiltracije je 10:1; (2) Omjer spojenog zapečaćenog područja i područja infiltracije kako je naznačeno; (3)  $k_f$  vrijednost bez donjeg ograničenja.

35 Londong, D. Nothnagel, A. (1999) Bauen mit dem Regenwasser. Aus der Praxis von Projekten. Oldenbourg Industrieverlag München.

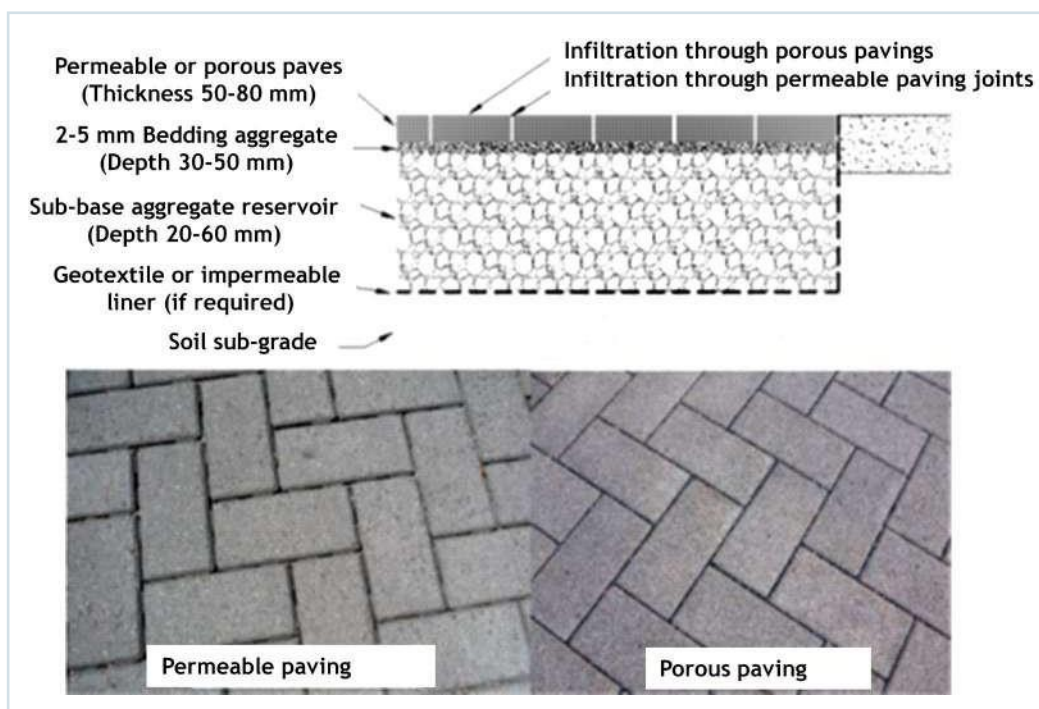


### 2.3.1. Propusno / porozno popločavanje

Propusno ili porozno popločavanje omogućuje infiltraciju kišnice u tlo preko nekoliko slojeva različitih sitnozrnatih materijala. Ovisno o uvjetima tla, vode se mogu infiltrirati izravno u podzemlje ili pohraniti u podzemni spremnik (npr. sloj drobljenog kamena), prije nego što se polako upije u tlo. Ako infiltracija nije moguća, može se koristiti nepropusna membrana s prelijevanjem kako se voda ne bi zadržavala na pločniku. Najčešće korišteni propusni pločnici su propusni beton, porozni asfalt, kamene ploče, travnato-betonski blokovi i propusni betonski elementi za popločavanje (eng. *permeable interlocking concrete pavers* - PICP).

Svi propusni elementi za popločavanje imaju sličan projektni sustav slojevitosti koji se sastoji od površinskog sloja pločnika, ispod se nalazi sloj kamenog agregata spremnika, podvodnih odvoda za filtraciju i geotekstila preko nezbijene podloge tla (Slika 29). Kišnica se probija i infiltrira kroz pločnike u slojeve agregata i/ili tlo ispod. Ovisno o uvjetima tla, voda se može infiltrirati izravno u podzemlje ili pohraniti (zadržati) u podzemnom spremniku prije nego što se polako upije u tlo. Ako infiltracija nije moguća, može se koristiti nepropusna membrana s odljevom koji se odvodi. U tom slučaju propusni pločnici djeluju samo kao mjere zadržavanja.

Područja primjene uključuju ulične površine za lagani promet, parkirališta, dvorišta, pješačke površine, stambene nogostupe, sportske objekte itd.

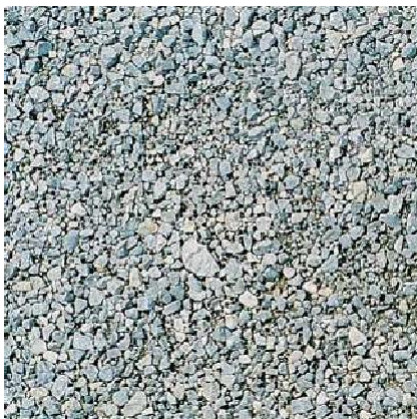


Slika 29: Projektna struktura tipičnog propusnog popločavanja.





Šljunčani travnjak: mješavina humusa i šljunka/zrna. Sjeme travnjaka se raspršuje po površini i zbija.



Popločavanje šljunkom: šljunak ujednačene srednje veličine zrna postavljen na propusnu podlogu.



Elementi za popločavanje s travom: betonski blokovi s otvorima ispunjeni humusom i obrasli travnjakom; preko 40 % zelene površine.



Porozni asfalt: kameni elementi za popločavanje sa zrnastom strukturom velikih pora. U kombinaciji sa spojevima koji propuštaju vodu, popločane površine su uglavnom bez drenaže.



Betonsko popločavanje: popločavanje s odstojnicima koji osiguravaju široke razmake (fuge) između elemenata za popločavanje obrasle travom i biljem; praznine do 35 %.



Elementi za popločavanje od šljunka: izrađeni od kamena za popločavanje s uskim prazninama ispunjenim šljunkom.

Slika 30: Različite vrste propusnih i poroznih pločnika.



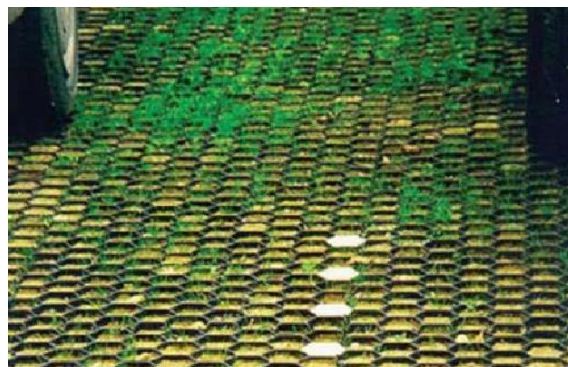


Tablica 6: Koeficijenti otjecanja za različite površine.

Vrsta popločavanja	Koeficijent otjecanja
Jednostavan travnati pokrivač (travnat) Intenzivan zeleni krov	0 - 0,2
Šljunčani travnjak	0,2 - 0,3
Veliki zeleni krov	0,3 - 0,5
Travnati elementi za popločavanje	0,4 - 0,5
Mozaik ili mali elementi za popločavanje s velikim spojevima	0,5 - 0,6
Srednji i veliki elementi za popločavanje s otvorenim fugama	0,5 - 0,7
Povezani elementi za popločavanje i ploče	0,5 - 0,8
Popločavanje betonom i asfaltom	0,9
Metalni i stakleni krovovi	0,95



Betonski elementi za popločavanje



Povezani travnati elementi za popločavanje s početnim zelenilom



Travnati elementi za popločavanje na mjestu za parkiranje bicikala



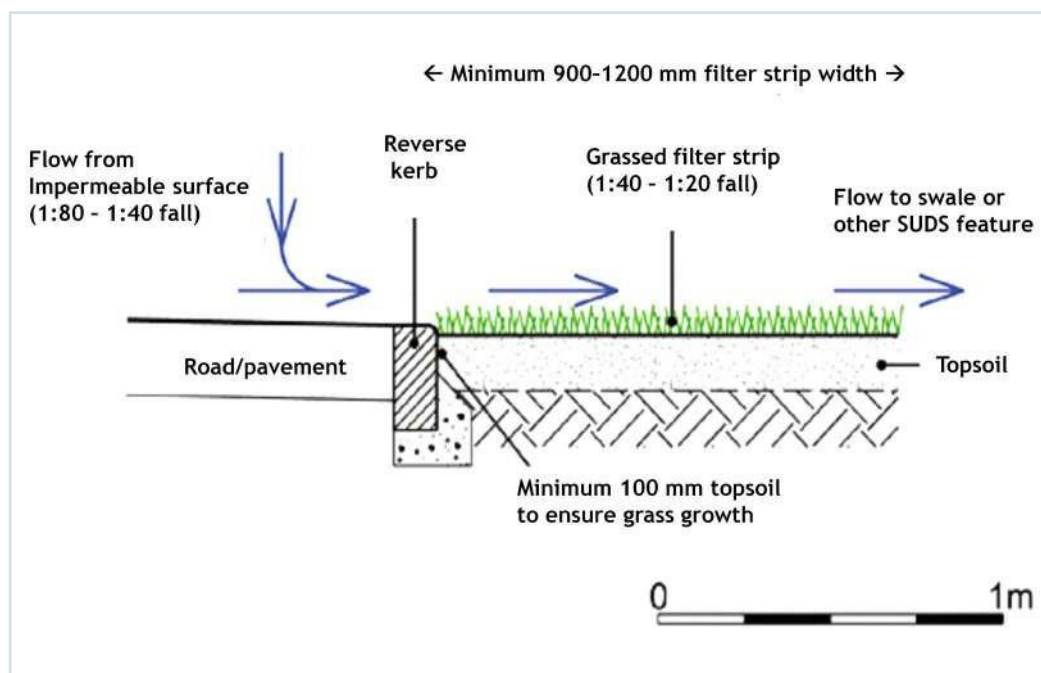
Popločavanje s otvorenim fugama (prazninama) i travnatim elementima za popločavanje za parkiranje automobila

Slika 31: Različite primjene propusnih pločnika (pješačke i biciklističke staze, cesta).



## 2.3.2. Filtarske trake

Filtarske trake su široke, blago nagnute površine trave ili druge gusto obrasle trake zemljišta koje skupljaju otjecanje površinskih voda s nepropusnih površina. Otjecanje prolazi kroz traku filtra, što usporava protok vode i presreće talog i onečišćenje uz dopuštanje infiltracije male količine vode u tlo. Filtarske trake obično se koriste za zaštitu drugih infiltracijskih struktura koje se nalaze dalje u upravljačkom lancu. Budući da koriste plosnati tok, a ne kanalizirani tok, učinkovitije su od uleknuća u uklanjanju suspendiranih krutina iz otjecanja.



Slika 32: Shematski dijagram filtarske trake (Anglian Water).



Slika 33: Filter traka uz cestu<sup>36</sup> i u središtu grada (NWRM).

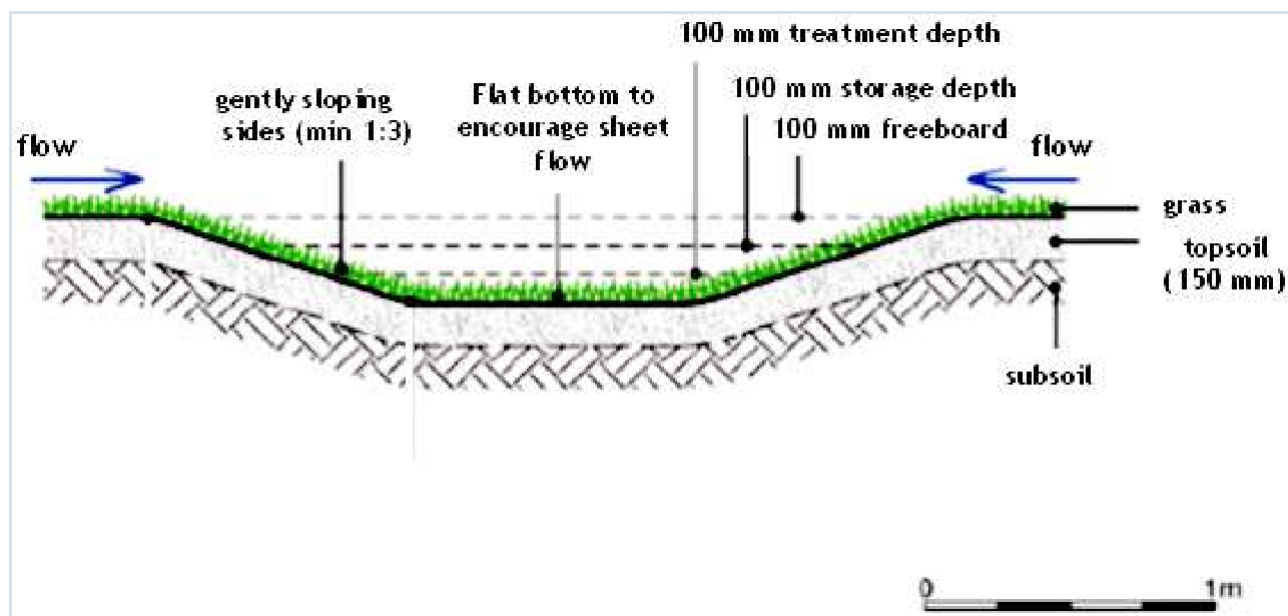
36 <https://www.susdrain.org/delivering-suds/using-suds/suds-components/filtration/filter-strips.html>



Filtarske trake dizajnirane za su pročišćavanje protoka voda s minimalnim vremenom zadržavanja od 5 minuta. Brzine protoka moraju biti niske kako bi se poboljšalo uklanjanje onečišćujućih tvari. U Ujedinjenoj Kraljevini preporučuje se maksimalna brzina protoka od 0,3 m/s za omogućavanje sedimentacije. Idealna duljina filtarskih traka je 5 - 15 m kako bi bile učinkovite i minimalno široke 90 - 120 cm. Trava ili vegetacija trebaju biti u stanju izdržati vlažne i suhe uvjete, kao i velike brzine protoka. Stvaranje kanala i rani kvarovi sustava mogu biti posljedica lošeg dizajna i izgradnje ili nedostatka održavanja.

### 2.3.3. Kanali (kanal s vegetacijom / biološka uleknuća)

Kanali su otvoreni, široki i plitki kanali obično prekriveni travom koji prenose kišnicu sa zatvorenih površina, pročišćuju je, filtriraju i infiltriraju u tlo. Vegetacija pomaže uhvatiti onečišćujuće tvari i smanjiti brzinu otjecanja oborinskih voda. Uleknuća se obično koriste kada područje za površinsku infiltraciju nije dovoljno. Služe za privremeno skladištenje i pročišćavanje i kao mjera infiltracije.



Slika 34: Shematski dijagram kanala s vegetacijom (Anglian Water).

Kanali pružaju dobre kapacitete čišćenja i trebaju manje prostora i manju propusnost tla od površinske infiltracije. Vode se mogu ispuštati kroz otvorene oluke u uleknuće koje se može ugraditi u uređene površine.

Kanali bi se trebala koristiti kao prvi stupanj SuDS lanca koji prihvaća difuzno otjecanje iz susjednih nepropusnih ili slabo propusnih područja. Kao rezultat toga, sliv koji dovodi vode obično je relativno mali, na primjer površina krova, parkiralište, površina ceste ili malo polje. Priključeno područje odvodnje najvažniji je parametar. U pravilu, ukupna površina uleknuća trebala bi biti oko 2 - 5 % u slučaju kiše niskog intenziteta ili 10 - 20 % za kišu visokog intenziteta na području koje se ulijeva u uleknuće.

Vegetacija kanala može biti mješavina biljaka uključujući vlažne i suhe trave, čime se povećavaju koristi biološke raznolikosti.





Tablica 7: Optimalni projektni parametri za kanale s vegetacijom.

Potrebna površina	Kiša niskog intenziteta: 2 - 5 % spojenog područja odvodnje Kiša visokog intenziteta: 10 - 20 % spojenog područja odvodnje
Širina	1 - 2,5 m
Dubina	20 - 50 cm (uglavnom 1/5 širine)
Uzdužni nagib	Minimalno 1 % i maksimalno 4 %
Podzemlje	Gornji sloj tla sa supstratom (obično trava): > 10 cm. Za dobar kapacitet čišćenja preporuča se otprilike 30 cm



Slika 35: Kanali s vegetacijom (Büro Grimm).



Slika 36: Kanali u stambenim područjima (Sieker).

### 2.3.4. Infiltracijske površine

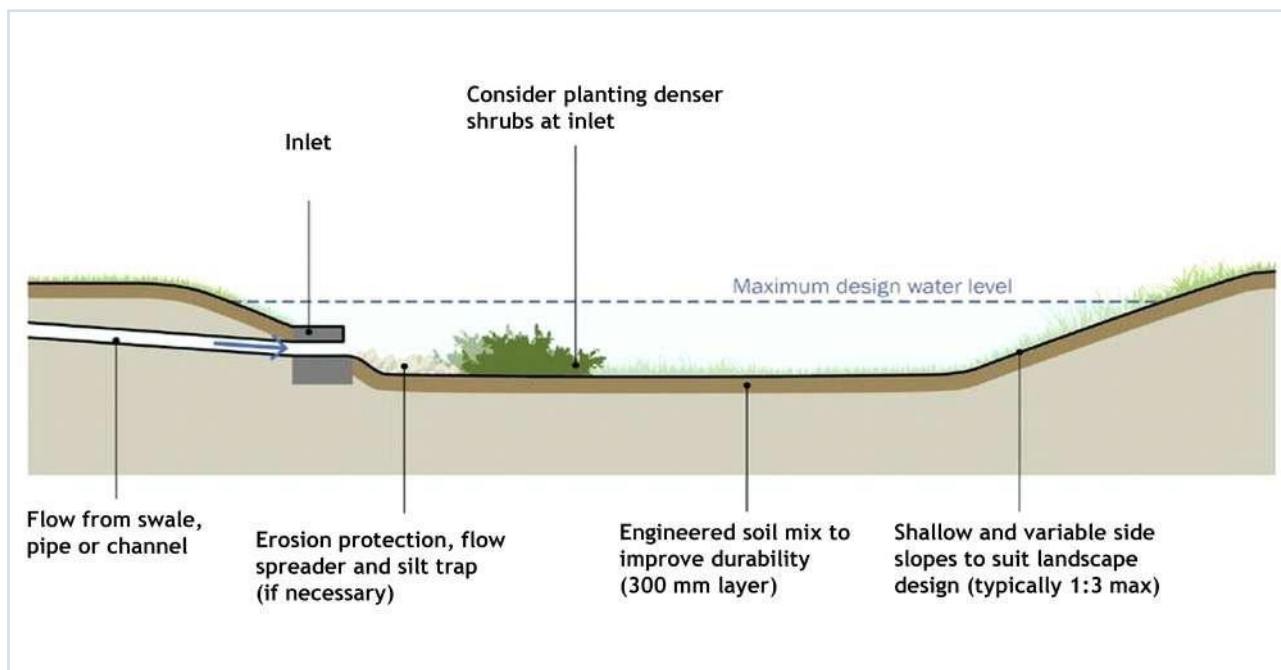
Infiltracijske površine su prirodna ili izgrađena plitka udubljenja prekrivena vegetacijom koja privremeno pohranjuju i infiltriraju otjecanje oborinskih voda u okolno propusno tlo tijekom nekoliko dana. Oni uglavnom prikupljaju površinske vode s malih područja. Slivovi za infiltraciju suhi su osim u razdobljima obilnih padalina. Slični su slivovima za zadržavanje vode koji zadržavaju vodu kratko vrijeme, osim što su dizajnirani da omoguće upijanje vode u tlo, ali i skladištenje.



## Tematski katalog 2 - DIO 1

Vegetacija treba izdržati vlažne i suhe uvjete, a vegetacija s dubokim korijenjem poboljšava kapacitet infiltracije sliva i smanjuje stopu začepljenja. Slivovi za infiltraciju mogu biti zasađeni drvećem, grmljem i drugim biljkama, što osigurava staništa za divlje životinje.

Infiltracijske površine mogu se ugraditi u nove objekte gdje se postojeća vegetacija može očuvati i koristiti kao infiltracijska površina. Otjecanje iz susjednih zgrada i nepropusnih površina može se usmjeriti u ovo područje, čime se povećava evapotranspiracija uz poticanje infiltracije.



Slika 37: Shematski dijagram Infiltracijske površine (Anglian Water).



Slika 38: Prazna<sup>37</sup> i puna infiltracijska površina<sup>38</sup>.

37 [https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/BMPs\\_for\\_stormwater\\_infiltration](https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/BMPs_for_stormwater_infiltration)

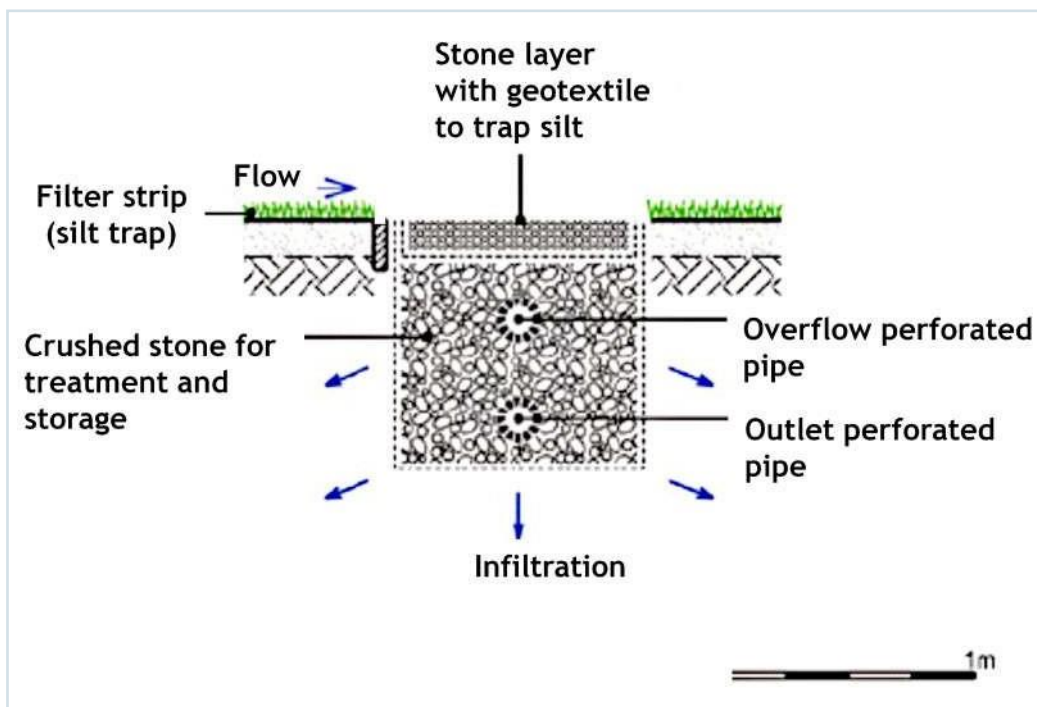
38 <https://www.stormwaterpartners.com/facilities-infiltration-basin>





### 2.3.5. Rovovi za infiltraciju

Rovovi za infiltraciju su linearni, plitki iskopi ispunjeni propusnim zrnatim materijalom (šljunak, granule lave ili kamen) ili drugim materijalom velikog kapaciteta skladištenja (infiltracijske kutije) koji prikuplja površinske vode s nepropusnih površina i postupno ih filtrira u tlo. Otjecanje se pohranjuje u prazninama dopuštajući mu da se polagano infiltrira u tlo, djelujući tako kao privremeni podzemni rezervoar. Njihova dugovječnost poboljšana je ugradnjom učinkovitog sustava za prethodno pročišćavanje (npr. filter traka) za uklanjanje viška krutih tvari na ulazu. Odvod rova za infiltraciju može se prekriti vegetacijom ili tvrdim materijalima kao što su šljunak, cigla ili elementi za popločavanje. Prikupljene oborinske vode odvođe se iznad zemlje (površinski odvod) u rov ispunjen šljunkom ili ispod zemlje (podzemni odvod) u perforiranu cijev u koritu ispunjenom šljunkom gdje se privremeno skladišti i odakle kišnica postupno prodire u zemlju (Slika 39). Obično je spojeno upravljačko okno s uređajima za kontrolu prelijevanja i brzine protoka. Ova vrsta infiltracije zahtijeva malo prostora, ali je teško kontrolirati podzemni sustav.

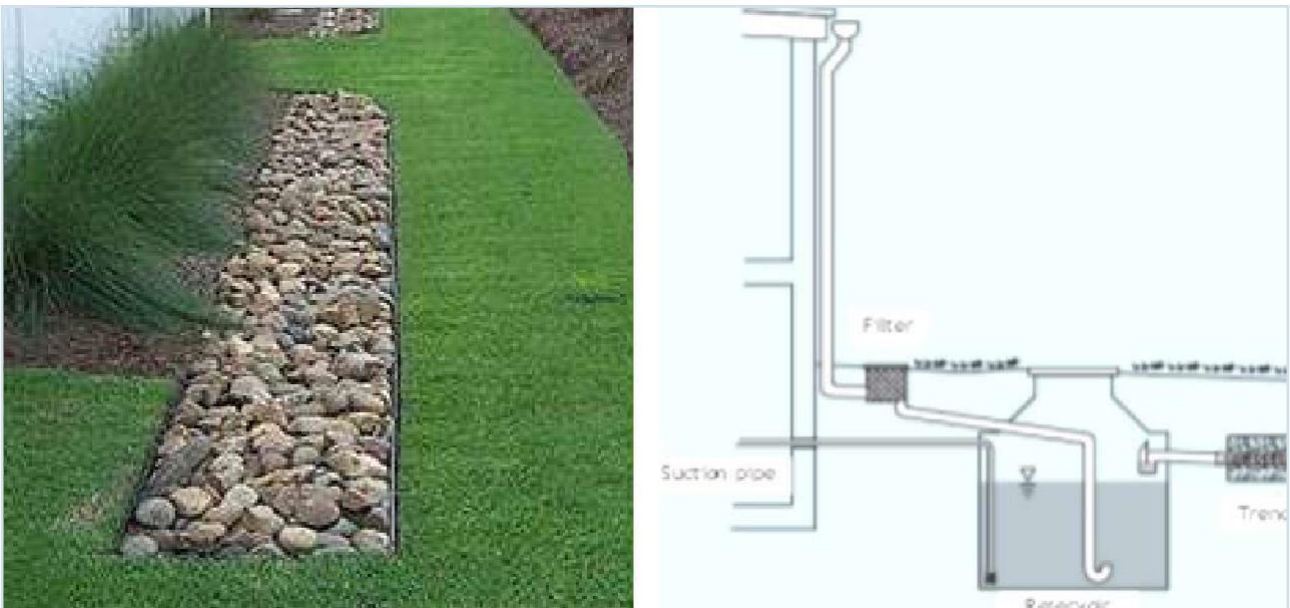


Slika 39: Shematski dijagram rova za infiltraciju s kamenim spremnikom i perforiranim odvodnim cijevima (Anglian Water).

Rov za infiltraciju obično je omotan geotekstilnom membranom kako bi se spriječila kontaminacija materijala za punjenje gornjim slojem tla. Trebao bi imati difuzni dovod duž duljine rova i mogućnost hitnog prelijevanja u ekstremnim slučajevima. Na oba kraja infiltracijskog rova i u odgovarajućim intervalima treba postaviti otvore za čišćenje ili ulaze kako bi se omogućio pristup perforiranoj cijevi. Rovovi bi se trebali moći isušiti i ponovno prozračiti između padalina. Kod dugih rovova za infiltraciju preporučljivo je osigurati inspekcijske cijevi u pravilnim razmacima duž rova. Rovovi za infiltraciju trebaju biti integrirani u cjelokupni dizajn krajobraza i otvorene prostore koji omogućuju dvostruku uporabu zemljišta. Zbog svog uskog oblika, lako ih je integrirati na licu mjesta uz minimalne potrebe za zemljištem.



Slika 40: Primjeri rovova za infiltraciju.<sup>39</sup>



Slika 41: Infiltracijski rov sa spojem na krov.<sup>40</sup>

<sup>39</sup> Minnesota Stormwater Manual. <https://sustainablestormwater.org/2007/05/23/infiltration-trenches/>

<sup>40</sup> <https://www.sudswales.com/types/source-control/infiltration-trenches/>

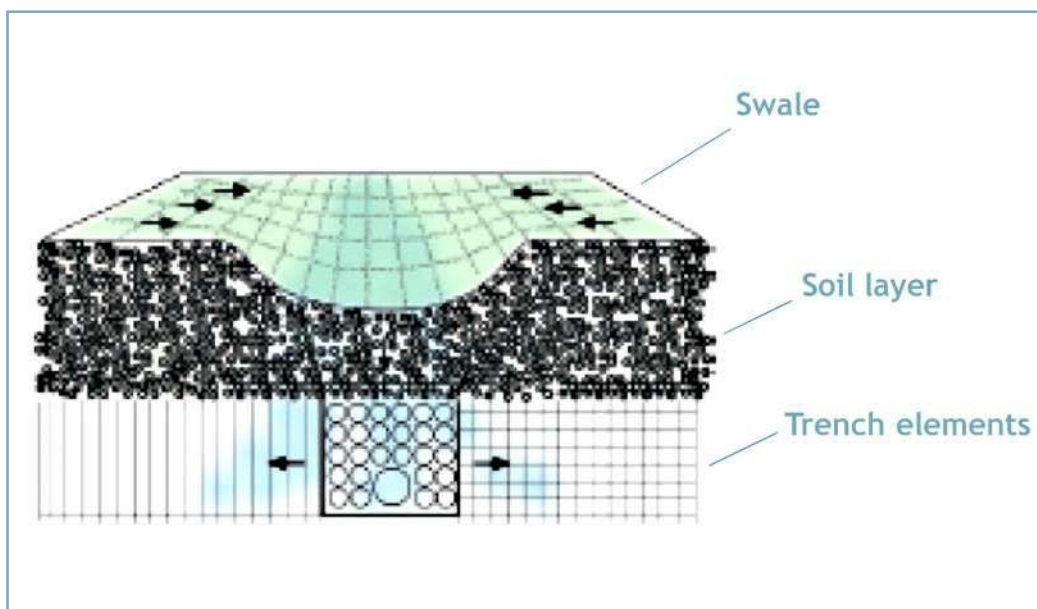


### 2.3.6. Kanal-rov za infiltraciju

Kanal-rov za infiltraciju kombinacija je površinskog zadržavanja i čišćenja uleknuća i podzemnog zadržavanja rova. Pruža dobre kapacitete čišćenja i zahtijeva manje prostora od površinske infiltracije ili infiltracije uleknućem. Oborinske vode prolaze kroz gornji sloj tla u propusnu zonu rova, gdje se ili infiltrira u dublje slojeve ili se polako ispušta u rijeku ili kanalizaciju. Sustavi za rovove posebno su prikladni na mjestima gdje je prostor ograničen, a tla umjereno propusna.

Konstrukcija sustava rovova uključuje sljedeće komponente (Slika 42):

- gornji sloj tla (30 cm) i sloj šljunka (5 cm) između nasipa i rova za infiltraciju,
- rov kao spremnik za skladištenje ispunjen šljunkom (veličine zrna 16/32) i odvodna cijev ili nabijeni rov koji se sastoji od infiltracijskih kutija,
- okna za usporavanje s elementom za usporavanje na kraju odvodne cijevi,
- prelijevanje.



Slika 42: Poprečni presjek u sustavu Kanala-rova za infiltraciju (prilagođeno iz fbr).

I nadzemno uleknuće i podzemni rov osiguravaju skladišni prostor. Prelijevanje u slučaju nužde iz uleknuća u rov za infiltraciju utječe na rasterećenje uleknuća tijekom vršnih hidrauličkih opterećenja. Na kraju odvodne cijevi u rovu za infiltraciju, element za usporavanje osigurava usporeno ispuštanje oborinskih voda u kanalizaciju ili tijelo površinske vode.

Zahtjevi za površinom za sustave kanala-rova iznose otprilike 10 % spojene, zapečaćene površine i zahtijevaju manje prostora nego sami sustavi uleknuća ili rova. Sustavi uleknuća-kanala obično se koriste za slabo propusna gornja tla ( $k_f < 10^{-6}$  m/s kao u glinovitim tlima), gdje se obično postižu stope infiltracije od samo 50 %. Kanal osigurava temeljito čišćenje kišnice prije nego što uđe u rov. Brtvljenje sustava uleknuća-rova s geotekstilnom membranom štiti sustav od začepjenja kroz gornji sloj tla.





Slika 43: Elementi rova (kutije za infiltraciju) za infiltracijske sustave uleknuća-rova (ENREGIS).



Slika 44: Sustavi Kanala-rova u Berlinu (Sieker).

Uspješnost sustava kanala-rova uspješnost je kombiniranog sustava kanala i rova. Studije su pokazale da sustav kanala-rova ispunjava većinu projektnih ciljeva, uključujući značajno smanjenje ukupnog otjecanja i vršnog protoka, uklanjanje onečišćenja i povećano punjenje podzemnih voda.



### 3. Matrica pregleda različitih mjera upravljanja kišnicom

Tablica 8: Potreban prostor različitih mjera za kišnicu (prilagođeno iz Sieker, 1999).<sup>41</sup>

Mjera	Potreba za prostorom (m <sup>2</sup> /ha)
Prikupljanje kišnice ( <i>eng. rainwater harvesting - RWH</i> )	400
Zeleni krovovi	0
Propusno popločavanje	0
Površinska infiltracija	5 000
Infiltracija kroz kanale	2 000
Infiltracija kroz rovove	1 200
Infiltracija kroz sustav kanala-rovova	1 000
Upojni bunari	100

<sup>41</sup> Sieker, H. (1999) Generelle Planung der Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten. Dissertation. Technische Universität Darmstadt.  
[https://www.sieker.de/aktuelles/news/generelle-planung-der-regenwasserbewirtschaftung-in-siedlungsgebieten-dissertation-technische-universitaet-darmstadt-166.html?no\\_cache=1](https://www.sieker.de/aktuelles/news/generelle-planung-der-regenwasserbewirtschaftung-in-siedlungsgebieten-dissertation-technische-universitaet-darmstadt-166.html?no_cache=1)





Tablica 9: Potencijali i utjecaji različitih mjera gospodarenja oborinskim vodama.

LEGEND	High	Infiltration trenches	Infiltration basins	Vegetated swales	Filter strips	Permeable/porous pavings	Detention basins	Constructed wetlands	Retention ponds	Rain gardens	Green roofs & walls	Rainwater harvesting (RWH)
	Medium											
	Low											
	None											
Flood control reduction												
Water retention												
Slow runoff												
Store runoff												
Filtration of pollutants												
Increase evapotranspiration												
Increase infiltration												
Intercept pollution pathways												
Erosion control												
Groundwater recharge												
Climate change mitigation												
Reduce peak temperatures												
Create aquatic habitat												
Biodiversity enhancement												
Amenity potential												
Recreational value												

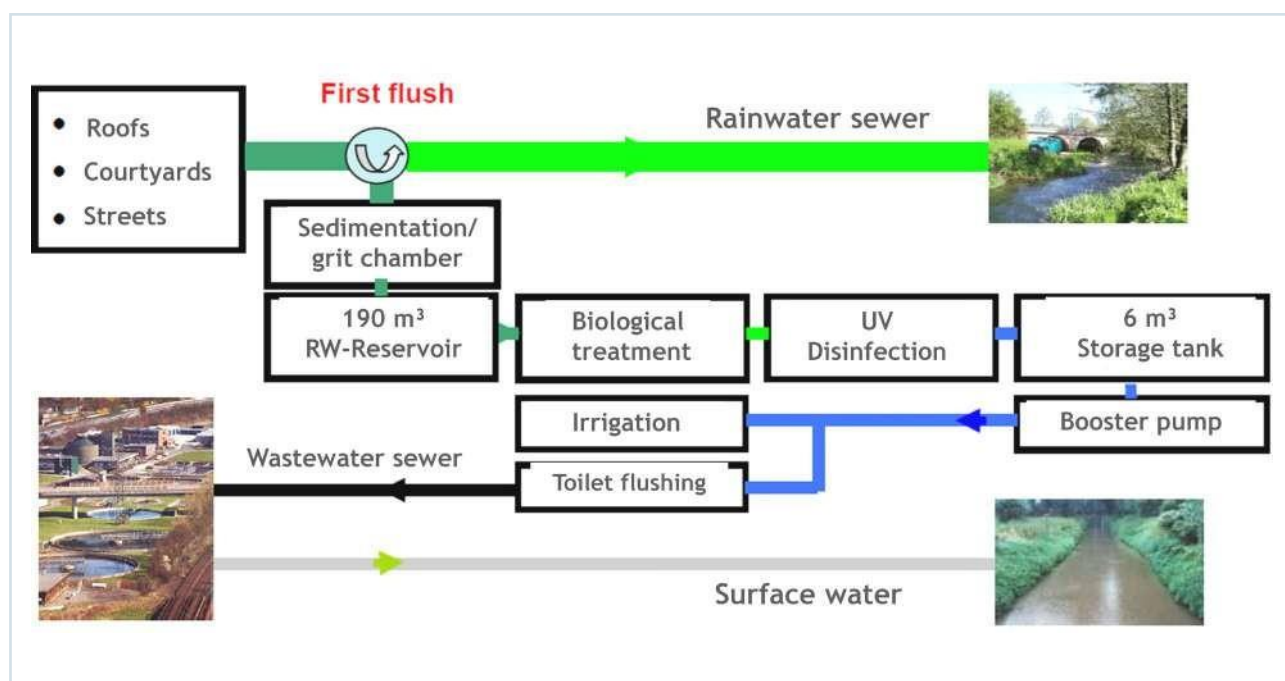


## 4. Najbolja praksa

### 4.1. Prikupljanje kišnice u stambenom području Belss-Lüdecke, Berlin

Razdoblje izgradnje: 2000. - 2001.

U stambenoj četvrti Belss-Lüdeckestraße u Berlinu, najonečišćeniji dio oborinske vode (tzv. „prvo ispiranje“ eng.: first flush) koja potječe s krovova, dvorišta i okolnih prometnih površina stambenog kompleksa preusmjerava se, prikuplja i pročišćava pomoću filtara zasađene zemlje nakon čega slijedi UV dezinfekcija. Obradena kišnica koristi se za ispiranje WC-a stanara i zalijevanje vrtova. Samo, uglavnom nezagađen dio oborinskih voda ulazi u oborinsku kanalizaciju i ispušta se u obližnje površinsko vodno tijelo. Ovaj projekt bio je prvi projekt koji je prikupljao i pročišćavao kišnicu iz uličnog otjecanja za upotrebu u zatvorenom prostoru.<sup>42</sup>



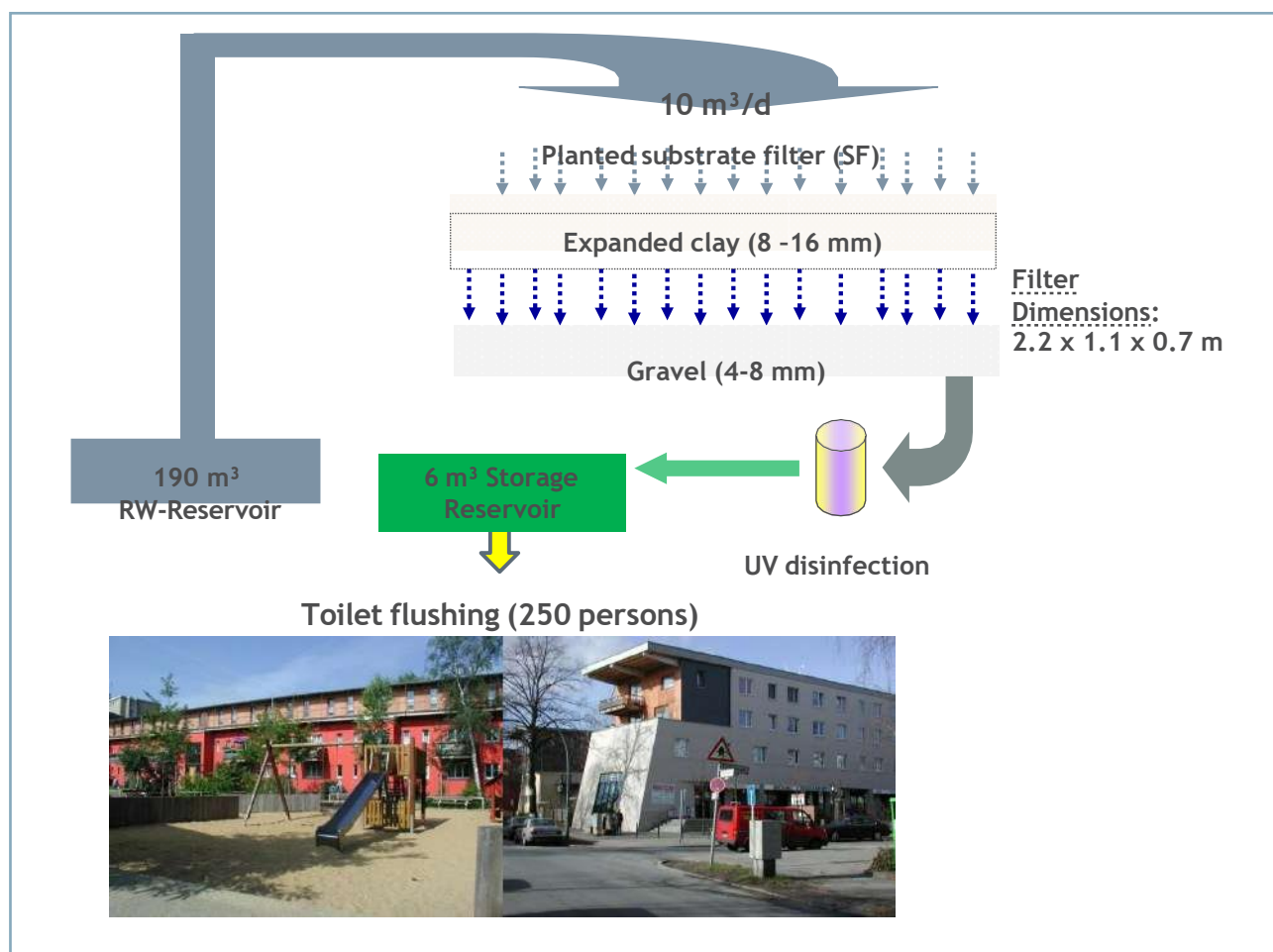
Slika 45: Dijagram toka sheme upravljanja oborinskim vodama u stambenoj četvrti Belß-Lüdecke, Berlin.

42 Nolde, E. (2007) Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces (*Mogućnosti iskoristavanja oborinskih voda u gusto naseljenim područjima uključujući otjecanje oborinskih voda s prometnih površina*). *Desalination* 215 (1): 1-11.



Tablica 10: Tehnički podaci.

Projekt: Prikupljanje kišnice u ulici Belss-Lüdecke, Berlin	
Opis	Prvi projekt te vrste u Berlinu, također prikupljanje i pročišćavanje otpadnih voda s prometnih površina za unutarnju upotrebu i proizvodnju visokokvalitetne vode
Početak - kraj projekta	2000. - 2001.
Područje prikupljanja	Krovne i dvorišne površine, uključujući zatvorene prometne površine
Područje	12 000 m <sup>2</sup> zatvorene površine
Slivno područje	190 m <sup>3</sup> ; kišnica se preusmjerava iz oborinske kanalizacije u spremnik (uključujući prvo ispiranje)
Prethodno pročišćavanje	Komora za sedimentaciju i pijesak (pregrada za hvatanje pijeska)
Biološko pročišćavanje	Filtar zasađene zemlje i UV dezinfekcija
Kapacitet pročišćavanja	10 m <sup>3</sup> /d
Primjene ponovne uporabe	Ispiranje unutarnjih WC-a (200 osoba) i navodnjavanje vrta
Potencijal uštede pitke vode	Otprilike 70 % potrebe za vodom za ispiranje WC-a (80 apartmana): 2 500 m <sup>3</sup> /a



Slika 46: Dizajn sustava pročišćavanja kišnice pomoću filtra zasađene zemlje.



Slika 47: Oborinska kanalizacija sa skretnicom (gore) i filter zasadene zemlje unutar zgrade (dolje).

## 4.2. Trg Potsdamer Platz, Berlin

### Razdoblje izgradnje 1994. - 1999.<sup>43,44</sup>

Upravljanje oborinskim vodama i projektiranje urbanih voda: mjere uključuju prikupljanje kišnice, ekstenzivne i intenzivne zelene krovove, umjetna vodna tijela i izgrađeno močvarno zemljište za pročišćavanje kišnice. Objekt upravlja s otprilike 23 000 m<sup>3</sup> kišnice godišnje iz 19 zgrada.

Kombinacija zelenih i ne-zelenih krovova prikuplja godišnju kišnicu koja se ponovno upotrjebljava za ispiranje WC-a, navodnjavanje i gašenje požara. Višak kišnice slijeva se u bazene i kanale vanjskog krajolika stvarajući oazu za urbani život. Biotopi s vegetacijom integrirani su u krajolik lokaliteta tvoreći prirodno stanište i služe za filtriranje i čišćenje kišnice koja teče u umjetno vodno tijelo. Zeleni krovovi, podzemni spremnici i umjetno vodno tijelo glavni su spremnici vode.

43 <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/potsdamer-platz-berlin-germany/>

44 [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/de/modellvorhaben/kuras/oekologischer-stadtplan.shtml](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/kuras/oekologischer-stadtplan.shtml)



## Tematski katalog 2 - DIO 1

Umjetno vodno tijelo površine 13 042 m<sup>2</sup> i zapremine vode od otprilike 15 000 m<sup>3</sup> podijeljeno je na četiri funkcionalno prepoznatljiva vodna tijela. Čišćenje i filtriranje kišnice prirodno se odvija kroz 4 biotopa koji su izgrađeni kao modificirana izgrađena močvarna područja koja se sastoje od posebnog supstrata od ekspaniranog škriljevca, šljunka i zeolita te zasađena običnom trskom (fragmitom). Voda kontinuirano cirkulira s maksimalnim kapacitetom filtriranja između 30 i 150 m<sup>3</sup>/h za različite biotope.

### Glavne značajke:

- upravljanje kišnicom na licu mjesta,
- zadržavanje i isparavanje kišnice putem pretežno opsežnog ozelenjavanja krovova (12 000 m<sup>2</sup>),
- spremnici ukupne zapremine 2 550m<sup>3</sup>:
  - za ispiranje WC-a, otprilike 10 800 m<sup>3</sup>/a
  - za navodnjavanje zelenih površina, otprilike 1 114 m<sup>3</sup>/a
  - za nadopunjavanje umjetnog vodnog tijela, otprilike 12 000 m<sup>2</sup>, s uzvodno zasađenim biotopima za pročišćavanje, otprilike 1 900 m<sup>2</sup>

Tijekom ekstremnih događaja (svake 2-3 godine), prikupljena kišnica potiskuje se u Landwehrkanal s maksimalnim protokom 3 l/s/ha.

Utjecaji: oborinske vode prikupljaju se i koriste na licu mjesta tako da oborinske vode ne ulaze u kombiniranu komunalnu kanalizaciju. Urbani vodeni krajolik na Potsdamer Platzu smanjuje rizik od poplava i onečišćenja površinskih voda. Također zatvara hidrološki ciklus isparavanjem sa zelenih krovova i iz umjetnog jezera, čime se poboljšava lokalna mikroklima. Zabilježena je smanjena upotreba slatke vode u zgradama i porast urbane biološke raznolikosti, kao i učinkovitost resursa.





Slika 48: Potsdamer Platz, Berlin (fotografije: Ramboll Studiodreiseitl, gore i Marco Schmidt, dolje).



### 4.3. Olimpijski stadion, Berlin

#### Radovi na rekonstrukciji i krovištu završeni 2004. godine.

Provedene su različite tehničke mjere za očuvanje resursa i okoliša na Olimpijskom stadionu u Berlinu. To uključuje: spremnik za kišnicu i bunar, namješteni tajmeri za ispiranje pisoara i prelazak na bezvodne pisoare u vrlo posjećenim područjima, smanjenje protoka na ventilima za ispiranje.

Kišnica se prikuplja s krova stadiona i skladišti u podzemnoj cisterni. Sve zelene površine stadiona navodnjavaju se prikupljenim oborinskim vodama.

Oborinske vode s krova u potpunosti se upravljaju na licu mjesta i koriste se za navodnjavanje igrališta, dok se ostatak infiltrira. U tu svrhu izgrađena su tri podzemna infiltracijska rova.

Oborinske vode krova tribine pohranjuju se u podzemni betonski spremnik kapaciteta otprilike 1700 m<sup>3</sup>. Za navodnjavanje travnjaka koristi se oko 1400 m<sup>3</sup> vode iz spremnika. Za svako navodnjavanje, najmanje 150 m<sup>3</sup> posipa se po igralištu kako bi se postiglo dovoljno vlage u travnjaku.

Tehnički podaci Olimpijskog stadiona u Berlinu nakon rekonstrukcije:

- 42 000 m<sup>2</sup> područja odvodnje (stojeći krov),
- 20 000 m<sup>2</sup> odvodnje izravno preko filtarskih okna u infiltracijske rovove,
- 22 000 m<sup>2</sup> krovne površine spojeno na spremnik, prelijevanje u sustav infiltracijskih rovova,
- 1 700 m<sup>3</sup> zapremine skladištenja kišnice, od čega je 330 m<sup>3</sup> retencijski volumen,
- 1 400 m<sup>3</sup> upotrebljivog zapremine akumulacije.

Tri podzemna infiltracijska elementa sustava rovova izrađena su od plastičnih infiltracijskih kutija postavljenih jedna preko druge u više slojeva u šuplje tijelo (dimenzije: D x Š x V 1 000 x 500 x 400 mm). Cijeli infiltracijski rov omotan je geotekstilom kako bi se osigurala stabilnost i zaštita od okolnog tla.

Elementi rova postavljaju se na posteljicu od 10 cm pijeska ili šljunka (2/8 mm) i odozgo se prekrivaju PE zaštitnom membranom debljine 2 mm. Šuplji prostor ispunjen je zaobljenim šljunkom (8/16 mm). Šupljine za skladištenje vode zauzimaju oko 95 % ukupnog volumena, gotovo tri puta veće od šljunka. Filtarska okna (promjera 2,5 - 3 m) postavljaju se uzvodno od svakog infiltracijskog rova. Prednja ploča sastoji se od sita od nehrđajućeg čelika (veličina oka 0,6 mm) i zadržava talog iz kišnice.



Slika 50: Olimpijski stadion u Berlinu s krovom iznad tribine odakle se prikuplja kišnica (lijevo) i podzemnim spremnikom za kišnicu s različitim razinama skladišnog prostora.<sup>45</sup>

## 4.4. Međunarodna zračna luka Berlin-Brandenburg (BBI)

**Dovršeno 2020. godine.**

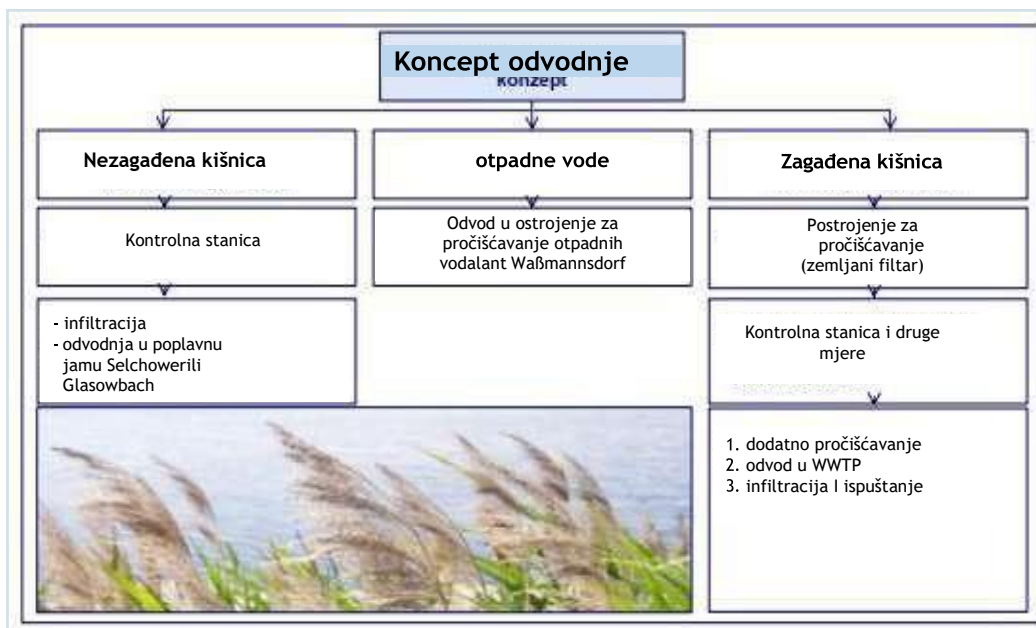
Zračna luka održava mrežu otpadnih voda s brojnim crpnim stanicama i objektima za prethodno pročišćavanje. Osim terminala, na kanalizacijsku mrežu priključene su i sve ostale zgrade zračne luke kojom se upravlja odvojenim mrežama cijevi za otpadne i oborinske vode. Otpadne vode pročišćavaju se u postrojenju za pročišćavanje otpadnih voda Waßmannsdorf kojim upravlja Berliner Wasserbetriebe. Oborinske vode se prikupljaju, pročišćavaju i ispuštaju odvojeno.

Oborinske vode s krovova i parkirališta, koje su obično niske stope onečišćenja, infiltriraju se što je moguće bliže mjestu nastanka. Oborinske vode koje se ispuštaju s uzletno-sletnih staza, staza za voženje i dijelovima zračne luke za parkiranje zrakoplova, koje tijekom zime mogu biti onečišćene površinskim sredstvima za odleđivanje, prethodno se pročišćavaju sustavima za odvajanje lakih tekućina nakon čega slijedi zemljani filter. Ljeti se oborinske vode bez prethodnog pročišćavanja ispuštaju u uleknuće za infiltraciju ili se infiltrira na području zračne luke.

Za uravnoteženje otjecanja oborinskih voda, dizajniran je retencijski spremnik od otprilike 180 000 m<sup>3</sup> koji koristi kanalizaciju za kišnicu od 28 km s 8 crpnih stanica i kapaciteta do 5 000 l/s. Oborinske vode ispuštaju se u rov za infiltraciju brzinom od 1000 litara u sekundi. Nezagađena kišnica se ili ispušta u dva prijemna tijela (Glasowbach, istočna poplavna jama Selchowera) ili se ponovno infiltrira u tlo.

<sup>45</sup> [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/de/modellvorhaben/kuras/oekologischer\\_stadtplan.shtml](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/modellvorhaben/kuras/oekologischer_stadtplan.shtml)





Slika 51: Novi koncept odvodnje međunarodne zračne luke Berlin-Brandenburg.

## 4.5. Hamburg Water Cycle® (HWC)

Početak izgradnje: 2020.

Hamburg Water Cycle® (HWC)<sup>46</sup> inovativan je i holistički koncept otpadnih voda i energije kojeg je razvilo društvo HAMBURG WASSER, komunalno društvo za vodu i otpadne vode koje pruža usluge pitke vode i sanitarnih usluga za više od 2 milijuna potrošača u gradskoj regiji Hamburg već više od 150 godina. HWC nudi koncept za decentralizirano upravljanje otpadnim vodama koji obnavlja hranjive tvari i stvara obnovljivu energiju. Cilj koncepta je odvajanje otpadnih voda kućanstva u tri toka otpadnih voda (kišnica, siva voda i crna voda) koji se pročišćavaju zasebno. HWC nastoji

<sup>46</sup> <https://www.hamburgwatercycle.de/en/hamburg-water-cycler/>





## Tematski katalog 2 - DIO 1

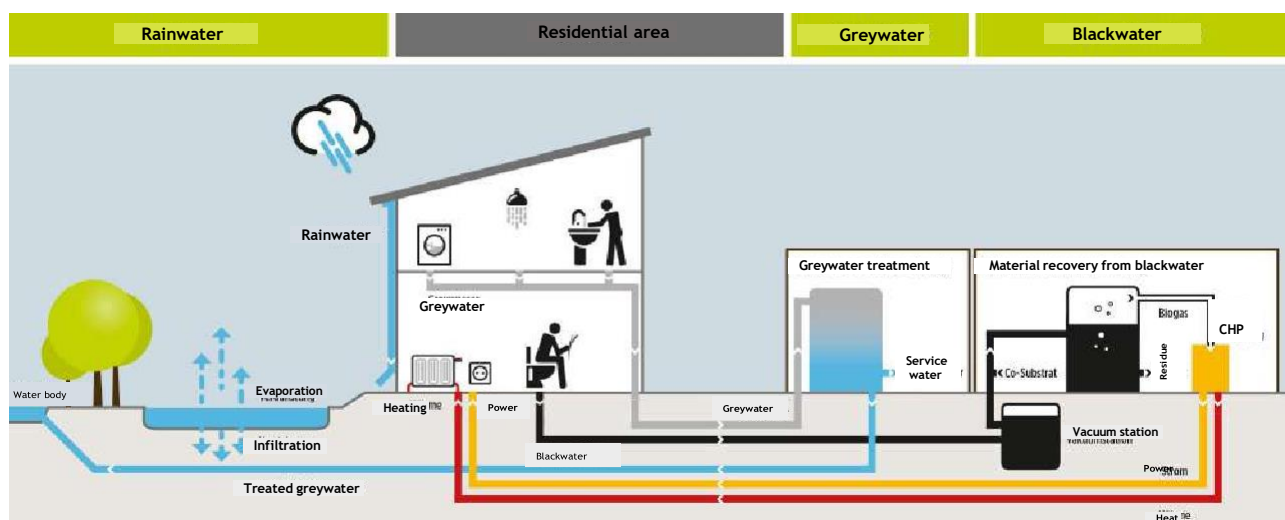
zatvoriti materijalne i energetske petlje s održivim konceptima i energetske učinkovitim tehnologijama koje se mogu integrirati u postojeći sustav.

Glavna značajka HAMBURG WATER Cycle® je odvajanje različitih tokova otpadnih voda i naknadni povrat energije iz otpadnih voda. To se provodi u Hamburgu na dvije lokacije u malom i u većem razmjeru.

U malom opsegu: „Gut Karlshöhe” ekološki je tematski park od 9 jutara kojeg je stvorila Hamburška zaklada za zaštitu klime u obrazovne svrhe. Također je posebno zanimljivo močvarno zemljište za pročišćavanje sivih voda koje se nalazi na njegovom prostoru. Oborinske vode se prikupljaju na licu mjesta kako bi se stvorio izvor vode za domaće potrebe.

U velikoj mjeri: četvrt Jenfelder Au bit će prva četvrt u Hamburgu u kojoj će HWC biti ugrađen u velikom obimu na 35 hektara otprilike 2.000 stanovnika. Kišnica će također postati kreativni element za otvoreni krajolik. Jenfelder Au je pilot projekt „Nacionalne politike urbanog razvoja” Federalnog ministarstva graditeljstva i urbanog razvoja (BMVBS) i Federalnog zavoda za graditeljstvo, urbanizam i prostorni razvoj (BBSR).

Koncept upravljanja oborinskim vodama Jenfelder Au odvaja kišnicu od kanalizacijske mreže, dopuštajući kišnici da teče kroz otvorene kanale i slapove do slivova za zadržavanje vode izgrađenih kao atraktivni ribnjaci i jezera. Slivovi za zadržavanje vode dizajnirani su da pruže potencijal skladištenja u slučaju obilnih oborina. Koncept će povećati vrijednost stambenog područja i optimizirati zaštita od poplava.



Slika 52: Koncept susjedstva Jenfelder-Au u Hamburgu koji prikazuje različite tokove otpadnih voda.<sup>47</sup>

<sup>47</sup> <https://www.hamburgwatercycle.de/en/the-jenfelder-au-neighbourhood/the-hwc-in-the-jenfelder-au/>



## 4.6. Emschergenossenschaft

Emschergenossenschaft je prva njemačka udruga za upravljanje vodama osnovana 1899. godine u saveznoj državi Sjeverna Rajna-Vestfalija s ciljem stvaranja ekoloških, tehničkih i dizajnerskih rješenja za rijeku Emscher u toj regiji. U najvećem europskom metropolitanskom području, između Dortmunda i Duisburga s 865 km<sup>2</sup> slivnog područja, udruga Emschergenossenschaft je odgovorna za sva pitanja vezana uz Emscher i njegove pomoćne vodne putove, uključujući održavanje površinskih vodnih tijela, zaštitu od poplava, odlaganje otpadnih voda, oborinskih voda i upravljanje podzemnim vodama, kao i ponovnu naturalizaciju rijeke Emscher. Oko 2,2 milijuna ljudi živi u slivnom području Emschera, između izvora i ušća u Rajnu.

Područje sliva rijeke Emscher u Njemačkoj jedno je od najgušće naseljenih i najindustrijaliziranih područja u Europi zbog utjecaja rudarskih aktivnosti s početka 19. stoljeća. Emscher sustav razvijen je kao otvoreni kanalizacijski sustav u koji su utjecale slatke i otpadne vode. Prestankom rudarskih aktivnosti 1980-ih ukazala se prilika za obnovu sliva Emscher. Zbog visoke razine urbanizacije, režim protoka rijeke Emscher pod jakim je utjecajem otjecanja oborinskih voda. Osim toga, prelijevanje dominantno kombiniranog kanalizacijskog sustava uzrokovali su probleme s kvalitetom vode i hidraulički stres. Svjesni ovih problema, Udruga Emscher (Emschergenossenschaft) uvela je 1990-ih nove strategije upravljanja oborinskim vodama usmjerene na izvore za revitalizaciju i nadogradnju sliva rijeke Emscher.<sup>48</sup>

Uspostavljanje upravljanja prirodnim oborinskim vodama glavna je komponenta uspjeha pretvorbe rijeke Emscher. Projektom „Buduća konvenciju za kišnicu“ (*njem. Zukunftsvereinbarung Regenwasser*), svi gradovi u regiji Emscher, Ministarstvo zaštite okoliša i Emschergenossenschaft postavili su ciljeve smanjiti dotoke oborinske i čiste vode u općinski sustav odvodnje za 15 % unutar 15 godina, od 2005. do 2020. Različite mjere vlasnika javnih i privatnih posjeda doprinose tome uz potporu programa financiranja udruge Emschergenossenschaft i savezne države Sjeverna Rajna-Vestfalija.<sup>49</sup>

Subvencije su iznosile 5 €/m<sup>2</sup> zatvorene površine isključene iz sustava odvodnje. Od 1994. godine sudjelovalo je 19 općina članica s ukupno 82 različita projekta, od kojih je 47 već provedeno. S ovom razinom isključenosti, vršni protok poplava u pritokama rijeke Emscher mogao bi se smanjiti za čak 40 %, što je od ogromne ekološke važnosti.

Udruga Emschergenossenschaft pokazala je da prikupljanje kišnice također može biti dio uređenja javnih otvorenih prostora. Uz sudjelovanje građana i podršku građevinskih društava, škola i dnevnih centara, uspješno je odvojeno 12 % područja.

Dodatne publikacije (samo na njemačkom jeziku):

<https://emscher-regen.de/index.php?id=8>

<https://emscher-regen.de/index.php?id=43>

<sup>48</sup> Becker, M. & Raasch, U. (2001) Sustainable rainwater management in the Emscher river catchment area. Proceedings of the 2nd International Conference on Interactions between Sewers, Treatment Plants and Receiving Waters in Urban Areas (Interurba II) (*Održivo upravljanje oborinskim vodama u slivu rijeke Emscher. Zbornik radova 2. međunarodne konferencije o interakcijama između kanalizacije, uređaja za pročišćavanje i prihvatnih voda u urbanim područjima (Interurba II)*). Lisabon, Portugal, 19. - 22. veljače.

<sup>49</sup> Emscher 3.0 From grey to blue - Or how the blue sky over the Ruhr region fell into the Emscher (2013) (*Od sivog do plavog - Ili kako je plavo nebo nad Ruhrskom regijom palo u Emscher*). Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH (Publisher). <https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/a-flood-and-heat-proof-green-emscher-valley-germany/11305620.pdf/view>



## 4.7. KURAS - Koncepti upravljanja urbanim oborinskim vodama, odvodnim i kanalizacijskim sustavima

### Istraživački projekt: trajanje: 2013. - 2016.

Istraživački projekt KURAS<sup>50</sup>, financiran od strane njemačkog Saveznog ministarstva obrazovanja i istraživanja (BMBF), usmjeren je na razvoj i demonstraciju integriranih koncepata za održivo pročišćavanje otpadnih i oborinskih voda u urbanim četvrtima s obzirom na sve veće demografske i klimatske promjene koje utječu na postojeće kanalizacijske mreže. U okviru ovog projekta razvijene su smjernice za općine i operatere kanalizacijskih mreža s niskim nagibima kako bi se olakšao rad, proširenje i modifikacija postojeće tehničke infrastrukture otpadnih voda sukladno budućim potrebama.

Koncepti za održivo upravljanje oborinskim vodama u urbanim četvrtima razvijeni su kroz:

- uspoređivanje centraliziranih i decentraliziranih shema upravljanja oborinskim vodama s obzirom na njihov utjecaj na okoliš, urbanu klimu, građevinsku fiziku i troškove,
- optimiziranje kombinacije mjera oborinskih voda za četvrti, male gradove i metropole za postojeći građevinski fond i razvoj novih područja na temelju njihove primjenjivosti,
- razmatranje budućih promjena,
- demonstriranje ovih mjera pomoću modela dvaju okruga u Berlinu,
- razvijanje preporuka za održive modele financiranja i osnovne regulatorne mjere.

Za gospodarenje oborinskim vodama, definirane su dvije urbane četvrti površine otprilike 1 km<sup>2</sup>, jedna s kombiniranom kanalizacijom, a druga sa zasebnom kanalizacijom.

Kvantitativna i kvalitativna procjena 27 različitih mjera upravljanja oborinskim vodama predstavljena je u obliku informativnih listova (na njemačkom jeziku), koji su također uključivali dizajn i funkciju svake mjere, pravila i propise, ključne pokazatelje uspješnosti kao i preporuke za održavanje. Profili mjera upućeni su nadležnim tijelima i vodoprivredama te planerima i vlasnicima.

## 4.8. Vodeni park Gorla Maggiore (kombinirano pročišćavanje prelijevanja kanalizacijskog sustava)

Gorla Maggiore općina je s otprilike 5 000 stanovnika u regiji Lombardija, sjeverna Italija. Vodeni park Gorla Maggiore sastoji se od skupa izgrađenih močvara (*eng. constructed wetlands - CW*) za pročišćavanje prelijeva vode iz mješovitog kanalizacijskog sustava, okruženih parkom na obali rijeke Olone. Izgrađen je 2011. - 2012., ukupne površine 6,5 ha.

Intervencija ima za cilj razriješiti utjecaje izlivanja kombinirane kanalizacije u rijeku Olonu, kako u pogledu kvalitete tako i u hidrauličkim vrhovima, te stvoriti novo riječno područje koje će moći koristiti stanovništvo. Sve prelivene vode, uključujući i one prve kiše, pročišćavaju se unutar

<sup>50</sup> KURAS. Concepts for urban rainwater management, drainage and sewage systems. Research project: 2013-2016. Funded by the German Federal Ministry of Education and Research under the funding measure "Smart and Multifunctional Infrastructural Systems for Sustainable Water Supply, Sanitation and Stormwater Management" (INIS) (*Koncepti upravljanja urbanim oborinskim vodama, odvodnje i kanalizacijskim sustavima. Istraživački projekt: 2013. - 2016. Financirano od strane njemačkog Saveznog ministarstva obrazovanja i istraživanja u okviru mjere financiranja „Pametni i višenamjenski infrastrukturni sustavi za održivo vodoopskrbu, sanitaciju i upravljanje oborinskim vodama“ (INIS)*). Na njemačkom. <http://www.kuras-projekt.de/index.php?id=78>



## Tematski katalog 2 - DIO 1

sustava: prvo kroz preliminarno automatsko filtracijsko pročišćavanje, a zatim unutar vertikalnog podzemnog toka izgrađenog močvarnog područja s vegetacijom *Phragmites australis* (močvarna trska). Druge oborinske vode šalju se izravno u močvarno područje/ribnjak površinskog toka koje je također dizajnirano kao sliv za zadržavanje vode za kontrolu poplava (kišni događaj s povratnim razdobljem od 10 godina). Uz izgrađeni močvarni sustav, koji je omogućio stvaranje močvara obogaćenih izvanrednom biološkom raznolikošću vodenog bilja, okolina je zamišljena kao park sa stazom, biciklističkim zemljištem i odmorištem kojeg su građani Gorle Maggiore pozitivno ocijenili i uvelike koriste. Kao višenamjenski NBS, vodeni park Gorla Maggiore pokazao se vrlo učinkovitim u kontroli onečišćenja vode<sup>51</sup>, ublažavanju poplava<sup>52</sup> i biološkoj raznolikosti i društvenim koristima<sup>53</sup>,<sup>54</sup>. Vodeni park Gorla Maggiore bio je jedan od 27 studija slučaja projekta OpenNESS (FP7 - [www.openness-project.eu](http://www.openness-project.eu)) i spomenut kao jedan od deset najboljih talijanskih projekata u sektoru upravljanja vodama na Nagradi Italije za održivi razvoj 2017.



Slika 53: Pogled iz zraka i karta proučavanog područja<sup>55</sup>.

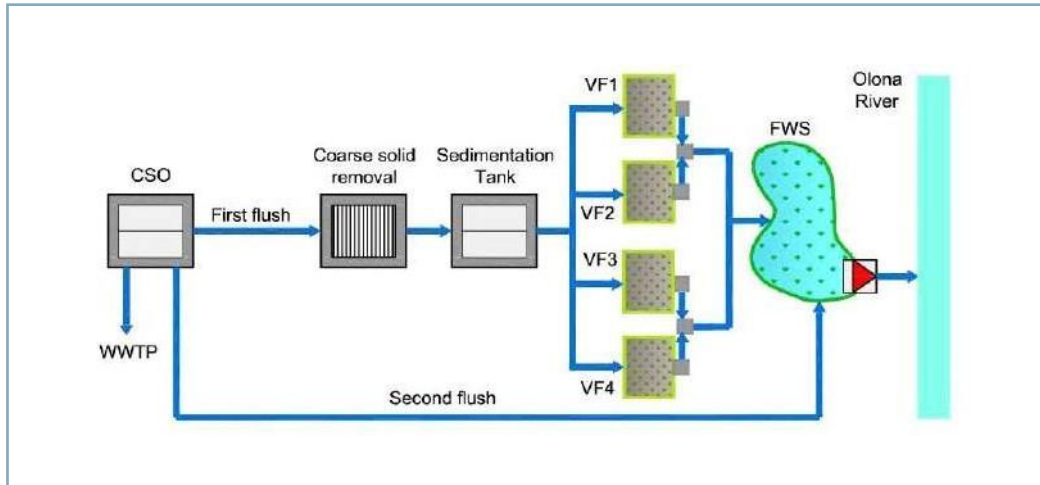
51 Masi, F., Rizzo, A., Bresciani, R. and Conte, G., 2017. Constructed wetlands for combined sewer overflow treatment: ecosystem services at Gorla Maggiore, Italy (*Izgrađena močvarna područja za kombinirani tretman preljeva kanalizacije: usluge ekosustava u Gorla Maggiore, Italija*). *Ecological Engineering*, 98, pp.427-438.

52 Rizzo, A., Bresciani, R., Masi, F., Boano, F., Revelli, R. and Ridolfi, L., 2018. Flood reduction as an ecosystem service of constructed wetlands for combined sewer overflow (*Smanjenje poplava kao ekosustavna usluga izgrađenih močvara za kombinirano prelijevanje kanalizacije*). *Journal of Hydrology*, 560, pp.150-159.

53 Reynaud, A., Lanzanova, D., Liqueste, C. and Grizzetti, B., 2017. Going green? Ex-post valuation of a multipurpose water infrastructure in Northern Italy (*Ekološka rješenja? Ex-post vrednovanje višenamjenske vodne infrastrukture u sjevernoj Italiji*). *Ecosystem services*, 27, pp.70-81.

54 Liqueste, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B. and Masi, F., 2016. Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits (*Integrirana procjena prirodnog rješenja za kontrolu onečišćenja voda. Naglašavanje skrivenih dobrobiti*). *Ecosystem Services*, 22, pp.392-401.





Slika 54: Shematski prikaz postrojenja za pročišćavanje kombiniranog prelijevanja kanalizacije (CSO-CW).<sup>52</sup>



Slika 55: Fotografija vodenog parka Gorla Maggiore (izvor: IRIDRA Srl - [www.irdra.com](http://www.irdra.com)).



Tablica 11: Podaci o projektu

<b>Projekt: Prikupljanje kišnice u ulici Belß-Lüdecke Strasse, Berlin</b>	
<b>Opis</b>	Izgrađena močvarna područja za pročišćavanje prelijevanja voda iz mješovitog kanalizacijskog sustava okružena parkom
<b>Ekvivalent stanovništva (ES)</b>	2 000
<b>Izvori vode</b>	Preljevanje kombinirane kanalizacije
<b>Površina</b>	6,5 ha
<b>Početak rada</b>	2013.
<b>Tehnički podaci</b>	
<b>Sustav pročišćavanja</b>	Izgrađena močvara
<b>Potencijal pročišćavanja</b>	0,7 L/s
<b>Zapremina zadržavanja poplava</b>	7 700 m <sup>3</sup>
<b>Uklanjanje zagađenja</b>	11,7 t/godišnje otopljenog organskog ugljika 0,4 t/godišnje dušika
<b>Troškovi</b>	900 000 eura za izgradnju 29 590 eura za održavanje (20 godina)



## 4.9. Sustav filtera za zadržavanje tla (RSF) u Berlin-Adlershofu

Na lokaciji Berlin-Adlershof uspostavljen je koncept upravljanja oborinskim vodama za Tehnološki centar Adlershof i susjedne stambene i poslovne komplekse. Kao dio sliva pitke vode i uz posebne propise za ispuštanje u Teltow kanal kao prijemno vodno tijelo, ovo mjesto pročišćava se sustavom filtera za zadržavanje tla (RSF).

Filtar je pušten u rad 2005. godine i pročišćava sliv od 135 ha. Godišnje se filtrira oko 330 000 m<sup>3</sup> kišnice sa zatvorenih površina kao što su ulice, nogostupi i drugi otvoreni prostori.<sup>55</sup>

Prikupljeni otpad u početku se ispušta u bazen za skladištenje (530 m<sup>3</sup>) kako bi se omogućilo taloženje krutih tvari koje se nalaze u kišnici. Voda se zatim pumpa na površinu filtera zasađenu trskom. Tijekom prolaska kroz sloj mineralne podloge, onečišćujuće tvari iz oborinskih voda se filtriraju i smanjuju do 90 % kao rezultat kemijskih i bioloških procesa. Filter supstrat također je prikladan za vezanje fosfora zbog dodavanja željeznog materijala. Zadržavanje teških metala također iznosi oko 90 %. Filtar za zadržavanje tla podijeljen je na dvije filtarske jedinice ukupne površine filtera od 5 800 m<sup>2</sup> (72,5 m<sup>2</sup> površine filtera/ha), koja se dovodi brzinom do 1 200 l/s. Hidrauličko opterećenje RBF-a je 50 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>/a). Ispuštanje iz filtera je prigušeno na 90 l/s. Nakon prolaska kroz filtarske jedinice, obrađena kišnica ispušta se u kanal Teltow.



Slika 56: Filtri za zadržavanje vode (RSF) u Berlin-Adlershofu (izvor: BWB).

<sup>55</sup> <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/wasser-und-geologie/regenwasser/regenwasserbewirtschaftung/>



# Sadržaj | Dio 2: Recikliranje sive vode

<b>1. Uvod</b>	<b>106</b>
1.1. PROPISI O PONOVNOJ UPOTREBI VODE U EU	106
<b>2. ŠTO JE SIVA VODA?</b>	<b>109</b>
2.1. SMJERNICE I PROPISI ZA PONOVNU UPOTREBU SIVE VODE	109
2.2. KARAKTERISTIKE I SASTAV SIVE VODE	111
2.2.1. Organsko onečišćenje	113
2.2.2. Hranjive tvari u sivoj vodi	115
2.2.3. Patogeni u sivoj vodi	115
2.3. ZAHTJEVI RECIKLIRANJA SIVE VODE	116
2.3.1. Zahtjevi kvalitete	116
2.3.2. Tehnički zahtjevi	117
2.3.2.1. Dvostruki sustav cjevovoda	117
2.3.2.2. Rezervna opskrba vodom	118
2.3.2.3. Crpke	118
2.3.2.4. Upravljačka ploča	119
2.3.3. Zahtjevi ugradnje	119
2.3.4. Operativni zahtjevi	119
2.3.5. Zahtjevi održavanja	120
2.4. PRIMJENE RECIKLIRANE SIVE VODE	120
2.5. KORISTI RECIKLIRANJA SIVE VODE	121
2.6. RIZICI RECIKLIRANJA SIVE VODE	121
<b>3. UPRAVLJANJE I PROČIŠĆAVANJE SIVE VODE</b>	<b>122</b>
3.1. TEHNOLOGIJE PROČIŠĆAVANJA SIVE VODE	123
3.1.1. Fizičko pročišćavanje (prethodno pročišćavanje)	125
3.1.2. Kemijsko pročišćavanje	126
3.1.3. Biološko pročišćavanje	126
3.1.3.1. Rotirajući biološki kontaktori ( <i>eng. Rotating biological contactors - RBCs</i> )	127
3.1.3.2. Reaktori s pokretnim nosačima biofilma ( <i>eng. moving-bed biofilm reactor - MBBR</i> )	129
3.1.3.3. Membranski bioreaktori ( <i>eng. membrane bioreactors - MBR</i> )	134
3.1.3.4. Rješenja za pročišćavanje sive vode temeljena na prirodi (NBS)	135
3.2. DEZINFEKCIJA	
3.3. ODRŽAVANJE	





3.4. USPJEŠNOST	135
3.5. ZDRAVSTVENI ASPEKTI	135
3.6. UČINCI NA OKOLIŠ	136
3.7. GOSPODARSKE KORISTI	136
<b>4. NAJBOLJA PRAKSA</b>	<b>138</b>
4.1. INTEGRIRANI KONCEPT VODA “BLOCK 6”	138
4.2. ARNIMPLATZ	142
4.3. HOTEL ARABELLA SHERATON U OFFENBACHU	146
4.4. RECIKLIRANJE SIVE VODE KORIŠTENJEM MEMBRANSKOG BIOREAKTORA U STAMBENOJ ZGRADI	148
4.5. KERACOLL “GREENLAB” U BLIZINI SASSUOLOA, ITALIJA	149



# 1. Uvod

Očuvanje vode, učinkovitost i ponovna upotreba postali su sve važniji u posljednjih nekoliko godina jer se kontinuirano suočavamo s ozbiljnim problemima uključujući nestašicu vode, smanjenu razinu podzemnih voda, razdoblja ekstremnih suša i promjenjive klimatske obrasce. Široka nestašica vode i rastući stres na vodne resurse potaknuli su značajan interes za recikliranje vode, uz uštedu vode i primjenu mjera učinkovitosti vode.

Načela održivog upravljanja vodama mogu pomoći identificirati alternativne izvore vode koji se mogu iskoristiti kako bi se zadovoljila sve veća potražnja za vodom za primjene koje ne zahtijevaju kvalitetu pitke vode. Korištenje lokalnih vodnih resursa također je povezano s postojećom raspravom o urbanoj održivosti koja prepoznaje važnost lokalnih rješenja i ključnu ulogu lokalne samouprave i građana u potrazi za održivim razvojem. Ovo načelo provedeno je u praksi u Europi i drugdje kroz lokalnu Agendu 21<sup>1</sup>.

Danas se otpadne vode smatraju vrijednim resursom za vodu, energiju i hranjive tvari, a recikliranje otpadnih voda alternativa je centraliziranom pristupu ispuštanja voda iz cijevi koji nudi djelomično decentralizirana rješenja i minimizira utjecaje na okoliš. Otpadne vode mogu se odvojiti i pročišćavati na izvoru kako bi se postigao zatvoren vodeni sustav. Dio, ako ne i sva, potražnja za vodom može se opskrbiti zalihama lokalnih izvora vode uključujući kišnicu, otpadne vode i sivu vodu.<sup>2</sup>

Recikliranje vode pruža vrlo učinkovitu strategiju upravljanja urbanim vodama smanjenjem potražnje za vodom i ublažavanjem problema povezanih s nedostatkom vode u urbanim područjima. Na taj se način mogu učinkovito zatvoriti lokalni ciklusi vode.

## 1.1. Propisi o ponovnoj upotrebi vode u EU

Zakonodavstvo EU donedavno nije određivalo uvjete za ponovnu upotrebu vode. Smjernice ili standardi koji reguliraju ponovnu upotrebu vode na razini Europske unije gotovo su izostali. Međutim, zakonodavstvo EU dopušta i potiče ponovnu upotrebu vode kroz dva instrumenta:

- Okvirna direktiva o vodama (2000/60/EZ, WFD):<sup>3</sup> kojim se uspostavlja pravni okvir koji jamči dovoljne količine vode dobre kvalitete diljem Europe za različite namjene vode i kvalitetu okoliša. U njemu se navodi ponovna upotreba vode kao moguća mjera koja se uključuje u programe mjera za svaki riječni sliv,
- Direktiva o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (91/271/EEZ, UWWTD):<sup>4</sup> članak 12. zahtijeva: „pročišćene otpadne vode ponovno će se koristiti kad god je moguće“ i „putovi odlaganja moraju biti takvi da se minimaliziraju štetni utjecaji na okoliš“, s ciljem zaštite okoliša od štetnih učinaka ispuštanja otpadnih voda.

1 Agenda 21. United Nations Conference for Environment and Development (*Agenda 21. Konferencija Ujedinjenih naroda za okoliš i razvoj*). Rio de Janeiro, 1992. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/Agenda21.pdf>

2 Domènech, L. (2011) Rethinking water management: From centralised to decentralised water supply and sanitation models (*Ponovno promišljanje upravljanja vodama: od centraliziranih do decentraliziranih modela vodoopskrbe i sanitacije*). Documents d'Anàlisi Geogràfica 2011, vol. 57/2 293-310.

3 [https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index\\_en.html](https://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)

4 [https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/legislation/directive\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/legislation/directive_en.htm)



## Tematski katalog 2 - D 2

Unatoč nedostatku kriterija za ponovnu upotrebu vode na razini EU, 6 država članica ima zahtjeve o ponovnoj upotrebi vode, bilo u zakonodavstvu ili u neregulatornim standardima koji se značajno razlikuju po razini strogosti. Cipar, Francuska, Italija, Grčka i Španjolska imaju zakone koji postavljaju zahtjeve za ponovnu upotrebu vode, dok Portugal ima neregulatorne standarde o kvaliteti ponovno upotrjebljene vode (Tablica 1).

Tablica 1: Različiti zakoni i standardi koji reguliraju ponovnu upotrebu vode u 6 država članica EU.<sup>5</sup>

Država	Referenca standarda	Institucija koja izdaje
Cipar	Svi prehrambeni usjevi konzumirani sirovi ako je jestivi dio u izravnom kontaktu s recikliranom vodom i korjenasti usjevi konzumirani sirovi	Ministarstvo poljoprivrede, prirodnih resursa i okoliša Ured za razvoj vode (Odjel za otpadne vode i ponovnu uporabu)
Francuska	JORF br. 0153, 4. srpnja 2014. Naredba iz 2014. koja se odnosi na korištenje vode iz pročišćenih urbanih otpadnih voda za navodnjavanje usjeva i zelenih površina	Ministarstvo javnog zdravstva Ministarstvo poljoprivrede, hrane i ribarstva Ministarstvo okoliša, energije i održivosti
Grčka	CMD br. 145116 Mjere, ograničenja i postupci ponovne uporabe pročišćenih otpadnih voda	Ministarstvo okoliša, energije i klimatskih promjena
Italija	DM 185/2003 Tehničke mjere za ponovnu upotrebu otpadnih voda	Ministarstvo okoliša Ministarstvo poljoprivrede, Ministarstvo javnog zdravstva
Portugal	NP 4434 2005 Ponovna upotreba urbanih voda za navodnjavanje	Portugalski institut kvalitete
Španjolska	RD 1620/2007 Pravni okvir za ponovnu upotrebu pročišćenih otpadnih voda	Ministarstvo okoliša Ministarstvo poljoprivrede, hrane i ribarstva Ministarstvo zdravstva

U svibnju 2018. Europska komisija iznijela je prijedlog uredbe kojom se postavljaju standardi na razini cijele EU koje obnovljene vode moraju zadovoljiti da bi se mogle koristiti za navodnjavanje u poljoprivredi, s ciljem poticanja veće upotrebe obnovljene vode i doprinosa ublažavanju nestašica vode (Prijedlog (2018.) 337, 28.5.2018.).<sup>6,7</sup> Prijedlog, kojeg je odobrio odbor ENVI 21. siječnja 2020., usvojilo je Vijeće u prvom čitanju 7. travnja 2020. Nova Uredba o minimalnim zahtjevima za ponovno korištenje vode za navodnjavanje u poljoprivredi stupila je na

5 Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B.M. (2014) Water reuse in Europe. Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation: A synoptic overview (*Ponovna upotreba vode u Europi. Relevantne smjernice, potrebe i prepreke inovacijama: sinoptički pregled*). JRC Science and Policy Reports. European Commission, Joint Research Centre <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC92582>

6 <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/EN/COM-2018-337-F1-EN-MAIN-PART-1.PDF>

7 Alcalde-Sanz, L. and Gawlik, B.M. (2017.) Minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge - Towards a legal instrument on water reuse at EU level (*Minimalni zahtjevi u pogledu kvalitete za ponovnu upotrebu vode u agronomskom navodnjavanju i ponovno punjenje vodonosnog sloja - Prema pravnom instrumentu o ponovnoj upotrebi vode na razini EU*). EUR 28962 EN, Publications Office of the European union, Luxembourg 2017, ISBN 978-92-97-77175-0, doi:10.2760/804116, JRC109291 <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/minimum-quality-requirements-water-reuse-agricultural-irrigation-and-aquifer-recharge>



snagu 25. svibnja 2020.<sup>8</sup> Nova pravila primjenjuju se od 26. lipnja 2023., a očekuje se da će potaknuti i olakšati ponovnu upotrebu vode u EU.

Nova Uredba o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode primjenjuje se isključivo na:

- navodnjavanje u poljoprivredi,
- prihranjivanje vodonosnika

U toj Uredbi:

- odgovornost snose operateri postrojenja za recikliranje otpadnih voda,
- definirana su četiri razreda kvalitete vode na temelju relevantnih usjeva i metoda navodnjavanja,
- definirani su fizikalno-kemijski i mikrobiološki parametri,
- uključeni su pristup upravljanja rizikom i transparentnost podataka za ponovnu upotrebu vode,
- opskrba obnovljenom vodom uvjetovana je dozvolama koje moraju izdati nadležna tijela država članica.

U Tablici 2. i Tablici 3. navedeni su razredi kvalitete obnovljene vode za navodnjavanje u poljoprivredi u EU (Uredba (EU) 2020/741), odnosno minimalni zahtjevi kvalitete obnovljene vode.

Tablica 2: Razredi kvalitete obnovljene vode i dopuštena poljoprivredna uporaba i način navodnjavanja (Uredba (EU) 2020/741).

Razred minimalne kvalitete obrađene vode	Kategorija poljoprivrednih kultura (*)	Metoda navodnjavanja
A	Sve prehrambene poljoprivredne kulture koje se konzumiraju sirove i čiji jestivi dio dolazi u izravan dodir s obrađenom vodom te korjenaste poljoprivredne kulture koje se konzumiraju sirove	Sve metode navodnjavanja
B	Prehrambene poljoprivredne kulture koje se konzumiraju sirove i čiji jestivi dio raste iznad zemlje i ne dolazi u izravan dodir s obrađenom vodom, prehrambene poljoprivredne kulture koje se prerađuju i neprehrambene poljoprivredne kulture uključujući poljoprivredne kulture kojima se hrane životinje koje se koriste za proizvodnju mlijeka ili mesa	Sve metode navodnjavanja
C	Prehrambene poljoprivredne kulture koje se konzumiraju sirove i čiji jestivi dio raste iznad zemlje i ne dolazi u izravan dodir s obrađenom vodom, prehrambene poljoprivredne kulture koje se prerađuju i neprehrambene poljoprivredne kulture uključujući poljoprivredne kulture kojima se hrane životinje koje se koriste za proizvodnju mlijeka ili mesa	Navodnjavanje kapanjem (**) ili druga metoda navodnjavanja kojom se izbjegava izravan dodir s jestivim dijelom poljoprivredne kulture
Razred minimalne kvalitete obrađene vode	Kategorija poljoprivrednih kultura (*)	Metoda navodnjavanja
D	Industrijske, energetske i sjemenske kulture	Sve metode navodnjavanja (***)

(\*) Ako je ista vrsta navodnjavane poljoprivredne kulture obuhvaćena u više kategorija iz tablice 1., primjenjuju se zahtjevi najstrože kategorije.

(\*\*) Navodnjavanje kapanjem (navodnjavanje kap po kap) sustav je mikronavodnjavanja u kojem voda u kapljicama ili tankom mlazu dolazi do biljaka, a kapanje se provodi na tlo ili izravno ispod njegove površine vrlo malom brzinom (2–20 litara/sat) s pomoću sustava plastičnih cijevi malog promjera koje završavaju emiterima ili kapaljkama.

(\*\*\*) U slučaju metoda navodnjavanja koje oponašaju kišu posebnu pozornost trebalo bi posvetiti zaštiti zdravlja radnika ili drugih prisutnih osoba. U tu se svrhu primjenjuju odgovarajuće preventivne mjere.

<sup>8</sup> Uredba (EU) 2020/741 Europskog parlamenta i Vijeća od 25. svibnja 2020. o minimalnim zahtjevima za ponovnu upotrebu vode. Službeni list Europske unije, 5.6.2020. L 177/32 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0741&from=EN>





Tablica 3: Zahtjevi u pogledu kvalitete obrađene vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina (Uredba (EU) 2020/741).

Razred kvalitete obrađene vode	Okvirni tehnološki cilj	Zahtjevi u pogledu kvalitete				Ostalo
		E. coli (broj/100 ml)	BPK <sub>5</sub> (mg/l)	UST (mg/l)	Mutnoća (NTU)	
A	Drugi stupanj pročišćavanja, filtriranje i dezinfekcija	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 cfu/l ako postoji rizik od aerosolizacije Crijevne nematode (jajašca helminta): ≤ 1 jajašce/l za navodnjavanje pašnjaka ili krmnog bilja
B	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 100	U skladu s Direktivom 91/271/EEZ (Prilog I, tablica 1.)	U skladu s Direktivom 91/271/EEZ (Prilog I, tablica 1.)	–	
C	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 1 000			–	
D	Drugi stupanj pročišćavanja i dezinfekcija	≤ 10 000	–			

(U skladu s Direktivom o pročišćavanju gradskih otpadnih voda 91/271/EEZ (Prilog I, Tablica 1): BPK<sub>5</sub> = 25 mg/l; TSS = 35 mg/l)

## 2. Što je siva voda?

Siva voda definirana je kao „otpadna voda bez ikakvog unosa iz WC-a, odnosno bez urina, fekalija i toalet papira, što znači da odgovara otpadnoj vodi proizvedenoj u kadama, tuševima, umivaonicima, strojevima za pranje rublja i kuhinjskim sudoperima, u kućanstvima, poslovnim zgradama, školama itd.»<sup>9</sup>

Siva voda se obično karakterizira prema izvoru podrijetla, a time i na temelju stupnja onečišćenja:

- svjetla ili slaba siva voda (malo opterećenje) obično potječe iz tuševa, kada i umivaonika koji su obično slabo zagađeni, dok je
- tamna siva voda ili snažna siva voda (visoko opterećenje) potječe iz zagađenijih izvora kao što je siva voda iz kuhinjskih sudopera i praonica rublja.

Stupanj onečišćenja i količina proizvedene sive vode uvelike ovisi o ponašanju korisnika i izvoru sive vode. U usporedbi s otpadnom vodom iz WC-a (crna voda), siva voda siromašna je hranjivim tvarima (fosfor i dušik), kojih je obično manje u sivoj vodi nego u otpadnim vodama mnogih komunalnih uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Isto vrijedi i za mikrobiološko opterećenje, koje je niže u sivoj vodi nego u crnoj vodi. Međutim, siva voda nikada nije čista od mikroorganizama, a siva voda iz tuševa i kada može sadržavati značajne koncentracije bakterija fekalnog porijekla.

Stoga je prikladno i učinkovito pročišćavanje sive vode neophodan kako bi se isključio svaki higijenski rizik od ponovne uporabe sive vode, izbjegli mirisi i druge smetnje te za postizanje visoke kvalitete obrađene vode za nepitku upotrebu. Prikupljanje sive vode na izvoru i njezino zasebno pročišćavanje, prije nego što se pomiješa s drugim tokovima otpadnih voda kao što je crna voda, dovodi do učinkovitijeg korištenja ovog alternativnog izvora vode.

### 2.1. Smjernice i propisi za ponovnu upotrebu sive vode

Cilj donošenja propisa za recikliranu vodu za kućanstvo je osigurati da rad sustava za recikliranje voda štiti javno zdravlje i okoliš. Ove smjernice obično uključuju kvalitetu i tehničke zahtjeve i mogu djelovati kao alat za postavljanje ciljeva za proizvođače sustava za recikliranje sive vode.

Većina zemalja širom svijeta nema propise o sivim vodama. Neke zemlje poput Njemačke, Ujedinjene Kraljevine i Kanade imaju smjernice ili preporuke koje su postavile lokalne vlasti i profesionalna tijela koje nude smjernice za implementaciju i rad sustava sive vode i zahtjeve za sive vode, ovisno o namjeni (fbr<sup>10</sup>; BSI British Standards<sup>11,12</sup>;

9 Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M. and Ledin, A. (2002) Characteristics of grey wastewater (*Karakteristike sivih otpadnih voda*). Urban Water, 4(1), 85

10 fbr Hinweisblatt H 202 (2017) Hinweise zur Auslegung von Anlagen zur Behandlung und Nutzung von Grauwasser und Grauwasserteilströmen. Association for Rainwater Harvesting and Water Utilisation (fbr) (identical to DWA-M 277E) (*Udruga za skupljanje oborinskih voda i korištenje voda*) (identično DWA-M 277E)

11 BSI (2010) Greywater Systems - Part 1: Code of Practice. (*Sustavi sive vode - Dio 1: Kodeks postupanja*), BS8525-1:2010 BS Press,

12 BSI (2011) Greywater Systems - Part 2: Domestic greywater treatment, requirements and methods. (*Sustavi sive vode - Dio 2: Pročišćavanje sive vode u domaćinstvu, zahtjevi i metode*) BS 8525-2:2011. BS Press



## Tematski katalog 2 - D 2

Health Canada<sup>13</sup>). U SAD-u ne postoje nacionalne smjernice koje reguliraju ponovnu upotrebu sive vode. Regulatorni teret leži na pojedinačnim državama, što rezultira različitim standardima među državama koje su razvile kriterije za ponovnu upotrebu sive vode. Samo oko 30 od 50 država ima propise koji dopuštaju, zabranjuju ili reguliraju ponovnu upotrebu sive vode u jednom ili drugom obliku.<sup>14</sup>

Iako se Australija smatra liderom u pogledu politike sive vode, za sada ne postoji australski nacionalni standard za ponovnu upotrebu sivih voda. Umjesto toga, svaka država i teritorij imaju svoje zakonodavstvo za skupljanje, obradu i ponovnu upotrebu sive vode. Australske smjernice za recikliranje vode također pružaju smjernice za sigurno i održivo postupanje s recikliranjem sive vode.<sup>15</sup>

Kanadske smjernice za obnovljenu vodu iz kućanstava za korištenje u WC-ima i za ispiranje pisoara razvijene su kao nacionalni pristup za sigurnu i održivu upotrebu obnovljene vode iz kućanstava (Health Canada, 2010.).

U Njemačkoj ne postoje obvezni propisi za recikliranje sive vode. Međutim, Direktiva EU o vodi za kupanje uzeta je kao osnova za reguliranje zahtjeva higijenske kakvoće za uslužnu vodu koja se koristi za nepitke primjene u zgradama (2006/7/EZ).<sup>16</sup>

Tablica 4. Zahtjevi kakvoće za korištenje pomoćne vode u zgradama temeljeni na EU Direktivi o upravljanju kvalitetom vode za kupanje (Direktiva 2006/7/EZ).<sup>17</sup> Ovi zahtjevi kvalitete sadrže kriterije temeljene na sadržaju organskih, krutih i mikrobioloških tvari u obrađenoj vodi.

Odgovarajuće pročišćavanje sive vode prije ponovne uporabe ključno je za smanjenje rizika od prijenosa patogena i za poboljšanje učinkovitosti naknadne dezinfekcije. I tretman i dezinfekcija sive vode neophodni su za dobivanje vode koja je sigurna i estetski prikladna za ponovnu upotrebu. (**\*Obrađena voda” koristi se kao sinonim za recikliranu ili obnovljenu vodu**).

Tablica 4: Zahtjevi kakvoće za korištenje obrađene vode u zgradama temeljeni na EU Direktivi o upravljanju kvalitetom vode za kupanje (Direktiva 2006/7/EZ).

Cilj kvalitete	Cilj kvalitete
Gotovo bez suspendiranog materijala, gotovo bez mirisa, bezbojna i prozirna	Zamućenost < 2 NTU
Bogata kisikom	> 50 % zasićenja
Prijenos (254 nm) (1 cm)	> 60 %
Nizak BPK	BPK <sub>7</sub> < 5 mg/l
Higijenski/mikrobiološki sigurna	Ukupni koliformi < 10 000/100 ml
	E. coli < 1 000/100 ml
	Pseudomonas aeruginosa < 100/100 ml

13 Health Canada (2010) Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing (*Kanadske smjernice za obnovljenu vodu iz domaćinstava za korištenje u WC-u i ispiranje pisoara*). Ottawa, Ontario. siječanj 2010.

14 Sheikh, B. (2010) White paper on graywater. Report sponsored by the American Water Works association, Water Environment Federation and the Water Reuse Association (*Bijeli papir o sivoj vodi. Izvještaj financiran od Američke udruge za vodu, Federacije vodnog okoliša i Udruge za ponovnu upotrebu vode*).

15 Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (*Australske smjernice za recikliranje vode: upravljanje zdravstvenim i okolišnim rizicima*) (2006) National Water Quality Management Strategy (*Nacionalna strategija upravljanja kvalitetom voda*).

16 EU Direktiva o upravljanju kvalitetom vode za kupanje (2006.) Direktiva 2006/7/EZ i Europskog parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o upravljanju kvalitetom vode za kupanje i stavljanju izvan snage Direktive 76/160/EEZ. SL L 64, 4.3.2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:064:0037:0051:EN:PDF>

17 Berlin Senate Department for Urban Development (2007) Innovative water concepts: service water utilisation in buildings. Ecological urban Planning. Department VI, Ministerial Building Affairs . Berlin Senate Department for Urban Development (*Inovativni koncepti vode: korištenje obrađene vode u zgradama. Ekološko urbanističko planiranje. Odjel VI, Ministarstvo građevinarstva*). [https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/de/download/index.shtml](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/de/download/index.shtml)



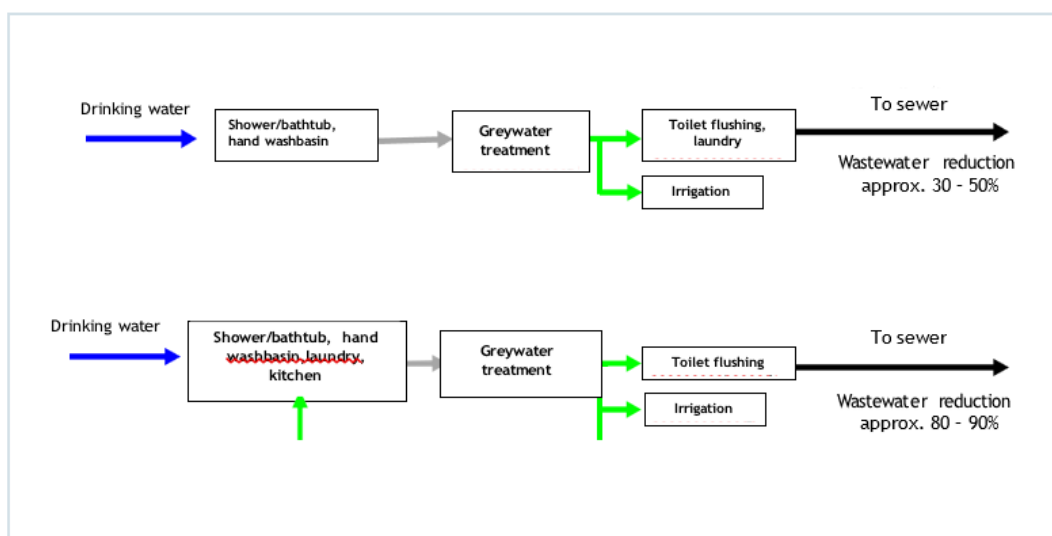
fbr-Informacijski list H 202 (fbr, 2017.) i DWA-M 277E<sup>18</sup> donose opsežne tehničke informacije o planiranju, projektiranju, radu i održavanju sustava za reciklažu sive vode u zgradama.

Europska norma pr EN 16941-2:2017, koja se bavi sustavima za korištenje pročišćene sive vode, trenutno je u postupku odobrenja od strane Europskog odbora za standardizaciju (CEN)<sup>19</sup>. Norma specificira principe projektiranja, dimenzioniranja, ugradnje i održavanja sustava sive vode u svrhu korištenja obrađene sive vode na licu mjesta za ispiranje WC-a, vrtlarstvo, pranje rublja i za čišćenje. Ovaj dokument također utvrđuje minimalne zahtjeve za sustave za pročišćavanje sive vode.

## 2.2. Karakteristike i sastav sive vode

Siva voda čini najveći udio otpadnih voda po volumenu proizvedene u prosječnom kućanstvu, čineći između 50 i 75 % ukupnog protoka otpadnih voda te preko 90 % ako se koriste vakuumski zahodi. Tipične količine sive vode variraju od 60 do 120 l/stan./d, ovisno o životnom standardu, ponašanju korisnika, strukturi stanovništva, običajima i navikama, vodovodnim instalacijama i dostupnosti vode. Ove vrijednosti mogu pasti na 20 - 30 l/p/d u zemljama s niskim dohotkom s nedostatkom vode i osnovnom vodoopskrbom.<sup>20</sup> Potražnja za pitkom vodom može se lako smanjiti na 45 l/p/d recikliranjem sive vode (fbr, 2017.).

Ovisno o dostupnim izvorima sive vode i potrebnim primjenama ponovne uporabe sive vode, mogu se postići različiti potencijali recikliranja koji variraju između 30 i 80 % (Slika 1).



Slika 1: Potencijalno smanjenje otpadnih voda u jednom kućanstvu ovisno o uključivanju različitih izvora sive vode za recikliranje.

<sup>18</sup> Guideline DWA-M 277E (2017) Information on design of systems for the treatment and reuse of greywater and grey- water partial flows. DWA Set of Rules, German Association for Water, Wastewater and Waste (DWA) (*Smjernica DWA-M 277E (2017) Informacije o projektiranju sustava za obradu i ponovnu upotrebu sive vode i djelomičnih tokova sive vode. DWA Skup pravila, Njemačko udruženje za vodu, otpadne vode i otpad (DWA)*, Hennef. Listopad 2017.

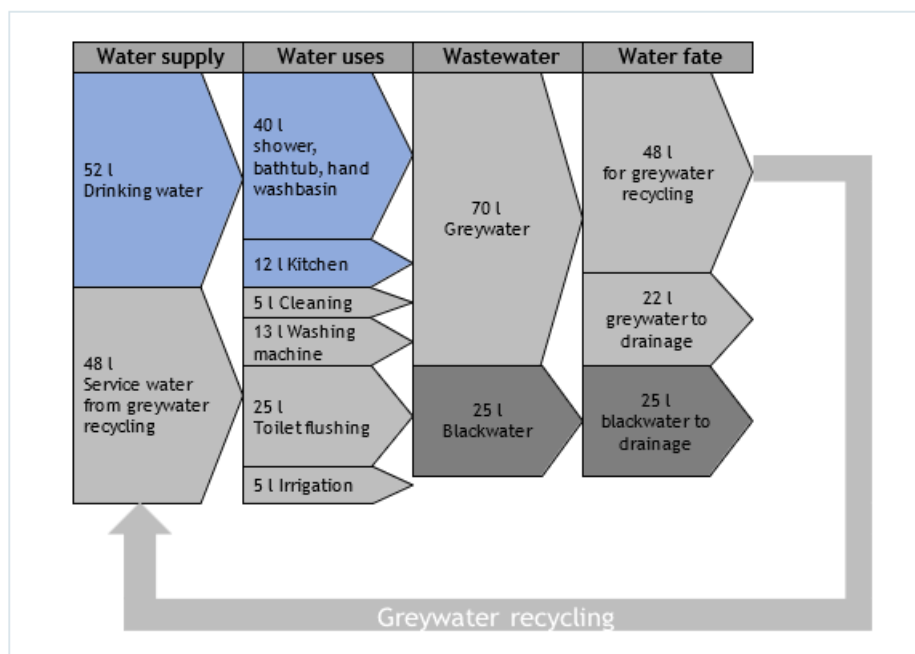
<sup>19</sup> pr EN 16941-2:2017 (2017) On-site non-potable water systems - Part 2: Systems for the use of treated greywater. The European Committee for Standardisation (CEN). German and English version prEN 16941-2:2017 (Draft version) (*Sustavi za nepitku vodu na licu mjesta - Dio 2: Sustavi za korištenje pročišćene sive vode. Europski odbor za standardizaciju (CEN). Njemačka i engleska verzija prEN 16941-2:2017 (Nacrt)*).

<sup>20</sup> Morel, A. and Diener, S. (2006) Greywater management in low and middle-income countries. Water and Sanitation in Developing Countries (Sandec). Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (*Upravljanje sivim vodama u zemljama s niskim i srednjim dohotkom. Voda i sanitacija u zemljama u razvoju (Sandec)*). Eawag: Švicarski savezni institut za vodenu znanost i tehnologiju). <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/947>



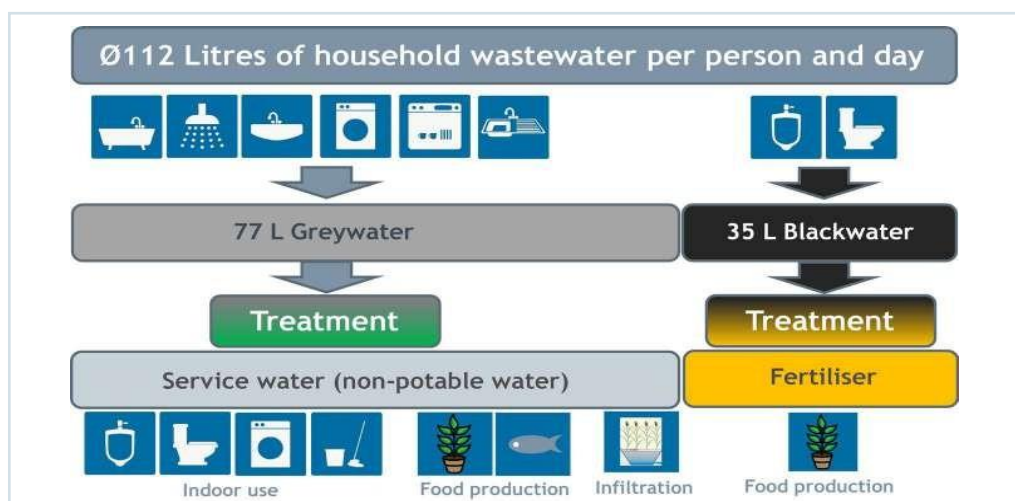
## Tematski katalog 2 - D 2

Slika 2 prikazuje prosječne količine djelomičnih protoka vode nastalih iz različitih aktivnosti u privatnim kućanstvima (litre po osobi i danu) i potencijal recikliranja sive vode.<sup>21</sup>



Slika 2: Prosječni parcijalni protoci vode (l/stan./d) u privatnim kućanstvima u novim i obnovljenim zgradama (prilagođeno iz Mehlhart, 2001.).

Slika 3 prikazuje izvore i prosječne količine sive i crne vode proizvedene dnevno u prosječnom njemačkom kućanstvu. Prosječna količina proizvedene sive vode od 77 l može se tretirati i ponovno upotrijebiti za različite primjene za koje nije potrebna voda za piće, uključujući ispiranje WC-a, pranje rublja, navodnjavanje i čišćenje.



Slika 3: Izvori i količine otpadnih voda iz kućanstava u prosječnom njemačkom kućanstvu (E. Nolde).

<sup>21</sup> Mehlhart, G. (2001) Grauwasser auf dem Vormarsch. fbr Wasserspiegel 2/200, Seiten 14-16.

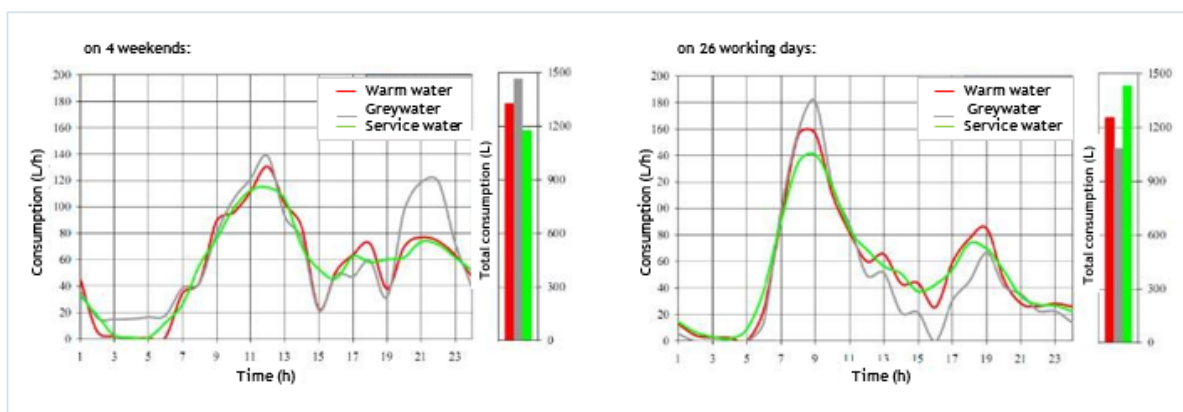




## Tematski katalog 2 - D 2

Siva voda također uvelike varira u kvaliteti i količini ovisno o vrsti zgrade (kuća za jednu obitelj, višekatnica), navikama korisnika, upotrebi kemikalija u kućanstvima za pranje, čišćenje i pranje rublja (masti, ulja, ostaci sapuna, deterdženti itd.), priključenim uređajima i izvoru sive vode. U usporedbi s crnom vodom, siva voda obično pokazuje samo polovicu opterećenja organskim onečišćenjem, ali bi ta razina moglo biti i veća ako se u kućanstvima primjenjuju mjere i uređaji za uštedu vode.<sup>22</sup>

Kvaliteta i količina proizvedene sive vode nisu konstantne tijekom dana, već pokazuju veliku varijabilnost ovisno o aktivnostima kućanstva i broju osoba u kućanstvu. Na primjer, tuširanje i brijanje se možda obavlja ujutro, često pranje ruku i puštanje vode u WC-u odvija se tijekom dana, kupanje i njega kože navečer. Slika 4 prikazuje obrasce korištenja vode i navike korisnika, kao i dnevne prosječne protoke vode u razdoblju od 4 tjedna (radnim danima i vikendom) u višekatnici (45 stanara) koja pročišćava sivu vodu iz tuševa i kade za ispiranje WC-a.



Slika 4: Prosječni dnevni protok vode i obrasci korištenja tijekom razdoblja od 4 tjedna u višekatnoj zgradi koja primjenjuje recikliranje sive vode. Siva voda potječe iz tuševa i kada (45 osoba) i ponovno se koristi za ispiranje WC-a nakon pročišćavanja (E. Nolde).

### 2.2.1. Organsko onečišćenje

Siva voda značajno varira u sastavu, a u literaturi je objavljen širok raspon organskih opterećenja i hranjivih tvari. Siva voda iz kuhinjskih sudopera, perilica posuđa ili perilica obično sadrži veće organsko opterećenje u usporedbi sa sivom vodom iz tuševa, kada i umivaonika. Siva voda nastala iz pranja rublja obično sadrži više soli, dok ona iz kuhinje sadrži više ulja i masti.

Siva voda obično sadrži visoke koncentracije lako biorazgradivog organskog materijala, kao što su masnoća i ulje od kuhanja, ostaci hrane, ostaci sapuna, deterdženta i drugih proizvoda za čišćenje u kućanstvu. Siva voda iz sudopera i perilice posuđa može doprinijeti sa 40 - 60 % ukupne količine organskih onečišćujućih tvari u sivoj vodi.

Opterećenje organskom sivom vodom, koje se obično mjeri biokemijskom potrošnjom kisika - BPK (eng. *biochemical oxygen demand* - BOD) ili kemijskom potrošnjom kisika - KPK (eng. *chemical oxygen demand* - COD) mjera je stupnja onečišćenja i stupanj onečišćenja mogao bi biti viši nego onaj u crnoj vodi kada se primjenjuju mjere i uređaji za uštedu vode u kućanstvu.

22 Otterpohl, R., Braun, U. and Oldenburg, M. (2003) Innovative technologies for decentralised water, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas (*Inovativne tehnologije za decentralizirano upravljanje vodom, otpadnim vodama i biootpadom u gradskim i prigradskim područjima*). Water Science & Technology 48 (11/12): 23-32.



Tablica 5 prikazuje količine crne i sive vode proizvedene u kućanstvu l/stan./d (litre po stanovniku na dan) i postotke sadržaja organskih i hranjivih tvari u dva toka otpadnih voda. U usporedbi s crnom vodom, siva voda sadrži daleko manje dušika, fosfora i kalija, tri osnovne hranjive tvari potrebne za rast biljaka i plodnost tla.

Tablica 5: Volumen i dnevna opterećenja organske tvari i hranjivih tvari u sivoj i crnoj vodi.

	Total wastewater stream (daily load)	Blackwater	Greywater
		Faeces + Urine + 30 litres toilet flush water	
<b>Volume</b>	112 l/p/d	31.3%	<b>68.7%</b>
<b>COD</b>	117 g/p/d	59.8%	40.2%
<b>N</b>	12.9 g/p/d	<b>92.2%</b>	7.8%
<b>P</b>	2.0 g/p/d	<b>75.0%</b>	25.0%
<b>K</b>	4.2 g/p/d	<b>76.2%</b>	23.8%
<b>S</b>	3.8 g/p/d	23.7%	76.3%

Tablica 6. i Tablica 7. prikazuju varijacije u volumenu i opterećenju različitih parametara sive vode u europskom istraživanju na temelju podataka o sivoj vodi iz različitih zemalja.<sup>23, 24</sup> 60 % podataka je iz Njemačke, 20 % iz Švedske, 10 % iz Nizozemske, a ostatak iz drugih zemalja. 45 % referenci odnosilo se na laku sivu vodu.

Tablica 6: Varijacije u volumenu i opterećenju onečišćenjem (po osobi po danu) u sivoj vodi za različite parametre na temelju europskog istraživanja o sivoj vodi (Sievers i sur., 2014.; Sievers & Londong, 2018.).

Parameter	n	Unit	Mean	STD	Median	Range
Volume	43	l/(c*d)	82	23	74	33 - 150
TSS	25	g/(c*d)	26	24	13	1 - 71
BOD <sub>5</sub>	28	g/(c*d)	17	6	18	4 - 27
COD	40	g/(c*d)	40	14	41	9 - 71
TP	41	g/(c*d)	0.5	0.2	0.5	0.1 - 0.8
TN	40	g/(c*d)	1.1	0.5	0.9	0.4 - 2.9
NH <sub>4</sub> -N	11	g/(c*d)	0.2	0.2	0.2	0.1 - 0.7

23 Sievers, J. and Londong, J. (2018) Characterization of domestic greywater and greywater-solids (*Karakterizacija sive vode iz domaćinstva i sive krutina sive vode*). Water Science & Technology 77 (5): 1196-1203.

24 Sievers, J., Oldenburg, M., Albold, A. and Londong, J. (2014) Characterization of greywater - estimation of design values (*Karakterizacija sive vode - procjena projektnih vrijednosti*). IFAT 2014. EWA 17. Međunarodni simpozij, 07.05.2014.



Tablica 7: Varijacije u koncentracijama različitih parametara sive vode na temelju europskog istraživanja (Sievers i sur. 2014.; Sievers &amp; Londong, 2018.).

Parameter	n	Unit	Mean	STD	Median	Range
TSS	16	mg/l	158	154	92	23 - 570
BOD <sub>5</sub>	30	mg/l	228	96	217	56 - 427
COD	47	mg/l	501	231	490	102 - 1580
TP	42	mg/l	6	4	5	0.5 - 15
TN	42	mg/l	17	10	13	17593
NH <sub>4</sub> -N	27	mg/l	5.7	5.4	3.7	0.5 - 25

Sve vrste sive vode, uključujući sivu vodu iz kuhinje i od pranja rublja, u praksi su pokazale dobru biorazgradivost, što je pokazatelj da se siva voda može pročistiti za ponovnu uporabu. Omjer COD/BOD<sub>5</sub>, koji je mjera biorazgradivosti, obično je viši od onog u crnoj vodi, u rasponu od 2 do 3,6; a s obzirom da je viši u svijetloj sivoj vodi, to ukazuje da je organska tvar u ovom toku sive vode manje biorazgradiva.<sup>25</sup>

## 2.2.2. Hranjive tvari u sivoj vodi

Sadržaj hranjivih tvari u sivoj vodi općenito je nizak u usporedbi s normalnom kanalizacijom. U nekim slučajevima može postojati visoka koncentracija fosfora, ali je razina dušika uvijek niska. Fosfor potječe uglavnom iz praška za rublje i suđe gdje se koristi za omekšavanje vode. Ako se u kućanstvu koriste samo deterdženti bez fosfora, sadržaj fosfora mogao bi se smanjiti na razine niže od uobičajenih u pročišćenim otpadnim vodama.

Siva voda doprinosi 10 - 30 % ukupnog unosa fosfora u kombinirani sustav otpadnih voda, a koncentracije se uglavnom određuju vrstom korištenih deterdženata. Siva voda također doprinosi sa manje od 10 % ukupnog sadržaja dušika u otpadnoj vodi, a koncentracija dušika u sivoj vodi često je manja od 10 mg/l prije pročišćavanja.<sup>26</sup>

Unatoč niskim koncentracijama N i P u sivoj vodi, mnoge studije pokazale su da te niske koncentracije ne ograničavaju rast bakterija i stoga neće spriječiti proces biološke obrade sive vode.

## 2.2.3. Patogeni u sivoj vodi

Prisutnost potencijalnih patogena u sivoj vodi uglavnom je posljedica njene kontaminacije fekalijama tijekom tuširanja, kupanja ili pranja pelena. Međutim, siva voda obično sadrži manje fekalne kontaminacije od crne vode, obično u rasponu od 10<sup>1</sup> - 10<sup>2</sup> (fbr, 2017.).

25 Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R. and Judd, S. (2004) Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse (*Karakterizacija sive vode i njezin utjecaj na odabir i rad tehnologija za ponovno korištenje u urbanim sredinama*). *Water Science and Technology*, 50 (2): 157-164.

26 Vinnerås, B., Palmquist, H., Balmér, P. and Jönsson, H. (2006) The characteristics of household wastewater and bio-degradable solid waste - A proposal for new Swedish design values (*Značajke otpadnih voda iz kućanstava i biorazgradivog krutog otpada - Prijedlog za nove vrijednosti švedskog dizajna*). *Urban Water Journal* 3 (1): 3-11.



Kako siva voda ne sadrži izmet, obično se smatra prilično bezopasnom. Stoga je glavni rizik od infekcije funkcija fekalne kontaminacije sive vode, što se nikako ne može isključiti.

Otkrivanje fekalnih indikatorskih bakterija u sivoj vodi, kao što je fekalna koliformna skupina, i točnije *E. coli* spp., koje se normalno nalaze u izmetu bez izazivanja bolesti, pokazuje potencijalnu prisutnost patogena koji se prenose fekalijama kao što su salmonela ili enterični virusi.<sup>27,28</sup> Prosječne koncentracije indikatorskih bakterija u sivoj vodi slične su onima u sekundarno pročišćenim otpadnim vodama. U sivoj vodi obično se javljaju fekalne koliforme, *E. coli* ili enterokoki, što pokazuje da kontaminacija sive vode fekalijama nije povremena pojava, već se može očekivati.

Pojava velikog broja fekalnih indikatorskih bakterija u sivoj vodi može biti posljedica prisutnosti lako biorazgradivih organskih spojeva i prevladavajućih viših temperatura, što sivu vodu čini idealnim medijem za rast mikroba.<sup>29</sup> Međutim, fokus na fekalnom pokazatelju bakterija u sivoj vodi može dovesti do previsoke procjene fekalnog opterećenja, a time i do higijenskog rizika. U ovom slučaju potrebna je opreznost u tumačenju podataka zbog mogućnosti ponovnog rasta bakterija što može rezultirati previsokom procjenom mikrobnog rizika.

## 2.3. Zahtjevi recikliranja sive vode

### 2.3.1. Zahtjevi kvalitete

Općenito, reciklirana siva voda treba ispunjavati četiri kriterija za ponovnu upotrebu:<sup>30</sup>

- higijenska sigurnost,
- estetika (bez gubitka blagostanja ili smetnji za korisnika),
- tolerancija okoliša i
- ekonomska izvedivost.

Različite primjene ponovne uporabe sive vode zahtijevaju različite zahtjeve za kvalitetom vode, a time i različite razine i tehnologije pročišćavanja koje variraju od jednostavnih do naprednijih procesa. Fizikalno-kemijski i mikrobiološki zahtjevi navedeni u tablici 4 osiguravaju visoku i higijenski sigurnu kvalitetu obrađene vode, ako se u potpunosti poštuju. Oni također jamče dugotrajno skladištenje obrađene vode bez ikakvih mirisa ili gubitka blagostanja za korisnike i osiguravaju vodu koja je gotovo bez bilo kakve boje i/ili suspendiranih krutina, što je vrlo prikladno za upotrebu u svrhe za koje nije potrebna voda za piće.

Osim higijenske sigurnosti, pri planiranju sustava recikliranja sive vode treba uzeti u obzir i ekološku toleranciju odabrane tehnologije, kao što je niska specifična potražnja za energijom za pročišćavanje sive vode ( $< 1,5 \text{ kWh/m}^3$ ), bez upotrebe kemikalija i UV dezinfekcija umjesto korištenja klora kao završnog stupnja pročišćavanja.

27 Winward, G.P., Avery, L.M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B. (2008a) A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse (*Studija mikrobne kvalitete sive vode i procjena tehnologija obrade za ponovnu upotrebu*). *Ecological engineering* 32: 187-197.

28 Ottoson, J. and Stenström, T.A. (2003) Faecal contamination of greywater and associated microbial risks (*Fekalna kontaminacija sive vode i povezani mikrobiološki rizici*). *Water Re-search* 37 (3): 645-655.

29 Lazarova, V., Hills S. and Birks R. (2003) Using recycled water for non-potable, urban uses. A review with particular reference to toilet flushing (*Korištenje reciklirane vode za nepitku, urbanu upotrebu. Pregled s posebnim osvrtom na ispiranje WC-a*). *Water Science & Technology* 3 (4): 69-77.

30 Nolde, E. (2005) Greywater recycling systems in Germany - results, experiences and guidelines (*Sustavi za recikliranje sive vode u Njemačkoj - rezultati, iskustva i smjernice*). *Water Science & Technology* 51 (10): 203-210.



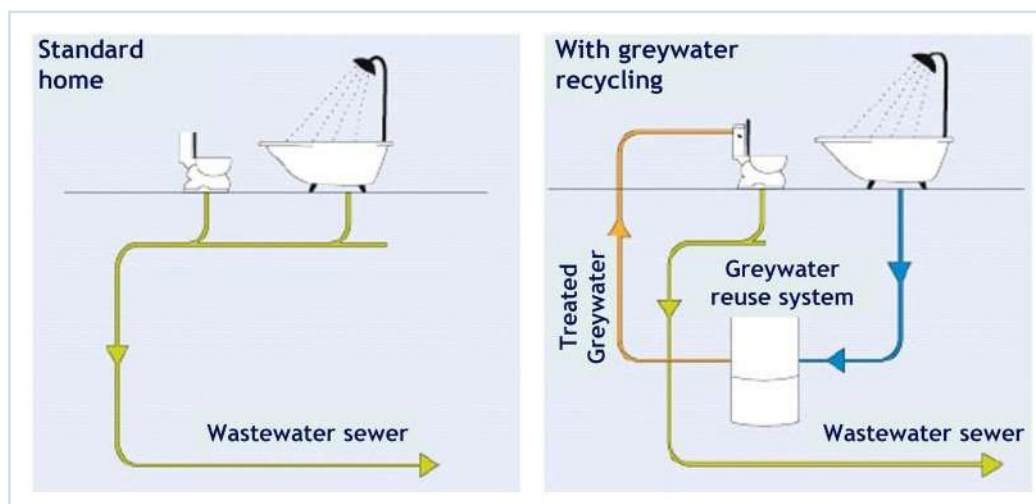


Tehnologija pročišćavanja sive vode trebala bi biti ekonomski izvediva i trebala bi se isplatiti unutar razumnog razdoblja amortizacije. Troškovi ne bi smjeli pretjerano premašiti troškove konvencionalnog sustava za pročišćavanje otpadnih voda. Niži operativni troškovi mogu se postići ako su ugrađene visokokvalitetne komponente sustava koje zahtijevaju nisko održavanje i potrošnju energije.

## 2.3.2. Tehnički zahtjevi

### 2.3.2.1. Dvostruki sustav cjevovoda

Kada se razmišlja o recikliranju sive vode u novoj zgradi ili tijekom renoviranja, potrebno je ugraditi vodovodni dvostruki sustav cjevovoda za odvojeno prikupljanje dva glavna toka otpadnih voda: crne vode (iz WC-a) i sive vode. Siva voda iz povezanih izvora (npr. tuševi, kade, perilice rublja, sudoperi) teče izravno kroz mrežu cijevi za sivu vodu u sustav za recikliranje sive vode. Također, potrebno je ugraditi odvojeni sustav cjevovodne mreže za distribuciju obrađene vode do različitih uporabnih mjesta (Slika 5). Za odvajanje mreže, referira se norma DIN EN 1717<sup>31</sup>.



Slika 5: Pojednostavljeni dijagram sustava s jednom cijevi i dvije cijevi u kućanstvu.

Tijekom izgradnje treba jamčiti da ne postoje poprečne veze između komunalne vode i mreže opskrbe pitkom vodom. Svi cjevovodi i spojevi trebaju biti propisno označeni. Različite mreže cijevi u pravilu bi trebale imati različite boje, a mjesta za istjecanje obrađene vode trebaju biti pravilno označena kako bi se razlikovala od instalacija pitke vode. Također se mora osigurati da siva voda iz sustava ponovne uporabe sive vode ni u jednom trenutku ne uđe u mrežu pitke vode. Prije puštanja u rad sustava sive vode potrebno je provjeriti unakrsne spojeve (na primjer, pomoću testa bojom).

Sustavi sive vode također bi trebali imati preljevni priključak na kanalizaciju koji omogućuje da prikupljena voda teče izravno u kanalizaciju tijekom razdoblja održavanja ili kvara sustava. Također treba predvidjeti sustav za sprječavanje povratnog toka koji sprječava povratni tok vode koja nije za piće u mrežu pitke vode.

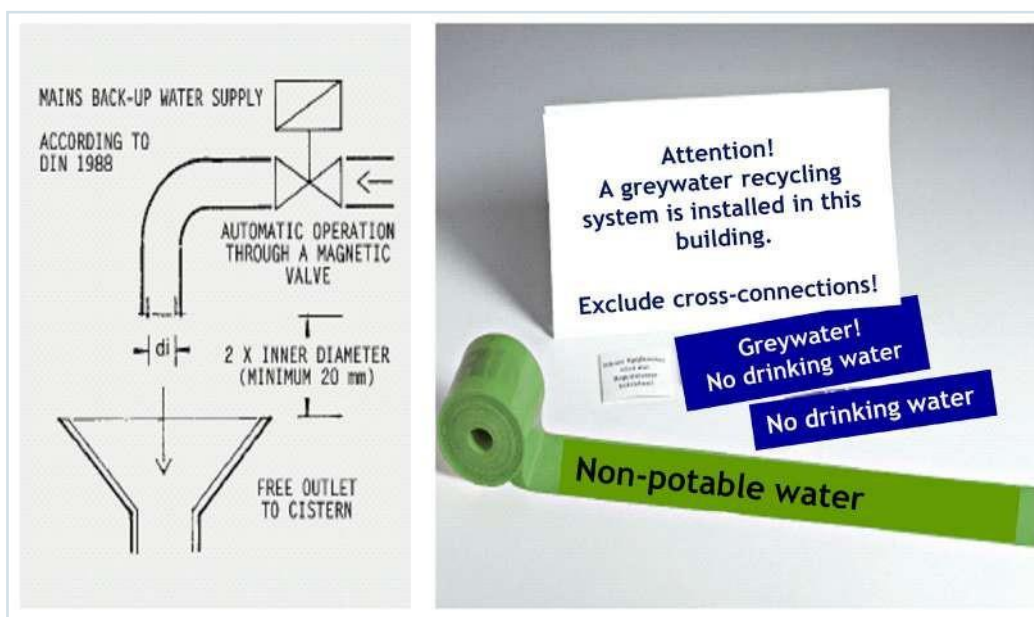
31 DIN EN 1717:2011-08 (2011) Protection against pollution of potable water installations and general requirements of devices to prevent pollution by backflow (*Zaštita od onečišćenja vode za piće u vodovodnim instalacijama i opći zahtjevi za uređaje za sprječavanje onečišćenja uslijed povratnoga toka*); verzija na njemačkom jeziku EN 1717:2000; Technical rule of the DVGW. Beuth Publications.



### 2.3.2.2. Rezervna opskrba vodom

Sustavi ponovne uporabe sive vode moraju biti opremljeni automatskim rezervnim sustavom vode kako bi se osigurala kontinuirana opskrba obrađenom vodom (slobodan izlaz) (Slika 6). Može se koristiti pitka voda, kišnica ili drugi izvori vode odgovarajuće kvalitete.

Plivajuća sklopka koja se nalazi unutar spremnika aktivira rezervnu opskrbu vodom kada razina vode u spremniku dosegne nisku razinu. Plivajuća sklopka isključuje rezervnu opskrbu vodom na unaprijed postavljenoj razini kako bi se ostavio prostor za dolaznu recikliranu vodu. Za ugradnju rezervnog vodovodnog sustava, referiraju se norme DIN 1989-1:2002-04<sup>32</sup> i DIN EN 1717:2011-08 (2011).



Slika 6: Dijagram koji prikazuje rezervnu vodoopskrbu (lijevo) i materijale koji se koriste za označavanje cjevovoda i točaka vodovodne mreže (dobra).

### 2.3.2.3. Crpke

Crpke bi trebale biti otporne na koroziju i sposobne pumpati do željene visine kako bi napunile spremnik ili opskrbile odgovarajući protok, ako se crpi izravno do mjesta uporabe. Obično se koriste potopljene i vanjske crpke, a prednost treba dati crpkama niske potrošnje energije, tihim i robusnim pumpama. Crpke trebaju biti dimenzionirane tako da svaka crpka može prevladati statičko podizanje plus gubitke zbog trenja u cjevovodu i ventilima. Upravljačka jedinica crpke trebala bi upravljati crpkom u skladu sa zahtjevima, zaštititi crpke od rada na suho, zaštititi motor od pregrijavanja i električnog preopterećenja te dopustiti ručno prebacivanje. Crpke bi trebale biti postavljene na dobro prozračenom mjestu i zaštićene od ekstremnih temperatura te ugrađene na način da ne proizvode zvuk i vibracije.

<sup>32</sup> DIN 1989-1:2002-04 (2002) Rainwater harvesting systems - Part 1: Planning, installation, operation and maintenance (Sustavi za prikupljanje kišnice - Dio 1.: Planiranje, instalacija, rad i održavanje). Beuth publications.



#### 2.3.2.4. Upravljačka ploča

Upravljačka ploča treba pokazivati sljedeće:

- sustav radi ispravno,
- alarme koji ukazuju na kvar komponenti sustava (npr. pumpa, kontrola razine, UV dezinfekcija),
- razine u svim spremnicima,
- status napajanja,
- protoke vode,
- radne sate (evidencija ciklusa uključivanja/isključivanja u kombinaciji s protocima),
- automatsku kontrolu rezervne opskrbe vodom kako bi se zadovoljile varijacije u ponudi i potražnji,
- parametre kvalitete vode koji se mogu kontinuirano detektirati (pH, temperatura u °C, zamućenost, DO, itd.),
- rezultate online praćenja za kontrolu kvalitete pročišćene sive vode.

#### 2.3.3. Zahtjevi ugradnje

Ugradnju sustava za recikliranje sive vode trebaju provoditi licencirane i kvalificirane osobe/vodoinstalateri.

Za ugradnju u zgradi potrebni su sljedeći preliminarni podaci o:

- dimenzijama prostorije za ugradnju,
- najmanjim dimenzijama slobodnog prostora (vrata),
- nosivost tla,
- ostali utjecajni čimbenici kao što su povećano stvaranje prašine, povećana sobna temperatura, prozračivanje i ventilacija.

Za ugradnju u zemlju potrebni su sljedeći podaci o:

- volumenu ugradnje,
- uvjetima tla,
- podzemnim vodama,
- udaljenosti od zgrade.

Potreban prostor od oko 0,1 m<sup>2</sup> po osobi reprezentativan je za biološke sustave koji se koriste za pročišćavanje sive vode. To prije svega ovisi o opterećenju onečišćenja sive vode, potrebnom volumenu međuspremnika za pohranu sive vode i vršnim protocima sanitarne vode, kao i o lokalnim zahtjevima za kvalitetom vode. Sustavi bi trebali biti ugrađeni tako da je u svakom trenutku moguć pristup svim dijelovima sustava radi održavanja.

#### 2.3.4. Operativni zahtjevi

Za pravilan rad sustava potrebno je uzeti u obzir određene kriterije:

- sustav treba biti robusan, otporan na fluktuacije, a komponente sustava dugotrajne,
- ulaz energije za sustav recikliranja sive vode ne bi trebao biti veći od onoga za konvencionalni sustav za pročišćavanje otpadnih voda. To bi možda trebalo biti manje od 1,5 kWh za pročišćavanje, uključujući distribuciju jednog kubnog metra vode,
- niske troškove rada i održavanja,
- treba izbjegavati uporabu kemikalija za obradu, rad i održavanje.



### 2.3.5. Zahtjevi održavanja

Zahtjevi mogu uključivati sljedeće:

- automatsko i periodično čišćenje sita/filtera,
- ako su tokovi sive vode s velikim opterećenjem (npr. iz kuhinje i strojeva za pranje rublja) također uključeni u tok sive vode, očekuje se da će troškovi održavanja biti nešto veći nego kada se pročišćava samo siva voda s malim opterećenjem,
- jednostavan pristup komponentama sustava (spremnici, crpke, filtri, itd.) kako bi se osigurao siguran i učinkovit rad,
- jedinica za nadzor spojena na internetu pomaže optimizirati rad sustava i smanjiti troškove održavanja i rada.

## 2.4. Primjene reciklirane sive vode

Najčešća primjena reciklirane sive vode (obrađene vode) je ispiranje WC-a/pisoara koje samo može smanjiti potražnju za vodom u kućanstvu do 30 % i premašiti 60 % u uredima i poslovnim zgradama. Siva voda, nakon odgovarajućeg pročišćavanja, smatra se prikladnom za primjenu kada nije potrebna pitka voda kao što je ispiranje WC-a, pranje rublja, čišćenje, navodnjavanje, pranje automobila, zaštita od požara, hidroponska kultura, akvakultura, čišćenje ulica i očuvanje močvara. Zahtjevi za kvalitetu vode specifični su za mjesto i primjenu, a potrebna razina pročišćavanja ovisi o kvaliteti sirove sive vode kao i o namjeravanoj ponovnoj upotrebi, što podjednako utječe na izbor tehnologije pročišćavanja.

Za poljoprivrednu uporabu, kvaliteta vode treba biti dovoljna za zaštitu zdravlja ljudi pri konzumaciji sirove hrane proizvedene navodnjavanjem recikliranom sivom vodom. U većini slučajeva, slanost je važan čimbenik koji zahtijeva pomno praćenje i kontrolu kada se koristi pročišćena siva voda za navodnjavanje. Svjetska zdravstvena organizacija (*eng. World Health Organization - WHO*) objavila je smjernice za sigurnu upotrebu sive vode u poljoprivredi.<sup>33</sup>

Glavna upotreba reciklirane vode u industriji je za potrebe hlađenja, bilo u zatvorenim ili otvorenim krugovima. U zatvorenim krugovima nema izravnog kontakta s ljudima ili okolišem, dok u otvorenim krugovima mogu nastati aerosoli što dovodi do rizika povezanih s prisutnošću bakterije *Legionella spp.* Ispravno upravljanje ovom praksom također bi trebalo spriječiti koroziju i naslage vapnenca kako bi se zaštitili cjevovod i spremnik.

<sup>33</sup> WHO (2006) WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4. Excreta and greywater use in agriculture. 3rd Edition. World Health Organisation (WHO) (*Smjernice SZO za sigurnu upotrebu otpadnih voda, izlučevina i sive vode. Svezak 4. Upotreba izmeta i sive vode u poljoprivredi. 3. izdanje. Svjetska zdravstvena organizacija (SZO)*), Ženeva, Švicarska. <https://www.who.int/publications/i/item/9241546859>





## 2.5. Koristi recikliranja sive vode

S ponovnom upotrebom sive vode povezan je niz koristi kao što je povećanje održive dostupnosti vode na licu mjesta i doprinos prilagodbi klimatskim promjenama. Prednosti uključuju:

- smanjenu potražnju za pitkom vodom,
- smanjeno opterećenje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda ili sustava za pročišćavanje na licu mjesta (npr. septičke jame),
- smanjene energetske potrebe za transport vode,
- smanjene količine emisija stakleničkih plinova,
- smanjenu ovisnost o javnoj vodoopskrbi,
- smanjene račune za vodu,
- očuvanje vodnih resursa,
- ponovno korištenje hranjivih tvari, koje bi inače mogle biti izgubljene, kao vrijednog resursa za uređenje okoliša i rast biljaka,
- certifikaciju zelenih građevinskih normi.

## 2.6. Rizici recikliranja sive vode

Rizici recikliranja sive vode minimalni su ako se primjenjuju važeći tehnički propisi i propisi za ugradnju i rad sustava za reciklažu sive vode. Uz odgovarajuću tehnologiju pročišćavanja i održavanje sustava, može se jamčiti visoka kvaliteta vode koja će isključiti sve higijenske ili ekološke rizike.



### 3. Upravljanje i pročišćavanje sive vode

Siva voda može sadržavati visoke razine lako biorazgradivih organskih spojeva koji se mogu lako razgraditi i pretvoriti medij u anaerobni uzrokujući neugodne mirise. Stoga je primarni cilj obrade smanjiti razinu organskih onečišćujućih tvari u sivoj vodi. Sekundarni cilj je smanjiti razine potencijalnih patogena i drugih mikroorganizama koji se mogu naći u sivoj vodi.

Konačna kvaliteta pročišćene sive vode važna je zbog njezinog utjecaja na primjene ponovne uporabe, kao i na proces dezinfekcije koji se obično primjenjuje kao završna faza obrade. Također, važno je uklanjanje suspendiranih krutina u sivoj vodi jer čestice mogu zaštititi mikroorganizme od dezinfekcije.<sup>34</sup>

Izbor tehnologije pročišćavanja uglavnom ovisi o:

- razini onečišćenja sive vode (korišteni izvori sive vode),
- namjeni krajnje uporabe,
- uvjetovanim (lokalnim) zahtjevima kvalitete za tehničku vodu.

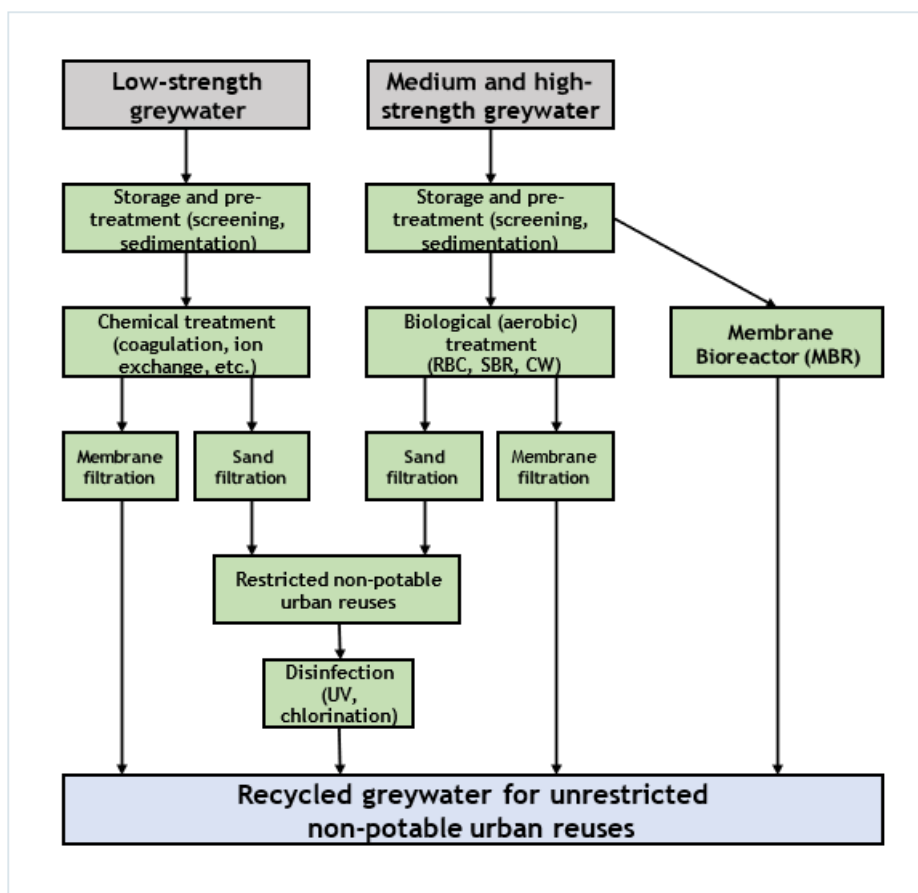
Ostali čimbenici koji također mogu utjecati na odabir tehnologije uključuju planirano mjesto, raspoloživi prostor te troškove ulaganja i održavanja.

Danas se odabir tehnologije pročišćavanja sive vode vrti oko bioloških sustava kao glavne faze pročišćavanja budući da je malo vjerojatno da će samo fizički procesi, poput grube filtracije ili pročišćavanja, osigurati pročišćenu sivu vodu prikladnu za ponovnu upotrebu.

Za obradu sive vode može se koristiti širok raspon tehnologija uključujući fizičke, kemijske i biološke procese ili njihovu kombinaciju. Slika 7 predlaže neke sheme recikliranja za pročišćavanje sive vode na temelju karakteristika ulazne sive vode i zahtjeva za kvalitetom obrađene vode za aplikacije koje nisu za piće.<sup>35</sup> Ove tehnologije su dobro uhodane metode pročišćavanja, koje se također uobičajeno primjenjuju u konvencionalnom sektoru pročišćavanja otpadnih voda.

34 Winward, G.P., Avery, L.M., Stephenson, T. and B. Jefferson, B. (2008b) Ultraviolet (UV) disinfection of grey water: particle size effects (*Ultraljubičasta (UV) dezinfekcija sive vode: učinci veličine čestica*). *Journal of Environmental Technology* 29 (2): 235-244.

35 Li, F., Wichmann, K. and Otterpohl, R. (2009) Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses (*Pregled tehnoloških pristupa pročišćavanja i ponovne uporabe sive vode*). *Science of the Total Environment* 407: 3439-3449.



Slika 7: Sheme recikliranja sive vode koja nije za piće za ponovnu upotrebu u gradovima (prilagođeno iz Li et al. 2009.).

### 3.1. Tehnologije pročišćavanja sive vode

Tehnologije pročišćavanja sive vode moraju biti robusne i učinkovite u rukovanju varijacijama u organskim i mikrobnim opterećenjima u sivoj vodi i dosljedno proizvoditi pročišćeni otpad visoke i sigurne kvalitete kako bi se zadovoljili potrebni standardi ponovne upotrebe. Sustavi u rasponu od sustava niske tehnologije, jednostavnih sustava filtracije do visokotehnoloških sustava s više barijera uključujući biološko pročišćavanje, membransku filtraciju i UV dezinfekciju smatraju se najprikladnijim za pročišćavanje sive vode zbog učinkovitog uklanjanja organskih spojeva.<sup>36</sup>

Općenito, pročišćavanje sive vode u kućanstvu zahtijeva kombinaciju fizičkih i bioloških procesa obrade za uklanjanje čestica i otopljenih organskih tvari. Kemijski procesi kao što su koagulacija, ionska izmjena, foto katalitička oksidacija i granulirani aktivni ugljen obično su indicirani za sivu vodu niske snage. Međutim, ovi procesi također su povezani s visokom potrošnjom energije i materijala kao i proizvodnjom otpadnih nusproizvoda i općenito se ne preporučuju za recikliranje sive vode.

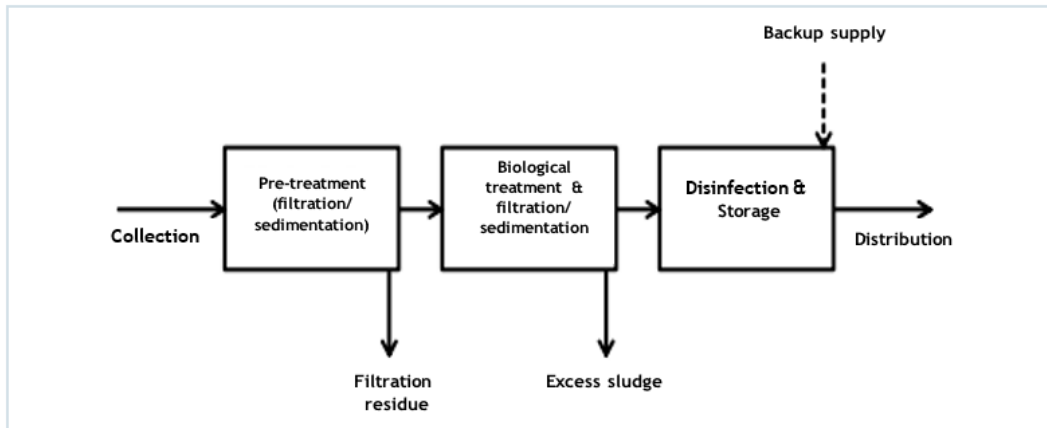
<sup>36</sup> Pidou, M., Memon, F.A., Stephenson, T. Jefferson, B. and Jeffrey, P. (2007) Greywater recycling: treatment options and applications (*Recikliranje sive vode: mogućnosti i primjena pročišćavanja*). Engineering Sustainability 160 (3): 119-131.



## Tematski katalog 2 - D 2

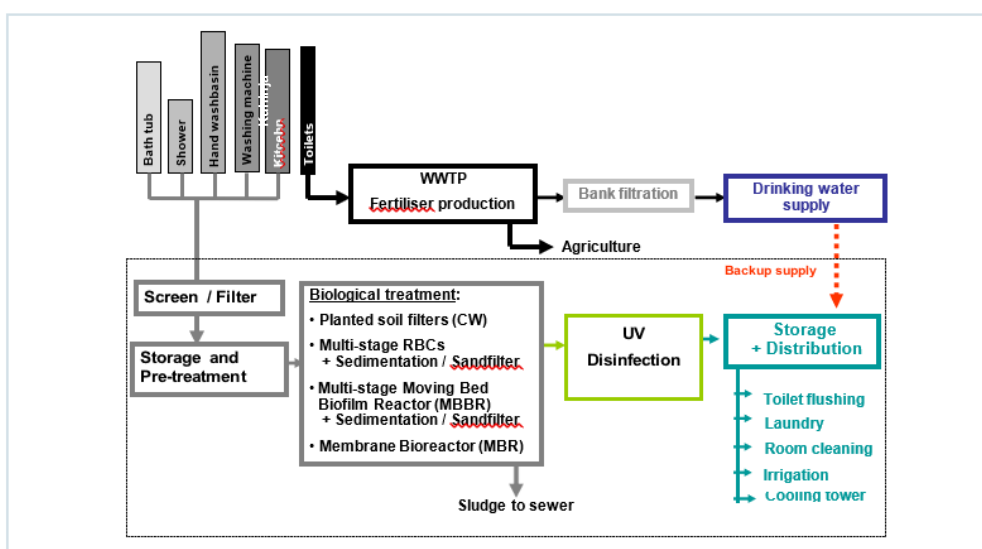
Sustavi sive vode obično se sastoje od sljedećih komponenti (Slika 8):

- spremnik za predtaloženje/međuspremnicu za prikupljanje sive vode,
- sustav pročišćavanja (biološki),
- posuda za taloženje,
- spremnik za pročišćenu sivu vodu,
- sustav za dezinfekciju,
- rezervni sustav opskrbe,
- dopunska crpka za dovod vode do mjesta korištenja.



Slika 8: Jednostavan shematski dijagram sustava za recikliranje sive vode.

Nekoliko aerobnih, bioloških sustava za pročišćavanje, koji se obično koriste u konvencionalnom sektoru pročišćavanja otpadnih voda, mogu se uspješno primijeniti za pročišćavanje sive vode uključujući rotirajuće biološke kontraktore (RBC), sekvencionirani serijski reaktor (*eng. sequencing batch reactor* - SBR), reaktor s pokretnim nosačem biofilma (MBBR), membranski bioreaktor (MBR) i izgrađena močvarna područja. Biološkim sustavima obično prethodi faza grube filtracije (prethodno pročišćavanje), a biološki pročišćenim otpadnim vodama faza sedimentacije/filtracije (naknadno pročišćavanje) za uklanjanje taloga. Završna faza dezinfekcije za uklanjanje mikroorganizama je neophodna. Aerobni biološki procesi mogu postići vrlo dobre stope uklanjanja organskih tvari i zamućenja, omogućujući skladištenje obrađene sive vode tijekom dužeg razdoblja.



Slika 9: Shematski dijagram mogućnosti recikliranja sive vode različitih izvora sive vode (E. Nolde).



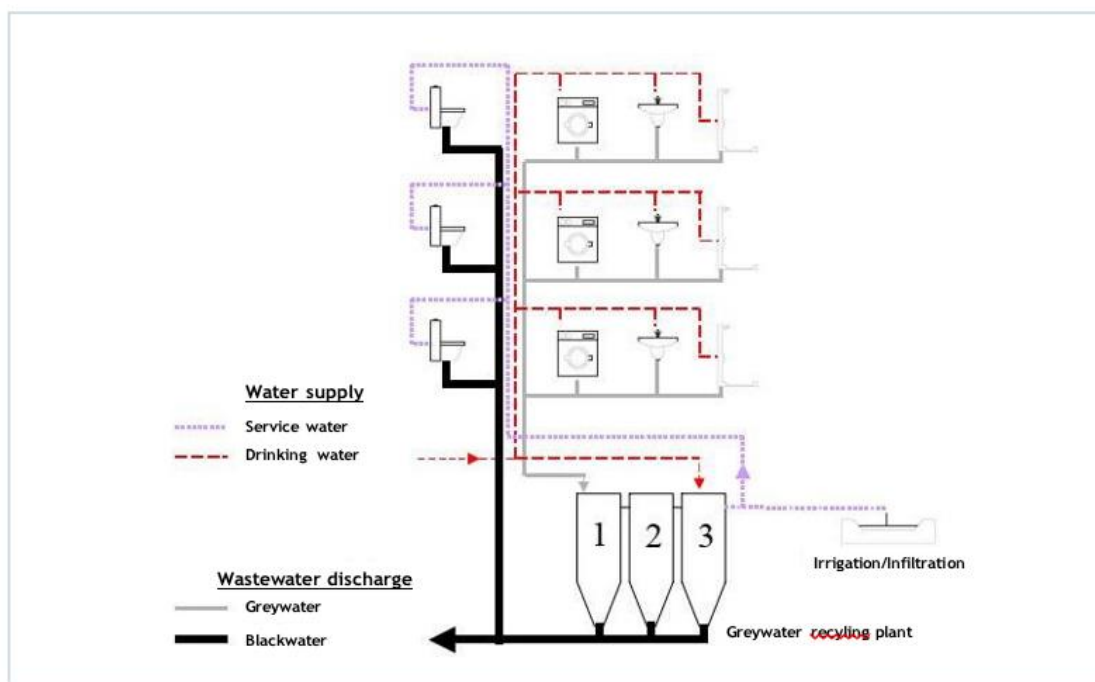


## Tematski katalog 2 - D 2

Faza prethodnog pročišćavanja pomoću sita ili filtra koji se sami čiste obično ugrađena je u sve sustave za uklanjanje grubog materijala (dlaka, dlačica, pijesak i druge čestice). Ako je kuhinjska siva voda uključena u tok otpadnih voda, preporuča se ugraditi kombinirani hvatač ulja/masti i taloga.

Budući da je stvaranje sive vode u kućanstvima povremeno, obično je potreban spremnik za skladištenje s međuspremnikom kako bi se osigurao relativno ujednačen protok tijekom cijelog procesa pročišćavanja.

Slika 10 prikazuje shematski dijagram sustava za reciklažu sive vode u višekatnoj zgradi gdje se obrađena voda koristi za ispiranje WC-a i/ili navodnjavanje/infiltraciju. Spajanje perilice rublja na mrežu obrađene vode za korištenje obrađene vode za pranje rublja umjesto pitke vode ostaje neobavezno.



Slika 10: Shematski dijagram sustava za reciklažu sive vode za višekatne zgrade: 1. sakupljanje, međuspremanje i taloženje; 2. biološko pročišćavanje; 3. skladištenje i opskrba (fbr).

### 3.1.1. Fizičko pročišćavanje (prethodno pročišćavanje)

Prethodno pročišćavanje sive vode neophodno je za uklanjanje suspendiranih krutina (*eng. suspended solids - SS*), masnoće i masti kao i grubih materijala koji mogu začepiti sustav ili stvoriti neugodne mirise. Metode fizikalne obrade sive vode uključuju filtraciju i sedimentaciju (odvajanje čvrstog i tekućeg). Učinkovitost tehnika filtracije ovisi o veličini čestica onečišćujućih tvari sive vode i poroznosti filtera. Filtracija se obično koristi kao metoda prethodnog i/ili naknadnog pročišćavanja (npr. prije dezinfekcije). Tehnike filtriranja uključuju sita i filtere, filtriranje pijeskom, filtraciju šljunkom i membransku filtraciju (MF, UF). Upotreba fizikalnih procesa kao jedine metode pročišćavanja, osim membranske filtracije, nije dovoljna za pročišćavanje sive vode jer ne osigurava adekvatno smanjenje organskih, hranjivih i drugih onečišćujućih tvari, osim u situacijama kada je organska čvrstoća sive vode iznimno niska.

Membranska filtracija poput mikro filtracije (*eng. microfiltration - MF*), ultra filtracije (*eng. ultrafiltration - UF*) i nano filtracije (*eng. nanofiltration - NF*) proizvodi visokokvalitetne otpadne vode sive vode. Permeat dobiven NF membranama najviše je kvalitete jer uklanja topive organske tvari, ionske spojeve, patogene pa čak i viruse. Međutim, s tim sustavima povezani su veća potrošnja



## Tematski katalog 2 - D 2

energije i začepljenje i onečišćenje membrane, čime se ograničava njihova ekonomska održivost.

Filtriranje pijeskom jednostavna je i isplativa tehnologija, ali pruža ograničenu mogućnost pročišćavanja sive vode kada se primjenjuje samostalno. Međutim, filtracija pijeskom vrlo je učinkovita kada se koristi kao faza poliranja konačnog proizvoda otpadnih voda prije UV dezinfekcije.

### 3.1.2. Kemijsko pročišćavanje

Sustavi kemijske obrade sive vode uključuju koagulaciju i flokulaciju, elektrokoagulaciju, adsorpciju pomoću granuliranog aktivnog ugljena (*eng. granulated active carbon - GAC*) i prirodnih zeolita, magnetske ionske izmjenjivačke smole (*eng. magnetic ion exchange resin - MLEX*), aktivnog ugljena u prahu (*eng. powdered activated carbon - PAC*) i naprednih oksidacijskih procesa (*eng. advanced oxidation processes - AOP*) kao što je ozoniranje i fotokataliza. Nakon ovih metoda obično slijedi filtracija i/ili dezinfekcija. Ovi sustavi učinkoviti su za korištenje sa svjetlom sivom vodom i, u nekim slučajevima, sivom vodom nastalom pranjem rublja. U usporedbi s fizikalnim procesima koji se koriste za pročišćavanje sive vode, kemijski procesi mogu u određenoj mjeri smanjiti organsko opterećenje i zamućenost u sivoj vodi, ali nisu dovoljni da zadovolje standarde ponovne upotrebe vode koja nije za piće, posebno za sivu vodu visoke čvrstoće.<sup>37</sup>

Općenito, visoka potražnja za energijom i materijalima za procese kemijske obrade i rezultirajući otpadni nusproizvodi jamče njihovu široku primjenu u velikim razmjerima.

### 3.1.3. Biološko pročišćavanje

Biološki sustavi za sive vode razlikuju se po mehanizmima pročišćavanja, ali je osnovni princip isti kao i kod bioloških sustava koji se primjenjuju za sekundarno pročišćavanje komunalnih otpadnih voda. Bakterije se koriste u tim sustavima za uklanjanje glavnih organskih zagađivača u sivoj vodi. Siva voda se obično prozrača kako bi se pojačao rast bakterija i razgradnja organske tvari. Neki sustavi su u potpunosti mehanički, dok su drugi više temeljeni na prirodi, poput izgrađenih močvara. Razvoj biofilma u tim sustavima može imati različite oblike kao što je suspendirana biomasa ili fiksni biofilm. Biološki procesi temeljeni na suspendiranoj biomasi (npr. proces aktivnog taloga) učinkoviti su u uklanjanju organskog ugljika i hranjivih tvari. Međutim, ovi sustavi pokazuju probleme s taloženjem mulja i potrebu za velikim reaktorima i taložnim spremnicima te recikliranjem biomase. Membranski bioreaktori (MBR), koji se također temelje na procesu suspendirane biomase, vrlo su učinkoviti u pročišćavanju sive vode prema visokim standardima.<sup>38,39</sup>

Sustavi temeljeni na procesu fiksnog biofilma pokazali su se pouzdanijim u uklanjanju organskog ugljika i hranjivih tvari bez problema koji se javljaju u procesu aktivnog taloga. To uključuje rotirajuće biološke kontaktore (RBC)<sup>40,41</sup>, sekvencionirane serijske reaktore (SBR)<sup>42</sup> i reaktore s

37. Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S.A., Liu, S., Memon, F.A., Jefferson, B. (2008) Chemical solutions for greywater recycling (*Kemijska rješenja za recikliranje sive vode*). *Chemosphere* 71: 147-155.
38. Merz, C., Scheumann, R., Hamouri, B.E. and Kraume M. (2007) Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club (*Membranska bioreaktorska tehnologija za pročišćavanje sive vode iz sportskih i rekreacijskih klubova*). *Desalination* 215 (1-3): 37-43.
39. Fountoulakis, M.S., Markakis, Petousi, I. and Manios, T. (2016) Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing (*Pročišćavanje sive vode za jednu kuću na licu mjesta pomoću potopljenog membranskog bioreaktora za ispiranje WC-a*). *Science of the Total Environment* 551-552: 706-711.
40. Nolde, E. (1999) Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years' experience in Berlin (*Sustavi za ponovno korištenje sivih voda za ispiranje WC-a u višekatnicama - više od deset godina iskustva u Berlinu*). *Urban Water* 1: 275-284.
41. Friedler, E., Kovalio, R., Galil, N.I. (2005) On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings (*Pročišćavanje sive vode na licu mjesta i ponovno korištenje u višekatnicama*). *WaterScience & Technology* 51 (10): 187-194.
42. Hernández-Leal, L., Temmink, H., Zeeman, G. and Buisman, C.J.N (2010) Comparison of three systems for biological greywater treatment (*Usporedba triju sustava za biološko pročišćavanje sive vode*). *Water* 2: 155-169.



pokretnim nosačima biofilma (MBBR)<sup>43</sup>. Pročišćene otpadne sive vode prolaze završnu fazu filtracije, primjerice korištenjem pješčanog filtra i/ili dezinfekcije, kako bi se zadovoljili standardi ponovne upotrebe vode koja nije za piće.

### 3.1.3.1. Rotirajući biološki kontaktori (RBC-ovi)

Rotirajući biološki kontaktor (RBC) fiksni je biofilm, aerobni reaktor u kojem se medij mehanički kotrlja gore-dolje u vodi. RBC-ovi se sastoje od blisko raspoređenih plastičnih kružnih diskova postavljenih na vodoravnu osovinu koja se polako rotira okomito na smjer protoka otpadnih voda napola potopljene u spremniku otpadnih voda. Biofilm koji se razvija na rotirajućem disku povremeno se napaja vodom, čime se pojačava razgradnja organskih tvari prisutnih u sivoj vodi. Stadij sedimentacije obično je potreban nakon pročišćavanja, nakon čega slijedi dezinfekcija. RBC-ovi pokazuju visoku stopu uklanjanja biorazgradivih organskih onečišćujućih tvari (do 95 % BPK). Sustav također karakterizira niska potrošnja energije.

Za određivanje veličine RBC-ova za sekundarnu obradu koriste se i hidraulički i organski kriteriji opterećenja. Pravilno dizajnirani RBC sustavi općenito su vrlo pouzdani zbog prisutnosti velike količine biološke mase. Ova velika biomasa omogućuje tim sustavima da učinkovitije izdrže hidraulička i organska prenaponska opterećenja.



Slika 11: Rotirajući biološki kontaktori (RBC) u višekatnici. Sustav prve generacije za recikliranje sive vode iz 1995. godine (fotografija: E. Nolde).

#### Prednosti:

- kratko vrijeme hidrauličkog zadržavanja zbog velike aktivne površine,
- može podnijeti velike varijacije protoka i opterećenja,
- niska proizvodnja mulja,
- niski operativni troškovi i energetski zahtjevi,
- dobra kontrola procesa.

43. Jabri, K.M., Fiedler, T., Saidi, A., Nolde, E., Ogurek, M., Geissen, S.U. and Bousselmi, L. (2019) Steady-state modeling of the biodegradation performance of a multistage moving bed biofilm reactor (MBBR) used for on-site greywater treatment (*Modeliranje u stabilnom stanju performansi biorazgradnje višestupanjskog biofilmskog reaktora s pokretnim slojem (MBBR) koji se koristi za pročišćavanje sive vode na licu mjesta*). Environmental Science & Pollution Research 26:19047-19062.



**Nedostaci:**

- visoka potreba za prostorom,
- visoka razina vlažnosti koja zahtijeva odgovarajuću ventilaciju u prostoriji za ugradnju,
- ležajevi vratila i mehanički pogon zahtijevaju često održavanje.

### 3.1.3.2. Reaktori s pokretnim nosačima biofilma (MBBR)

Reaktor s pokretnim nosačima biofilma (MBBR) vrlo je učinkovit sustav biološkog pročišćavanja temeljen na procesu aktivnog taloga (obustavljeni rast) i procesa rasta s fiksnim (imobiliziranim) filmom za uklanjanje organskih tvari i hranjivih tvari iz otpadnih voda. To je aerobni, potpuno mješoviti biofilmski reaktor s kontinuiranim radom. MBBR koristi sloj nosivog medija (pjenaste kocke, HDPE, itd.), koji osigurava veliku površinu za rast biofilma, što dovodi do veće biološke aktivnosti u reaktoru. Biomasa u MBBR-u postoji u dva oblika: suspendirani rast u mediju i kao biofilm pričvršćen na nosivi medij.

MBBR može raditi pri visokim organskim opterećenjima jer je manje osjetljiv na fluktuacije opterećenja.<sup>44</sup> Nosivi medij igra ključnu ulogu u radu sustava. Nudi visoku specifičnu površinu, što omogućuje mikroorganizmima da se vežu, rastu i formiraju biofilm. Budući da su nosači u neprekidnom kretanju, biofilm doprinosi dobrom učinku prijenosa mase, čime se povećava učinkovitost pročišćavanja.



Slika 12: Višestupanjski reaktor s pokretnim nosačima (MBBR) za recikliranje sive vode u stambenoj zgradi (fotografija: E. Nolde).

44. Borkar, R.P., Gulhane, M.L. and Kotangale, A.J (2013) Moving Bed Biofilm Reactor - A New Perspective in Wastewater Treatment (*Reaktor s pokretnim nosačima biofilma - nova perspektiva u pročišćavanju otpadnih voda*). IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology & Food Technology (IOSR-JESTFT) Volume 6 (6): 15-21.





Slika 13: Reaktor s prozračenim pokretnim nosačima biofilma (MBBR) (lijevo) i pjenaste kocke kao nosač (fotografija: E. Nolde).

**Prednosti:**

- visoka biološka aktivnost i učinkovitost pročišćavanja,
- manje osjetljiv na fluktuacije organskog opterećenja,
- potpuno uklanjanje krutih tvari,
- smanjena proizvodnja taloga i poboljšane karakteristike taloženja,
- mala potreba za prostorom,
- niski troškovi održavanja i rada,
- niska potražnja za energijom,
- mali otisak,
- nema potrebe za kemikalijama,
- noseći medij ne treba mijenjati ili čistiti (radni vijek preko 15 godina).

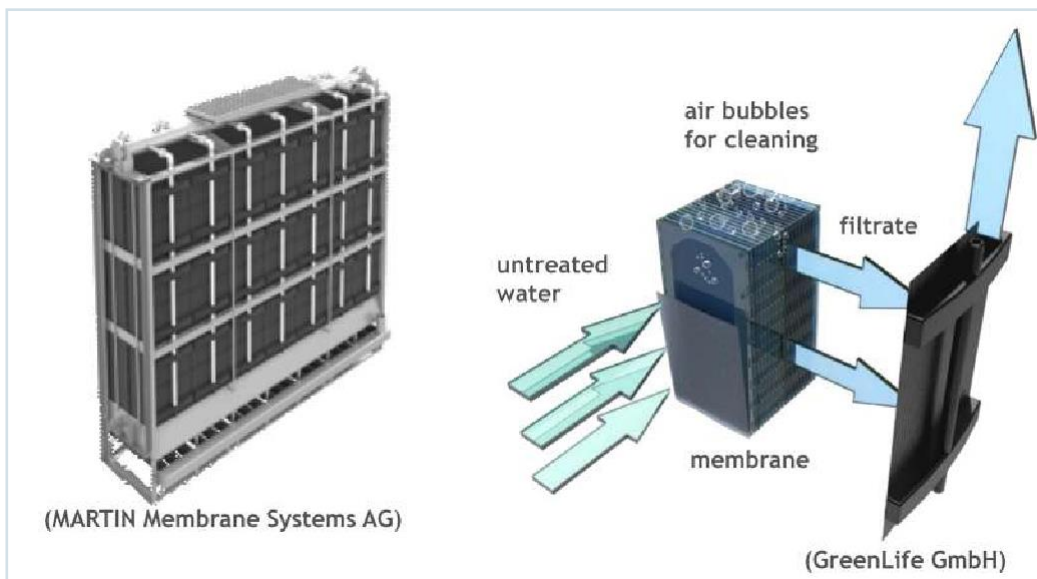
**Nedostaci:**

- visoki KPK:BPK opterećenje može dovesti do loših uvjeta taloženja,
- prije pražnjenja reaktora za radove održavanja potrebno je premjestiti nosive medije.

### 3.1.3.3. Membranski bioreaktori (MBR)

Membranski bioreaktori (MBR-ovi) kombinacija su membranske filtracije i biološkog pročišćavanja korištenjem procesa aktivnog taloga (AS-MBR). MBR sustav koristi mikroporozne membrane (0,02 - 0,4  $\mu\text{m}$ ) za odvajanje krutine/tekućine umjesto sekundarnih bistrila. Pročišćena otpadna voda prolazi kroz membranu pod tlakom od 0,1 - 0,3 bara, dok se talog zadržava potopljenom membranom čime se dobivaju otpadne vode visoke kvalitete. Indikativna kvaliteta otpadnih voda mikroporoznih membrana uključuje SS < 1 mg/l, mutnoću < 0,2 NTU i uklanjanje virusa do 4 log (ovisno o nominalnoj veličini pora membrane). Uklanjanje organskog materijala i hranjivih tvari iz sive vode korištenjem MBR-a ovisi o biološkim procesima u MBR-u, a ne o samim membranama.





Slika 14: Membranski filtri za pročišćavanje sive vode (lijevo) i mehanizam za njihovo čišćenje.

MBR-ovi zahtijevaju fazu sedimentacije kao prethodno pročišćavanje i manje prostora od tradicionalnih sustava aktivnog taloga, budući da je potrebno manje vremena hidrauličkog zadržavanja (*eng. hydraulic residence time - HRT*) za postizanje zadanog vremena zadržavanja krutih tvari (*eng. solids retention time - SRT*). MBR-ovi su uglavnom prikladni za sivu vodu s malim opterećenjem i imaju dodatnu prednost da nije potrebna konačna filtracija ili korak taloženja otpadnih voda za uklanjanje biomase. Čini se da su membranski bioreaktori vrlo atraktivno rješenje zbog visoke kvalitete otpadnih voda. Međutim, oni također imaju nekoliko nedostataka poput onečišćenja membrane i začepjenja te zahtijevaju čišćenje i održavanje tijekom dugotrajnog rada. Posljedično, potrebno je redovito čišćenje, ispiranje i kemijska obrada kako bi se povratio potreban tok.



Slika 15: Modularni sustav (AQUALOOP) membranskog bioreaktora koji koristi ultrafiltraciju za recikliranje sive vode (izvor:INTEWA).



Slika 16: Potopljeni ultrafiltracijski sustav (AQQA®) za membranske bioreaktore kod kojeg su membranske ploče poravnate u kutiji u kojoj se mogu slagati jedna na drugu (izvor: Weise Water GmbH).



## Onečišćenje membrana

Onečišćenje membrane uzrokovano je složenim fizikalnim i kemijskim interakcijama između napojne vode (sive vode) i površine membrane. Nekoliko varijabli igra ulogu u pravilnom funkcioniranju membrane, kao što su kvaliteta napojne vode, materijal membrane i veličina pora te radni uvjeti. Kontrola onečišćenja membrane kroz optimizaciju svih ovih varijabli bila je jedna od glavnih tema u razvoju MBR-a posljednjih godina.

Čišćenje membrane, koje zahtijeva vrijeme i materijal, može se provesti mehanički, na primjer čišćenjem zrakom ili uvođenjem vode pod visokim tlakom u membranu, ili kemijski korištenjem deterdženata, kaustika, kiselina, antiskalantnih sredstava ili disperzanta. Čišćenje membrane preporučuje se svaka 3 do 4 mjeseca.

### Prednosti:

- visoka i stabilna kvaliteta otpadnih voda s visokim higijenskim standardima,
- visoka stopa organskog punjenja,
- smanjeni volumen reaktora,
- kompaktna struktura i malo prostora,
- smanjena neto proizvodnja taloga,
- smanjeni otisak zbog eliminacije sekundarnih bistrila i procesa tercijarne filtracije.

### Nedostaci:

- osjetljivost na kemikalije koje se nalaze u sivoj vodi,
- sklonost onečišćenju i začepljenju membrane,
- visoka kapitalna ulaganja (membranski moduli) i operativni troškovi,
- potrebno prethodno pročišćavanje sive vode,
- za čišćenje su potrebne kemikalije,
- visoke energetske potrebe.

### 3.1.3.4. Rješenja za pročišćavanje sive vode temeljena na prirodi (NBS)

Rješenja temeljena na prirodi (NBS) za pročišćavanje sive vode vegetacijski su sustavi koji iskorištavaju prirodne mogućnosti pročišćavanja vegetacije i bakterija. Među glavnim NBS-ovima su izgrađena močvarna područja (CW), živi zidovi (*eng. living walls* - LW) i zeleni krovovi (*eng. green roofs* - GR). Izgrađene močvare mogu biti močvare podzemnog toka ili močvare sa slobodnim površinskim tokom, potonje se obično koristi kao završni korak. Močvare podzemnog toka sastoje se od vodoopornih spremnika ispunjenih medijem (šljunak ili pijesak) u kojem se uzgajaju prikladne biljne vrste. Siva voda koja se pročišćava ulazi u spremnik horizontalnim (*eng. horizontal flow* - HF) ili vertikalnim (*eng. vertical flow* - VF) protokom, prolazi kroz medij i zatim se skuplja na dnu spremnika kroz odvodnu cijev.



Slika 17: HF sustav za odvajanje, pročišćavanje i ponovnu upotrebu sive vode za ispiranje WC-a u stambenoj četvrti u Preganziolu (TV - Italija).<sup>45</sup>



Slika 18: VF sustav za odvajanje, pročišćavanje i ponovnu upotrebu sive vode za ispiranje WC-a u Hostelu kampusa Fakulteta za inženjering, Pune (Indija).<sup>45</sup>

45. <http://www.iridra.eu/en/applicazioni-en/recupero-acque-grigie-en.html>





## Tematski katalog 2 - D 2

Zeleni zidovi ili živi zidovi općenito su izrađeni od modula obješenih na zidove, sastavljenih od nekoliko posuda ispunjenih podlogom u kojoj se uzgajaju odgovarajuće vodene biljke. Ove posude zatim se napajaju sustavom za napajanje sa sivom vodom koja prolazi kroz niz posuda, a zatim se skuplja u sustavu odvodnje.

Zeleni krovovi horizontalne su vegetacijske površine izgrađene na krovovima zgrada, izolirane nepropusnim slojem na dnu, a vegetacija raste u sloju rastuće podloge postavljenom preko nepropusnog sloja. Siva voda prolazi kroz sloj supstrata, a zatim se skuplja na dnu putem drenažnog sustava.



Slika 19: Zeleni zid za ponovnu upotrebu pročišćene sive vode u vrtu, plaža Margarita, Marina di Ragusa (RG - Italija).<sup>45</sup>

Ovi sustavi iskorištavaju složenu interakciju između tla, korijena vegetacije, vode i atmosfere i dovode do smanjenja onečišćujućih tvari kroz biološku razgradnju, adsorpciju, filtraciju, oborine i apsorpciju biljaka. NBS-ovi imaju visok kapacitet uklanjanja TSS, BOD, COD i zamućenja ako su dizajnirani s odgovarajućom stopom hidrauličkog opterećenja (*eng. hydraulic loading rate* - HLR), vremenom hidrauličkog zadržavanja (*eng. hydraulic retention time* - HRT) i stopom organskog opterećenja (*eng. organic loading rate* - OLR), ali zahtijevaju odmašćivač kao prethodno pročišćavanje. NBS-ove također karakterizira dobro uklanjanje patogena, no potrebna je dodatna faza dezinfekcije kako bi se dosegle razine za ponovnu upotrebu vode u svrhe za koje nije potrebna voda za piće.

Učinkovitost CW-ova u pročišćavanju sive vode dobro je poznata u značajnim stvarnim razmjerima. Pokazalo se da je u kombinaciji s odgovarajućim stupnjem dezinfekcije (kloriranje ili UV), učinkovitost pročišćavanja CW-a dovoljna za ponovnu upotrebu vode u svrhe za koje nije potrebna voda za piće, uz smanjenje BPK koje može doseći 98 % za RVF sustave (bioreaktori s recikliranim vertikalnim protokom).<sup>46</sup>

Nedavni pregledni radovi potvrđuju prikladnost živih zidova i zelenih krovova za obradu i ponovnu upotrebu sive vode, sa stopom uklanjanja koja doseže 90 - 99 % za BPK i KPK. Stoga, NBS ako je

46. Arden, S., & Ma, X. (2018). Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review (*Izgrađena močvarna područja za recikliranje i ponovnu upotrebu sive vode: pregled*). In *Science of the Total Environment* (Vol. 630). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.218>.

47. Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piseiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2020). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits (*Pregled rješenja temeljenih na prirodi za pročišćavanje sive vode: primjene, hidraulički dizajn i prednosti za okoliš*). In *Science of the Total Environment* (Vol. 711). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>





pravilno projektiran i s odgovarajućim sustavima za odmaščivanje i dezinfekciju, može jamčiti koncentracije otpadnih voda koje ispunjavaju granice za većinu ponovne upotrebe vode koja nije za piće.

### Prednosti:

- visoka učinkovitost pročišćavanja i izvrsna ekološka integracija,
- otpornost na fluktuacije opterećenja (CW),
- niski ulagački troškovi i nisko održavanje (CW) i lakše održavanje u usporedbi s tehnološkim rješenjima (LW),
- smanjene dimenzije površine u usporedbi s izgrađenim močvarama (LW) (GR),
- mogućnost preuređenja fasada zgrade (LW),
- tipične dodatne prednosti zelenih krovova i živih zidova (toplinska izolacija, poboljšanje kvalitete zraka i estetike zgrada) (LW) (GR),
- moguća niska potrošnja energije (gravitacijski dovod) (CW) i bez dodatnog zraka za biološko uklanjanje (LW) (GR).

### Nedostaci:

- potrebna je odgovarajuća površina (CW),
- inovativno tehničko rješenje, još uvijek malo stvarnih iskustava (LW) (GR),
- visoki troškovi izgradnje (GR) (LW) u usporedbi s izgrađenim močvarama,
- potrebna je zgrada visoke nosivosti (GR) (LW).

## 3.2. Dezinfekcija

Prije ponovne uporabe preporuča se dezinfekcija pročišćene sive vode (obrađene vode). Čestice/suspendirane tvari prisutne u sivoj vodi ograničavaju učinkovitost dezinfekcije klorom, ultraljubičastim svjetlom ili ozonom na način da štite mikroorganizme. Stoga se preporuča smanjiti zamućenost sive vode na vrlo nisku razinu za učinkovitu dezinfekciju konačnog proizvoda.

UV dezinfekcija uglavnom se preporučuje za pročišćenu sivu vodu jer je to vrlo učinkovita i pouzdana metoda i zahtijeva malo održavanja bez upotrebe ikakvih kemikalija. Vijek upotrebe UV lampe je otprilike 8 000 sati, ovisno o vrsti odašiljača i uvjetima rada.

Tablica 8: Različite metode dezinfekcije pročišćene sive vode (obrađene vode).

Metoda	Prednosti	Nedostaci
Kloriranje	Vrlo učinkovita i brza metoda; značajan učinak čišćenja ostataka; niži troškovi od ostalih metoda dezinfekcije	Može reagirati s organskim spojevima u sivoj vodi i stvoriti nusproizvode koji su kancerogeni (trihalometani, kloramini)
Ultraljubičasto svjetlo (UV)	Visoko učinkovito; nema potrebe za kemikalijama, jednostavnost korištenja; nema rizika od predoziranja	Nema rezidualnog učinka; prisutnost zamućenja u sivoj vodi može utjecati na učinkovitost
Ozon	Visoka učinkovitost protiv mnogih mikroorganizama; reducira se na kisik; može se proizvoditi na licu mjesta	Nije vrlo učinkovit u otvorenom sustavu; zamućenost vode može umanjiti učinkovitost



### 3.3. Održavanje

Troškovi održavanja sustava za recikliranje sive vode ovise o vrsti sustava i krajnjoj upotrebi pročišćene sive vode. Na primjer, membranski bioreaktori zahtijevaju više održavanja i nadzora od drugih sustava biološkog pročišćavanja. Općenito, za svaki sustav recikliranja mora se postaviti raspored održavanja kako bi se osigurao proces pročišćavanja bez problema i visoka kvaliteta vode.

### 3.4. Uspješnost

Kao i kod sustava za prikupljanje kišnice, dobro planiranje, ispravno dimenzioniranje i ugradnja ključni su za pouzdan i izdržljiv rad sustava za recikliranje sive vode. Suvremeni sustavi sive vode obično se ne oslanjaju na kemikalije i često su dizajnirani sa sigurnosnim mehanizmom koji prekida dovod sive vode i prebacuje se na opskrbu vodom iz mreže ako sustav ne radi ispravno. Sofisticiraniji sustavi upravljanja opremljeni su mehanizmima za brzo upozorenje operatera ili korisnika na kvarove.

Učinak sustava za recikliranje vode također utječu na njegov raspored održavanja. Mnogi sustavi sive vode pate od operativnih problema i kvarova, što rezultira brzim napuštanjem tih sustava. Najčešći problem u radu je niska učinkovitost pročišćavanja sustava, što dovodi do neugodnih mirisa i vrlo loše kvalitete vode.

Crpke koje se koriste u sustavima sive vode podložne su značajnom trošenju zbog mehaničke prirode njihova rada. Jamstvo koje nudi većina proizvođača je godinu dana, no životni vijek crpki je vjerojatno u rasponu od 10 godina. Neke komponente pročišćavanja, kao što su membranski sustavi i žarulje u UV dezinfekcijskim jedinicama, imaju relativno kratak vijek trajanja i zahtijevaju zamjenu svake 1 ili 2 godine. Biološki sustavi sive vode osjetljivi su na kontaminaciju određenim kemikalijama koje se mogu naći u sivoj vodi, što može smanjiti sposobnost biorazgradnje.

Recikliranje i ponovnu uporabu sive vode ne treba promatrati samo s obzirom na njezinu ekonomsku učinkovitost, već i na društvene i ekološke koristi koje nudi, dok pridonosi održivom razvoju i optimalnom korištenju resursa. Sustavi sive vode nude veću gospodarsku vrijednost kada se koriste za širi raspon primjena kao što su ispiranje WC-a, pranje rublja, čišćenje i navodnjavanje vrta. Općenito, biološki sustavi za pročišćavanje sive vode najučinkovitiji su i najdjelotvorniji za primjenu u više stanova, kao što su višekratne stambene i poslovne zgrade, hoteli, sportski objekti itd. gdje se mogu postići povoljnije skale ekonomičnosti i kvalitete sive vode povezivanjem mnogih korisnika na sustav.

Automatizirani rad postrojenja također može povećati performanse sustava za recikliranje sive vode i smanjiti troškove rada i održavanja.

### 3.5. Zdravstveni aspekti

Najvažniji aspekt prihvaćanja ponovne upotrebe sive vode je zaštita javnog zdravlja. To se odražava u novonastalim vladinim politikama i regulatornim smjernicama koje uključuju ponovnu upotrebu sive vode kao dio opće održive strategije o vodama. U praksi se pokazalo da je zdravstveni rizik ponovne uporabe sive vode minimalan. Ipak, siva voda može sadržavati patogene organizme koji mogu uzrokovati bolesti. Stoga su pravilno pročišćavanje, rad i održavanje sustava za reciklažu sive vode nužni kako bi se presreo bilo koji put zaraze.



Potrebno je poduzeti određene mjere opreza kako bi se izbjegao bilo kakav zdravstveni rizik od ponovne uporabe sive vode:

- treba isključiti unakrsne veze između vodovodnih sustava pitke vode i sive vode. To je zajamčeno korištenjem različitih boja i oznaka za vodovodne sustave i mjesta točenja pitke vode i sive vode,
- treba izbjegavati preopterećenje sustava,
- siva voda ne smije se skladištiti nepročišćena.

### 3.6. Učinci na okoliš

Sustavi sive vode donose značajne uštede svježije pitke vode, uz smanjenje količina proizvedenih otpadnih voda, čime se smanjuje pritisak na okoliš. Općenito, niskoenergetski sustavi trebali bi imati prednost pred sustavima s visokim troškovima.

Sustavi za recikliranje sive vode koriste električnu energiju za crpke, pročišćavanje (npr. prozračivanje), dezinfekciju i sustave kontrole. Ova stalna operativna potreba za energijom može biti odgovorna za značajan udio utjecaja na životni ciklus sustava. Studija slučaja prijavila je operativnu potrošnju energije za recikliranje sive vode od 1,9 kWh/m<sup>3</sup><sup>48</sup>, što je u skladu s onima iz sustava sive vode koji rade u Berlinu, a koji se nalaze u rasponu između 1,5 - 3 kWh/m<sup>3</sup>.

### 3.7. Gospodarske koristi

Općenito, projekti ponovne uporabe vode često su podcijenjeni u usporedbi s drugim projektima vode zbog neuspjeha da se pravilno kvantificiraju sve dobrobiti ponovne uporabe, uključujući socijalne i ekološke koristi. Kad bi se nenovčane koristi, koje obuhvaćaju društvene i ekološke koristi, mogle kvantificirati, koristi mnogih projekata ponovne uporabe vode premašile bi troškove i postale ekonomski izvedive.

Ukupni troškovi za sustav recikliranja sive vode obično se raspoređuju na sljedeće komponente:

- dvostruki sustav cjevovoda,
- tehnologija sustava,
- troškovi ugradnje,
- operativni troškovi (energija, troškovi razdoblja, nadzor),
- troškovi održavanja i popravka.

Čini se da su tehnologije ponovne uporabe sive vode gospodarski isplativije za višekratnice zbog veće potražnje za vodom i proizvedenih količina otpadnih voda. Ugradnja decentraliziranih tehnologija recikliranja sive vode u višekratnim zgradama uživa prednosti ekonomije razmjera i podjele troškova, gdje se trošak sustava dijeli između stanara.

Recikliranje sive vode još nije široko prihvaćeno, dijelom zbog očito niske gospodarske koristi, osobito u poslovnim zgradama kao što su uredi, gdje se dnevno proizvode male količine sive vode. Međutim, s porastom troškova vode i povećanim pritiskom na starenje i pogoršanje infrastrukture vode i otpadnih voda, rješenja koja smanjuju potražnju za slatkom vodom, kao što je recikliranje

48. Brewer, D., Brown, R. and Stanfield, G. (2001) Rainwater and greywater in buildings. Project report and case studies (*Kišnica i siva voda u zgradama. Izvješće o projektu i studije slučaja*). BSRIA Technical Note TN 7/2001.



## Tematski katalog 2 - D 2

sive vode, postaju financijski održivija. S obzirom na to da infrastruktura komunalnih usluga stvorena za podršku zgradama obično ima projektni vijek od 20 do 40 godina, trebalo bi ozbiljno razmotriti i implementirati usvajanje sustava koji bi sada mogli biti neznatno skuplji, ali donositi znatne koristi u budućnosti.

Ovisno o lokalnim troškovima vode, dostupnosti pitke vode i korištenoj tehnologiji recikliranja, danas se obično može postići razdoblje amortizacije manje od 10 godina sa sustavima za recikliranje sive vode koji su dostupni na tržištu.



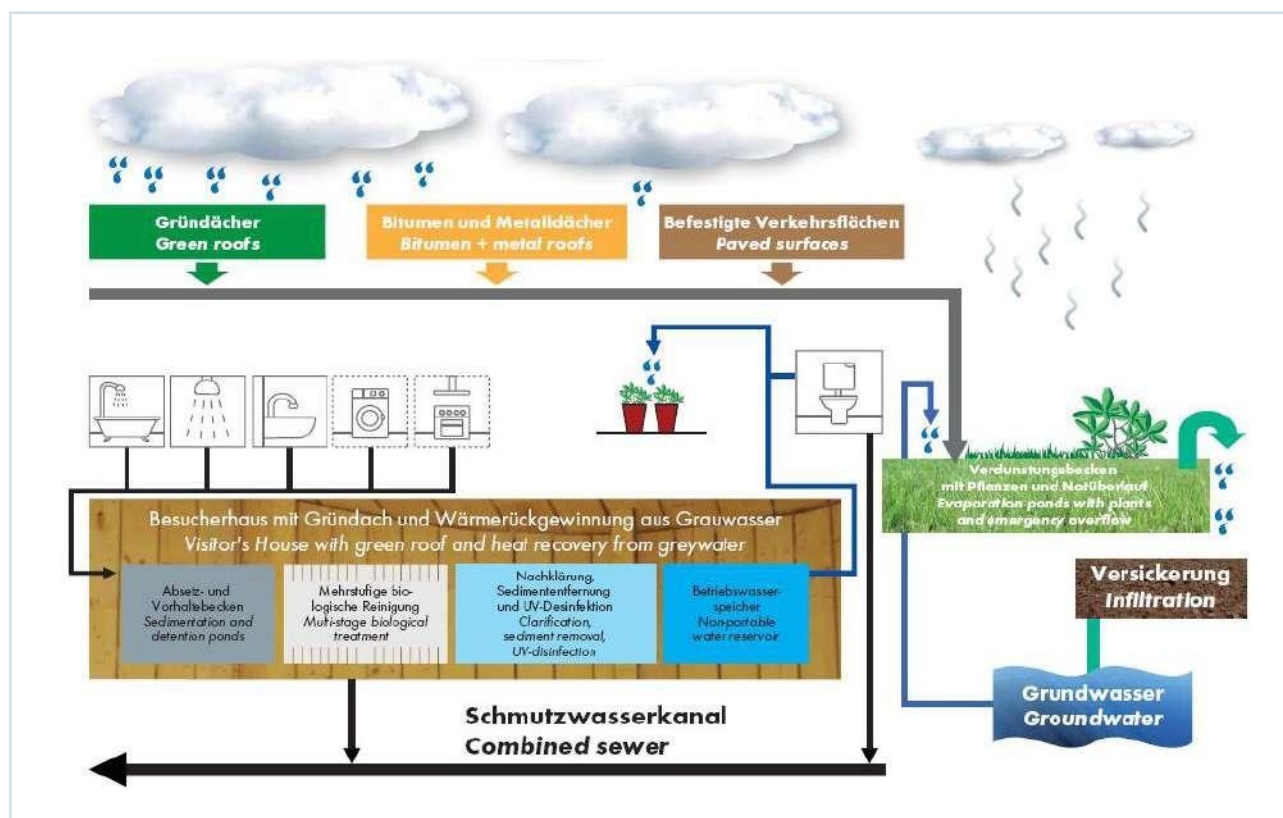


## 4. Najbolja praksa

### 4.1. Integrirani koncept voda “Block 6”

Integrirani koncept voda „Blok 6” uključuje i upravljanje kišnicom i recikliranje sive vode na urbanoj, stambenoj razini. Siva voda s malim i visokim opterećenjem iz 71 stana pročišćava se i ponovno koristi za ispiranje i punjenje WC-a za otprilike 250 osoba u višekatnici u centru Berlina.<sup>49</sup>

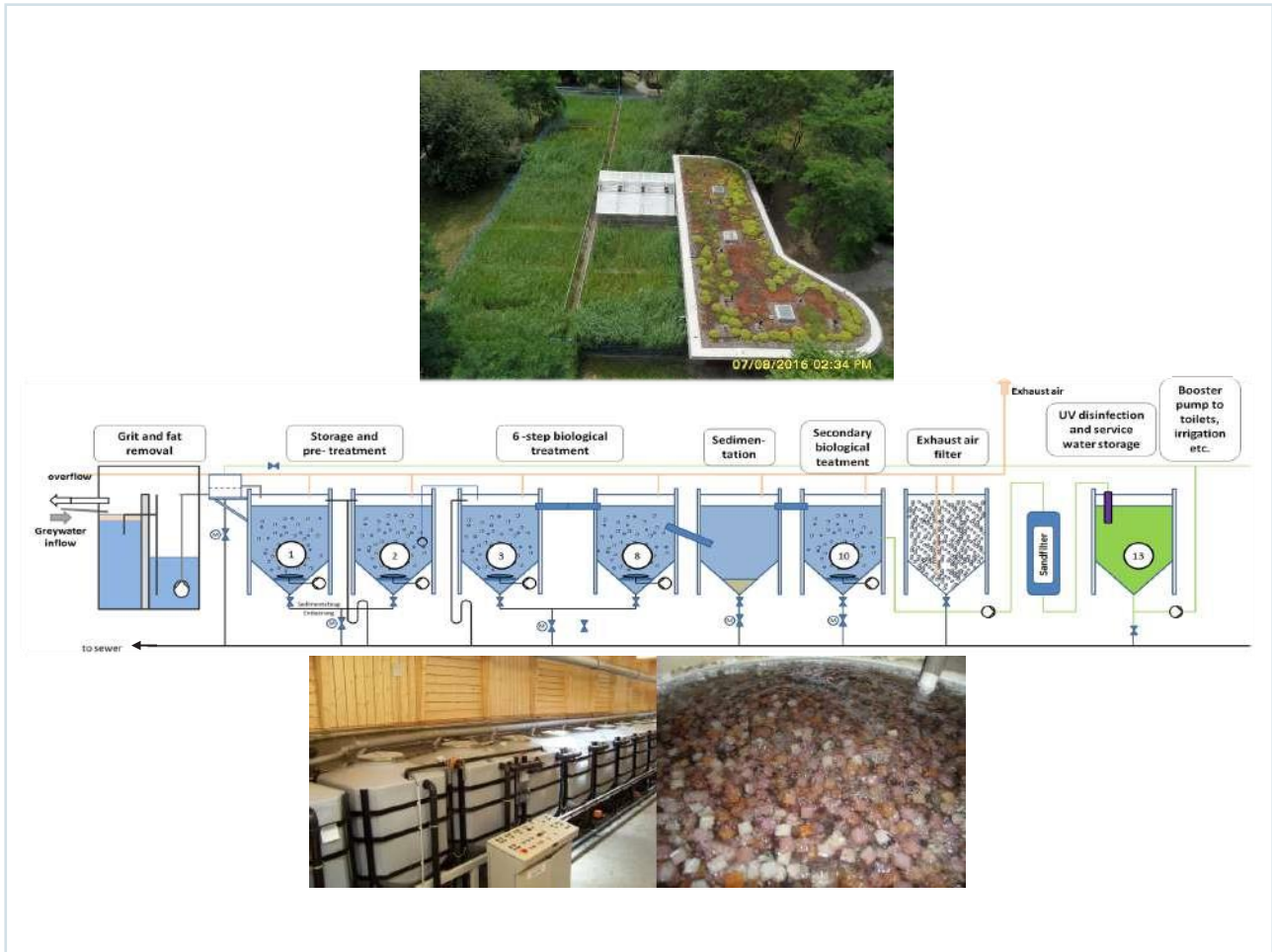
Nakon faze rekonstrukcije i optimizacije 2006. godine, siva voda pročišćava se u višestupanjskom reaktoru s pokretnim nosačima biofilma (MBBR), a reciklirane otpadne vode ponovne se koriste za ispiranje i punjenje WC-a u tri stambene zgrade. Visokokvalitetne otpadne vode na kraju se dezinficiraju UV svjetlom prije nego što se crpkama prenesu do mjesta korištenja. Osim sive vode iz kada, tuševa i umivaonika, sustav također pročišćava sivu vodu velikog opterećenja iz kuhinjskih sudopera i od pranja rublja te pokazuje visoku učinkovitost i stabilnost od 2006. godine.



Slika 20: Shematski dijagram integriranog koncepta voda „Blok 6” u središtu Berlina.

49. Berlin Senate. Block 6: Integrated Water Concept - Ecological Integrated Concept. Berlin Senate Department for Urban Development and Housing (*Blok 6: Integrirani koncept voda - ekološki integrirani koncept. Senat grada Berlina, Odjel za urbani razvoj i stanovanje*).

[https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/modell-vorhaben/flyer\\_block6\\_engl.pdf](https://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/modell-vorhaben/flyer_block6_engl.pdf)



Slika 21: Takozvana „vodena kuća“ koja sadrži sustav za recikliranje sive vode (gore) i shematski dijagram različitih MBBR faza pročišćavanja. Prozračni MBBR s nosećim medijem (dolje desno).



## Tematski katalog 2 - D 2

Tablica 9: Projektni podaci za Blok 6.

Integrirani koncept vode „Blok 6“: 1987. - 1993.		
Faza I	Upravljanje kišnicom	Recikliranje sive vode
Opis lokaliteta	Blok od 3 stambene višekatnice s otprilike 250 stanara u središtu Berlina	
Infrastruktura	Tršćak površine 100 m <sup>2</sup> + bara za zadržavanje kišnice	Tršćak površine 900 m <sup>2</sup>
Izvori i ponovna upotreba kišnice/sive vode	Krovne površine 2 350 m <sup>2</sup> Zatvorene površine 650 m <sup>2</sup>	Umivaonici za pranje ruku, tuševi, kade, kuhinje i perilice rublja. Ponovna upotreba: ispiranje WC-a i navodnjavanje
Problemi		Visoke stope isparavanja, masivan rast algi, začepljenje zemljanog filtra. Izgrađeno močvarno područje zatvoreno 1993. zbog visokih operativnih troškova.
Integrirani koncept voda „Blok 6“: od 2006.		
Faza II*	Upravljanje kišnicom	Recikliranje sive vode
Potreba za prostorom	1000 m <sup>2</sup>	50-100 m <sup>2</sup> na bivšem lokalitetu sazrijevanja
Dizajn sustava	Laguna za zadržavanje kišnice i uleknucé prekriveno vegetacijom, isparavanje, tršćak	Biološko-mehaničko pročišćavanje koje koristi višestupanjski reaktor s pokretnim nosačima biofilma (MBBR) nakon čega slijedi UV dezinfekcija Dnevni kapacitet pročišćavanja: 10 m <sup>3</sup>
Izvori i ponovna upotreba kišnice/sive vode	Krovne površine 2 350 m <sup>2</sup> Zatvorene površine 650 m <sup>2</sup>	Umivaonici za pranje ruku, tuševi, kade, kuhinje i perilice rublja. Ponovna upotreba: ispiranje WC-a i navodnjavanje
Prednosti		Manja potreba za prostorom, viša stabilnost procesa, visoka kvaliteta obrađene vode, niski troškovi održavanja i rada, godišnja ušteda pitke vode: 3 milijuna litara

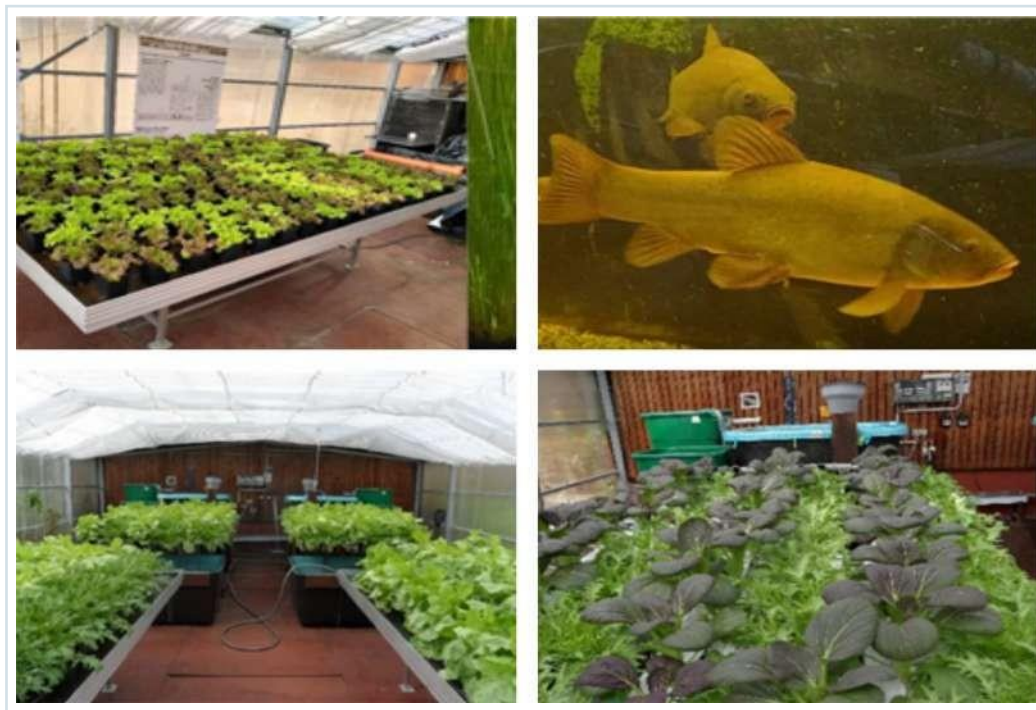
\* Nakon stavljanja van pogona i rekonstrukcije sustava sive vode prve generacije.

Tehnički podaci	
Koncentracije ulaznog KPK-a	500 - 1 000 mg/l
Prethodno pročišćavanje	Komora i sito za mast/krutine
Višestupanjski reaktor s pokretnim nosačima biofilma (MBBR)	10 spremnika kapaciteta 1,5 m <sup>3</sup> svaki
Naknadno pročišćavanje	Filtar pijeska
Jedinica za UV dezinfekciju	50 Watt
Ostale jedinice	Potisna crpka, glavna rezervna opskrba vodom
Cijena obrađene vode	3,50 eura/m <sup>3</sup>



## Tematski katalog 2 - D 2

U drugom projektu,<sup>50</sup> pročišćena siva i crna voda nastala u vodenoj kući korištene su u eksperimentalnom stakleniku površine 50 m<sup>2</sup> u integriranom akvaponom (kombinirani uzgoj ribe i biljaka) i hidroponskom sustavu (uzgoj biljaka bez tla) za urbanu proizvodnju hrane (riba i povrće). Dobiveni proizvodi ispitani su i pokazali su visoku i sigurnu kvalitetu za ljudsku prehranu.



Slika 22: Urbani akvaponski i hidroponski sustavi koji koriste pročišćenu sivu i otpadnu vodu u Bloku 6.

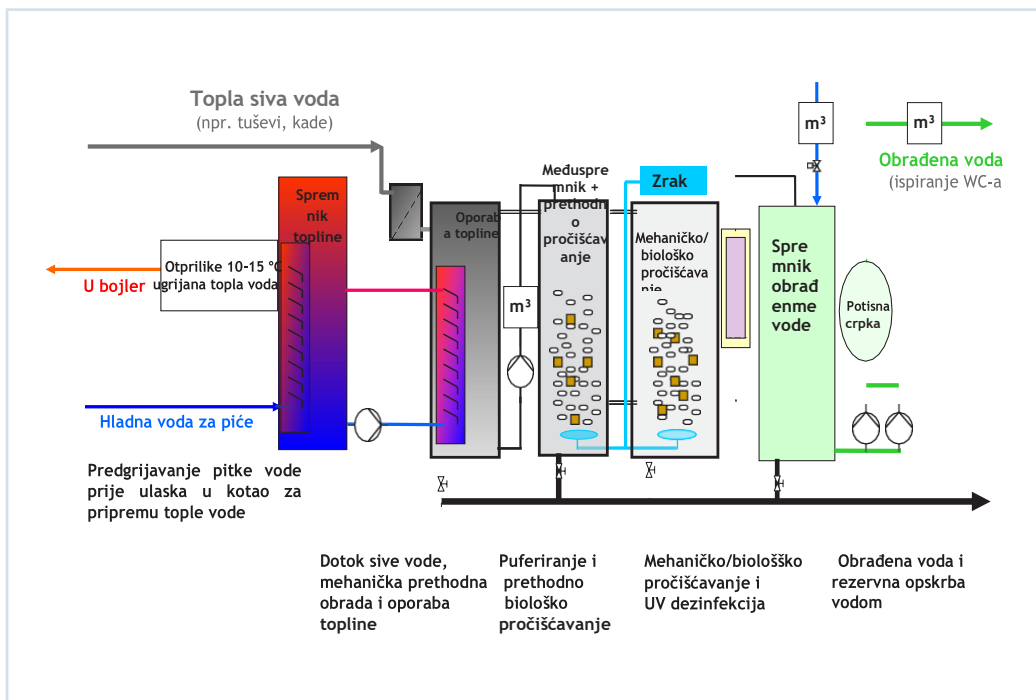
50. <http://www.roofwaterfarm.com/>





## 4.2. Arnimplatz

U višekatnici u Berlinu sa 123 stanara 2011. godine ugrađen je sustav za recikliranje sive vode u kombinaciji s povratom topline iz sive vode koji opskrbljuje stanare s 3 - 4 m<sup>3</sup> visokokvalitetne obrađene vode za ispiranje WC-a dnevno. Ulažakski troškovi za sustav, uključujući i troškove instalacije, bili su 11,38 €/m<sup>2</sup> stambenog prostora. Uštede za 2019.: 1 300 m<sup>3</sup> pitke vode i 14 MWh toplinske energije.



Slika 23: Shematski dijagram sustava za recikliranje sive vode (MBBR) na Arnimplatzu, u kombinaciji s oporabom topline iz sive vode.



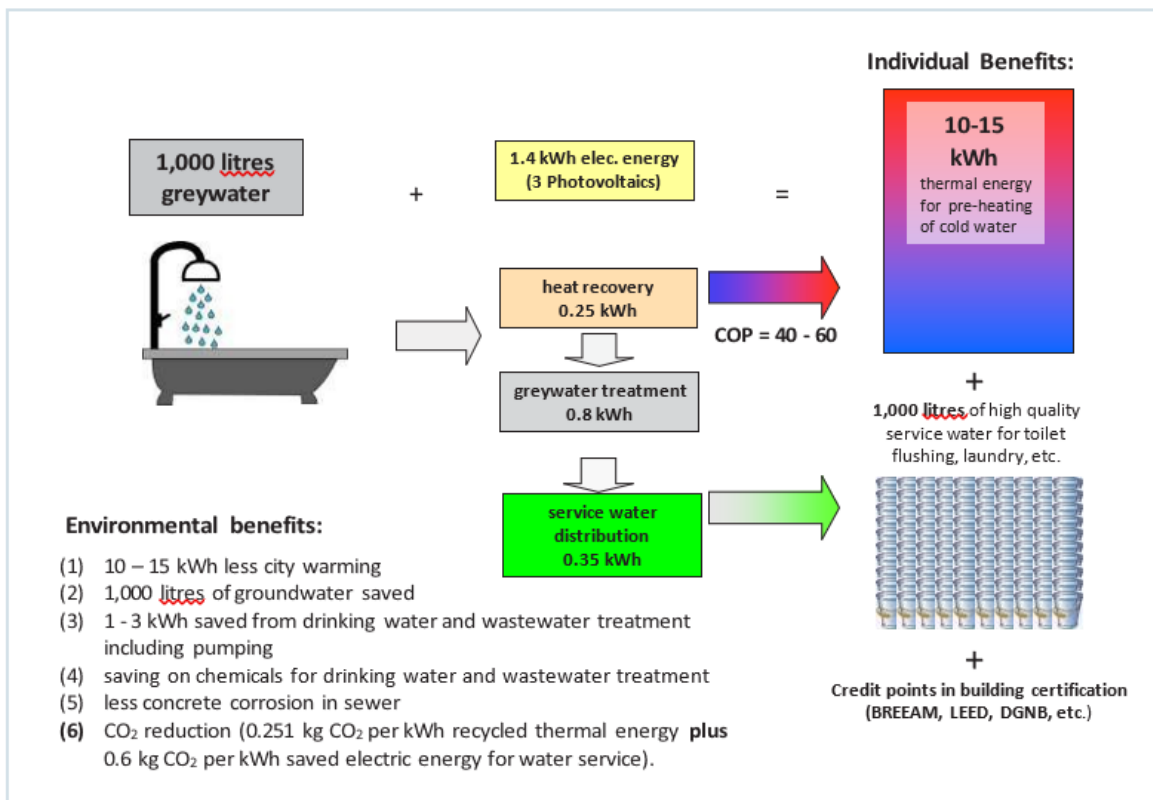
Slika 24: Sustav recikliranja sive vode uključujući uporabu topline iz sive vode u podrumu zgrade.

Tablica: Projektni podaci za Arnimplatz.

Living space	4,600 m <sup>2</sup>	Number of tenants	123
Number of flats	41	Commercial area	650 m <sup>2</sup>
Underground car park	23	Number of commercial units	4
Land area	2,083 m <sup>2</sup>	Gross floor space	6,620 m <sup>2</sup>
Heat insulation	26 cm	Garden area	1,100 m <sup>2</sup>
Space heating	73,400 kWh/a	Warm water heating	103,636 kWh/a (284 kWh/d)
Gas heating operated by CHP plant	16 kW <sub>elec.</sub> 35 kW <sub>therm.</sub>	Photovoltaic: 92 Modules mit 20 kWp	18,000 kWh/a
Greywater recycling and heat recovery			
Greywater recycling	3 m <sup>3</sup> /d (1,000 m <sup>3</sup> /a)	Heat recovery from greywater	12.5 kWh <sub>therm.</sub> /m <sup>3</sup> approx. 13,000 kWh/a
Water quality: BOD <sub>7</sub>	< 3 mg/l	Water quality: turbidity measurement	< 1- 2 NTU
Water quality: Hygiene	In accordance with the EU-Guidelines for Bathing Water		
Total area for greywater recycling and heat recovery plant	9 m <sup>2</sup>	Total plant costs (incl. installation and taxes) per m <sup>2</sup> living space	11.30 €/m <sup>2</sup>



Technical data	
Inflow COD concentrations	approx. 200 mg/l
Pre-treatment	Sieve
Moving-bed biofilm reactor (MBBR)	3 tanks with a capacity of 1 m <sup>3</sup> each
Post-treatment	Integrated sedimentation in the final bioreactor
UV disinfection unit	50 Watt
Other units	Booster pump, mains backup system
Electricity demand (greywater + heat recovery)	2,300 kWh
Service water price	3.50 €/m <sup>3</sup>

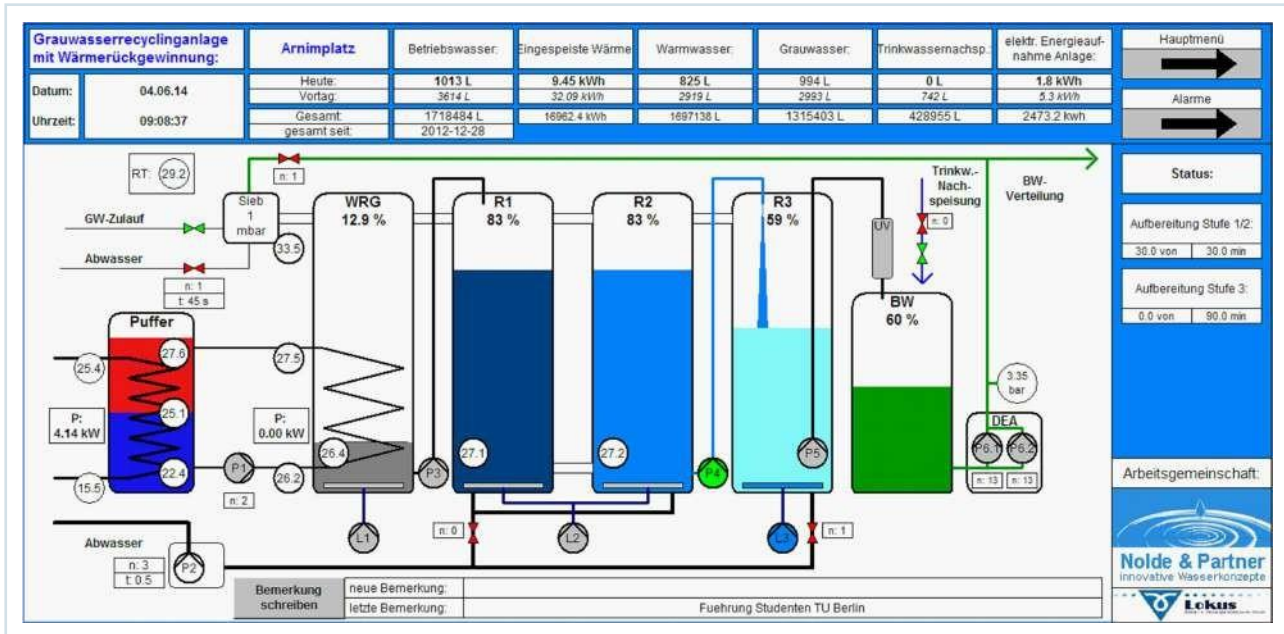


Slika 25: Procijenjene individualne i ekološke koristi od recikliranja sive vode u kombinaciji s oporabom topline u Arnimplatzu.





## Tematski katalog 2 - D 2



Slika 26: Kontrola i nadzor recikliranja sive vode i oporabe topline pomoću pametnog mjernog i telemetrijskog sustava.

Tablica 11: Ekološke i financijske koristi od recikliranja sive vode i povrata topline u 2020.

Environmental benefits at Arnimplatz (greywater recycling with integrated heat recovery)	
SAVINGS in 2020	
1,152,856	Litres of drinking water
1,152,856	Litres of wastewater (which had been recycled)
0	Chemicals used for water treatment
0	kWh <sub>elec.</sub> No additional power expenditure compared to the conventional water treatment
15,345	kWh <sub>therm.</sub> less global warming
1,534	m <sup>3</sup> of natural gas as a result of heat recovery from greywater*
3,713	kg CO <sub>2</sub> are avoided as a result of the heat recovery compared to water heating with natural gas*

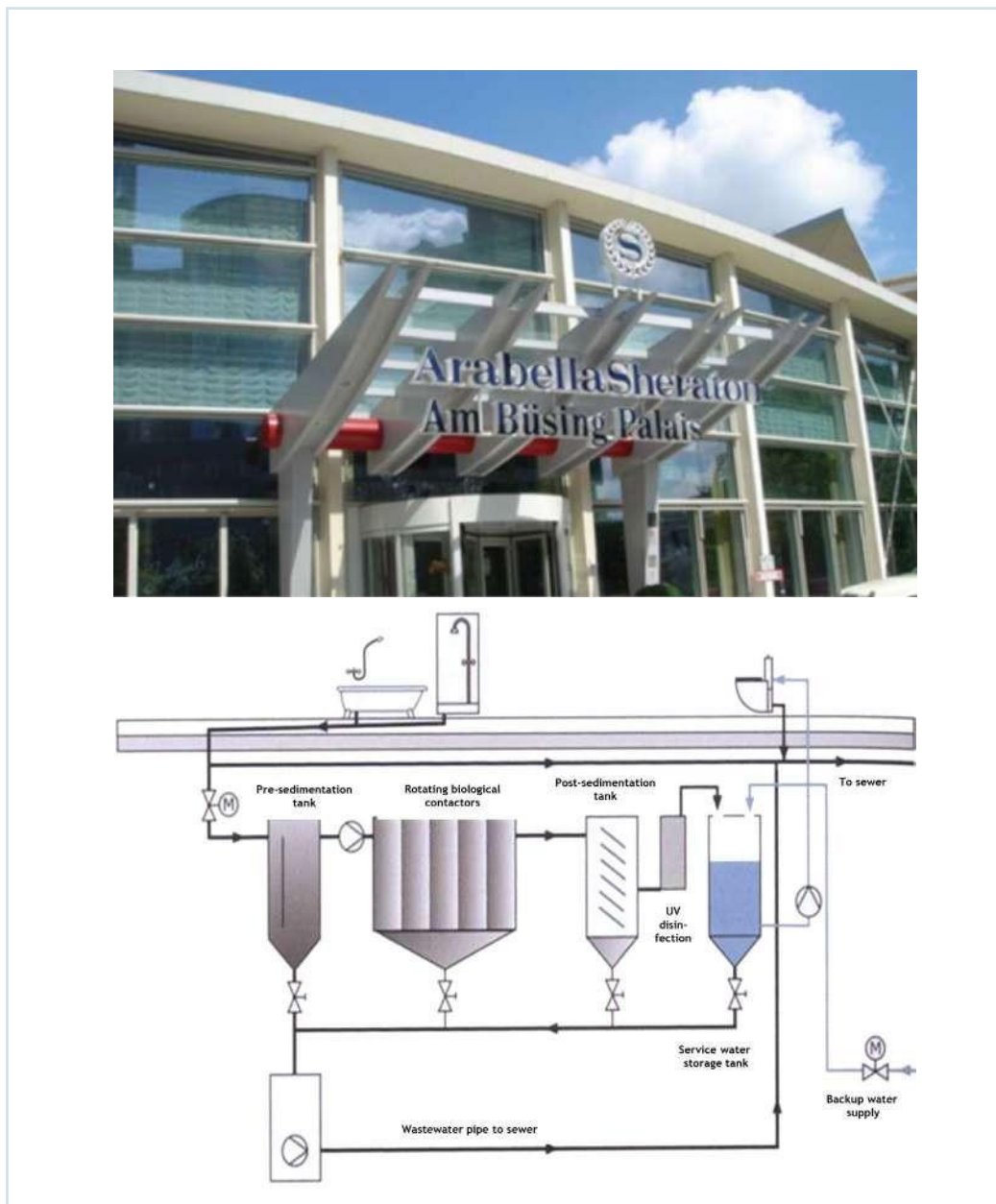
\* Primary energy factor (ENEV) = 1.1; 0.22 kg CO<sub>2</sub> / kWh; 10 kWh/m<sup>3</sup> natural gas





### 4.3. Hotel Arabella Sheraton u Offenbachu

Siva voda iz kada i tuševa iz 221 hotelske sobe prikuplja se u spremnicima za prethodnu sedimentaciju. Nakon preliminarne sedimentacije, siva voda pročišćava se u rotirajućim biološkim kontaktorima (RBC) sa 6 faza. Kisik potreban za biološku razgradnju opskrbljuje se rotirajućim rotorima u RBC spremnicima. Višak taloga izravno se ispušta u kanalizaciju. Konačne otpadne vode dezinficiraju se UV svjetlom i pohranjuju u spremnik obrađenih voda, odakle se crpkama transportiraju za ponovnu upotrebu za ispiranje WC-a i za navodnjavanje otvorenog prostora. Sustav sive vode projektiran je za kapacitet od 20 m<sup>3</sup>/dan.<sup>51</sup>



Slika 27: Shematski dijagram RBC sustava u Hotelu Arabella Sheraton (E.Nolde).

51. Werner, C. et al. (2006) Greywater recycling in Hotel Arabella Sheraton Am Büsing Palais in Offenbach, Germany - Datasheets for ecosan projects (*Recikliranje sive vode u Hotelu Arabella Sheraton Am Büsing Palais u Offenbachu, Njemačka - Tehnički listovi za ecosan projekte*). Sustainable Sanitation alliance. <https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/1989?pgrid=1>



Slika 28: Sustav za recikliranje sive vode sa 6 RBC modula i spremnikom za naknadnu sedimentaciju.

Tablica 12: Projektni podaci hotelskog sustava sive vode.

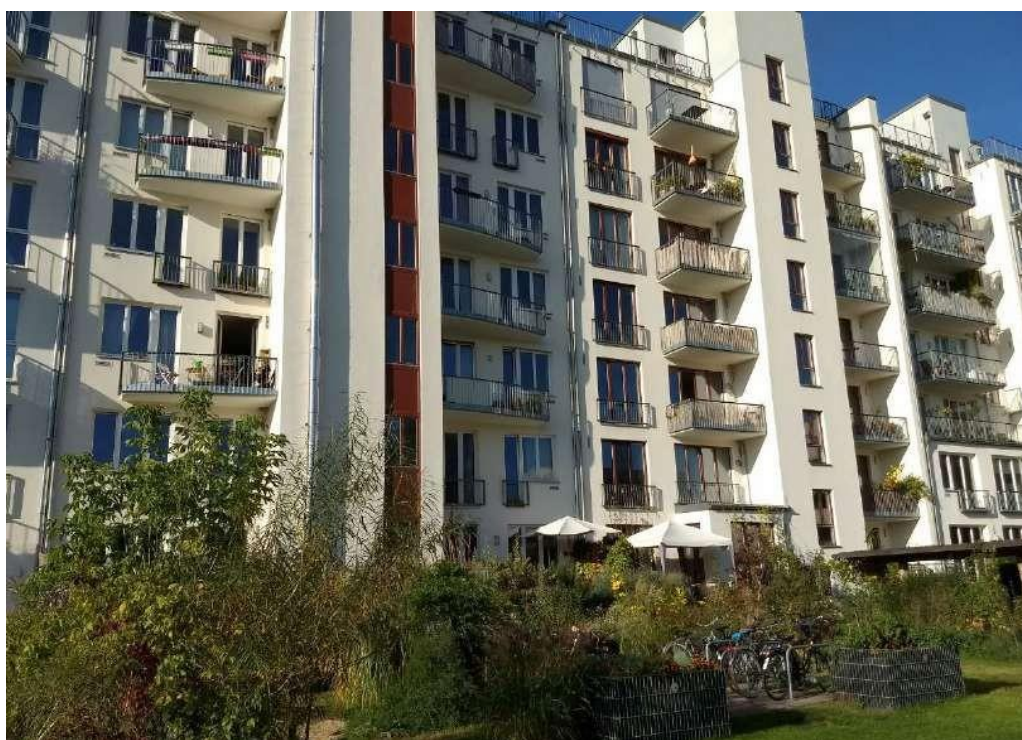
<b>Greywater recycling in 4-star hotel, ArabellaSheraton in Offenbach</b>	
Description	First generation of biological greywater recycling systems in Germany
Treatment system	Multi-stage rotating biological contactors (RBCs)
Start of operation	01/1996
Cleaning capacity	20 m <sup>3</sup> /d (221 rooms, 380 beds)
Space requirement	2 parking lots, 5.7 m x 6.7 m = 38 m <sup>2</sup>
Greywater sources	Showers and bath tubs
Reuse options	Toilet flushing, irrigation
Total energy demand	1.35 kWh/m <sup>3</sup> including service water distribution
Water savings	5,000 m <sup>3</sup> /a; payback period < 7 years
<b>Technical data</b>	
Greywater collection pipes	DN150 x 2
Collection and pre-sedimentation tanks	6.8 m <sup>3</sup> in total
Rotating biological contactors	6 x 1 m <sup>3</sup> Total HRT: 8 h
Sedimentation tank	2.4 m <sup>3</sup>
UV-Disinfection unit	50 Watt
Service water tanks	6.8 m <sup>3</sup> in total
Booster pump station	3 x 1 kW pumps, 5 bar



		Total Annual costs (Euro/year)
<b>Initial investment</b>		
Treatment system incl. planning	72,000 €	
Dual piping system incl. planning	approx. 100,000 €	
<b>Operational costs</b>		<b>5,680</b>
Energy costs	Energy demand: 1.35 kWh/m <sup>3</sup> of treated greywater Electricity price: 0.3 €/kWh	2000
Internal maintenance costs		1,040
Maintenance by manufacturer		1,200
Repair costs		1,440
<b>Cost savings</b>		
Reduction in drinking water consumption	5,000 m <sup>3</sup> of drinking water saved per year (drinking water price: 6 €/m <sup>3</sup> )	30,000

#### 4.4. Recikliranje sive vode korištenjem membranskog bioreaktora u stambenoj zgradi

Membranski bioreaktor (MBR) u višekatnici u Berlinu pročišćava sivu vodu od 123 stanara s kapacitetom pročišćavanja od 4 m<sup>3</sup> dnevno.







Tablica 13: Projektni podaci.

Greywater recycling using membrane bioreator (MBR)	
Site description	<ul style="list-style-type: none"><li>○ A multi-storey building in Berlin</li><li>○ Greywater input from 55 apartments</li><li>○ Greywater sources: showers and bathtubs only</li><li>○ Use of recycled water in 63 apartments for toilet flushing</li></ul>
Start of operation	2018
Space requirement	3 m <sup>2</sup>
GW Collection	Outdoor greywater collection in a 5 m <sup>3</sup> concrete cistern
System design	Greywater treatment takes place indoors (cellar) in a membrane bioreator (MBR); booster pump unit also placed in the cellar
Treatment capacity	4 m <sup>3</sup> /d
Energy consumption	1.5 kWh/m <sup>3</sup> for MBR 2.3 kWh/m <sup>3</sup> for total system operation
Operation	<ul style="list-style-type: none"><li>○ 2015-2018: Initial problems with membrane fouling and clogging</li><li>○ Restructuring and installation of new membrane</li><li>○ Since 05/2018 trouble-free operation and high water quality effluent following membrane replacement and installation of a new electronic device</li></ul>

## 4.5. Keracoll „GreenLab” u blizini Sassuoloa, Italija

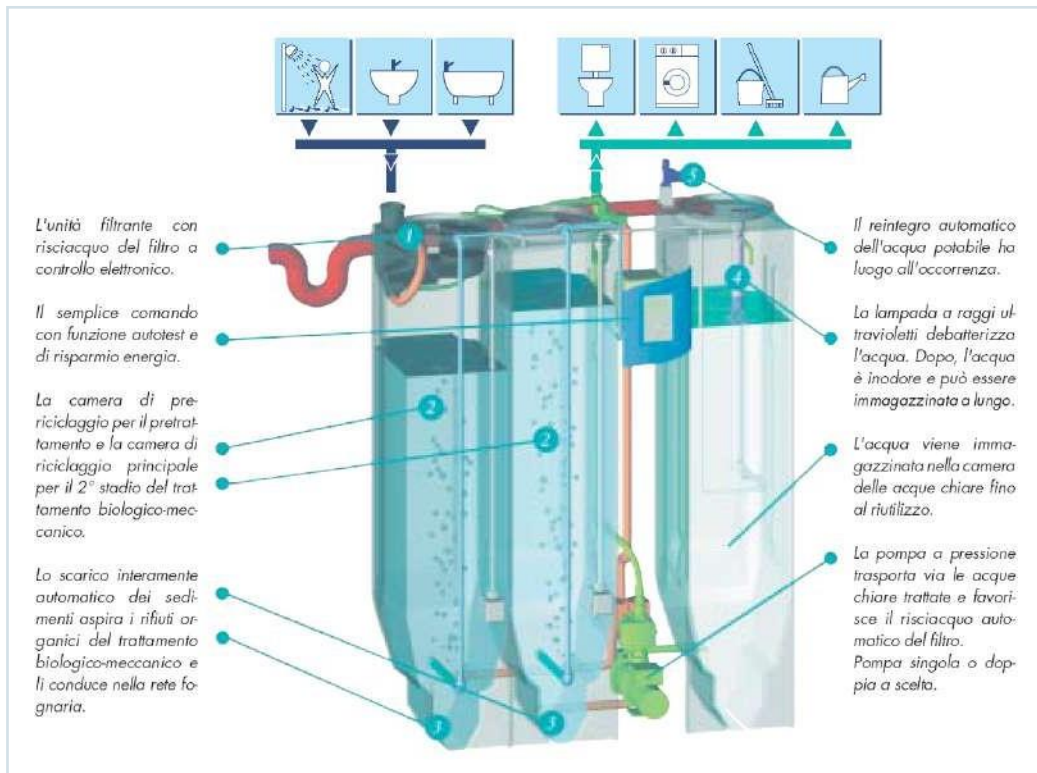
Keracoll „GreenLab”, istraživački centar u Sassuolu, koristi prirodne sustave filtracije za oporabu kišnice koja se zatim ponovno koristi za navodnjavanje i bioklimatsko rashlađivanje. Siva voda iz WC-a i svlačionica odvojeno se prikuplja i pročišćuje kompaktnim sustavom tipa SBR koji je postavljen unutar zgrade. Sustavi za navodnjavanje zelenih površina napajaju se viškom pročišćene sive vode koja se ne koristi ponovno za zahode i kišnicom prikupljenom s krovova i filtriranom u kišnim vrtovima. Sakupljena kišnica također se koristi za napajanje otvorenog bazena, dizajniranog u bioklimatske svrhe. Nadalje, uređaji za uštedu vode primjenjuju se na različitim mjestima isporuke (elektronske slavine za umivaonike, termostatske slavine za tuševe u svlačionicama, vodokotlići s dvostrukim gumbom i suhi pisoari).

Ovi zahvati omogućuju značajno smanjenje količine vode koja se povlači iz akvadukta. Samo za ponovnu upotrebu za ispiranje WC-a, može se uštedjeti otprilike 3 m<sup>3</sup>/dan, što je približno 700 m<sup>3</sup>/godišnje, dok se čak 700 - 800 m<sup>3</sup> vode može uštedjeti godišnje korištenjem sabirnih spremnika za navodnjavanje zelenih površina (oko 3 000 m<sup>2</sup>) i pranje dvorišta.



Slika 29: Prikaz Keracoll “Green Lab” (gore), otvoreni spremnik za vodu i kišni vrt (dolje). Izvor: Bios IS Srl ([www.bios-is.it](http://www.bios-is.it)) i IRIDRA Srl ([www.irdra.com](http://www.irdra.com)).





Slika 30: SBR sustav korišten za pročišćavanje sive vode na lokaciji Keracoll „Green Lab” (izvor: Bios IS Srl [www.bios-is.it](http://www.bios-is.it)).

Tablica 14: Projektni podaci za Keracoll „GreenLab”.

Greywater recycling in Keracoll GreenLab	
<b>Description</b>	Research center
<b>Number of employees</b>	100
<b>Rainwater sources</b>	Parking and Rooftop raingarden
<b>Greywater sources</b>	toilets and changing rooms
<b>Reuse options</b>	toilets, irrigation, and bioclimatic cooling
<b>Water savings</b>	700 m <sup>3</sup> /year for toilets 700-800 m <sup>3</sup> /year for irrigation
Technical data	
<b>Treatment system</b>	SBR (Sequencing Batch Reactor)
<b>Treatment potential</b>	3000 L/day
<b>Maximum power</b>	4,5 KW
<b>Average current consumption</b>	3,2 kWh/gg





Tematski katalog 4

# Novi digitalni alati koji promiču učinkovitost vode među građanima/potrošačima



# Sadržaj

<b>UVOD</b>	<b>153</b>
<b>1. ISTRAŽIVANJE DILJEM EU</b>	<b>154</b>
1.1. POPIS DIGITALNIH ALATA ZA PROMOVIRANJE UČINKOVITOG KORIŠTENJA VODE	154
<b>2. PAMETNO MJERENJE VODE</b>	<b>167</b>
2.1. LANAC VRIJEDNOSTI PAMETNE VODE	167
2.2. ŠTO JE PAMETNO MJERENJE VODE?	168
2.3. ZAHTJEVI IZGRADNJE I PRIMJENE PAMETNOG MJERENJA VODE	169
2.3.1. Ugradnja pametnog brojila	169
2.3.2. Mreža	169
2.3.3. Softver/usluge	170
2.4. PODRUČJA PRIMJENE	170
2.4.1. Primjeri	171
2.5. UČINCI PAMETNOG MJERENJA VODE NA PROMJENU PONAŠANJA POTROŠAČA	172
2.5.1. Primjer	174





# UVOD

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća svijet je doživio nevjerojatan razvoj u području informacijskih i komunikacijskih tehnologija IKT (*eng. information and communication technologies - ICT*). Ne samo da je povećan broj i kvaliteta IKT-a, već i njihov doseg, raznolikost kao i broj korisnika. Zbog svoje dostupnosti, dosega, višestrukosti, pristupačnosti i brzine, mnogi smatraju IKT izuzetno korisnim za podizanje znanja. Zbog navedenog, digitalni alati i IKT općenito, dok se koriste za vodnu učinkovitost, ne služe samo kao korisni tehnološki i pametni alati upravljanja, već i kao alati koji mogu potaknuti promjenu ponašanja u široj javnosti uz podizanje znanja o danoj temi. Kako bi se to dodatno olakšalo, planirano je stvaranje baze znanja koja uvodi nove digitalne alate koji promiču učinkovitost vode među građanima/potrošačima u okviru „Projekta City Water Circles - Modeli urbane suradnje za poboljšanje učinkovitosti vode i ponovnu upotrebu u funkcionalnim urbanim područjima srednje Europe s pristupom integriranog kružnog gospodarstva - Projekt CWC.

Dokument daje pregled digitalnih alata i rješenja za učinkovito korištenje vode koja promiču učinkovito korištenje vode i održivo ponašanje kao što su ušteda vode, hvatanje kišnice, korištenje otpadnih voda, način života bez otpada itd. Dokument uključuje provedeno istraživanje diljem EU koje sažima zbirku koncepata, prototipova i rješenja bliskih tržištu na temelju istraživanja različitih resursa, uglavnom onih opisanih na Cordis web stranici. Navedeni popis predstavljenih rješenja uključuje naziv alata, projekt iz kojega je razvijen (ako je primjenjivo), kratki opis projekta/alata, njihovu tehnološku spremnost, zemlju u kojoj su razvijeni i gdje se mogu koristiti te njihovu odgovarajuću web stranicu. Kako bi se pratili budući trendovi vezani za alate za promicanje učinkovitosti vode, predstavljen je i popis EU klastera i platformi za upravljanje vodama, kao i popis tekućih H2020 projekata koji razvijaju/promiču IKT rješenja za upravljanje vodama. Konačno, s obzirom na prepoznati potencijal pametnih digitalnih alata za mjerenje, kako za učinkovitost vode, tako i za pozitivnu promjenu ponašanja korisnika, posljednje poglavlje Kataloga donosi opsežan uvod u gore spomenute alate, što uključuje njihovu upotrebu, zahtjeve izgradnje i primjene, područja primjene, razlike između sustava na tržištu, troškove i koristi kao i nekoliko primjera i studija slučaja.





# 1. ISTRAŽIVANJE DILJEM EU

## 1.1. Popis digitalnih alata za promoviranje učinkovitog korištenja vode

Na temelju europskih istraživačkih izvora kao što su Cordis, EU Science Hub, baze podataka Europskog instituta za inovacije i tehnologiju, kao i opsežnog web istraživanja, u donjoj tablici prikazan je skup digitalnih alata koji promiču učinkovito korištenje vode i rješenja čiji je cilj utjecati na ponašanje korisnika u vezi s iskorištavanjem vode. U tablici su prikazani različiti softverski alati, mobilne aplikacije, e-platforme, igre, alarmni sustavi, pametne podatkovne aplikacije koje se koriste i razvijaju unutar EU, kao i alata koji su razvijeni ili trebaju biti razvijeni (ako je primjenjivo), kratak opis projekta/alata, razina spremnosti tehnologije (1 je najniži - poštuju se samo osnovni principi, a 9 je najviši - sustav je dokazano operativan), zemlju u kojoj su razvijeni i gdje se mogu se koristiti, kao i njihove odgovarajuće web stranice.



**Alat:** Advizzo

**Projekt:** N/A

**Opis:** softversko rješenje koje pomaže komunalnim društvima u angažiranju svojih klijenata s ciljem poboljšanja njihovih radnji i uštede energije i vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Ujedinjena Kraljevina

**Internetska stranica:** <https://www.advizzo.com/>



**Alat:** BiWAS

**Projekt:** Biološki alarmni sustav za vodu (BiWAS) za zaštitu gradske infrastrukture pitke vode od prijetnje onečišćenja

**Opis:** kompaktan sustav ranog upozorenja za praćenje kvalitete pitke vode. Sustav se sastoji od softverske mreže koja svojim korisnicima omogućuje promatranje kvalitete vode na više lokacija u gotovo stvarnom vremenu što olakšava održivo korištenje vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Norveška, Švedska

**Internetska stranica:** <https://aquaalarm.net/>



## Tematski katalog 4



### Alat: B-WaterSmart

**Projekt:** Ubrzavanje postizanja pametne vode u obalnoj Europi

**Opis:** razvijanje pametne podatkovne aplikacije za učinkovitiju, sigurniju alokaciju i učinkovito korištenje vodnih resursa.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** Belgija, Njemačka, Grčka, Italija, Nizozemska, Norveška, Portugal, Španjolska

**Internetska stranica:** <https://cordis.europa.eu/project/id/869171>



### Alat: CASTWATER

**Projekt:** Održivi turizam obalnih područja  
Upravljanje VODAMA na Sredozemlju

**Opis:** internetska aplikacija koja pomaže malim i srednjim društvima u identifikaciji načina za procjenu i poboljšanje pitanja upravljanja vodama i javnim tijelima pruža statističke podatke o trenutnom stanju održivosti upravljanja vodama u malim i srednjim turističkim društvima u tom području kako bi se olakšalo održivo korištenje voda.

**Razina spremnosti tehnologije:** nije primjenjivo

**Lokacija:** Hrvatska, Francuska, Cipar, Grčka, Italija, Malta, Španjolska

**Internetska stranica:** <https://castwater.interreg-med.eu/>



### Alat: The City Blueprint

**Projekt:** Nacrti za pametne gradove: razvoj metodologije za koordiniran pristup integraciji sektora vode i otpada unutar EIP pametnih gradova i zajednica

**Opis:** softver koji ciljnim korisnicima omogućuje izradu sažete, jasne i učinkovite analize situacije u vezi s vodom i komunalnim otpadom i energijom, prometom i IKT-om u bilo kojem mjestu ili gradu.

**Razina spremnosti tehnologije:** nije primjenjivo

**Lokacija:** Belgija, Finska, Francuska, Grčka, Italija, Nizozemska, Španjolska, Turska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetska stranica:** <https://cordis.europa.eu/project/id/642354>



**Alat:** Closca Water

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** mobilna aplikacija s najvećim brojem stanica za punjenje vode na svijetu. Aplikacija nagrađuje svoje korisnike što ne koriste plastiku za jednokratnu upotrebu, čime se olakšava promjena njihovog ponašanja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** diljem svijeta

**Internetska stranica:**

<https://apps.apple.com/us/app/closca-water-refill-every-where/id1455330949>



**Alat:** DAIAD

**Projekt:** Otvoreno upravljanje vodama - od kapljica sudjelovanja do potoka znanja

**Opis:** koristi tehnologije velikih podataka i strojnog učenja (ML) kako bi iskoristio podatke s pametnih vodomjera i pomogao potrošačima da promijene svoje ponašanje kako bi vodu koristili održivije.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** koristi se u Njemačkoj, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:** <http://daiad.eu/>



**Alat:** Deepki

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** softver koji automatski prikuplja i analizira postojeće podatke svojih korisnika kako bi identificirao potencijalne uštede energije i vode i promjenu ponašanja prema održivijem ponašanju.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen u Ujedinjenoj Kraljevini, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:** <https://www.deepki.com/en/>



**Alat:** Dropcountr

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** mobilna aplikacija koja povezuje korisnike i njihove opskrbljivačem vodom na mobilnim uređajima koje svakodnevno koriste. Aplikacija se koristi za razumijevanje i upravljanje vašim korištenjem vode; usporedite korištenje sa sličnim susjedima; postavite i postignite ciljeve korištenja vode te pristupite vrijednim popustima i najavama za komunalne usluge.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen u SAD-u, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:**

<https://www.dropcountr.com/platform-home/>



**Alat:** DWC AR mobilna aplikacija

**Projekt:** DIGITAL-WATER.city - Vodeće upravljanje urbanim vodama u digitalnu budućnost

**Opis:** AR mobilna aplikacija koja vizualizira geologiju i podzemne vode razvijena kako bi se istaknula njihova važnost kao resursa pitke vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** koristi se u Njemačkoj, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:** <https://www.digital-water.city/solution/augmented-reality-ar-mobile-application-for-groundwater-visualization/>



**Alat:** DWC mobilna aplikacija

**Projekt:** DIGITAL-WATER.city - Vodeće upravljanje urbanim vodama u digitalnu budućnost

**Opis:** mobilna aplikacija koja građanima Pariza javlja rizike od onečišćenja vode za kupanje kako bi potaknula javni angažman i podigla svijest.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen u Francuskoj (Pariz)

**Internetska stranica:** <https://www.digital-water.city/solution/machine-learning-based-early-warning-system-for-bathing-water-quality/>





## Tematski katalog 4



**Alat:** DWC internetska igra

**Project:** DIGITAL-WATER.city - Vodeće upravljanje urbanim vodama u digitalnu budućnost

**Opis:** igra koja korisnicima omogućuje interakciju s podacima i podržava razumijevanje složenosti povezanosti dostupnosti vode, emisije ugljika, potrošnje energije, produktivnosti usjeva.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** razvijen i testiran u Italiji (Milano)

**Internetska stranica:** <https://www.digital-water.city/solution/serious-game-on-the-water-reuse-carbon-energy-food-and-climatic-nexus/>



**Alat:** Eco Life Hacks - Your sustainable coach

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** mobilna aplikacija koja svojim korisnicima nudi brojne jednostavne ekološke savjete o potrošnji, energiji, hrani, vodi i otpadnim proizvodima.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen na Malti, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:**  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.roland.ecolifehacks&hl=en&gl=US>



**Alat:** Eevie - Your Climate Guide

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** pametan vodič pažljivo osmišljen kako bi pomogao korisnicima poboljšati njihov utjecaj na ugljik tako što svaki dan provode male promjene i sade šume kako bi kompenzirali ostatak.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen u Njemačkoj, može se koristiti diljem svijeta

**Internetske stranice:**

<https://www.eevie.io/>

<https://play.google.com/store/apps/details?id=io.humboldt.eevie&hl=en&gl=US>



**Alat:** enCOMPASS

**Projekt:** Suradničke preporuke i prilagodljivo upravljanje za personaliziranu uštedu energije

**Opis:** inovativni digitalni alati prilagođeni korisniku kako bi podaci o potrošnji energije bili dostupni i razumljivi za različite dionike na načine koji ih osnažuju da postignu uštede energije i upravljaju svojim potrebama na energetske i troškovno učinkovit način.

**Razina spremnosti tehnologije:** 6 - 9

**Lokacija:** Njemačka, Grčka, Mađarska, Italija, Litva, Rumunjska, Švicarska

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/723059>

<http://www.encompass-project.eu/>



Save me

**Alat:** Environment Challenge

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** mobilna aplikacija koja korisnicima olakšava promjenu ponašanja na ekološki prihvatljiviji način nudeći razne izazove, bodove i razine koje treba postići, uz dnevne vijesti o okolišu. Jedan od izazova je smanjenje potrošnje vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** diljem svijeta

**Internetske stranice:**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=si.enki.tapwaterljubljana&hl=en&gl=US>



**Alat:** Fiware4Water IT platform

**Projekt:** B FIWARE za internetske usluge sljedeće generacije za sektor VODE

**Opis:** IT platforma koja će doprinijeti razvoju inovativnih digitalnih rješenja koja će korisnicima pružiti potrebne informacije i ponuditi prijedloge za promjenu ponašanja i uštedu vode na razini kućanstva.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** Francuska, Njemačka, Grčka, Nizozemska, Rumunjska, Španjolska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/821036>

<https://www.fiware4water.eu/>



## Tematski katalog 4

# FREEWA

**Alat:** FREEWA

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** web platforma i mobilna aplikacija za mapiranje lokacija besplatne pitke vode u cijelom svijetu.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** razvijen u Hrvatskoj, može se koristiti diljem svijeta

**Internetska stranica:** <https://freewa.org/>



**Alat:** IMPREX game

**Projekt:** Poboljšanje predviđanja i upravljanje hidrološkim ekstremima

**Opis:** igra koja ima za cilj podići znanje, svijest i potaknuti promjenu ponašanja građana. Kroz ovu igru korisnik pokušava zaštititi svoj grad i njegove stanovnike od poplava.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Belgija, Njemačka, Grčka, Francuska, Italija, Nizozemska, Španjolska, Švedska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/641811>

<https://www.imprex.arctik.tech/>



**Alat:** ISS-EWATUS

**Projekt:** Integrirani sustav podrške za učinkovito korištenje vode i upravljanje resursima

**Opis:** planiran je informacijski sustav za prikupljanje podataka o korištenju vode kako bi se povećala svijest potrošača o potrošnji vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Grčka, Nizozemska, Poljska, Španjolska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetska stranica:** <https://cordis.europa.eu/project/id/619228>



## iWIDGET

**Alat:** iWIDGET

**Projekt:** Poboljšana učinkovitost vode kroz IKT tehnologije za integrirano upravljanje na strani ponude i potražnje

**Opis:** IT platforma koja doprinosi razvoju inovativnih digitalnih rješenja koja korisnicima pružaju potrebne informacije i nude prijedloge za promjenu ponašanja i uštedu vode na razini kućanstva.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** EU

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/318272>

<http://www.i-widget.eu/>



**Alat:** NAIADES app

**Projekt:** holistički vodni ekosustav za digitalizaciju urbanog vodnog sektora

**Opis:** razvit će se aplikacija čiji je cilj promicanje uključivanja korisnika u aktivnosti očuvanja voda.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** EU

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/820985>

<https://naiades-project.eu/>



**Alat:** NextGen digital tools

**Projekt:** Prema sljedećoj generaciji vodnih sustava i usluga za kružno gospodarstvo

**Opis:** razviti će se i koristiti ozbiljna igra i proširena stvarnost kao impresivni alati za istraživanje kružnog gospodarstva i olakšavanje promjene ponašanja građana i drugih dionika.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** Belgija Francuska, Njemačka, Grčka, Mađarska, Nizozemska, Rumunjska, Španjolska, Švicarska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/776541>

<https://nextgenwater.eu/>





**Alat:** POWER

**Projekt:** Politička i društvena svijest o vodnim ekološkim izazovima

**Opis:** digitalna društvena platforma (DSP) vođena korisnicima koja osigurava uključivanje šireg društva i zajednice znanja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** Njemačka, Izrael, Italija, Nizozemska, Portugal, Španjolska Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/687809>

<https://www.power-h2020.eu/>



SCOREWATER

**Alat:** SCOREwater

**Projekt:** Opservatoriji Smart City provode otporno upravljanje vodama

**Opis:** razvit će se platforma za angažiranje javnosti u stvarnom vremenu o urbanim površinama i kvaliteti otpadnih voda koja promiče ponašanje prihvatljivo za vodu.

**Razina spremnosti tehnologije:** 5 - 7

**Lokacija:** Belgija Francuska, Njemačka, Grčka, Mađarska, Nizozemska, Rumunjska, Španjolska, Švicarska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/820751>

<https://www.scorewater.eu/>



SIM4NEXUS

**Alat:** SIM4NEXUS igra

**Projekt:** Održivo integrirano upravljanje ZA POVEZIVANJE vode-tla-hrane-energije-klime za Europu učinkovitu u potrošnji resursa

**Opis:** igra koja pomaže u učenju o povezivanju pomažući korisnicima razumjeti i istražiti interakcije između upravljanja resursima vode, energije, zemlje i hrane u kontekstu klimatskih promjena.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** EU

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/689150>

<https://www.sim4nexus.eu/page.php?wert=SeriousGame>



## Tematski katalog 4



**Alat:** Smarth2O platforma

**Projekt:** Smart H2O: IKT platforma za korištenje društvenog računalstva za učinkovito upravljanje potrošnjom vode

**Opis:** platforma omogućuje upraviteljima vode da zatvore krug između stvarne razine potrošnje vode i željenih ciljeva, koristeći informacije o tome kako potrošači prilagođavaju svoje ponašanje novim situacijama: novim propisima, novim cijenama vode, pozivanjem na uštedu vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Njemačka, Italija, Rumunjska, Španjolska, Švicarska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/619172>

<https://smarth2o.deib.polimi.it/>



**Alat:** Tap Water Ljubljana

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** mobilna aplikacija koja promiče korištenje besplatne i čiste vode na 17 lokacija diljem Ljubljane.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Slovenija (Ljubljana)

**Internetska stranica:**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=si.enki.tapwaterljubljanah&hl=en&gl=US>

[enki.tapwaterljubljanah&hl=en&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=si.enki.tapwaterljubljanah&hl=en&gl=US)



**Alat:** UrbanWater

**Projekt:** Inteligentni urbani sustav upravljanja vodama

**Opis:** platforma omogućuje cjelokupno bolje upravljanje vodom u urbanim područjima. Platforma koristi krajnjim korisnicima tako što im omogućuje učinkovitije korištenje vode, čime se smanjuje ukupna potrošnja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Hrvatska, Češka, Danska, Francuska, Njemačka, Portugal, Španjolska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetska stranica:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/318602>



**Alat:** WatEner

**Projekt:** nije primjenjivo

**Opis:** web platforma koja poboljšava (svakodnevni) rad i upravljanje vodnim mrežama kroz praćenje performansi u stvarnom vremenu i pametne alate za odlučivanje koji integriraju podatke, modele i stručno znanje. Omogućuje održiviju upotrebu vode, smanjujući ugljični otisak i izaziva općenitu promjenu ponašanja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** EU

**Internetska stranica:** <http://watener.com/>



**Alat:** WATERNOMICS

**Projekt:** IKT za upravljanje vodnim resursima

**Opis:** razvoj i uvođenje IKT-a kao tehnologije koja omogućuje upravljanje vodom kao resursom, povećanje svijesti krajnjih korisnika o očuvanju i utjecaj na promjene u ponašanju te izbjegavanje gubitaka vode lokaliziranjem curenja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Grčka, Italija, Nizozemska, Poljska

**Internetske stranice:**

<http://www.waternomics.com/>

<http://waternomics.eu/>



**Alat:** Water Footprint Network

**Projekt:** N/A

**Opis:** mreža koja cilja koristiti koncept vodenog otiska za promicanje tranzicije prema održivom, pravednom i učinkovitom korištenju vode. Alat za procjenu vodenog otiska besplatna je internetska aplikacija koja pruža jasan uvid u to kako se voda koristi za ljudske potrebe i utjecaje koji proizlaze iz te upotrebe.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** EU

**Internetska stranica:** <https://waterfootprint.org/en/>



## Tematski katalog 4



### Alat: Water Timer

#### Projekt: nije primjenjivo

**Opis:** Mobilna aplikacija koja prati vrijeme tuširanja korisnika, izračunava količinu i cijenu utrošene vode, čime olakšava promjenu ponašanja.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** diljem svijeta

**Internetska stranica:**

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.speedymarks.android.water&hl=en&gl=US>



### Alat: WEAM4I aplikacija

#### Projekt: WEAM4I - Napredno upravljanje vodom i energijom za navodnjavanje

**Opis:** mobilna aplikacija dizajnirana da poljoprivrednicima pruži dostupne informacije, čime olakšava održiviju upotrebu vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Francuska, Njemačka, Nizozemska, Portugal, Španjolska

**Internetska stranica:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/619061>



### Alat: WeSenseIT

#### Projekt: WeSenseIT: Građanski opservatorij vode

**Opis:** mobilne crowdsourcing aplikacije koje potiču zajednice građana da učitavaju, dijele, raspravljaju i ocjenjuju podatke i informacije o svom vodnom okolišu s naglaskom na minimiziranju učinaka kišnih poplava i loše kvalitete vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacije:** Francuska, Italija, Nizozemska, Poljska, Španjolska, Švicarska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/308429>

<https://www.wesenseit.com/>





**Alat:** WIDEST

**Projekt:** Inovacije za vodu kroz širenje iskorištavanja pametnih tehnologija

**Opis:** međusobno povezani IKT sustav za vodnu zajednicu za promicanje širenja i iskorištavanja aktivnosti i rezultata koje financira EU u ovom području.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Belgija, Francuska, Španjolska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetske stranice:**

<https://cordis.europa.eu/project/id/642423>

<https://www.widest.eu/>



**Alat:** WISDOM

**Projekt:** WISDOM - Analitika vode i inteligentno prepoznavanje za optimizirano upravljanje potražnjom

**Opis:** Sustav koji ima za cilj poboljšati svijest kućanstava, poduzeća i društva te potaknuti promjene u ponašanju potrošača.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Francuska, Irska, Italija, Španjolska, Ujedinjena Kraljevina

**Internetska stranica:** <https://cordis.europa.eu/project/id/619795>



**Alat:** WATER BATTLE GAME

**Projekt:** Vitens Innovation Playground

**Opis:** ozbiljna igra koja potiče angažman korisnika i utječe na promjenu ponašanja prema uštedi vode.

**Razina spremnosti tehnologije:** 9

**Lokacija:** Nizozemska

**Internetska stranica:** <https://waterbattle.nl/>



## 2. PAMETNO MJERENJE VODE

U prvom poglavlju ovog Kataloga identificirana su digitalna rješenja koja promiču učinkovito korištenje vode i očuvanje vode utječući na ponašanje korisnika. Ova rješenja temelje se na Internetu stvari (*eng. Internet of things - IoT*), drugim riječima, odnose se na web-bazirane aplikacije, online alate, mobilne aplikacije i drugi softver. Tijekom spomenute analize u fokusu su se našli pametni alati za mjerenje vode kao rješenja koja mogu uvelike utjecati na ponašanje potrošača i promicati učinkovito korištenje vode dok se koriste u različitim gospodarskim sektorima.

Zbog rastuće populacije, kao i promjene načina života i prehrambenih navika koje su povezane s većom potrošnjom vode, potražnja za slatkom vodom u cijelom svijetu značajno je porasla. To je izraženije u urbanim sredinama koje obično imaju veću gustoću naseljenosti zajedno s proizvodnim industrijama koje obično troše velike količine vode. Općenito, opskrba svježom vodom u urbanim područjima za kućnu i industrijsku upotrebu postala je izazovnija. Stoga su mnoga komunalna društva započela digitalnu tranziciju usvajanjem različitih tehnologija pametnog mjerenja, tj. rješenja za automatizirano očitavanje brojila (*eng. automatic meter reading - AMR*) na početku i prelaskom na naprednu infrastrukturu mjerenja temeljenu na IoT-u. Implementacija infrastrukture pametnog mjerenja vode (*eng. smart water metering - SWM*) omogućuje komunalnim društvima brže i učinkovitije prikupljanje podataka i općenito povećava angažman potrošača dopuštajući im vizualizaciju i predviđanje svoje potrošnje. Sukladno tome, implementacija pametnih brojila i započeta promjena ponašanja utjecat će na veće uštede vode kako za komunalna društva, tako i za potrošače. Također će pružiti bolje razumijevanje potrebne digitalizacije u industriji vode, kao i prednosti i ograničenja koje ona donosi.

Stoga drugo poglavlje Kataloga predstavlja pregled tehnologije pametnog mjerenja vode s obzirom na uporabu, zahtjeve konstrukcije i primjene, područja primjene, razlike između sustava na tržištu te troškove i koristi. Također, prikazano je nekoliko primjera i studija slučaja te stanje u Hrvatskoj.

### 2.1. Lanac vrijednosti pametne vode

Prije daljnje razrade pametnih vodnih usluga, važno je predstaviti i protumačiti lanac vrijednosti pametne vode i njegove dionike zajedno s njihovim željenim potrebama iz ove nove tehnologije.

Tablica 3. Lanac vrijednosti pametne vode

Potrošač	Namjena	Regulacija	Vanjske sile
Potrošnja	Distribucija	Pravni parametri	Klimatske promjene
Naplata	Upravljanje kvalitetom	Pokretači tehnologije	Tehnologija
Ugradnja	Angažman potrošača	Kontrole cijena	Izvori vode

Komunikacije



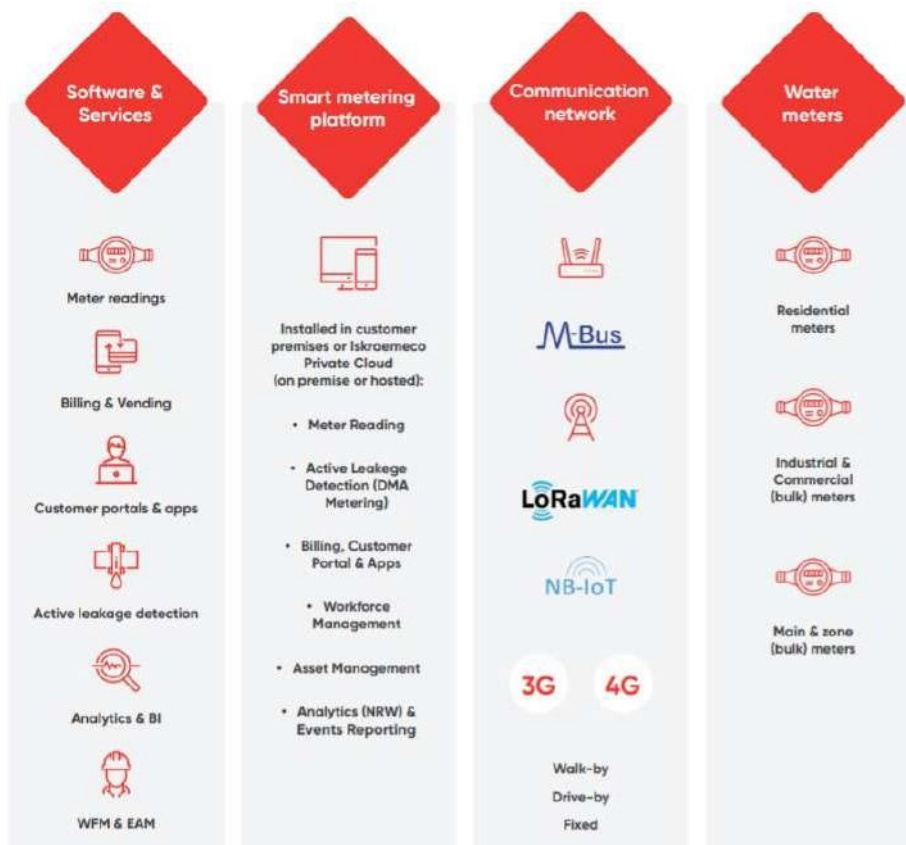
## Tematski katalog 4

Glavna zabrinutost potrošača je potrošnja i kvaliteta vodoopskrbe na koju utječu lokacija, curenja i prekomjerna potrošnja vode. To podrazumijeva da je sustav naplate točan i da je instalacija dostupna. Povezano pametno brojilo rješava ove probleme uz minimalne intervencije. S druge strane, za vodoopskrbna društva, koja predstavljaju središnji dio lanca vrijednosti pametne vode, pametna brojila mogu se koristiti kao pomoć u različitim aspektima njihovog poslovanja - što uključuje pojednostavljenje distribucije, osiguranje kvalitete vode i povećanje angažmana potrošača. Vodovodna društva moraju poslovati u reguliranom okruženju, što znači da moraju zadovoljiti ključne pokazatelje uspješnosti koje postavljaju lokalni kreatori politike. Vodovodno društvo mora redovito izvještavati o izvedbi ovih mjera. Kreatori politike također mogu postaviti nove mjere za rješavanje specifičnih pitanja unutar lokalnog tržišta vode, kao što su cijene vode. Vanjske sile su nešto što komunalna društva, regulatori i potrošači ne mogu kontrolirati, ali im se moraju prilagoditi. IoT senzori i pametna brojila ključni su za transformaciju industrije vode kako bi se suočila s takvim izazovima. Posljednje komunikacije i tehnologija velikih podataka pokreću uspjeh pametnog mjerenja vode i pametnih vodovodnih mreža (mobilni IoT). Vodovodna društva moraju biti sigurna da njihov izbor tehnologije odgovara svrsi i da će pružiti osnovu za izgradnju novih usluga u budućnosti. Svi dionici u lancu vrijednosti trebali bi tražiti međusobni odnos koji omogućuje fleksibilnost vodnih usluga i korištenje tehnologije za stvaranje učinkovitosti, izgradnju boljih usluga i održavanje zadovoljstva korisnika.

## 2.2. Što je pametno mjerenje vode?

Tehnologija pametnog mjerenja vode sastoji se od niza koordiniranih pametnih brojila, od komunikacija do upravljanja podacima i softverskih usluga, a sve je prikazano slici dolje.

Slika 1: Sustav pametnog mjerenja vode



Izvor: [www.iskraemeco.com/app/uploads/2020/10/IE\\_Smart-Water-Management-Solution.pdf](http://www.iskraemeco.com/app/uploads/2020/10/IE_Smart-Water-Management-Solution.pdf)



Pametno brojilo ne samo da mjeri protok vode, već također koristi bežičnu komunikaciju za povezivanje s lokalnim ili širim mrežama, čime omogućuje daljinsko praćenje lokacije i održavanje infrastrukture kroz otkrivanje curenja i na taj način povećava vremensku učinkovitost i primjerenost. Pametni sustav mjerenja vode ne samo da pruža česte i točne podatke 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu, već također omogućuje automatsku naplatu i upravljanje korisnicima, uključujući otkrivanje i zaštitu od pokušaja neovlaštenog pristupa. To znači da potrošači mogu pristupiti svojim informacijama putem interneta - što im daje veću kontrolu nad potrošnjom vode i računima. Pametna brojila uklanjaju potrebu za ručnim očitanjima i procijenjenim računima. Napajaju se baterijama i stoga uređaji male snage igraju ključnu ulogu u definiranju konfiguracije sustava.

## 2.3. Zahtjevi izgradnje i primjene pametnog mjerenja vode

Kao što je već spomenuto, sustav pametnog mjerenja vode sastoji se od nekoliko komponenti koje se moraju integrirati u postojeće sustave koje koriste vodne komunalna društva, kao što su informacijski sustavi korisnika i upravljanje radom. Drugim riječima, sinkronizacija potrošača, inventara uređaja i podataka o potrošnji s postojećim sustavom. Stoga se zahtjevi izgradnje i primjene promatraju s aspekta pametnih brojila, mreža i softvera/usluga.

### 2.3.1. Ugradnja pametnog brojila

Brojila se obično nalaze na teško dostupnim mjestima, poput podzemnih pristupnih rupa, podruma i općenito na granicama posjeda. To otežava ugradnju pametnog brojila jer nema pristupa strujnim ili komunikacijskim mrežama unutar kuće. Uz implementaciju tehnologije pametnog mjerenja, prikupljanje podataka moguće je bez odlaska na mjesto brojila. Ipak, postoje određeni zahtjevi izgradnje koje je potrebno ispuniti prilikom prve ugradnje pametnog brojila. Drugim riječima, zamjena starog brojila novim zahtijeva nakratko isključenje vodoopskrbe. U većini slučajeva instalacija bi trebala trajati manje od trideset minuta. Kada se ugradi novo brojilo, osoba koja ga ugrađuje mora ga ispitati kako bi se uvjerila da radi. Za korisnike koji nisu domaćinstva, ugradnja može potrajati i do nekoliko sati, a prekid vodoopskrbe može biti duži. Naravno, važno je naglasiti da su ovi uređaji opremljeni sensorima, baterijama, mikrokontrolerom, odgovarajućim fizičkim/bežičnim konektorom i drugim neobaveznim funkcijama. Nakon prikupljanja podataka o potrošnji, uređaj pohranjuje očitavanja u nepromjenjivu memoriju i prenosi podatke na dispečerski poslužitelj preko različitih komunikacijskih mreža.

### 2.3.2. Mreža

Komunikacijska mreža jednostavna mreža u nelicenciranom pojasu s niskom potražnjom za energijom i vrlo dobrom penetracijom i pokrivenošću. Preneseni podaci su ograničeni, što omogućuje komunikaciju s više uređaja s jedne bazne stanice. Također, mora se potvrditi vjerodostojnost komunikacije sa svakim uređajem i komunikacija mora biti zaštićena zaporkom u ultra uskom frekvencijskom pojasu s frekvencijskim skokom koji osigurava visoku sigurnost i otpornost na buku. Vrste korištenih komunikacijskih mreža uključuju LoRA, M-Bus, Sigfox, NB-IoT ili se mogu koristiti mobilne mreže GSM/GPRS, LTE, ZigBee, pa čak i 5G.





### 2.3.3. Softver/usluge

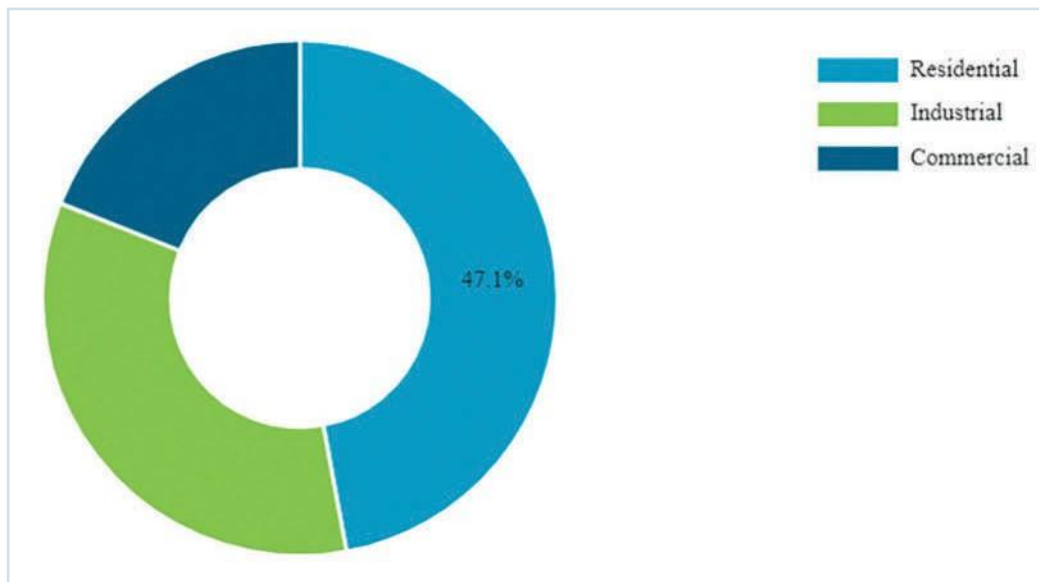
Arhitektura softvera ima više zakupnika i više dobavljača s prilagodljivom i fleksibilnom infrastrukturom za naprednu analitiku podataka. Dok bi korisničko sučelje temeljeno na webu, obično online platforma, trebalo biti moderno i brzo reagirati, što podržava mogućnost pristupa i dosljednost izgleda i osjećaja s računala i mobilnih uređaja. Neki proizvođači pametnih brojila ili pametnih digitalnih rješenja za vodu nude vlastite platforme za praćenje podataka kao što su Advizzo, Deepki ili ADGT sa svojom platformom IOT24.eu, kako je prethodno objašnjeno u ovom Katalogu.

## 2.4. Područja primjene

Glavna prednost pametnih brojila je točnost naplate i njihova učinkovitost koja privlači brojne potrošače. Ne samo komunalna društva i stambeni potrošači, već i industrije koje koriste veliku količinu vode, npr. poljoprivreda, tekstilna industrija, uslužni sektor i druge.

Prema analizi tržišta pametnih brojila koje je provelo društvo Fortune Business Insight za razdoblje 2015. - 2026., europsko tržište pametnih brojila (*eng. smart water meters - SWM*) vrijedilo je 0,48 milijardi dolara u 2018., dok je veličina globalnog tržišta iznosila 1,38 milijardi dolara. Predviđa se da će do 2026. godine globalno tržište dosegnuti 3,07 milijardi USD. Zbog činjenice da ova tehnologija svake godine privlači sve više potrošača, gledajući područje primjene, čini se da je tržište podijeljeno u tri dijela: stambeni, poslovni i industrijski.

Slika 2. Globalni tržišni udio SWM-a prema području primjene u 2018.



Izvor: [www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-water-metering-market-100776](http://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/smart-water-metering-market-100776)



Očekuje se i predviđa da će stambeni sektor kao i proteklih godina dominirati tržištem. Razlog tome je povećanje potrošača u sektoru - povećanje broja stanovnika i urbanizacija u mnogim zemljama. Nakon stambenog sektora, industrijski je drugo najveće područje primjene. To je zbog toga što je voda jedna od osnovnih sirovina i rashladnih sredstava u mnogim industrijama diljem svijeta.

Pametna brojila mogu se podijeliti na stambena, komercijalna i industrijska, kao i glavna ili zonska brojila. Glavna razlika između njih je u tehničkoj arhitekturi (dimenzioniranju) mjernog uređaja koja varira ovisno o potrebnoj pokrivenosti protoka vode, učinkovitosti, trajnosti, lokaciji, nastalim fluktuacijama itd., čime istovremeno osiguravaju optimalne prihode.

### 2.4.1. Primjeri

Kao što je već objašnjeno, tehnologija pametnog mjerenja vode može se implementirati u različitim sektorima. Na primjer, zbog korištenja pametnog mjerenja, hotel Djordan u Sofiji procijenio je da su im se godišnji računi za vodu smanjili za 15 %. Icade, društvo za nekretnine, zabilježila je smanjenje GHG-a od 27% od 2015. godine, dok je društvo Cromwell property group smanjilo energetske intenzitet za 7 % samo u 2020 godini. Kada je riječ o industrijskom sektoru, zabilježene su uštede energije (struja, voda i emisije stakleničkih plinova) u velikim korporacijama. Na primjer, korištenjem mjera za uštedu vode i politika koje uključuju otkrivanje curenja, društvo Ferrero uštedilo je više od 4 milijuna četvornih metara vode. Nadalje, društvo Johnson & Johnson smanjilo je globalno povlačenje vode za 22 % u periodu od 2010. do 2019., dok je u istom razdoblju Boortmalt pod društvom Axereal ostvario 30 % uštede u ukupnoj potrošnji energije.



## 2.5. Učinci pametnog mjerenja vode na promjenu ponašanja potrošača

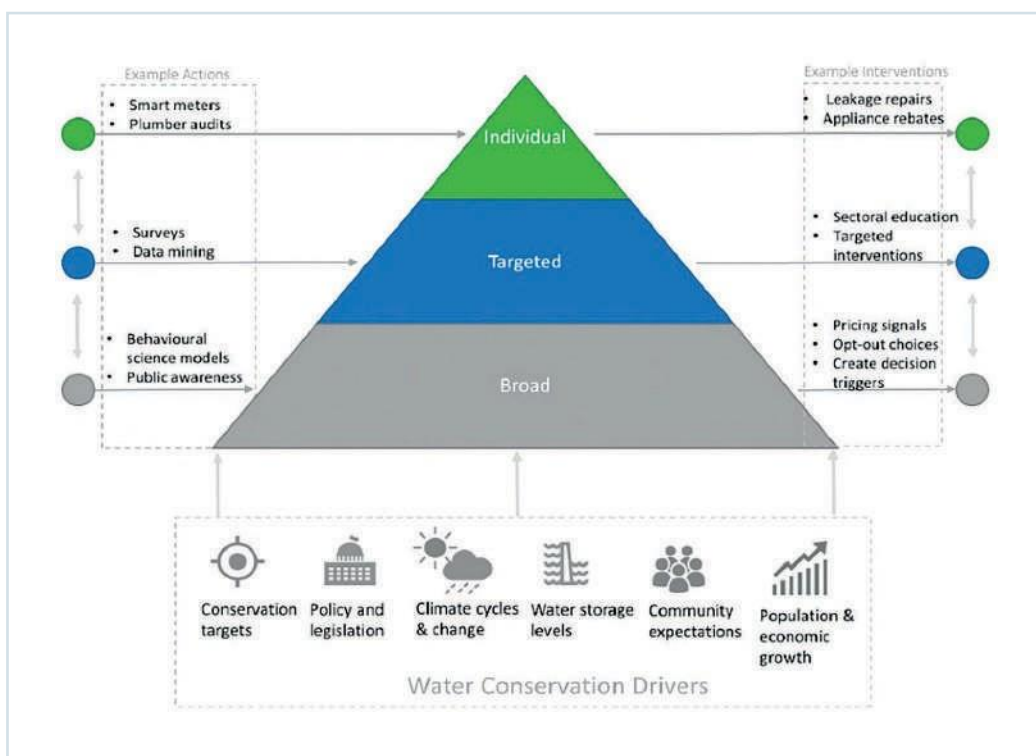
U prethodnom poglavlju prikazani su troškovi i prednosti tehnologije pametnog mjerenja vode. Kao što je prikazano, ova tehnologija ne samo da donosi financijske uštede potrošačima, već povećava i njihovo zadovoljstvo, sigurnost i naklonost (*eng. goodwill*). Stoga se može sa sigurnošću pretpostaviti da ova tehnologija, posebice digitalni alati koji omogućuju praćenje individualne potrošnje, utječu na ponašanje potrošača mijenjajući ga prema učinkovitijem i održivijem. Ovo je samo produžetak sveukupne društveno-ekonomske promjene ponašanja koja je potaknuta u posljednjem desetljeću. Zbog izazivanja klimatskih promjena, problemi nestašice pitke vode i jakih suša prisutni su diljem svijeta.

Stoga komunalna društva i vlade diljem svijeta pokušavaju stimulirati ponašanje u pogledu očuvanja vode podizanjem svijesti o pitanjima vezanim za vodu i provođenjem pametnih sustava mjerenja vode i promicanjem digitalnih alata. Na primjer, javne medijske kampanje u Barceloni tijekom nekoliko godina postigle su gotovo potpunu svijest (92 %) o učincima teške suše i povezane potrebe za očuvanjem vode. Štoviše, gotovo dvije trećine stanovništva izjavilo je da je poduzelo mjere za smanjenje potrošnje vode, iako je većina radnji bila u obliku promjena ponašanja, poput kraćeg tuširanja (74 %), zatvaranja slavine tijekom pranja zubi (67 %) i korištenje perilice rublja samo kad je puna (49 %). Potencijalni utjecaj na uštedu vode mogu imati fleksibilne cijene vode i uređaji s učinkovitom potrošnjom vode. Na primjer, studija u Australiji pokazala je smanjenje potražnje za vodom za 80 % zbog korištenja spremnika za kišnicu. Usvajanje tehnologije pametnog mjerenja vode smanjilo je potražnju za vodom pružajući potrošačima uvid u njihove profile potrošnje, upozorenja o curenju i savjete za bolje upravljanje vodom. Korištenje pametnih brojila omogućuje bolje cijene, preciznu naplatu i personalizirane poruke koje mogu poboljšati potencijal uštede vode implementacije i smanjiti učinak kompenzacijskog ponašanja. Gore navedene koristi za potrošače/zajedničke koristi predstavljaju neke primjere smanjenja potrošnje vode kao rezultat implementacije pametnog mjerenja vode.

Digitalna rješenja navedena u ovom Katalogu imaju za cilj promjenu ponašanja građana/potrošača promicanjem učinkovitog korištenja i očuvanja vode putem različitih platformi (Fiware4Water, Freewa, iWIDGET, itd.), online alata poput Castwatera, raznih mobilnih aplikacija (Eevie, Eco life hacks, Environment challenge, itd.) i online igara kao što su Iprex i DWC Game Nexus. Na primjer, korisnici mobilne aplikacije Dropcountr štede do 9 % mjesečne vode, dok je korištenje rješenja društva Advizzo, koja nude personalizirane savjete za promjenu ponašanja, rezultiralo godišnjim uštedama energije od 6 - 9 % po kućanstvu.



Slika 9. Pokretači očuvanja vode i razine intervencije



Izvor: [https://www.researchgate.net/publication/328495243\\_Promoting\\_Water\\_Conservation\\_Where\\_to\\_from\\_here](https://www.researchgate.net/publication/328495243_Promoting_Water_Conservation_Where_to_from_here)

Slika 9 prikazuje vrste radnji koje se mogu primijeniti za intervencije na spektru od široko utemeljenih pristupa koji nastoje oblikovati potražnju za vodom svih potrošača, do ciljanijih pristupa u određenim sektorima ili skupinama koje su identificirane kao skupine koje su spremne prihvatiti mjere očuvanja vode, i konačno, radnje na razini pojedinog potrošača.





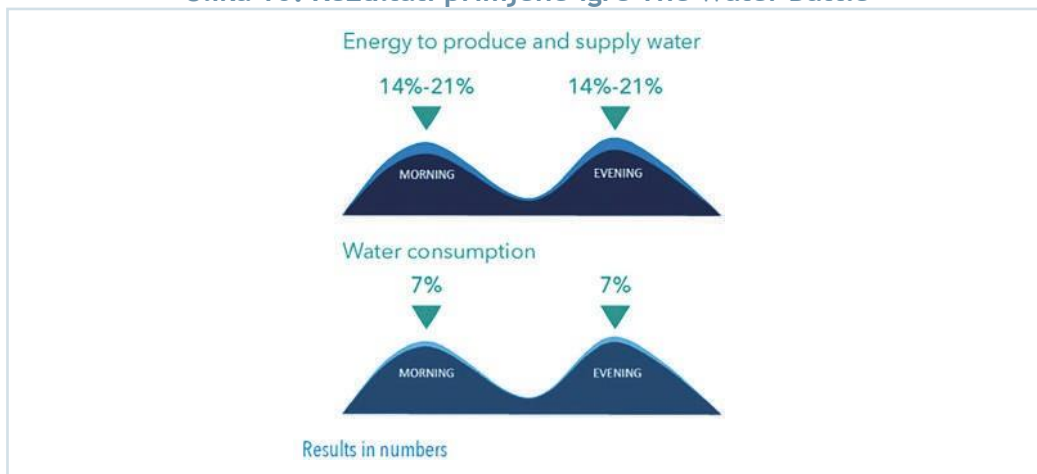
## 2.5.1. Primjer

Vitens je najveće društvo za pitku vodu u Nizozemskoj i godišnje isporučuje 350 milijuna m<sup>3</sup> vode kroz 100 uređaja za pročišćavanje vode i 49 000 km vodovoda. Kao vodeći u industriji vode, društvo Vitens počelo je razmišljati izvan okvira o tome kako najbolje utjecati na ljudsko ponašanje i može li to smanjiti vršnu upotrebu unutar njihove mreže, što bi zauzvrat zaštitilo životni vijek njihove infrastrukture. Društvo Vitens željelo je vidjeti mogu li utjecati na ljudsko ponašanje korištenjem inovativne tehnologije i ozbiljnih igara. Drugi ključni čimbenik za korisnost bilo je razumijevanje moći mlađih generacija; kad jednom nauče ponašanje, mogu li naučiti starije generacije da se isto ponašaju? Ovaj aspekt probe također bi pomogao društvu Vitens u daljnjem razvoju dubinskog angažmana potrošača, što je neprocjenjivo bogatstvo za kontinuirani razvoj robne marke. Više tehnički aspekt izazova društva bila je potreba da se identificiraju i izravnavaju vršne potrošnje u mreži u ključnim trenucima. To bi društvu također omogućilo poboljšanje veličine mreže što bi zauzvrat omogućilo povećanje ukupne učinkovitosti. Kada bi društvo Vitens koristio pametne senzore za vodu, podaci koje su prenosili unutar mreže omogućili bi im razumijevanje tehničkih zahtjeva u vezi s protokom vode/potrebnom potražnjom kako bi se pomoglo utjecanju na razmišljanje i ponašanje potrošača.

Kao moguće rješenje, društvo Vitens odlučilo je provesti ispitivanje u razdoblju od 3 mjeseca sa 180 sudionika. Koristeći inovativnu tehnologiju u svojim vodovodnim mrežama, pametna mreža društva sastojala se od 300 senzora, preko 9000 km infrastrukture s namjenskom IT infrastrukturom i najsuvremenijom kontrolnom sobom. Ispitivanje je provedeno u gradu Leeuwarden u sjevernoj Nizozemskoj, kojeg je društvo Vitens nazvalo „Igralište Inovacija Društva Vitens“. Podaci su prikupljeni pametnim brojilima i prebačeni na server za igre putem radio sustava FlexNet™. Ključna razlika u odnosu na bilo koje drugo prethodno ispitivanje je u tome što je komunalni program koristio moć igranja kako bi utjecao na ljudsko ponašanje, ali je također dao dodatne informacije o vremenima vršne upotrebe unutar mreže i kako bi ona mogla promijeniti potrošačku potražnju na lokalitetu.

Rezultati tromjesečnog ispitivanja bili su obećavajući. Ne samo da je 83 % sudionika navelo da su dobili bolji uvid u vlastitu potrošnju vode, već se i svijest o važnosti smanjenja vršne potrošnje povećala sa 40 % na 90 %. Drugi važan cilj kojeg je komunalno društvo imalo bio je poboljšati veličinu mreže i vršnu upotrebu, zaštititi infrastrukturu i zdravlje vode u mreži. Tijekom ispitivanja došlo je do 14 - 21 % smanjenja potrošnje energije za opskrbu vodom ujutro i navečer, te 7 % smanjenja potrošnje vode u vršnim trenucima. Za društvo Vitens, smanjenje potrošnje vode za 7 % znači uštedu 23 milijuna kubika godišnje.

Slika 10. Rezultati primjene igre The Water Battle



Izvor: <https://sensus.com/emea/resources/case-studies/influencing-human-behavior-reducing-peak-consumption/>



#### WEB STRANICA PROJEKTA

<https://www.interreg-central.eu/Content.Node/CWC.html>

#### DRUŠTVENE MREŽE

<https://www.facebook.com/citywatercircles/>

<https://twitter.com/CirclesCity>

<https://www.instagram.com/citywatercircles/>

**City Water Circles**  
transnacionalni online priručnik o kružnom  
upravljanju i korištenju urbanih voda

2021.