

Podsticaji recikliranju sivih otpadnih voda

Enhancing Greywater Recycling

*Milica Kozić¹, Sanja Marinković²**

^{1,2}Univerzitet u Beogradu, Fakultet organizacionih nauka, Jove Ilića 154, Beograd, Srbija /
University of Belgrade, Faculty of Organizational Sciences, Jove Ilića 154, Belgrade, Serbia

*Autor za prepisku / Corresponding author

Rad primljen / Received: 11.12.2023, Rad prihvaćen / Accepted: 28.02.2024.

Sažetak: U savremenim uslovima života i rada, u kojima se različiti delovi sveta suočavaju sa alarmantnom nestašicom vode za piće, prečišćavanje i ponovno korišćenje sive vode nameće se kao izuzetno važna opcija za rešavanje ovog problema. Siva voda je otpadna voda iz domaćinstava i poslovnih prostora, koja dolazi iz kupatila, tuševa, lavaboa i mašina za pranje veša. Neke definicije sive vode uključuju i vodu iz sudopera. Danas je to tema kojom se bave mnoge važne institucije poput npr. Evropskog parlamenta, a u nekim zemljama su već doneti i zakoni koji regulišu ovu oblast. Ovaj rad se zasniva na prikazu postojećeg stanja i dobrih praksi u upravljanju sivim otpadnim vodama u odabranim primerima u svetu. Cilj rada je da se pre svega ukaže na važnost problema nestašice vode za piće, koji je u značajnoj meri zahvatio planetu, kao i da se detaljnije analizira jedan od načina suočavanja sa ovim problemom – recikliranje sivih otpadnih voda. Ideja je da se ukaže na probleme, ali i potencijalna rešenja u upravljanju sivim otpadnim vodama, sa aspekta zakonskih regulativa i praktične primene.

Ključne reči: Sive otpadne vode, recikliranje, održivi razvoj.

Abstract: In modern conditions of life and work, in which different parts of the world are facing an alarming shortage of drinking water, purification and reuse of gray water is emerging as an extremely important option for solving this problem. Gray water is waste water from households and business facilities, which comes from bathrooms, showers, sinks and washing machines. Some definitions of greywater include sink water. Today, it is a topic that is dealt with by many important institutions, such as of the European Parliament, and laws regulating this area have already been passed in some countries. This paper is based on the presentation of the current situation and good practices in the management of gray waste water in selected examples in the world. The aim of the work is to first of all point out the importance of the problem of drinking water shortage, which has affected the planet to a significant extent, as well as to analyze in more detail one of the ways to deal with this problem - gray waste water recycling. The idea is to point out problems, but also potential solutions in the management of gray waste water, from the aspect of legal regulations and practical application.

Keywords: Graywater, recycling, sustainable development.

¹orcid.org/0009-0000-5311-0316, e-mail: mk20203934@student.fon.bg.ac.rs

²orcid.org/0000-0003-1359-033X, e-mail: marinkovic.sanja@fon.bg.ac.rs

UVOD / INTRODUCTION

Potražnja za slatkom vodom je višedecenijski problem u različitim delovima sveta, a dodatne izazove danas predstavljaju posledice klimatskih promena. Jedna od najalarmantnijih posledica je svakako dramatično smanjenje vode za piće. U Evropi se u poslednjih tridesetak godina naglo povećao i broj i intenzitet suša, gde je „najmanje 11% evropske populacije i 17% njene teritorije do danas bilo pogođeno nedostatkom vode“ (European Commission, 2023). Slične pojave se dešavaju i na drugim kontinentima. Sve veća potražnja za slatkom vodom je decenijama globalni problem. Sistemi za desalinizaciju i transport vode troše veliku količinu energije, što takođe doprinosi zagađenju životne sredine. Ovo je dovelo do stalnog traženja održivijih opcija za očuvanje slatkovodnih resursa bez ugrožavanja kvaliteta životne sredine (Veličković, 2023).

Danas je poznata potencijalna uloga ponovne upotrebe prečišćene otpadne vode kao mogućeg izvora vodosnabdevanja. Saznanja su ugrađena u međunarodne, evropske i nacionalne strategije. U okviru Ciljeva održivog razvoja Agende 2030 Ujedinjenih nacija, cilj br. 6 (Čista voda i sanitarni uslovi) sadrži poseban cilj koji se odnosi na povećanje recikliranja i bezbedne ponovne upotrebe vode. To je ujedno i glavni prioritet u Strateškom planu implementacije evropskog partnerstva za inovacije u oblasti vode, a maksimizacija ponovne upotrebe vode je poseban cilj u Komunikaciji „Nacrt za očuvanje evropskih vodnih resursa“ (European Commission, 2023).

Mnoge zemlje su već pokrenule inicijative u vezi sa ponovnom upotrebom vode za navodnjavanje i industrijsku upotrebu (Španija, Italija, Grčka, Malta, Kipar, Belgija, Nemačka, Velika Britanija). Kipar i Malta već koriste ponovo više od 90% odnosno 60% svojih otpadnih voda, dok Grčka, Italija i Španija ponovo koriste između 5 i 12% svojih otpadnih voda, što jasno ukazuje na ogroman potencijal za dalje korišćenje. Situacija je slična i u Izraelu, gde praktično 90% vode koju koristi poljoprivreda čine prečišćene otpadne vode, a u Singapuru se čak otišlo i korak dalje, pa se ovaj novi izvor vode koristi za obezbeđivanje vode za ljudsku potrošnju (European Commission, 2023). Veliki napredak u tom smislu učinile su i Sjedinjene Američke Države, Saudijska Arabija i Australija.

Jedno od rešenja koje bi pomoglo pri smanjenju korišćenja vode, smanjilo finansijske troškove domaćinstava i imalo pozitivan uticaj na životnu sredinu, a koje se u nekim delovima sveta već ozbiljno primenjuje je ponovna upotreba sive vode, odnosno njena reciklaža.

Međunarodna iskustva i praktična rešenja u upravljanju sivom vodom na nivou domaćinstava i zajednica razlikuju se u zemljama sa nižim i sa višim ekonomskim standardima. U većini slučajeva siva voda se spaja sa crnom vodom (kanalizaciona otpadna voda) i dalje se ili zajedno sa njom prerađuje što zahteva komplikovanije procedure i procese zarad njenog obrađivanja i veće troškove ili se direktno ispušta u veća vodna tela kao što su jezera, reke ili mora i okeani. Mada je siva voda generalno manje zagađena od kanalizacionih voda ili voda koje ispuštaju fabrike ili industrijska preduzeća, ona može sadržati velike količine patogenih mikroorganizama, ulja, masti, različitih sapuna i deterdženata, kućne hemije i raznih suspendovanih toksičnih komponenta.

Otpadne vode nastaju iz proizvodnih procesa ili ljudske potrošnje. Ovakve vode, u slučaju da se tretiraju na odgovarajući način i dostignu određeni nivo kvaliteta, mogu ponovo da se koriste. Prema podacima UNESCO-a 80% otpadnih voda se vrati u ekosistem bez obrade ili ponovne upotrebe. Međutim, otpadne vode mogu biti korisni alati za održivi razvoj.

Situacija vezana za efikasno korišćenje vodnih resursa, pa samim tim i obradu već korišćene vode je alarmantna. Kako je Antonio Gutereš, generalni sekretar Ujedinjenih nacija, izjavio u svojoj poruci povodom obeležavanja Međunarodnog dana voda (22. marta 2020): „Moramo hitno povećati investicije u zdrave slivove i vodnu infrastrukturu, uz dramatična poboljšanja efikasnosti korišćenja vode. Moramo predvideti i odgovoriti na klimatske rizike na svakom nivou upravljanja vodama... Danas oko 2,2 milijarde ljudi nema ispravnu vodu za piće, a 4,2 milijarde ljudi živi bez pristupa adekvatnim sanitarnim uslovima“ (United Nations, 2020).

Ovaj rad daje prikaz postojećeg stanja u upravljanju sivim otpadnim vodama u svetu, kako u pogledu zakonskih regulativa tako i u praktičnoj primeni. Rad je organizovan u četiri celine. Nakon uvodnog dela prikazani su korišćeni materijali i metode istraživanja. Na osnovu istraživanja, predstavljaju se rezultati pregleda literature i postojećih saznanja, a zatim i dva konkretna i relevantna primera dobre prakse: primer Singapura, kao najvećeg prerađivača otpadnih voda, kao i primer Japana sa specifičnim pristupom za prevazilaženje prirodnih katastrofa. Kao koristan izvor informacija koje se odnose na regulativu, predstavljen je deo propisa o nameni korišćenja sivih otpadnih voda koji su razvijeni u Čileu. Poslednje poglavlje odnosi se na zaključna razmatranja i preporuke.

1. MATERIJALI I METODE / MATERIALS AND METHODS

U radu je primenjen pristup studija slučaja uz definisana istraživačka pitanja i korišćenje odgovarajućih naučnih metoda: metode deskripcije, upoređivanja, kvalitativne i kvantitativne analize. Istraživanje studije slučaja je adekvatan metod u slučaju kada postoji malo ili kada ne postoje raspoloživa empirijska istraživanja koja se odnose na određenu temu, tj. kada je istraživanje eksploratorne prirode (Christie, 2000). Važni elementi ovog pristupa su između ostalih i definisanje istraživačkih pitanja i posmatranje jednog ili više slučajeva u zavisnosti od svrhe istraživanja, istraživačkih pitanja i raspoloživih resursa (Priya, 2021). Osnovna istraživačka pitanja u ovom radu su: 1. Na koji način se može obezbediti i primeniti proces korišćenja sivih otpadnih voda? 2. Koji su osnovni elementi u ovom procesu koje treba zakonski regulisati?

Rezultati istraživanja daju smernice za uspešno korišćenje sivih otpadnih voda, posebno u zemljama u razvoju. Istraživanje se oslanja na korišćenje sekundarnih izvora podataka, zasnovano je na pregledu i analizi dosadašnjih rezultata istraživanja i studija slučajeva različitih zemalja. Zemlje koje su bile predmet istraživanja su one koje su daleko otišle u primeni rešenja za korišćenje ili regulaciju korišćenja sivih otpadnih voda. Analizirane su nacionalne i globalne strategije, zakonski propisi, akcioni planovi i institucionalni programi razvoja u posmatranim zemljama. Pored navedenih, u radu su korišćene i induktivno-deduktivne metode, sa elementima generalizacije i specijalizacije.

2. REZULTATI I DISKUSIJA / RESULTS AND DISCUSSION

Iako se može steći utisak da je nestašica vode problem novijeg datuma, nastao kao posledica klimatskih promena, koncept ponovne upotrebe otpadnih voda je ipak veoma star i prva rešenja se mogu pronaći još u doba minojske civilizacije, koja se razvijala u području Egejskog mora. Civilizacije su se obično razvijale u blizini velikih reka, dok su grčke civilizacije bile primorane da se razvijaju u uslovima ograničenih i često nedovoljnih vodnih resursa. To je verovatno imalo uticaj na činjenicu da su se vrlo rano uhvatili u koštac sa tehnološkim problemima vezanim za korišćenje podzemnih voda, njen prenos, vodosnabdevanje, kanalizacione sisteme kako za atmosferske tako i za otpadne vode, navodnjavanje, zaštitu od poplava, kao i zakonodavstvo i institucije „za efikasnije upravljanje vodom (Angelakis & Koutsoyiannis, 2003). Veliki vodeni sistemi, izgrađeni u minojsko doba (3000 g. p.n.e.), imali su dve osnovne funkcije: prva je bila da obez-

bede i distribuiraju vodu, a druga - odvođenje kanalizacije i atmosferskih voda (Rose & Angelakis, 2014). Minojsku eru karakterišu arhitektonska dostignuća u oblasti upravljanja otpadom, uz korišćenje tehnologije kao što su bunari, cisterne i akvadukti za upravljanje zalihama vode. Ova prehelenska civilizacija u izgradnji palata i gradova primenjivala je izuzetno razvijenu arhitektonsku i hidrauličnu infrastrukturu za upravljanje vodom, kao i atmosferskim i otpadnim vodama. Infrastruktura je bila toliko napredna da se može porediti sa modernim sistemima nastalim u drugoj polovini 19. veka u Evropi i Severnoj Americi.

Primeri iz prošlih vremena mogu biti interesantni i inspirativni, ali sa aspekta prakse i razvoja u savremenim uslovima, svakako je interesantnije sagledati uspešne primere u pojedinim zemljama danas i tehnološka rešenja koja se u njima primenjuju. Savremena istraživanja u ovoj oblasti doprinose sveobuhvatnijem razumevanju problematike korišćenja otpadnih voda. Korišćenje vode u urbanim sredinama je interdisciplinarna tema na kojoj istraživači i kreatori politika rade u cilju iznalaženja alternativnih rešenja za upravljanje vodama (Dal Ferro et al., 2021, Elhegazy & Eid, 2020, Leong et al., 2019, Masmoudi Jabri et al., 2020). Siva voda se koristi za navodnjavanje širom sveta, poput država kao što su Arizona, Kalifornija, Australija, Ujedinjeno Kraljevstvo, Kipar, Jordan, Kanada, Izrael (Oron et al., 2014). Prednost recikliranja sive vode je u tome što je siva voda obilan, alternativni izvor urbane vode koju je relativno lako tretirati jer siva voda ima niske koncentracije organskih zagađivača i patogena (Oh et al., 2018). Uprkos sezonskoj prirodnoj padavini, siva voda se stvara nezavisno od klimatskih uslova (Leong et al., 2017). Tretman sive vode sistemima živih zidova i zelenih krovova još uvek nije dovoljno prisutan (Pradhan et al., 2019).

Pored navedenog, utvrđeno je da rekultivacija i ponovna upotreba sive vode imaju značajan uticaj ne samo na sadašnje stanje vodne krize već i na ekološke i ekonomske karakteristike zemlje (Yoonus & Al-Ghamdi, 2020). U nastavku će biti analizirani podaci prikupljeni o tehnologiji prerade sivih otpadnih voda u Singapuru i Japanu. Međutim, tehnologija sama po sebi ne može da reši neizvesnost u dostupnosti resursa. Zbog toga je neophodno razvijati i primenjivati odgovarajuće politike, zakonsku regulativu, propise, podsticaje i javnu svest kako bi se takve tehnologije podržale u jednoj zemlji i specifičnoj industriji (Wanjiru & Xia, 2017). U radu će, kao značajan primer, biti predstavljen deo zakonske regulative koja postoji u Čileu i koja propisuje za šta se može koristiti siva otpadna voda, a za koju namenu to nije dozvoljeno.

2.1. Singapur - najveći prerađivač otpadnih voda / Singapore - the largest processor of waste water

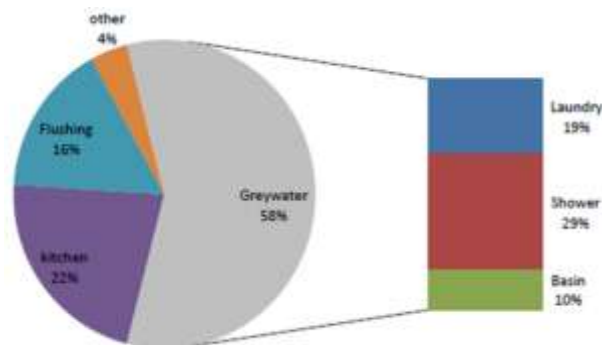
Singapur je grad-država koji se nalazi u jugoistočnoj Aziji, na jugu Malajskog poluostrva. Sastoji se od 63 ostrva i ostrvaca, uključujući glavno ostrvo Pulau Ujong i obuhvata površinu od oko 700 kvadratnih kilometara i populaciju od približno 6 miliona stanovnika. Najduža reka Kalang duga je samo 10 km. Reka Singapur, koja prolazi kroz sam centar grada, takođe je kratka. Međutim, tropska klima koja vlada u zemlji i obilne padavine zahtevaju sveobuhvatnu mrežu sistema za drenažu, od kojih je većina postala deo urbanog drenažnog sistema, kako se urbanizacija širila. Inače, Singapur nema vodonosni sloj i poseduje ograničeno zemljište za prikupljanje i skladištenje vode. Ova država je patila i od suša i od poplava od svog osnivanja.

Vlada Singapura je imala nekoliko potpisanih sporazuma o korišćenju vode sa vladom Malezije koji su omogućavali rešenje problema vodosnabdevanja. Međutim, Vlada nije obnovila sporazum iz 1961. godine koji je istekao 2011. godine. Činjenica je da sporazumi iz 1962. i 1990. ističu 2061. godine. Iako se čini da je ta godina još uvek daleko, Singapurci već uveliko rade na alternativnim rešenjima koja će im omogućiti stabilno, održivo i nezavisno vodosnabdevanje. Ova alternativna rešenja su danas poznata pod imenom „Četiri nacionalne slavine”. Tu spadaju: lokalni vodeni sliv, uvezena voda, visoko prečišćena regenerisana voda - poznata kao Nova voda (NEWater) i desalinizovana voda. Na ovaj način, kroz integraciju sistema vode i maksimalizaciju efikasnosti svake od četiri nacionalne slavine, Singapur je na putu da u potpunosti prevaziđe nedostatak prirodnih vodnih resursa.

Prvu slavinu čine atmosferske i otpadne vode. Snabdeva je kišnica koja se kroz mrežu reka, kanala i odvoda sprovodi do 17 rezervoara. S obzirom da raspolaže površinom od svega 710 km², a nema ni vodonosni sloj, odnosno podzemni sloj poroznih stena gde bi voda, koja je prodrila s površine ili stigla iz nekog drugog izvora, mogla da se zadrži, Singapur nema dovoljno prostora u koji bi se sakupljala i skladištila sva kiša koja napada. Bilo je potrebno razviti složeni sistem sa rezervoarima u kojima se čuva atmosferska voda. Osim kišnice, u sistemu se sakuplja i korišćena voda. Ovo sakupljanje se obavlja kroz dva odvojena sistema:

1. Kišnica se prikuplja u već pomenute rezervoare koji su raspoređeni na celoj nacionalnoj teritoriji.
2. Već korišćena voda se sakuplja kroz mrežu podzemne kanalizacije koja je sprovodi do postrojenja za rekultivaciju vode.

U okviru sakupljanja već korišćene vode, sakuplja se i siva voda.



Slika 1 - Šematski prikaz potrošnje vode u tipičnom singapurskom domaćinstvu

Figure 1 - Schematic representation of water consumption in a typical Singaporean household
Izvor / Source: Haoyang (2014), str. 3

Prema istraživanjima iz 2013. godine, potrošnja vode u domaćinstvu po glavi stanovnika u Singapuru iznosila je 151 l/dnevno, a 58% od toga postaje siva voda (otpadne vode iz tuša, mašine za pranje veša i umivaonika). Kao što je prikazano na Slici 1, 19% vode u domaćinstvu se koristi za pranje veša, 29% za tuširanje i 10% za umivaonik. Sva tri pomenuta oblika potrošnje vode u domaćinstvu, odnosno 58%, postaju siva voda. Ona, dakle, predstavlja glavnu komponentu kućne otpadne vode, koja, uz odgovarajuću preradu, može da postane dragoceni izvor nove vode. U Singapuru se neprekidno sprovode istraživanja i ispituju nove mogućnosti prerade sive vode: sistemi za bioretenciju su se pokazali kao vrlo uspešni u tretiranju pre svega surfaktanata, glavnih zagađivača sive vode (Haoyang, 2014).

Drugu slavinu snabdeva voda koja dolazi iz malezijske reke Džohor, na osnovu ugovora (iz 1962 i 1990) koji su potpisani sa susednom Malezijom i koji ističu 2061. godine. Procenjuje se da ova slavinu obezbeđuje 40% od ukupne potrošnje vode u Singapuru. Treću slavinu predstavlja tzv. „Nova voda“ (NEWater). To je poseban proces recikliranja već korišćene, dakle otpadne vode, i proizvodnja čiste vode visokog kvaliteta. U prvoj fazi ovog procesa, koji se još zove i mikro ili ultra-filtracija, otpadna voda se propušta kroz membrane, da bi se očistila od mikročestica i bakterija. U drugoj fazi voda se dalje propušta kroz polupropusne membrane, a neželjeni molekuli, kao što su na primer virusi, ne mogu da prođu kroz ove pore. U trećoj fazi, kao dodatna mera bezbednosti, u postupku dezinfekcije ultraljubičastim zracima, dodatno se uništavaju i bakterije i virusi. Ova voda je namenjena za primenu u industriji, pre svega u fabrikama za proizvodnju čipova (gde se zahteva kvalitet vode koji je čak iznad standarda koji se traže za vodu za piće), kao i za hlađenje rashladnih sistema u industrijskim i poslovnim zgradama. Ova voda

se isporučuje kroz mrežu cevi namenski napravljenu za tu svrhu. S druge strane, u sušnim periodima, „Nova voda“ se dodaje u rezervoare sa sirovom vodom i meša sa njom. A sirova voda iz rezervoara, pre nego što se dostavi potrošačima, takođe prolazi kroz proces prečišćavanja. Četvrta slavina je desalinizovana voda. U postupku desalinizacije koriste se procesi kao što su reverzna osmoza, elektrodejonizacija, biomimikrija.

Uz pomoć visoko razvijene tehnologije, Singapur je u stanju da prečišćenom vodom pokrije 40% svojih potreba, a u planu je da se taj procenat poveća na 55% do 2060. godine, odnosno do trenutka isticanja sporazuma sa Malezijom, zemljom koja je u prošlosti bila glavni snabdevač Singapura vodom za piće. S druge strane, kao što smo već napomenuli, Singapur je ostrvska zemlja okružena morem. U tom smislu treba istaći da sistemi koji se koriste za prečišćavanje, pa samim tim i „stvaranje“ nove vode, imaju i važan ekološki značaj, jer doprinose smanjenju zagađenja mora, s obzirom da samo jedan mali deo otpadnih voda završava u moru. U većini drugih zemalja, otpadne vode (čak do 80%) najčešće završe u ekosistemima bez ikakvih tretmana (AFP, 2023).

2.2. Primer Japana - kako preživeti prirodne katastrofe /

Japan's example - how to survive natural disasters

Ostrvska zemlja Japan se nalazi u Istočnoj Aziji. Prostire se na arhipelagu koji obuhvata 14.125 ostrva (od kojih su najveća Hokaido, Honšu, Šikoku) i zauzima površinu od 377.975 km². Okružuju ga Tihi okean (sa severa), Japansko more (na zapadu - od Ohotskog mora na severu, do Istočnog kineskog, Filipinskog i Tajvanskog mora na jugu). Po broju stanovnika (skoro 125 miliona) zauzima 11. mesto u svetu, a po gustini (330 stanovnika/km²) nalazi se na 44. mestu.

Ova zemlja se nalazi na trustnom području, izložena je čestim zemljotresima, ponekad izuzetno razornim (kao npr. onaj iz 1923. godine kada je poginulo 142.000 ljudi ili oni skoriji, iz 1995. i 2011, koji su pokrenuli ogromni cunami). Ovaj poslednji, koji se dogodio 11. marta 2011. godine, jačine 9,3 stepeni Rihterove skale, izazvao je još jednu posledičnu katastrofu – seriju nuklearnih nesreća i otkazivanje uređaja u nuklearnoj elektrani Fukušima, kada je veliki talas cunami udario u ove reaktore i poplavio celo područje. To je, naravno, imalo dalekosežne posledice na čitavu životnu sredinu. Dakle, iako ekonomski vrlo razvijena zemlja, Japan se godinama suočava s vrlo složenim i opasnim uslovima života. Da bi se obezbedio kvalitetan život za stanovništvo, moralo se pristupiti donošenju ozbiljnih

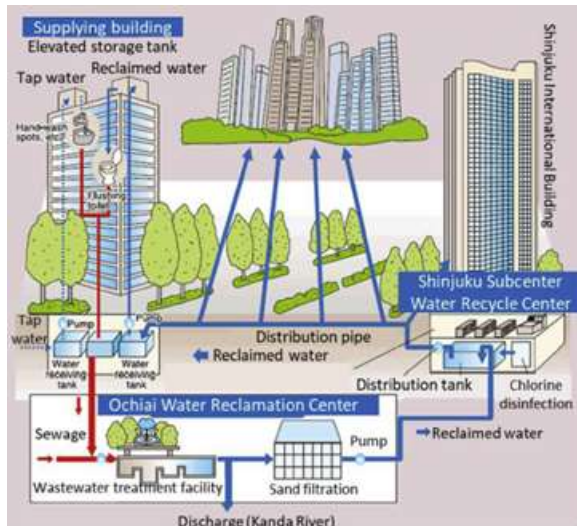
mera u različitim oblastima, pa tako i u oblasti vodosnabdevanja.

Vlada Japana je počela ozbiljnije da se bavi ovim pitanjem 80-tih godina prošlog veka, kada su zemlju pogodile velike suše, a istovremeno je trebalo odgovoriti i na sve veće zahteve brze urbanizacije i ekonomskog rasta. To je poslužilo kao „okidač“ za postepeno uvođenje postupaka pomoću kojih bi već upotrebljena voda mogla da nađe novu namenu. Proces se odvijao u tri faze. U prvoj fazi, već iskorišćena voda je u urbanim sredinama počela da se koristi za ispiranje toaleta i navodnjavanje zelenih površina. U drugoj fazi se pristupilo povećanju protoka tokova potoka i reka. U trećoj fazi, ovakva voda je već dobila višenamensku primenu: između ostalog, koristila se i za prenos toplote, kao i kao voda za hitne slučajeve.

Prvo postrojenje za prečišćavanje upotrebljene vode postavljeno je u gradu Fukuoka, koji je zbog ozbiljne suše, koja ga je pogodila 1978. godine imao ograničeno snabdevanje vodom tokom čak 287 dana. Gradske vlasti su tada pod motom „grad koji vodi računa o očuvanju vode“ promovisale instalaciju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda za ispiranje toaleta i navodnjavanje zelenih površina, a sekundarni efluenti su se prečišćavali peščanom filtracijom, ozoniranjem i hlorsisanjem. Voda se distribuirala putem dvostrukog sistema – jedan je služio za vodu iz slavine, a drugi za sprovođenje obnovljene vode.

Vremenom se kvalitet obnovljene vode poboljšavao – u već postojeći proces peščane filtracije, ozoniranja i hlorsisanja integrisani su i procesi koagulacije i pre-filtracije. U početku su ovi sistemi bili instalirani samo u javnim objektima, poput gradske skupštine i centralne policijske stanice, ali je 2003. godine doneta uredba kojom se od vlasnika privatnih zgrada takođe zahtevala instalacija sistema za rekultivaciju vode. Ubrzo se ovom projektu priključio i glavni grad Tokio, u okrugu Šindžuku. Gradske vlasti i Fukuoke i Tokija zahtevale su da se u novim zgradama uvede sistem dvostruke distribucije za snabdevanje vodom i obavezno korišćenje obnovljene vode ili kišnice za ispiranje toaleta i navodnjavanje zelenih pojasa u zgradama čija površina prelazi 5.000 m² (Fukuoka) ili 10.000 m² (Tokio).

Međutim, ponovna upotreba vode bila je praktično ograničena na samo tri regionalne oblasti (projektu se takođe priključio i grad Naha). A u Tokiju, vlasnici zgrada iz drugih opština nisu mogli da pristupe novopostavljenim regionalnim instalacijama, nego su morali da instaliraju pojedinačne sisteme koji koriste sivu vodu i/ili kišnicu. To se pokazalo kao veoma skupa investicija.



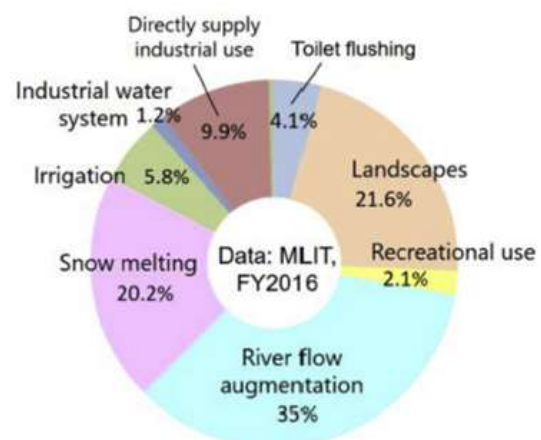
Slika 2 - Sistem za ponovno korišćenje već upotrebene vode u oblasti Šindžuku, Tokio
Figure 2 - Water reuse system in Shinjuku area, Tokyo

Izvor / Source: Takeuchi & Tanaka (2020)

Danas imamo situaciju da su u Japanu i dalje razvijeniji sistemi za prikupljanje kišnice od sistema za skupljanje sive vode, iako se oni ne smatraju dovoljno pouzdanim. U drugoj fazi, u Japanu je obnovljena voda počela da se koristi kao dopuna gradskim rekama i potocima, koji su sa povećanom urbanizacijom počeli da presušuju. Ova voda se prečišćavala filtriranjem peska i ozoniranjem. Ovo je dalo vrlo dobre rezultate, u presušanim potocima se protok vode u toj meri poboljšao da je u njima počela da obitava čak i čuvena japanska vrsta riba *Plecoglossus altivelis*. U trećoj fazi, reciklirana voda je počela da se koristi višenamenski u različite svrhe. Jedna od njenih karakteristika je privukla veliku pažnju: s obzirom da je temperatura u kanalizacionoj mreži stabilnija od atmosferske, toplota reciklirane vode je počela da se koristi kao izvor toplote u toplotnim pumpama. Ovo se pokazalo i kao dobra primena u daljoj perspektivi - kao doprinos društvu sa niskim sadržajem ugljenika. U hitnim situacijama ili u slučaju suša ova voda se najčešće koristi za pranje ulica ili navodnjavanje zelenog pojasa. U Japanu se voda reciklira već više od 40 godina, ali je njena primena i dalje ograničena. Na primer, prema statistikama iz 2016. godine, samo 1,3% (oko 210 miliona m³/god.) ukupne količine proizvedene otpadne vode (oko 14,7 milijardi m³/god.) se reciklirala (Takeuchi & Tanaka, 2020).

Najčešća primena regenerisane vode u Japanu je povećanje protoka (35%), zatim navodnjavanje pejzaža (21,6%) i voda za topljenje snega (20,2%). Mala količina iskorišćene vode se koristi za navodnjavanje poljoprivrede (5,8%), ispiranje toaleta

(4,1%), rekreativne primene (2,1%) i industrijske aktivnosti (1,2%). Jedan od razloga zašto se reciklirana voda ne koristi u većoj meri je nepostojanje dovoljno širokih standarda kvaliteta. Naime, Japan je još 2005. godine postavio standarde kvaliteta za regenerisanu vodu sa ciljem da se regulišu nivoi ukupnih koliforma, a naročito bakterije *Escherichia coli*, pH, zamućenosti, izgleda, mirisa, boje i rezidualnog hlora. Međutim, ovaj standard ne reguliše hemikalije i viruse, tako da bezbednost ove vode u odnosu na ove zagađivače nije zagarantovana. Pored toga, procesi za obradu korišćene vode su energetski veoma zahtevni, pa tako postrojenja za reciklažu vode troše više energije od postrojenja za snabdevanje pijaćom vodom.



Slika 3. Primena regenerisane vode u Japanu
Figure 3. Application of reclaimed water in Japan
Izvor / Source: Takeuchi & Tanaka (2020)

Dakle, glavni rizici koji se javljaju pri prečišćavanju već korišćene vode su prisustvo patogenih bakterija i hemikalija. Što se tiče hemikalija, one nisu toliko značajne po zdravlje ljudi u slučaju da se ta voda ne koristi za piće - jer najopasnije hemikalije podrazumevaju hronično trovanje, a učestalost sa kojom se izlažemo hemikalijama i koncentracija takvih hemikalija u vodi koja nije za piće je mnogo manja nego u vodi koja služi za piće. S druge strane, takva voda, zatrovana hemikalijama, predstavlja veliku opasnost po ekosisteme.

2.3. Primer zakonske regulative (Čile) / Example of legislation (Chile)

Čile je specifična južnoamerička zemlja kod koje se topografija uzdiže od nivoa mora do skoro sedam hiljada metara. Zbog globalnog otopljanja dolazi do nestanka čitavih jezera, a reke intenzivno presušuju. I pored sprovođenja kampanja koje pozivaju stanovništvo da vodi računa o potrošnji vode, kao i postojanja inicijativa za dobijanje vode iz novih izvora, poput desalinizacije, postalo je jasno da se ove

inicijative ne odvijaju onom brzinom kojom se zemlja suočava sa problemima – kada je na primer 2016. godine 76% teritorije Čilea bilo pogođeno sušom, dezertifikacijom i degradacijom zemljišta. Trenutno se u Čileu koristi samo 3% već upotrebijene vode (Toro, 2020). Ovaj sistem bi omogućio stvaranje novog izvora vode kako bi se zadovoljila potražnja koja se trenutno zadovoljava uglavnom pitkom vodom, koja bi, onda, mogla da ima drugu primenu (Cabrero, 2021). Pristupilo se i izradi zakonskih dokumenata kojima bi se regulisala ova aktivnost. Zakonom, sa uredbama (Proyecto de Reglamento, 2018), utvrđuje se namena koja se može dati prečišćenoj sivoj vodi:

1. urbana (zalivanje bašti ili ispiranje sanitarnih uređaja);
2. rekreativna (zalivanje javnih površina, zelenih površina, sportskih terena ili drugih površina sa slobodnim pristupom javnosti);
3. ukrasna (zalivanje zelenih površina i bašti bez javnog pristupa);
4. industrijska (sve vrste industrijskih procesa koji nisu namenjeni za prehrambene proizvode i hlađenje bez isparavanja), i
5. ekološka (navodnjavanje pošumljenih vrsta, održavanje močvara i svako drugo korišćenje koje doprinosi očuvanju i održivosti životne sredine).

Zakon precizno utvrđuje u koje svrhe siva voda ne može da se koristi: „Zabranjena je ponovna upotreba prečišćene sive vode za sledeće namene:

1. za ljudsku potrošnju i, uopšte, usluge obezbeđivanja pijaće vode, kao i zalivanje voća i povrća koje raste pri zemlji i koje ljudi obično konzumiraju sirovo, ili koje služi kao hrana za životinje koje mogu da ugroze zdravlje ljudi;
2. za proizvodne procese prehrambene industrije;
3. za upotrebu u zdravstvenim ustanovama uopšte;
4. za uzgajanje mekušaca koji se hrane filtriranjem sitnih čestica iz vode;
5. za upotrebu u bazenima i banjama;
6. za upotrebu u rashladnim tornjevima i evaporativnim kondenzatorima;
7. u fontanama ili ukrasnim bazenima gde postoji opasnost od kontakta ljudi sa vodom;
8. u svakoj drugoj primeni koju zdravstveni organ smatra rizičnom po zdravlje.”

Prema Zakonu, sistem za ponovno korišćenje sive vode „mora biti potpuno nezavisan od sistema vode za piće, kako bi se izbegla kontaminacija i pogoršanje kvaliteta vode za piće.” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2018). Slično tome, sistem za ponovno korišćenje sive vode „mora biti nezavisan od sistema za sakupljanje kišnice.” (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023). Vodovodne cevi za sprovođenje sirove i obrađene sive treba da budu obojene ljubičasto da bi se razlikovale od cevi za pitku vodu, crnu vodu i ostalih sistema cevi.

ZAKLJUČAK / CONCLUSION

Iako se prečišćavanje sive otpadne vode ne smatra prioritetom, odgovarajućim tretmanom vode pre njenog ispuštanja u cevovod, pa zatim u kanalizaciju, znatno bi mogla da se smanji sveukupna zagađenost otpadnih voda, s obzirom da siva voda predstavlja više od jedne polovine ukupnih otpadnih materija u otpadnim vodama. Obrada sive vode pre njenog konačnog ispuštanja u životnu sredinu doprinela bi boljem kvalitetu otpadnih voda. Budući da ne postoji jedinstveno standardno rešenje za upravljanje sivim vodama, širom sveta postoji veliki spektar rešenja. Razlozi zbog kojih se siva voda ne koristi ponovo u zemljama u razvoju ili nisko razvijenim zemljama nalaze se u činjenici da se u ovim zemljama prioritet daje kanizacionim mrežama i vodovodnim sistemima, tako da se zbog ograničenih sredstava još uvek nije došlo do toga da se ulaže u sisteme za posebno prečišćavanje sivih voda. Stoga se u tim zemljama siva voda i dalje otpušta bez adekvatnog tretmana u životnu sredinu, bilo kroz otvorene odvođe, kanizacione sisteme ili nekontrolisano.

Ideja o ponovnom korišćenju vode je veoma stara i datira još iz vremena od pre 3000 godina, kada se začela pre svega kod onih civilizacija i naroda koji su, iz različitih razloga, imali probleme sa obezbeđenjem dovoljnih količina pijaće vode (ostrvske zemlje, zemlje sa malim brojem reka, zemlje izložene čestim elementarnim nepogodama i katastrofama, poput zemljotresa, vulkana, cunamija, suša), da bi se danas ovaj problem, podstaknut klimatskim promenama, globalno raširio.

Ponovna upotreba već iskorišćene vode usko je povezana i sa sistemima za odvođenje upotrebijene vode, odnosno kanizacionim sistemima. U nekim zemljama ovom se problemu pristupalo na način koji im je kasnije omogućio da se lakše bave problemom ponovne upotrebe otpadnih voda, jer su od samog početka izvršili razdvajanje ili separaciju različitih tipova otpadnih voda, pa su tako imali posebne sisteme za odvođenje sanitarnih voda, površinskih atmosferskih ili podzemnih voda. Druge zemlje u kojima problem sa vodosnabdevanjem nije bio tako izražen (na primer gradovi nastali na obalama velikih reka) ili koje su iz ekonomskih razloga bile prinuđene da prihvate jeftiniju varijantu kanalizacije, danas se suočavaju sa dodatnim problemima „skupe“ izgradnje ili ugradnje dodatnih uređaja za sprovođenje ovog ili onog posebnog tipa otpadnih voda.

Istraživanje sprovedeno za potrebe ovog rada bavi se prvenstveno pojmom sive vode i njenom potencijalnom upotrebom, ali su se nametnuli i drugi oblici već korišćene vode, kao i drugi načini za njeno

prečišćavanje. Pokazalo se da u praksi to najčešće tako i funkcionije: oni koji prečišćavaju sivu vodu, često imaju potrebu da prečišćavaju i neki drugi oblik otpadne vode, kao npr. industrijsku vodu ili pak, crnu vodu. Najbolji primer za to je Singapur koji praktično prečišćava sve oblike otpadnih voda. Tehnike i postrojenja koja se koriste su mahom slična - ono što ih najviše razdvaja su „filteri“, u zavisnosti od sastava i nivoa čistoće vode koji želi da se postigne. A svima je zajedničko da su pre uvođenja praktičnih procedura vezanih za prečišćavanje, prvo doneli stroge zakonske regulative. Jer prečišćavanje vode, pogotovo one koja je u konačnom obliku namenjena za piće, ali i one koja je namenjena zalivanju poljoprivrednih proizvoda ili javnih zelenih površina, zahteva striktno poštovanje regulativa i procedura, jer posledice po stanovništvo i životnu sredinu mogu biti nesagledive.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] AFP (2023). En Singapur, el agua residual se transforma en agua potable. Dostupno na: <https://www.swissinfo.ch/spa/afp/en-singapur--el-agua-residual-se-transforma-en-agua-potable/46855778>. Pristupano dana 13.4.2023.
- [2] Angelakis, A.N., Koutsoyiannis, D. (2003). Urban Water Engineering and Management in Ancient Greece. In: Stewart, B.A., Howell, T. (Eds.), *The Encyclopedia of Water Science*. Marcel Dekker, New York, USA, pp. 999-1008. doi:10.13140/RG.2.1.2644.2487
- [3] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2018). Ley 21.075. Regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises. Ministerio de obras públicas. <http://bcn.cl/2eoxk>. Pristupano dana 10.08.2023.
- [4] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2023). Ley 21623. Modifica la Ley n° 21.075, que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, para fomentar la reutilización de aguas grises tratadas en la agricultura. Ministerio del medio ambiente. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1198284> Pristupano dana 10.08.2023.
- [5] Caballero Maldonado, C. (2021): Ley de reutilización de aguas grises: dos miradas sobre una normativa que hace tres años espera por un reglamento para aplicarla, en El País Circular <https://www.paiscircular.cl/ciudad/ley-de-tratamiento-y-reutilizacion-de-aguas-grises-dos-miradas-sobre-una-normativa-que-hace-tres-anos-espera-por-un-reglamento-que-permita-aplicarla/>
- [6] Christie, M., Rowe, P., Perry, C., & Chamard, J. (2000). Implementation of Realism in Case Study Research Methodology, International Council for Small Business, Annual Conference, Brisbane, 2000.
- [7] Dal Ferro, N., De Mattia, C., Gandini, M. A., Maucieri, C., Stevanato, P., Squartini, A., & Borin, M. (2021). Green Walls to Treat Kitchen Greywater in Urban Areas: Performance from a Pilot-Scale Experiment. *Science of the Total Environment*, 757, 144189.
- [8] Elhegazy, H., & Eid, M. M. (2020). A State-of-the-Art-Review on Grey Water Management: A Survey from 2000 to 2020s. *Water Science and Technology*, 82(12), 2786-2797.
- [9] European Commission (2023). Environment, Water. <https://ec.europa.eu/environment/water/reuse.htm>. Pristupano dana 20.5.2023.
- [10] Haoyang, L. (2014). Potential of Bioretention Systems for Greywater Reuse in Singapore. National University of Singapore. <http://www.pub.gov.sg/water/Pages/singaporewaterstory.aspx>. Pristupano dana 13.12.2022
- [11] Leong, J. Y. C., Balan, P., Chong, M. N., & Poh, P. E. (2019). Life-Cycle Assessment and Life-Cycle Cost Analysis of Decentralised Rainwater Harvesting, Greywater Recycling and Hybrid Rainwater-Greywater Systems. *Journal of Cleaner Production*, 229, 1211-1224.
- [12] Leong, J. Y. C., Oh, K. S., Poh, P. E., & Chong, M. N. (2017). Prospects of Hybrid Rainwater-Greywater Decentralised System for Water Recycling and Reuse: A Review. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3014-3027.
- [13] Masmoudi Jabri, K., Nolde, E., Ciroth, A., & Bousselmi, L. (2020). Life Cycle Assessment of a Decentralized Greywater Treatment Alternative for Non-Potable Reuse Application. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1), 433-444.
- [14] Oh, K. S., Leong, J. Y. C., Poh, P. E., Chong, M. N., & Von Lau, E. (2018). A Review of Greywater Recycling Related Issues: Challenges and Future Prospects in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 171, 17-29.
- [15] Oron, G., Adel, M., Agmon, V., Friedler, E., Halperin, R., Leshem, E., & Weinberg, D. (2014). Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. *Water research*, 58, 92-101.
- [16] Pradhan, S., Al-Ghamdi, S. G., & Mackey, H. R. (2019). Greywater Recycling in Buildings Using Living Walls and Green Roofs: A Review of the Applicability and Challenges. *Science of the Total Environment*, 652, 330-344.

- [17] Priya, A. (2021). Case Study Methodology of Qualitative Research: Key Attributes and Navigating the Conundrums in its Application. *Sociological Bulletin*, 70(1), 94-110.
- [18] Proyecto de Reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises (2018). Ministerio de salud, Chile. https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2021/05/15_Reglamento-Aguas-Grises_Consulta-P%C3%BAblica.pdf Pristupano dana 20.11. 2022.
- [19] Rose, J.B, Angelakis, A.N. (2014). *Evolution of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries*. London: IWA Publishing. p. 2. doi:10.2166/9781780404851
- [20] Singapore's National Water Agency, PUB (2023). <http://www.pub.gov.sg/water/Pages/singaporewaterstory.aspx>. Pristupano 12.05. 2023.
- [21] Takeuchi, H. & Tanaka, H. (2020). Water Reuse and Recycling in Japan - History, Current Situation and Future Perspectives. *Water Cycle*, 1, 1-12.
- [22] Toro, D. (2023): Sequía reabre urgencia por reutilizar aguas grises en Chile y la necesidad de que ley cuente con un reglamento. <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2022/04/16/1058040/reutilizar-aguas-grises-crisis-hidrica.html>. Pristupano dana 1.06.2023.
- [23] United Nations (2020), Department of Economic and Social Affairs, Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/statements/un-secretary-general-message-world-water-day-2020-water-and-climate-change-26987>. Pristupano dana 12.06.2023.
- [24] Veličković, D. (2023). Analiza ekstremnih voda u slivu Lima na teritoriji Crne Gore za period od 2008. do 2021. godine. *Ecologica*, 30(109), 139-148. doi:10.18485/ecologica.2023.30.109.20
- [25] Wanjiru, E., & Xia, X. (2017). Optimal Energy-Water Management in Urban Residential Buildings through Grey Water Recycling. *Sustainable Cities and Society*, 32, 654-668.
- [26] Yoonus, H., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Environmental Performance of Building Integrated Grey Water Reuse Systems Based on Life-Cycle Assessment: A Systematic and Bibliographic Analysis. *Science of the Total Environment*, 712, 136535.