

Dosezi primjene kružnog gospodarstva u uporabi resursa urbanog vodnog sustava

Jure Margeta¹

¹Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Matice Hrvatske 15, 21000 Split

***Sažetak:** Rastući ekološki problemi, zajedno s nestašicom vode i hrane, te energetsom krizom nalažu da se svi raspoloživi resursi u urbanom vodnom sustavu (UVS) oporabe primjenom koncepta kružnog gospodarstva. Kruženje vode i drugih resursa UVS-a se već dugo prakticira posebno u individualnim i manjim sustavima. Međutim, primjena u većim UVS/gradovima je još uvijek nedovoljna zbog niza prepreka i nerazumijevanja iako je EU politika poticajna. Kružno gospodarstvo ima pozitivni utjecaj na ostvarenje lokalnih i globalnih ciljeva održivosti, ali je uspješna primjena složena zbog brojnih zapreka, tehnoloških, ekonomskih i društvenih. Zato je nužno primijeniti lokalno održivi koncept uvažavajući specifični prirodni, društveni, ekonomski i tehnološki okvir i njihove međudnose. Najveći problem je procjena kumulativnog utjecaja na održivost, to jest odnosa ekonomskih i ekoloških vrijednosti i troškova. U radu se raspravlja o potencijalima UVS-a kao lokalnog resursa hranjivih tvari, vode i energije, te se razmatra mogući pristup izbora lokalno održivog koncepta uporabe.*

***Ključne riječi:** urbani vodni sustav, kružno gospodarstvo, održivost, kumulativni utjecaj*

1. Uvod

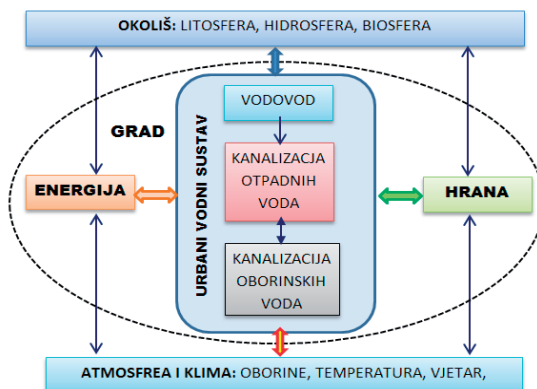
Projekcije pokazuju da će do 2050. godine dvije trećine svjetskog stanovništva živjeti u urbanim područjima, stvarajući veliku potražnju za pouzdanim i održivim urbanim vodnim sustavom (UVS) [1]. Hrvatska u tome neće biti izuzetak. Izazovi povezani s opskrbom vodom, hranom i energijom u urbanim područjima imaju širok raspon učinaka koji se širi kroz društvo, gospodarstvo i okoliš. Gradovi imaju veliku ulogu u nacionalnim ekonomijama, a istovremeno su veliki potrošač zemljišta, vode, hrane i energije, te niza drugih dobara i time izvor najvećih lokalnih i globalnih promjena u prirodnom okolišu (urbanizacija, klima, biološka raznolikost, sječa šuma, onečišćenje, itd.). Zauzimaju mali prostor na kojem koncentriraju imovinu i ljude. Imaju

specifičnu dinamiku aktivnosti i življenja, to jest “ubrani metabolizam”, značajno suprotnu u odnosu na prirodni okoliš. Ta suprotnost, zajedno s klimatskim izazovima, sve više ugrožava održivost gradova, te uzrokuje velike probleme u opskrbi vodom, hranom i energijom kao i sigurnosti od prirodnih katastrofa. Urbanizacija i klimatske promjene mijenjaju režim otjecanja voda u riječnom sustavu i gradu, što stalno povećava rizik od poplava i suša. Gradovi, to jest domaćinstva, promet, industrija i ostala privreda, glavni su uzrok onečišćenja okoliša. Zbog ispuštanja nepročišćene otpadne vode, incidentnog izlivanja kanalizacije, otjecanja onečišćenih oborinskih voda, nekontroliranog odlaganja otpada i ispuštanjem stakleničkih i drugih plinova, dolazi do pogoršanja kvalitete zraka, kakvoće voda, rasta temperature i smanjenja biološke raznolikosti okoliša. Takvo stanje uzrokuje posljedice za ljude i gospodarstvo, ugrožava održivost i negativno utječe na zdravlje ljudi i prirode.

U novije doba UVS je sve više pod utjecajem promjenjive raspoloživosti resursa i potreba (sredstava za život), te ekstremnih vremenskih stanja i ugroza koje se zbog klimatskih promjena i urbanizacije prostora povećavaju. Prirodne katastrofe donose previše ili nedovoljno vode, te oštećuju vodnu infrastrukturu, ugrožavaju opskrbu vodom, hranom i energijom. Zato je potrebno provesti sveobuhvatnu prilagodbu i jačanje otpornosti kojom će se ostvariti održivost življenja u gradovima i sigurnost prirodnog okoliša. Odgovor na prijetnje se realizira kroz provedbu politike kružnog gospodarstva i klimatske neutralnosti čime se doprinosi ostvarenju globalnih ciljeva održivosti [1]. Kružno gospodarstvo stvara planski okvir za redefiniranje rasta i razvoj gospodarstva kroz obnavljanje i regeneriranje resursa, donoseći tako dobrobit društvu, okolišu i ekonomiji [2]. Principi kružnog gospodarstva nude priliku za rješavanje problema održivosti UVS-a i urbane sredine, jer podržavaju sustavnu transformaciju načina pružanja vodno-komunalnih usluga kroz jedan više održiv, poticajan i učinkovit način. Time pomažu u prevladavanju izazova proizašlih iz sve većeg nedostatka resursa u odnosu na rastuću potražnju, te smanjenja sigurnosti okoliša. Kruženjem, to jest vraćanjem u ciklus ponovne uporabe resursa, smanjuju se potrebe, stvara dodatna vrijednost prirodnih resursa i podržava održivost ekosustava, te razvoj novih gospodarskih aktivnosti i zapošljavanje [2]. Isto tako, smanjuje se ulaz/dobava resursa što jača sigurnost opskrbe u slučaju poremećaja u opskrbnim lancima, ublažava vremenska varijabilnost dobave i smanjuje ranjivost UVS-ova, posebno u turističkim područjima s izrazito sezonskim potrebama, te istovremeno ublažava utjecaj klimatskih varijabilnosti na raspoloživost resursa. Koristi su brojne ali se ne ostvaruju bez značajnih ulaganja. Održivost u urbanim sredinama ima i svoju cijenu koju stanovnici trebaju platiti.

Primjena kružnog gospodarstva zahtjeva multidisciplinarni i sustavan pristup, koji uvažava lokane i regionalne potrebe, te značajke podneblja. Nužno je otpornost implementirati u kružnu strategiju kao odgovor na neizvjesne šokove i stresore, klimatske i ne klimatske, kao što su promjene u potražnji, korištenje zemljišta, ekstremne vremenske prilike, demografija i epidemije, a sve kako bi se izbjegli neželjeni učinci

prekida pružanja osnovnih komunalnih usluga. Zato infrastrukturni sustavi trebaju moći predvidjeti, apsorbirati, prilagoditi se i brzo oporaviti kako bi nastavili s pružanjem usluga.



Slika 1: UVS, okoliš i egzistencijalni resursi

Moderni pristup u upravljanju procesima vezanim uz ulaz, transformaciju/potrošnju i izlaz resursa podrazumijeva integraciju resursa i infrastrukture, te upravljanje procesima kruženja unutar urbane sredine kao i urbane sredine i okoliša, Slika 1. Veća varijabilnost potreba, ograničenost resursa i onečišćenje zahtijevaju viši stupanj kruženja resursa i kontrolu procesa čije ponašanje ima karakter slučajnosti, promjenjivosti i nepredvidivosti. Posljedice su ekološke, ekonomske i društvene. Sve treba biti dugoročno održivo u neizvjesnoj klimatskoj i društveno-ekonomskoj budućnosti. Nužna je provedba kruženja resursa UVS-a unutar urbanog kao i prirodnog sustava.

Politički, normativni i stručni okvir za uporabu resursa UVS-a je definiran i zastupljen na svim političkim razinama, od UN-a, EU, nacionalnih država do lokalnih zajednica. Na raspolaganju su brojne smjernice, knjige, priručnici, obrazovni materijal svih oblika i namjene, znanstveni radovi i slično, jer su upravljanje UVS-om, uporaba i obnova resursa nužni za ostvarenje ciljeva održivosti definiranih u UN-ovoj Agendi 2030 [1], europskom zelenom planu [3] i Planu za resursno učinkovitu Europu. UVS doprinosi ostvarenju UN-ovih ciljeva održivosti: 2 smanjiti glad, 3 zdravlje i blagostanje, 6 čista voda i sanitarni uvjeti, 7 pristupačna energija iz čistih izvora, 11 održivi gradovi i zajednice, 13 zaštita klime, 14 očuvanje vodnog svijeta. Nadalje, Uredbom o taksonomiji utvrđuje se šest klimatskih i ekoloških ciljeva od kojih bar jedan treba ostvariti da bi se ekonomija proglasila ekološki održivom [4]. To su: 1. Ublažavanje klimatskih promjena; 2. Prilagodba na klimatske promjene; 3. Održivo korištenje i zaštita vodnih i morskih resursa; 4. Prelazak na kružno gospodarstvo;

5. Sprečavanje i kontrola onečišćenja; 6. Zdrav ekosustav. Aktivnosti upravljanja UVS-om, a posebno aktivnosti uporabe resursa, izravno ili neizravno, imaju potencijal koji pridonosi ostvarenju navedenih ciljeva. To je vrlo važni segment sigurnosne politike zemalja i zajednica u sve složenijim globalnim izazovima koji proizlaze iz ubrzanog rasta stanovništva, te posljedica uzrokovanih klimatskim promjenama na nedostatak osnovnih sredstava za život.

Da bi se postigla održivost življenja i sigurnost okoliša, UVS sustavi su se stalno unaprjeđivali. Naglasak je na razvoju i primjeni integralnog koncepta UVS-a koji ima za cilj maksimalno iskoristiti vode koje teku u sustavu [5,6]. To je takozvani koncept “*one water*” u kojem se daje jednaka važnost svim vodama [7]. Zatim se održivost grada nastoji ojačati razvojem pametnih UVS koji su infrastrukturni element pametnih gradova. Cilj je ostvariti održivu vodoopskrbu kroz recikliranje korištene vode i korištenje oborinskih voda, smanjiti količine otpadnih voda i primijeniti pročišćavanje voda i tako smanjiti onečišćenje okoliša i voda primjenom zelenih rješenja, te smanjiti količine oborinskih voda i onečišćenje kroz recikliranje površinskih i oborinskih voda te primjenu zelenih sustava odvodnje [8]. Uz to, jačanje održivosti se potiče integriranjem primjene kružnog gospodarstva sa sličnim infrastrukturnim sustavima, kao što je to sustav zbrinjavanja krutog otpada, elektroopskrbe, itd. Sve se radi da bi se ostvario održivi UVS kao ključna infrastruktura za podršku življenja u modernim naseljima [9]. Nastoji se istovremeno povećati recikliranje resursa i učinkovitost UVS-a. Kao prioritet se naglašava uporaba resursa iz sustava odvodnje i pročišćavanja komunalnih otpadnih voda, jer uporaba otpadnih voda ima najveći utjecaj na jačanje opskrbe vodom, hranom i energijom te na smanjenje onečišćenja okoliša i ispuštanja stakleničkih plinova [10].

U ovom radu se diskutira raspoloživost sredstava za život koje UVS pruža, specifičnosti procesa i mogućnosti uporabe u vodoopskrbnom sustavu, sustavu odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda i odvodnje oborinskih voda. Razmatraju se teoretski i praktični dosezi primjene Kružnog gospodarstva, te potrebna metodologija donošenja odluka i alati za odabir lokalno prihvatljive politike upravljanja UVS-om, a koja integrira relevantne bliske europske politike upravljanja hranom, vodom i energetskim resursima.

2. Razvoj uporabe resursa urbanog vodnog sustava

Urbani vodni sustav se sastoji od tri osnovne infrastrukturne cjeline: vodovoda, kanalizacije otpadnih voda i pročišćavanja, te kanalizacije oborinskih voda, Slika 1. Ove cjeline su hijerarhijski ustrojene kretanjem energije i mase vode i tvari kroz UVS i međusobno su povezane u jedinstveni urbani vodni ciklus koji je ulazom i izlazom prekogranično povezan s vodnim resursima podneblja grada [6]. Vodovod ima funkciju opskrbe ljudi i grada pitkom vodom koju zahvaća u vodnim resursima.

Zahvaćena voda se obrađuje da bi zadovoljila standard vode za piće. Nakon korištenja pitka voda postaje otpadna voda koja otječe u kanalizaciju otpadnih voda i s njom do uređaja za pročišćavanje gdje se pročišćava i nakon tog ispušta u vodne resurse. To je stalni, ali vremenski promjenjivi jednosmjerni tok vode iz prirodnih vodnih resursa u grad i natrag iz grada u vodne resurse. Tok je u direktnoj funkciji s režimom/dinamikom potrošnje vode u gradu. Kretanje vode je kontrolirano jer se sustavom upravlja. Kontrolira se količina i kakvoća vode, te energija vode u sustavu. Energija je nužna da bi se voda mogla transportirati od zahvata do postrojenja za obradu vode za piće, pogon postrojenja, te dalje do potrošača, te nakon korištenja za sakupljanje i transport otpadnih voda do uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, pogon uređaja i potom za ispuštanje vode u vodne resurse. Visinske razlike kao i udaljenosti između zahvata i korisnika vode su velike te je nužna električna energija za rad sustava. Gravitacijski transport vode se odvija uglavnom u jednom dijelu kanalizacijske mreže otpadnih voda. Međutim, zbog potreba objedinjavanja svih otpadnih voda na uređaju za pročišćavanje, potrebna je primjena crpnih stanica i time potrošnja električne energije. Pogon postrojenja za obradu vode za piće kao i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda zahtjeva korištenje energije. Zato su vodovod i kanalizacija otpadnih voda veliki potrošači električne energije. Bez električne energije moderni sustavi ne mogu funkcionirati i nisu pogonski održivi.

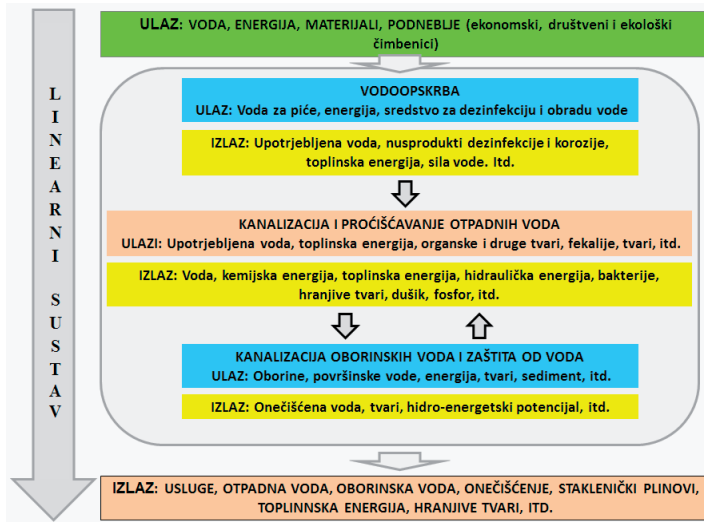
Kanalizacija oborinskih voda također ima jednosmjerno kretanje vode. Ulaz u sustav je kiša koja pada na površinu grada i pripadajuće šire slivno područje s kojeg voda dotječe u grad. Nastale površinske vode otječu površinom grada do slivnika koji hvataju vode i ispuštaju ih u kanalski sustav odvodnje oborinskih voda koji ih odvodi do ispusta u vodne resurse. Otjecanje se javlja samo kad padaju oborine. Zato je proces otjecanja povremen (stohastičan) i uglavnom nekontroliran, a određuje ga intenzitet oborina, slivna površina, te gravitacijska potencijalna energija sustava odvodnje. Radi objedinjavanja voda ponegdje je potrebno izgraditi sabirne bazene i crpne stanice. Oborinska kanalizacija također ima uređaje za pročišćavanje sakupljenih voda. To su najčešće lokalni/mrežni mastolovi i pjeskolovi, recimo na parkiralištima, te retencijski bazeni različite izvedbe i namjene (s pročišćavanjem ili bez njega) [11]. Oborinska kanalizacija u pravilu nije veliki potrošač električne energije jer otjecanje traje relativno kratko, samo kad pada kiša.

Sustav odvodnje urbanih voda može biti mješovit, razdjelni ili polurazdjelni. U mješovitom sustavu otpadne i oborinske vode se odvede istim kanalima. To su stari kanalizacijski sustavi koji su jednostavni i jeftini za gradnju ako se ispuštanje otpadnih voda ne kontrolira. Sustav nije prikladan za oporabu resursa prvenstveno zbog promjenjivog režima voda (sušni, kišni) i zbog nepostojanja uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Kad su se uvjeti za ispuštanje otpadnih voda postrojili u uporabu je došao razdjelni sustav kanalizacije. To je sustav s odvojenim sakupljanjem i odvođenjem otpadnih i oborinskih voda koji ima podvarijante kroz izvedbu polu-razdjelnih sustava različite složenosti. U polu-razdjelnom sustavu dio oborinskih voda odvodi

se zajedno s otpadnim vodama (prve najzagađenije oborinske vode) na uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Zato je ovaj tip kanalizacije prikladniji za uporabu resursa. U starim i većim urbanim sredinama kao rezultat dugotrajnog razvoja u pravilu postoji više tipova odvodnje urbanih voda.

Zastupljenost pojedinog tipa kanalizacije u urbanoj sredini značajno određuje režim urbanih voda i time raspoloživost resursa što utječe na primjenu kružnog gospodarstva. Da bi se zaštitio okoliš i ostvarili uvjeti za primjenu kružnog gospodarstva, odnosno uporabu resursa, EU je Direktivom za otpadne vode propisala da svi kanalizacijski sustavi moraju biti razdjelni. Zbog toga se svi mješoviti sustavi postepeno preoblikuju u razdjelni.

UVS je tipični primjer ulaz-izlaz sustava, Slika 2. To je otvoreni sustav u kojem se resursi niske entropijske veličine kroz kretanje i uporabu u urbanom metabolizmu transformiraju u onečišćene resurse visoke entropijske vrijednosti koji negativno utječu na okoliš i ljude. Rast entropije se povećava kretanjem vode od ulaza prema izlazu. Oporabom resursa i ponovnim korištenjem vode rast entropije sustava se smanjuje što jača održivost sustava i grada. Inače UVS ima funkciju smanjenja nereda kojeg čovjek stvara u okolišu.



Slika 2: Ulaz – izlaz sustav

Glavni resursi UVS-a su voda, hranjive tvari (dušik, fosfor), kemijska energija, termalna energija, hidraulička energija, te različite tvari ovisno o sastavu otpadnih voda. Količina i sastav varira u vremenu i prostoru, a ovisi o značajkama podneblja, grada

i aktivnostima koje se odvijaju u gradu i UVS-u. Aktivnosti u gradovima, to jest korišteni resursi su se mijenjali tijekom povijesti, od osnovnih egzistencijalnih (voda, hrana, energija) do sve složenijih koje je industrijski razvoj i primjena novih tehnologija donosila. Time se mijenjao sastav i količine otpadnih i oborinskih voda, te uporaba. Zato problem koji se obrađuje nije nov, javljao se i rješavao kroz ljudsku povijest, u svim civilizacijama u kojima su postojale urbane sredine/gradovi.

Oporaba i obnova resursa u seoskim, pretežito poljoprivrednim sredinama, koje su uglavnom generirale organski otpad nastao od življenja i rada, oduvijek se provodi i sastavni je dio seoske kulture življenja i rada. Organski otpad iz domaćinstva se radi zajedničke prerade i korištenja integrirao s organskim otpadom od uzgoja domaćih životinja i ratarstva. Sve što se jednom proizvelo i koristilo ponovo se vraća u ciklus korištenja u domaćinstvu, stočarstvu, povrtlarstvu, voćarstvu ili ratarstvu. Primjenjivali su se različiti oblici, postupci i tehnologije kruženja otpadnih voda i organskih tvari ovisno o značajkama podneblja i potrebama. Vrlo malo organskog ali i drugog otpada se bacalo. To jačalo održivost domaćinstva i farme [12].

Većom koncentracijom ljudi različitog zanimanja, tradicionalna praksa individualne uporabe resursa biva sve teže izvediva, te postepeno postaje uslužna djelatnost koja se organizira na razini grada. Usluge sakupljanja i odvoženja produkata življenja se naplaćuju kao i prodaja prerađenih i iskoristivih resursa. U moderno doba, od 1900., nastaju sve veći gradovi koji troše veće količine vode, hrane i drugih resursa čime se stvaraju sve veće količine otpadnih voda i onečišćenje tla, zraka i voda. Zbog toga je sve manje lokalno dostupnih kvalitetnih resursa što dovodi do razvoja komunalne infrastrukture i službi koje se brinu o vodoopskrbi, čistoći grada i zbrinjavanju svih otpadnih tvari nastalih u gradu (krutih, tekućih i plinovitih). Tako se postepeno oblikuju urbani vodni sustavi koji opskrbljuju stanovništvo vodom, te najčešće zajednički sakuplja i odvodi otpadne i oborinske vode (mješoviti sustav odvodnja) izvan grada gdje se ispuštaju u vodne resurse, uglavnom bez pročišćavanja. U mješovitim sustavima uporaba resursa se rijetko provodila. Jedino se ponovno koristio kruti otpad ako se odvojeno zbrinjavao. Prije XX. stoljeća broj stanovnika u gradovima nije bio velik, a sredstava za život je uglavnom bilo dovoljno, tako da nije bilo većeg interesa ni potrebe za uporabom resursa iz urbanog vodnog sustava. U novije doba stanje se ubrzano mijenja jer su potrebe sve veće, a raspoloživih resursa je sve manje i nalaze se sve dalje, dok je onečišćenje okoliša sve veće, te ugrožava zdravlje ljudi i okoliš [13]. Stalne svakodnevne potrebe sredstava za život u velikim gradovima su velike (vode 150 l/stan/dan, energije 12 kw/stan/dan, hrane 1,85 kg/stan/dan), lanci opskrbe sve složeniji, a raspoloživost prirodnih resursa sve manja i sve udaljenija, tako da je rizik opstanka sve više ugrožen. Primjena kružnog gospodarstva stoga postaje sve važnija. Potrebno je kontrolirano i pravilno organizirati uporabu kako bi se spriječili zdravstveni i sigurnosni problemi koji bi ugrozili življenje u gradovima i šire u društvu. Preduvjet je dobro poznavanje raspoloživosti i značajki resursa/sredstava za život koje generira UVS. To su resursi koji su stalno na dohvat ruke u samoj

urbanoj sredini spremni za korištenje uz odgovarajuću preradu i obradu. Ne ovise o opskrbnim lancima i drugim problemima dobave, pa su stoga pouzdani u svim situacijama. Stoga je vrlo važno problem rješavati sustavno i cjelovito uz uključivanje svih dionika.

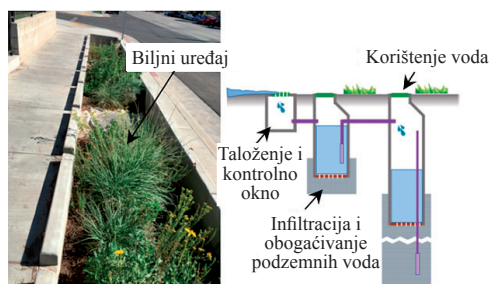
3. Resursi urbanog vodnog sustava

3.1 Oborinska kanalizacija

Oborinska kanalizacija sakuplja, odvodi, pročišćava i ispušta oborinske vode u vodne resurse. Otjecanje ima povremeni karakter i javlja se u periodu oborina. Površinsko otjecanje ispire nečistoće s površine grada tako da su vode onečišćene raznim tvarima. To se posebno odnosi na početnu fazu otjecanja. Veličina otjecanja u odnosu na veličinu oborina je direktno u funkciji koeficijenta otjecanja pa time gustoća stanovanja indirektno određuje volumen otjecanja. Otjecanje je poplavna prijetnja ljudima, imovini i funkcioniranju grada. Nepredvidivi ulaz proizvodi nepredvidivi izlaz pa se otjecanje nastoji regulirati izvedbom retencija i spremnika.

Zadržana vode je potencijalni resurs vode za različite namjene (tehnološka voda, zaštita od požara, hlađenje, navodnjavanje, itd.) pa čak i za vodoopskrbu (Singapur), Slika 3 [14].

Vrijednost ove vode je u funkciji veličine suša na razmatranom području. Već dugo se koristi u mnogim zemljama, razvijenim (SAD-u, Australija, itd.), a posebno manje razvijenim (Indija itd.). Najveća prepreka širem korištenju je nedostatak regulatornog okvira i neizvjesnost u tretmanu voda. Uz to, zadržana/spremljena voda je mogući izvor hidroenergije. Potencijal ovisi o gravitacijskoj potencijalnoj energiji spremnika.



Slika 3: Elementi i procesi uporabe oborinskih voda

Upravljanje oborinskim vodama urbanih sredina je važna aktivnost u jačanju otpornosti urbanih sredina na klimatske promjene. Klimatske promjene donose veće oborine i veću varijabilnost za koje postojeći sustavi nisu dimenzionirani. Zato je kontrolirana infiltracija oborinskih voda u podzemne vode, hvatanje i spremanje oborinskih voda u naselju, ali i voda okoliša s područja iznad naselja, koje inače prijete naselju, prihvatljivo rješenje. Integralna rješenja zaštite od oborinskih voda i korištenja su obećavajući koncept koji se sve više primjenjuje u mnogim naseljima. To se posebno odnosi na naselja koja imaju mješovite sustave odvodnje voda jer se zadržavanjem oborinske vode izvan mješovitog sustava odvodnje sprječava nekontrolirano prelijevanje onečišćenih voda.

Kao odgovor na klimatske promjene i poremećaje u hidrološkom sustavu sve se više naglašava zeleni koncept odvodnje i pročišćavanja koji vraća vode u lokalni hidrološki ciklus čime se jačaju i štite vodni resursi, održivost okoliša i čovjeka, Slika 3. Primjena zelenih/plavih rješenja smanjuje rast entropije sustava jer ga integrira s procesima u okolišu. Siva/građevinska rješenja nisu prilagodljiva promjenama u okolišu i za razliku od zelenih ne mogu se prilagođavati promjenama klime te su ograničenog vijeka trajanja i kapaciteta.

3.2 Kanalizacija otpadnih voda

Otpadne vode se sastoje od oko 99 % vode, a ostalih 1 % čine krutine, otopljene i druge tvari, mikroorganizmi, hranjive tvari, teški metali i mikro-zagađivači. Prije ispuštanja ili korištenja trebaju se pročišćavati. Za to se primjenjuje nekoliko faza koje se oslanjaju na kombinaciju fizičkih, kemijskih i bioloških procesa koji daju kvalitetu efluenta koja zadovoljava potrebe namjene i upotrebe, to jest primjenjuje se pročišćavanje "prikladno za namjenu". Veliki broj tehnologija se može primijeniti, tako da je izbor najbolje kombinacije težak zadatak [5, 15, 16]. Za komunalne otpadne vode kao resurs vrijedi:

- Ponovna uporaba vode je održivo i učinkovito rješenje za mnoge namjene;
- Kanalizacijski mulj, ili jednostavno mulj, kao polu kruti materijal koji nastaje kao nusproizvod tijekom biološke obrade je vrijedan izvor hranjivih tvari, dušika i fosfora, preostalih iz fekalija, otpada hrane i drugih organskih tvari u otpadnoj vodi;
- Otpadne vode sadrže energiju kao kemijsku, toplinsku i hidrauličku, a najčešće se oporabljuje kemijska energija u obliku bioplina.

Komunalne otpadne vode kao resurs vode, hranjive tvari i bioenergije se već dugo koriste tako da su prednosti i nedostaci dobro poznati [16]. To je očekivano jer prema propisima koji su već dulje u primjeni otpadnu vodu treba pročititi, a nastali mulj treba stabilizirati. Najveću i tradicionalnu primjenu ima korištenje pročišćenih voda za navodnjavanje. Oporaba energije potaknuta klimatskim promjenama je novija

praksa nastala zbog potrebe smanjenja ispuštanja stakleničkih plinova i proizvodnje obnovljive energije.

Otpadne vode sadrže organske i anorganske molekule, a egzotermne reakcije tih sastojaka rezultirat će oslobađanjem kemijske energije sadržane u molekulama. Najveći dio energije sadržan je u organskim spojevima koji se mjere kao KPK ili BPK. Neke anorganske tvari kao amonijak također sadrže kemijsku energiju. Kemijska energija se pretvara u energiju biomase koja se transformira u bioplin, tekuće ili kruto gorivo. Bioplin je najvažniji obnovljivi izvor energije koji se već dugo dobiva na komunalnim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Organska tvar iz mulja se anaerobnim procesom pretvara u plin koji sadrži više od 60 % metana. Proizlazi da se iz sirove otpadne vode može dobiti oko 1,5 kWh/m³ ako je KPK između 250 i 1000 mg KPK/l [17]. Proizvedeni plin se može lako spremiti, transportirati i koristiti po potrebi za proizvodnju topline i snage.

Temperatura otpadne vode u sustavu otjecanja je između 10 i 25 °C. Energija u obliku topline može se povratiti iz otpadnih voda različitim tehnologijama (izmjenjivač topline, dizalica topline) koje su jednostavne, provjerene i ekološki prihvatljive. Toplinska energija se može koristiti za izravno grijanje/hlađenje domova, poljoprivrednih staklenika, i drugo. Termalna energija bi mogla dati 5,8 kWh/m³ za pad temperature otpadnih voda od 5 °C. U sve većoj energetskej krizi ovaj oblik uporabe otpadnih voda postaje sve više isplativ na lokalnoj razini. Uz to izgaranjem metana značajno se smanjuje ispuštanje stakleničkih plinova.

Otpadne vode mogu sadržavati i hidrauličku potencijalnu energiju u obliku visinske razlike ulaza i izlaza, to jest veličine tlaka između ulaza i izlaza, te brzinske visine (kinetička energija). Zbog značajki otpadnih voda i činjenice da je sustav gravitacijski a ne tlačni korištenje je ograničeno samo na specijalne situacije, recimo kod membranskih procesa, ili u slučajevima spuštanje sustava odvodnje duboko ispod grada radi lakšeg transporta. Spuštanje vode je hidro-energetski potencijal koji se u pravilu koristi (Čikago, Singapur i drugi veliki gradovi).

Proizvedenu energiju je najisplativije koristiti lokalno na samom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda ili je integrirati s lokanom energetskej mrežom grada. U sušnim područjima prioritet je korištenje vode. U stvarnosti, lokalne sredine u skladu s potrebama i značajkama okoliša određuju lokalno izvedivu hijerarhiju korištenja pročišćenih voda. Stanovništvo i drugi dionici nemaju isti pogled na uporabu otpadnih voda tako da se kod izbora koncepta moraju razmatrati teme: (i) *Ekonomija i slijed vrijednosti*: Troškovi obrade, količina resursa, kvaliteta resursa, tržišna vrijednost i konkurentnost, korištenje i primjena, distribucija i transport; (ii) *Okoliš i zdravlje*: Ispuštanje, zdravstveni rizik; (iii) *Društvo i politika*: Prihvaćanje i podrška, politika i propisi.

Tablica 1: Načelna hijerarhija vrijednosti uporabe otpadnih voda

Vrijednost	Namjena i učinci
Oporaba pitke vode	Voda za piće.
Voda za industriju	Voda za proizvodne potrebe; Manje korištenje vode iz okoliša.
Oporaba energije i ugljični krediti	Smanjenje unutrašnji potreba za energijom; Kompenzacija emisije ugljika.
Interna proizvodnja, hrana za ribe, riba ili bio-gorivo	Proizvodnja sirovina, proteina i etanola.
Oporaba hranjivih i organskih tvari	Povećanje prinosa; Izbjegavanje eutrofikacije; Poboljšanje tla.
Korištenje za navodnjavanje	Povećanje prinosa; Izbjegavanje zahvaćanja vode; Pouzdanost opskrbe; Obnavljanje podzemnih voda.
Sigurno odlaganje i zaštita okoliša	Održivost voda; Jačanje ekoloških procesa i tokova vode; Javno zdravstvo.

Troškovi uporabe i složenost procesa uglavnom prate hijerarhiju, te su najveći za uporabu pitke vode (Tablica 1), a koristi, mjerljive i nemjerljive, bi trebale biti veće od troškova. Poznato je da stanovništvo kao i investitor nemaju isti pogled u odnosu na uporabu otpadnih voda jer su brojne zapreke koje utječu na primjenu (ekonomske, kulturološke, itd.). Investitori imaju ekonomske interese koji određuju isplativost ulaganja. Zbog toga se javnim poticajima nastoji potaknuti poslovne subjekte na uporabu. U sredinama u kojima povremeno ili trajno nedostaje vode, hrane i energije uporaba nema alternative. Oporaba i ponovno korištenje pročišćenih otpadnih voda ima značajan utjecaj na smanjenje entropije grda i okoliša, to jest dolazi do smanjenje nereda kojeg otpadne vode stvaraju u gradu i okolišu, te se stoga sve više koristi.

3.3 Vodovod

Vodovod je sustav građevina, uređaja i instalacija namijenjen opskrbi vodom stambenih naselja, industrije, a dijelom i poljoprivrede. Njime se vode zahvaćaju u vodnim resursima, potom pročišćavaju, dovode do mjesta potrošnje i raspodjeljuju korisnicima sustava. Vodovodi su energetske intenzivni sustavi u kojima se značajne količine energije troše i gube kao rezultat velike promjenjivosti protoka tijekom dana i tijekom godine unutar fiksne konfiguracije sustava. Zato bi u vodoopskrbnom sustavu uslijed viška tlaka vode i visinskih razlika unutar vodovodnih cijevi, mogao postojati značajan hidroenergetski potencijal za proizvodnju električne energije. Višak energije tlaka vode se inače eliminira ventilima za kontrolu tlaka i prekidnim komorama. Umjesto eliminacije, višak se može iskoristiti ugradnjom mikro hidro-energetskih

sustava koji ne ometaju funkcioniranje vodovoda. Primjenjuju se različita rješenja koja smanjuju tlak vode, proizvode zelenu energiju i istovremeno doprinose smanjenju gubitka energije, ispuštanja stakleničkih plinova te gubitaka vode u sustavu koji je u funkciji veličine tlaka [18]. Kao unutrašnji izvor energije značajno doprinosi sigurnosti opskrbe vodom. Zato se isplativost energetskeg iskorištavanja sagledava šire, uvažavajući sve efekte, a ne samo ekonomske i tehnološke. Načelne prednosti obnovljive energije pomoću hidroenergije su:

- Proizvodnja energije iz postojećeg procesa otjecanja;
- Smanjuje utjecaj na okoliš;
- Turbina kao uređaj za regulaciju protoka;
- Zamjenjuje funkciju ventila za smanjenje tlaka;
- Visoka učinkovitost i pouzdanost.

Primjenjuje se u svim dijelovima sustava: Prijenos vode iz jednog rezervoara u drugi; Transport pitke vode; Transport sirove vode do postrojenja za obradu vode; Obrada vode. Općenito, električni potencijal je ekvivalent hidrauličkoj sili. U svim ovim, kao i drugim namjenama, gdje postoji hidroenergetski potencijal (energija tlaka, kinetička energija ili gravitacijska potencijalna energija) načelno je moguće pretvoriti hidroenergetski potencijal u mehaničku energiju koja se koristi za proizvodnju električne energije.

Oporaba energije iz vodovoda ima veliku potencijalnu vrijednost u turističkim područjima čije korištenje sustava je sezonsko, tako da sustav u većem dijelu godine ima malu protočnost i visoki tlak vode pogodan za energetske oporabu. Ako se vodovod bazira na jeftinim resursima vode i ima visoku gravitacijsku potencijalnu energiju, tada se u zimskom kišnom periodu godine može namjenski koristiti za proizvodnju zelene energije. Brojne su alternative korištenja koje uvijek treba sustavno i cjelovito sagledati [19].

3.4 Umrežavanje radi oporabe urbanih resursa

Dugoročna vizija u ostvarenju održivih sustava je stvoriti totalni urbani sustav. To znači sve relevantne sustave tretirati zajedno, te potpunije umrežiti u novi cjelovitiji sustav za podršku održivosti građana i ekonomije u klimatski i resursno neizvjesnoj budućnosti. Time se jača sigurnost rada sustava. Korištenje energije unutar samog UVS-a je povoljno na samom uređaju za pročišćavanje otpadnih voda, ali nije praktično u sustavu odvodnje zbog raštrkanosti objekata. Zato se oporabljena energija iz UVS-a u pravilu povezuje s energetske mrežom grada, pa se energija razmjenjuje uz odgovarajuću naknadu. Time se minimiziraju gubici energije i jača sigurnost korištenjem više izvora/dobavnih pravaca. Plinski spremnici koji se u pravilu grade na UVS-u se mogu koristiti i kao spremnici energije za urbani sustav, što je posebno

korisno u opskrbi zasnovanoj na povremenim izvorima zelene energije (solari, vjetar). Za iste namjene mogu se koristiti i spremnici za vodu u kojima se energija vode skladišti [20].

Postoji više hijerarhija i opcija umrežavanja/integracije vanjskih i unutrašnjih izvora energije kojima se jača otpornosti a sustav racionalizira. Recimo, kuhinjski otpad, kao i drugi biološki otpad, se mogu zbrinjavati zajedno sa sustavom otpadnih voda [21]. Integracija može biti potpuna, odmah na mjestu nastajanja (domaćinstvu), ili naknadna na uređaju za obradu organskog mokrog otpada zajedno s otpadnim vodama ili kompostani. To je koncept koji se već dugo koristi (USA). Cilj je razdvojiti lako razgradivi mokri organski otpad od suhog kako bi se spriječili negativni efekti spremanja, prikupljanja i transporta mokrog organskog otpada. Kuhinjski otpad se u domaćinstvu upušta u kanalizaciju otpadnih voda koja ga transportira zajedno s otpadnim vodama, obrađuje i oporabljuje. Suhi otpad se tako lakše sprema, sakuplja a na kraju se može povezati na kompostani sa stabiliziranim muljem s uređaja otpadnih voda.

Ovim prikazom nisu iscrpljene sve moguće sheme integracije u cilju stvaranja totalnog urbanog sustava. Iako korisne, još uvijek se rijetko primjenjuju. Najveći problem je vlasništvo, podjela nadležnosti, raspodjela troškova i dobiti, kadrovi, itd. Neizvjesna klimatska budućnost, nedovoljna raspoloživost resursa i sve veće potrebe će vjerojatno promijeniti interes. Već sada bi se značajne koristi mogle ostvariti u turističkim područjima sa sezonskim turizmom u kojima je zimi infrastruktura neiskorištena, a ljeti preopterećena. Implementacijom kružnog gospodarstva na UVS ta neracionalnost i varijabilnost bi se značajno ublažila jer bi unutrašnja oporabljena energija i vode umanjile potrebu za vanjskim uvozom, i time smanjile kratkotrajno korištene instaliranih ljetnih vršnih kapaciteta u transportnom i opskrbnom lancu. Koristi su brojene jer se jača tehnološka stabilnost, kvaliteta usluga, smanjuju troškovi i ranjivost sustava.

Integracija uporabe resursa iz UVS-a i drugih komunalnih infrastrukturnih sustava zahtjeva odgovarajuće upravljanje. Potpuna i pouzdana opskrba UVS-a obnovljivim resursima zahtjeva implementaciju lokalne pametne mreže za određeni resurs ili grupu resursa. Mreža bi trebala integrirati sve lokalne urbane resurse ili samo neke, recimo zelenu energiju temeljenu na suncu kako bi se postigla sigurna i po mogućnosti puna opskrba UVS električnom energijom. Jedna od karakteristika ovakvog sustava je redundancija, budući da UVS ima više od jednog načina dobivanja energije. Time bi se napravio značajan korak prema održivoj opskrbi UVS energijom. A budući da je UVS u biti krvotok svakog naselja, ovo bi bio značajan korak prema održivom životu u urbanim zajednicama.

Međutim, pametna mreža mora imati integrirane napredne tehnologije: integraciju obnovljivih i distribucijskih sustava, vizualizaciju i kontrole u stvarnom vremenu te pohranu energije i energetske elektroniku [22]. Za očekivati je da će se održivost gradova u budućnosti temeljiti na sličnim rješenjima.

4. Održivost i dosezi primjene kružnog gospodarstva u UVS

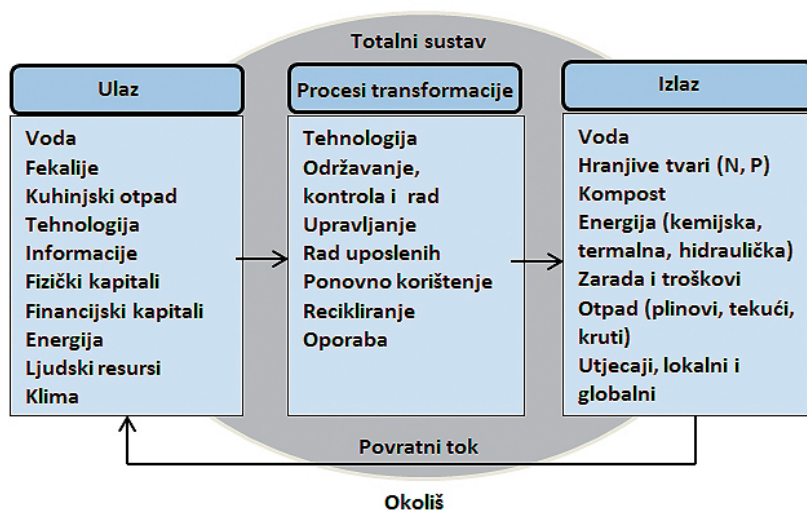
Primjena kružnog gospodarstva u UVS-u je sve više obaveza koja se mora provoditi u zemljama EU. To je koncept koji je sastavni dio šire politike održivog razvoja i jačanja sigurnosti. Primijenjeni koncept kruženja mora biti prije svega lokalno, pa zatim regionalno održiv ekonomski, ekološki, društveno i tehnološki da bi bio koristan. Zato je izbor prihvatljivog koncepta složen zadatak. Važno je ne pogriješiti te realizirati fleksibilan i lokalno održiv koncept. Cilj je na izlazu povećati koncentraciju korisnih resursa i sustav šire povezati s okolišem. Zato se koristi sistemski pristup. To je pristup koji integrira sve varijable koje utječu na organizacijsko funkcioniranje UVS-a i uporabe resursa. Totalni sistemski pristup smatra da je opskrbni lanac jedan entitet koji se sastoji od međuovisnih ili međusobno povezanih podsustava, svaki sa svojim zasebnim ciljevima, ali koji integrira aktivnosti svakog segmenta kako bi optimizirao strateške ciljeve održivosti cijelog sustava. Sustavni pristup temelji se na generalizaciji da je sve međusobno povezano i međuovisno. Totalni sustav se sastoji od povezanih i ovisnih elemenata koji u interakciji čine jedinstvenu cjelinu. To je jednostavno skup ili kombinacija stvari, dijelova i procesa koji tvore složenu cjelinu.

Odabir prihvatljive tehnologije i upravljanja na temelju “*input-output*” (ulaz-izlaz) modeliranja koji uvažava konceptualni okvir *hijerarhije otpada* [23]. *Hijerarhija otpada rangira opcije* i pojednostavnjuje proces vrednovanja, a *Ulaz-izlaz model/alat* određuje ukupni utjecaj (bilancu) transformacije resursa (organskih tvari i vode) u nove resurse. Model određuje tok resursa među komponentama totalnog sustava. Na kraju je na pojednostavljen način nužno pokazati dosege odabranog koncepta kruženja u ostvarenju ciljeva održivosti. Procjena održivosti temelji se na *holističkom pristupu* koji pretvara ekonomske, ekološke, socijalne i tehničke pokazatelje u *kompozitni indeks održivosti*.

Održivost podrazumijeva da je rast entropije sustava prihvatljiv. To u suštini znači da je razlika između ulaznih i izlaznih/oporabljenih resursa minimalna, to jest da su gubici vode, mase i energije u sustavu i procesu kruženja minimalni. Znači da treba odabrati koncept koji najbolje odgovara lokalnom/regionalnom podneblju u odnosu na tehnologiju i utjecaj kruženja na okoliš, te ekonomiju (trošak, prihodi). Analiza entropije se svodi na analizu bilance resursa u životnom ciklusu sustava. To je *ulaz-izlaz* metodologija koja se tradicionalno koristi u analizi urbanog kao i UVS metabolizma, Slika 4. Bilanca resursa ali i troškova jasno oslikava dosege primijenjenog koncepta kruženja tako da sudionici u donošenju odluka mogu jasno vidjeti što se može oporabiti i uz koju cijenu. Svi troškovi i utjecaji nisu numerički mjerljivi tako da se prednosti i nedostaci moraju sagledavati uz primjenu prihvatljivog višekriterijskog odlučivanja koji uvažava i preferencije dionika [24].

Rezultati bilance su ključni i objektivni indikatori ovog postupka jer jasno oslikavaju rast entropije. Traži se lokalno prihvatljiv kompromis između gubitka resursa/

smanjenja entropije i učinkovitosti jer je gubitak vode, hrane i energije mjera rasta entropije i smanjenja održivosti. Ne postoji jedan koncept ili rješenje za sve sustave. Puno je različitih čimbenika koje treba uzeti u razmatranje kod odlučivanja.



Slika 4: Ulaz-izlaz metoda

Nužno je optimizirati unutrašnje i vanjsko kruženje, unutrašnje unutar sustava i grada te vanjsko prekogranično kroz prirodne procese u okolišu. Oba kruženja moraju biti izbalansirana u svrhu jačanja održivosti. Time se ostvaruje širi pristup izboru koncepta kruženja koji integrira tehnologije ali i podneblje u jedan širi sustav jačanja lokalne održivosti vezane uz življenje i sigurnost okoliša. Želi se ostvariti sigurnost egzistencije okoliša bez koje nema sigurnosti egzistencije čovjeka.

Što je dobro a što manje dobro za sigurnost okoliša u suštini određuje hijerarhija otpada; Spriječiti > Ponovno korištenje > Recikliranje > Oporaba > Odlaganje [23]. Hijerarhija otpada je koncept kojim se pojednostavljeno dokazuje doprinos određenih rješenja zbrinjavanja otpada jačanju održivosti okoliša. Korištenjem koncepta *Hijerarhije otpada* cijeli se proces pojednostavnjuje, jer hijerarhija definira prioritete s obzirom na dobrobit i sigurnost za okoliš. Ostvariv skup opcija na određenoj razini hijerarhije se rangira uzimajući u obzir primarne i sekundarne utjecaje primjenom *višekriterijske analize* [24].

Sukladno politici kružnog gospodarstva *pozitivnim se smatraju rješenja koja pretvaraju otpad u resurs koji se ponovno uvodi u gospodarstvo/potrošnju*, a negativnima rješenja koja to ne rade.

Mjerenje veličine ostvarenja održivosti bazira se na korištenju *kompozitnog indeksa* (KI) [25]. To su metode matematičke agregacije skupa pokazatelja koji sažimaju karakteristike održivosti sustava i podržavaju donositelje odluka u donošenju političkih zaključaka. Sve se mora odvijati u stalnoj konzultaciji s dionicima, bez čije podrške projekt neće uspjeti.

5. Diskusija i zaključak

Iako je korisnost primjene kružnog gospodarstva neupitna ipak valja biti oprezan kod realizacije kako se u ime globalnih ciljeva ne bi realiziralo rješenje koje je lokalno neodrživo. Time nitko ne dobiva osim isporučioća opreme i izvođača. Narušena sigurnost u osiguravanju sredstava za život nije ista u svim zemljama niti regijama tako da potreba za primjenom kružnog gospodarstva nije svugdje ista. Nije ista u cjelini niti u odnosu na pojedini resurs (vodu, hranu, energiju). To se posebno odnosi na Hrvatsku. Veliki gradovi (Zagreb, Split, Rijeka, Osijek, Velika Gorica, Varaždin) imaju potrebu prije svega uporabiti energiju jer je to najjednostavnije i najjeftinije kada postoji uređaj drugog ili trećeg stupnja pročišćavanja otpadnih voda i proces stabilizacije mulja. To vrijedi i za sve druge sredine kod kojih su količine otpadnih voda veće od 10000 ES. Korištenje hranjivih tvari iz organskog mulja je još uvijek za naše uvjete problematično prvenstveno zbog troškova i nedostatka tržišta. U Hrvatskoj je mnogo neobrađenih površina i organskog materijala koji je zbog prirodnog porijekla i sastava povoljniji za kompostiranje i tržište od mulja s uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, posebno u velikim gradovima s industrijom, velikim prometom i zagađenjem zraka i mješovitim sustavom odvodnje u kojima je mulj lošije kakvoće.

Glavni kandidati za primjenu kružnog gospodarstva u Hrvatskoj su turistička područja, posebno otoci. To su krška područja siromašna vodom, hranom i energijom. Sezonski turizam generira izrazito velike varijabilnosti potreba za vodom, hranom i energijom i time veliku varijabilnost utjecaja na okoliš kroz kontrolirane i nekontrolirane izlaze UVS-a. Potrebe su najveće kada su prirodni vodni resursi najsiromašniji i ranjivi. Zbog fiksnih dimenzija infrastrukture UVS-a prilagođenih vršnim potrebama u krakom vremenskom periodu, vršni dan 2. tjedna u kolovozu na kraju planskog perioda, sustav je u najvećem periodu godine u cijelom životnom vijeku neiskorišten i stvara velike gubitke energije i vode. Zbog slabe protočnosti ubrzano propada a kvaliteta vode se smanjuje. Kažemo da ima veliki rast entropije. Zato je primjena kruženja resursa vrlo korisna. Naime, raspoloživi kapacitet kruženja prati trend rasta potreba u godini i tijekom životnog ciklusa infrastrukture, te tako značajno umanjuje rast vanjske (prekogranične) dobave resursa vode, hranjivih tvari i energije. Dinamičkim zatvaranjem i kruženjem održivost kao i sigurnost rada sustava i življenja se jača [26]. Umrežavanjem s resursno srodnim sustavima koji imaju iste varijabilnosti korištenja održivost i isplativost primjene kružnog gospodarstva se povećava. To je

put ka smanjenju entropije sustava i biznisa, to jest jačanja konkurentnosti kroz manje troškove i jačanje sigurnosti okoliša [27]. Može se zaključiti:

- *Oporaba resursa je obaveza* koja proizlazi iz Europskog Zelenog plana i drugih politika EU i RH, a projekti se mogu realizirati iz zajedničkih sredstava EU;
- *Gradovi bi trebali implementirati principe kružnog gospodarstva*, te time pretvoriti visoko-entropijski urbanu otpadnu tvar i vode u nisko-entropijske resurse i proizvode koji smanjuju upotrebu za primarnim resursima, te tako štititi okoliš;
- *Zelena rješenja* bi trebala biti prioritet jer se lako prilagođavaju nepredvidivim varijabilnostima ulaza, dugo traju i sama se obnavljaju, to jest, dugoročno su održiva u varijabilnim klimatskim i društvenim podnebljima [26].

Motivacija za primjenu je jasno definirana politika i zakonski okvir (UN i EU), rastuće potrebe za prirodnim resursima i klimatski rizici, onečišćenje okoliša i gubitak biološke raznolikosti, neizvjesna klimatska budućnost i opskrba resursima, rast cijena resursa i komunalnih usluga, itd. [28]. Kružno gospodarstvo ublažava utjecaj klimatskih varijabilnosti, te osigurava razvoj novih gospodarskih aktivnosti i zapošljavanje. Kružna rješenja su (*rezervni*) sustav za sve *incidentne situacije* vezane uz prekide u opskrbnim lancima vode, hrane i energije, posebno u turističkim područjima koja su vrlo ranjiva na ovakve pojave. Međutim izazovi i prepreke su još uvijek brojene a mogu se sažeti u slijedeće:

- *Izbor prihvatljivog koncepta*: nedovoljno lokalno dostupnih podataka, brze promjene okvira za rješavanje problema (klima, društvo, stanje), brojne tehnologije i rješenja, kadrovi, mjerljivi i nemjerljivi utjecaji na okoliš, široki prostorni i vremenski obuhvat, društvo i ekonomija, postizanje konsenzusa svih dionika, itd.;
- *Ekonomija i slijed vrijednosti*: troškovi obrade, količina resursa, kvaliteta resursa, tržišna vrijednost i konkurentnost, korištenje i primjena, distribucija i transport;
- *Okoliš i zdravlje*: ispuštanja u okoliš (staklenički plinovi i štetne tvari), zdravstveni rizici za uposlenike i korisnike, dugoročni utjecaji, itd.;
- *Društvo i politika*: Prihvaćanje i podrška, politika i propisi, prepreke pri realizaciji, motivacija lokalnih dionika, itd.

Važno je znati da održivost kružnog sustava nije zagarantirana sama po sebi, tako da se mora pažljivo i sveobuhvatno planirati i realizirati.

6. Literatura

- [1] UN: United Nation's 2030 Agenda for Sustainable Development, *Dostupan na* <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020>. *Pristupljeno*: 2023-05-15

- [2] European Commission: A New Circular Economy Action Plan. For a Cleaner and More Competitive Europe. COM(2020) 98 final, Brussels, 11.3.2020. *Dostupan na*: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>. *Pristupljeno*: 2023-05-16
- [3] European Commission: Europski zeleni plan, Document 52019DC0640, Bruxelles, 11.12.2019. COM(2019) 640 final, *Dostupan na* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=EN> *Pristupljeno*: 2023-05-11
- [4] EU: Taxonomy Regulation, REGULATION (EU) 2020/852, *Dostupan na* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0852&from=EN> *Pristupljeno*: 2023-05-14
- [5] Ghimire, U., Sarpong, G., Gnaneswar, V.: Gude, Transitioning Wastewater Treatment Plants toward Circular Economy and Energy Sustainability, *ACS Omega*, **6** (2021) 11794-11803
- [6] Mohammadkhani, M., Masnavi, M.R., Rezaei Hariri, M.T., Mirmoghtadaee, M.: Integrated Urban Water Management (IUWM) Framework Codification in Architectural and Urban Design: The Case of Hashtgerd, Young Cities Project, *Space Ontology International Journal*, **9** (2020) 4, 29-41, doi: 10.22094/soij.2020.680028
- [7] Dezfooli, D., Bolson, J., Arabi, M., Sukop, M.C., Wiersema, I., Millonig, S.: A Qualitative Approach to Understand Transitions toward One Water in Urban Areas across North America, *Water*, **15** (2023) 2499, doi: 10.3390/w15142499
- [8] Kissler, J., Wirth, M., De Gusseme, B. i druga 23 autora: A review of nature-based solutions for resource recovery in cities, *Blue-Green Systems*, **2** (2020) 1, 138-172, doi: 10.2166/bgs.2020.930
- [9] O'Connor, T., Rodrigo, D., Cannan, A.: Total Water Management, the New Paradigm for Urban Water Systems. Presented at EWRI/ASCE World Environmental & Water Resources Congress 2010, *Challenges of Change*, Providence, RI, May 16 - 20, 2010, ISBN (print): 9780784411148, doi: 10.1061/9780784411148
- [10] Newell, P.J., Ramaswami, A.: Urban food–energy–water systems: past, current, and future research trajectories, *Environmental Research Letters*, **15** (2020) 050201, doi: 10.1088/1748-9326/ab7419
- [11] Margeta, J.: *Oborinske i otpadne vode: teret onečišćenja, mjere zaštite*, Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Split, 2007.
- [12] Almenar, J.B., Elliot, T., Rugani, B., Philippe, B., Gutierrez, T.N., Sonnemann, G., Geneletti, D.: Nexus between nature-based solutions, ecosystem services, and urban challenges. *Land Use Policy*, **100** (2021) 104898, doi: 10.1016/j.landusepol.2020.104898
- [13] Water Europa, Technology and Innovation, Towards a zero-pollution strategy for contaminants of emerging concern in urban water cycle, *Dostupan na* https://watereurope.eu/wp-content/uploads/White-Paper-Zero-Pollution_online.pdf
- [14] Luthy, G.L., Sharvelle, S., Dillon, P.: Urban Stormwater to Enhance Water Supply, *Environmental Science & Technology*, **53** (2019) 5534-5542, doi: 10.1021/acs.est.8b05913

- [15] Abbasi, T., Tauseef, S., Abbasi, S. A.: Anaerobic digestion for global warming control and energy generation – An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16** (2012) 3228–3242, doi: 10.1016/j.rser.2012.02.046
- [16] Zan, F., Iqbal, A., Lu, X., Wu, X., Chen, G.: ‘Food waste-Wastewater-Energy/Resource’ Nexus: Integrating food waste management with wastewater treatment towards urban sustainability. *Water Research*, **211** (2020) 118089, doi: 10.1016/j.watres.2022.118089
- [17] European Investment Bank 10/2022 : *Wastewater as a resource*, Published by the European Investment Bank, doi:10.2867/31206
- [18] European Small Hydropower Association: *Energy Recovery in Existing Infrastructure with Small Hydropower Plants: Multipurpose Schemes-Overview and Examples*, ESHA 2010./ Downloads/5365-2010_Mhyllab_ESHA_%20Energy%20recovery%20in%20existing%20infrastructures%20with%20small%20hydropower%20plants.pdf
- [19] Kucukaly, S.: Water supply lines as a source of small hydropower in Turkey: A Case study in Edremit, *World Renewable Energy Congress*, Sweden, 2011. doi: 10.3384/ecp110571400
- [20] Margeta J., Đurin, B.: Innovative approach for achieving of sustainable urban water supply system by using of solar photovoltaic energy, *Ingenieria e Investigación* **37** (2017) 1, 58-67, doi: 10.15446/ing.investig.v37n1.57983
- [21] Margeta, J.: Procjena indeksa održivosti korištenjea kanalizacije za upravljanje otpadom hrane, *Hrvatske vode*, **29** (2021) 115, 23-32
- [22] Panganiban, E.B., Padre, R.J., Baguio, M.A., Francisco, O.B., Balderama, O.F.: An Urban Water Infrastructure Management System Design with Storm Water Intervention for Smart Cities, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, **13** (2022) 4, 306-313, doi: 10.14569/IJACSA.20220130436
- [23] European Commission: Waste Framework Directive 2008/98/EC, *Dostupan na* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098>
- [24] Stojčić, M., Zavadskas, E., Pamučar, D., Stević, Ž., Mardani, A.: Application of MCDM methods in sustainability engineering: A literature review 2008–2018. *Symmetry*, **11** (2019) 350, doi: 10.3390/sym11030350.
- [25] OECD: *Handbook on Constructing Composite Indicators; Methodology and user guide*. 2008. *Dostupan na* <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>.
- [26] Tsatsou, A., Frantzeskaki, N., Malamis, S.: Nature-based solutions for circular urban water systems: A scoping literature review and a proposal for urban design and planning, *Journal of Cleaner Production*, **394** (2023) 136325, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136325
- [27] Williams, J.: Circular cities: challenges to implementing looping actions, *Sustainability* **11** (2019) 2, 423, doi: 10.3390/su11020423
- [28] Muliera, H., van de Vena, P., Kirchen, P.: Circularity in the Urban Water-Energy-Nutrients-Food nexus. *Energy Nexus*, **7** (2022) 100081, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100081

