

RECIKLAŽA I PONOVA UPOTREBA VODA NAKON TRETMANA

RECYCLE AND RE-USE WATER AFTER TREATMENT

dr Vanja Šušteršič¹⁾, Dejan Dinčić²⁾

Rezime: *Neadekvatno upravljanje vodom ubrzava pražnjenje površinskih i podzemnih voda. Kvalitet vode je degradiran od strane domaćih i industrijskih izvora zagađenja. Reciklaža i ponovna upotreba vode može da smanji i spreči zagađenje, a postoji veliki broj prednosti - ekonomski i ekološki gledano - implementacije reciklirane vode u programe zajednice.*

Reciklirana voda može da sadrži više nivoe hranljivih materija, kao što je na pr. azot, nego pijaća voda. Primena reciklirane vode u poljoprivredi i za navodnjavanje pejzaža može da obezbedi dodatni izvor hranljivih materija i umanju potrebu za primenom sintetičkih đubriva.

Najveća prepreka za ponovnu upotrebu voda nakon tretmana je averzija javnosti. Agresivne PR kampanje u cilju obrazovanja zajednice o aktuelnim procesima tretmana i rezidualnim nivoima zagađivača su najbolji način za borbu protiv averzije javnosti.

Tehnički faktor se često smatra najmanje važnim za uspešnu ponovnu upotrebu vode. Da bi se postigle adekvatne dezinfekcijske performanse, u kojima su fekalni pokazatelji ispod granica detekcije, preporučuje se primena predtretmana u cilju smanjenja koncentracije suspendovanih čestica. Ovo je od posebnog značaja ako se UV zračenje koristi za dezinfekciju. Kombinacijom UV zračenja sa drugim agensima za dezinfekciju obezbeđuje se veća pouzdanost i veća efikasnost za inaktivaciju različitih vrsta mikro-organizama. Tokom poslednjih decenija, membranski tretman je odobren kao najbolja raspoloživa tehnologija za proizvodnju kvalitetne reciklirane vode za indirektnu ponovnu upotrebu i industrijsku primenu. Tehnologija koja napreduje najbrže u svetu među membranskim procesima koji se koriste za prečišćavanje otpadnih voda je membranski bioreaktor (MBR). Reversna osmoza (RO) je jedan od najčešće korišćenih predtretmana nakon mikrofiltracije (MF) i ultrafiltracije (UF).

Ključne reči: *površinske i podzemne vode, fekalni pokazatelji, koncentracija suspendovanih čestica, reciklirana voda, membranski bioreaktor (MBR), Reversna osmoza (RO), mikrofiltracija (MF), ultrafiltracija (UF)*

Abstract: *Inadequate water management accelerates emptying of surface and underground waters. Water quality is degraded by domestic and industrial pollution sources. Recycle and re-use water after treatment can reduce and prevent pollution, and there are a number of benefits - economic and environmental point of view - the implementation of recycled water programs in the community. Recycled water may contains higher levels of nutrients, such as nitrogen, rather than drinking water. The application of recycled water in agriculture and irrigation landscape can provide an additional source of nutrients and reduce the need for the application of synthetic fertilizers.*

The biggest obstacle to reuse water after treatment is aversion to the public. Aggressive PR companies which educate the community about the current treatment process and residual levels of contaminants are the best way to combat the aversion of the public.

Technical factors are often considered the least important for the successful reuse of water. In order to obtain adequate disinfection performance, in which the fecal below the limit of detection data, the application of pre-treatment is recommended in order to reduce the concentration of suspended particles. This is of particular importance, if the UV radiation is used for disinfection. A combination with other agents, UV disinfection is provided to higher reliability and greater efficiency in the inactivation of different types of micro - organisms. Over the last decade, membrane treatment has been approved as the best available technology for producing high-

-
- 1) dr Vanja Šušteršič, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Kragujevac, mail: vanjas@kg.ac.rs
 - 2) Dejan Dinčić, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka Kragujevac, mail: dincidejan@gmail.com

quality recycled water for indirect reuse and industrial applications. The technology which advancing fast in the world of the membrane processes is used for wastewater treatment is membrane bioreactor (MBR). Reverse osmosis (RO) is one of used pre-treatment after microfiltration (MF) and ultrafiltration (UF).

Key words: *surface and ground water, fecal indicators, the concentration of suspended solids, recycled water, Membrane bioreactor (MBR), Reverse Osmosis (RO), Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF)*

1. UVOD

Problemi u vezi sa vodom predstavljaju najveću neposrednu i ozbiljnu pretnju po životnu sredinu čovečanstva. Upotreba vode se globalno utrostručila od 1950, a jedna od svakih šest osoba nema redovan pristup ispravnoj vodi za piće. Nedostatak pristupa ispravnom vodovodu i kanalizaciji utiče na zdravlje 1,2 milijarde ljudi godišnje (SZO i UNICEF, 2000). Prema poslednjem izveštaju UNEP-a (Global Environment Outlook of the United Nations Environmental Programme) oko jedne trećine svetske populacije trenutno živi u zemljama gde je potrošnja vode viša za 10% od obnovljivih slatkovodnih resursa. Raspoloživost vode u mnogim zemljama u Africi i Aziji je veoma niska ili katastrofalno niska (UNEP, 2002a).

Ovi problemi mogu se pripisati mnogim faktorima. Neadekvatno upravljanje vodom ubrzava praznjenje površinskih i podzemnih voda. Kvalitet vode je degradiran od strane domaćih i industrijskih izvora zagađenja. U nekim mestima, voda se izvlači iz vodnih resursa, koji su zagađeni zbog nedostatka kanalizacione infrastrukture i usluga. Prekomerno izvlačenje podzemnih voda takođe degradira kvalitet vode, a na kvalitet utiču i soli, pesticidi, prirodni arsen i drugih zagađivači. U urbanim sredinama, potražnja za vodom je u stalnom porastu, usled rasta stanovništva i industrijskog razvoja. Stopa rasta broja stanovnika u urbanim sredinama je od posebnog značaja za zemlje u razvoju. Rast stanovništva se očekuje u zemljama u razvoju, a razvijeni regioni projektuju smanjenje stanovništva za 6% u narednih 50 godina. U međuvremenu, očekuje se da će ruralno stanovništvo da se stabilizuje na oko 3,2 milijardi (2,97 milijardi danas), što ukazuje da će se rastuća populacija naseliti u urbanim sredinama (SZO i UNICEF, 2000). Mnogi delovi sveta suočavaju se sa promenama klimatskih uslova, kao što su promenljivi režimi padavina, ciklusi poplava i suša, a koji utiču na ciklus vode [1].

2. ISTORIJA PONOVNE UPOTREBE VODE NAKON TRETMANA

Termin „otpadne vode“ označava vodu koja se više ne želi, kao i da dalje koristi ne mogu biti

izvedene iz nje. Oko 99 odsto otpadnih voda je voda, a samo jedan odsto je čvrsti otpad. Razumevanje ukupnog potencijala ponovne upotrebe vode nakon tretmana, da bi se nadoknadio nedostatak pijaće vode, postojao je još u minojskoj civilizaciji u staroj Grčkoj pre 5000 godina, gde se koristila za navodnjavanje poljoprivrednih dobara. Korišćenje otpadnih voda za navodnjavanje farmi zabeleženo je u Nemačkoj i Velikoj Britaniji u 16. i 18. veku, respektivno. Navodnjavanje otpadnim vodama ima dugu istoriju u Kini i Indiji. Korišćenje otpadnih voda za navodnjavanje je praktikovano i na farmama u Evropi, Americi i Australiji, na prelazu ovog veka. Za poslednje tri decenije, koristi od promovisanja ponovne upotrebe vode kao sredstva za dopunu vodnih resursa i izbegavanje degradacije životne sredine priznata su od strane nacionalnih vlada. Istraživanje naučnika, koji su svesni kako prednosti tako i opasnosti, ocenjuju reciklažu i ponovnu upotrebu vode kao jednu od opcija za buduća potraživanja za vodom.

3. MOTIVACIONI FAKTORI ZA RECIKLAŽU I PONOVNU UPOTREBU VODE

Motivacioni faktori za reciklažu i ponovnu upotrebu otpadnih voda su:

- mogućnosti da se povećaju ograničeni primarni izvori vode;
- sprečavanje prekomernog preusmeravanja vode iz alternativnih izvora, uključujući i prirodno okruženje;
- mogućnosti za upravljanje izvorima vode na licu mesta;
- minimiziranje troškova infrastrukture, uključujući i ukupne troškove tretmana i praznjenja;
- smanjenje i eliminisanje ispuštanja otpadnih voda (tretirana ili netretirana) u prijemno okruženje;
- težnja da se prevaziđu politička, društvena i institucionalna ograničenja [2].

4. NAČINI PONOVDNE UPOTREBE VODE

Prema načinu upotrebljene vode se mogu grupisati u sledeće kategorije:

- Urbanu - navodnjavanje javnih parkova, školskih dvorišta, autoputa i stambenih pejzaža, kao i za zaštitu od požara i ispiranje toaleta u poslovnim i industrijskim objektima,
- Poljoprivrednu - za navodnjavanje neprehrambenih useva, kao što su usevi za uzgoj stočne hrane i na pašnjacima.
- Rekreativnu akumulaciju - kao što bare i jezera,
- Ekološku - za stvaranje veštačkih močvara, una-pređivanje prirodnih močvara i održavanje toka potoka,
- Industrijsku - proces prerade vode za rashladne uređaje [3].

4.1 Ponovna upotreba vode u poljoprivredi

Treba praviti razliku između ograničenog i neograničenog tipa navodnjavanja, na osnovu navodnjavanja useva i načina rada. Navodnjavanje ograničenog tipa podrazumeva šume i područja u kojima se ne očekuje pristup javnosti, zatim uzgoj stočne hrane, industrijskih kultura, pašnjake, sadnice voća (pod uslovom da tokom prikupljanja plodovi ne dolaze u kontakt sa tlom), semenske useve, useve koji daju proizvode koji se obrađuju pre konzumiranja.

Neograničeno navodnjavanje obuhvata sve druge useve kao što su povrće, vinogradi, usevi sa proizvodima koji se konzumiraju sirovi, staklenici. Standardi za ograničeno i neograničeno navodnjavanje prikazani su u Tabeli 1.

	Ograničeno navodnjavanje ¹	Neograničeno navodnjavanje ²
Fecal coliforms / 100 ml	200 po srednjoj vrednosti	5 za 80% uzoraka
BOD (mg /l)	25 za 80% uzoraka	10 za 80% uzoraka
SS (mg/l)	25 za 80% uzoraka	10 za 80% uzoraka
toksičnih (NTU)	-	2 po srednjoj vrednosti
vrednost koju preporučuje tretman	- srednji biološki tretman, - dezinfekcija	- srednji biološki tretman, - tercijalna dezinfekcija, - dezinfekcija

Tabela 1 - Standardi za ograničeno i neograničeno navodnjavanje

¹Šume i oblasti gde se pristup javnosti ne očekuje, proizvodnja stočne hrane, industrijskih kultura, pašnjaci, stabla (uključujući

voće sa drveta uz uslov da tokom prikupljanja plodovi ne dolaze u kontakt sa tlom).

²Svi drugi usevi poput povrća, vinograda, usevi sa proizvodima koji se konzumiraju sirovi, staklenici.

Preporučene metode za srednji tretman uključuju razne vrste aktivnog mulja, biološke filtere i rotirajuće biološke kontraktore. Drugi sistemi uključuju prirodni sistem i sisteme za proizvodnju efluenta na licu mesta koji odgovara kvalitetu (BOD/SS 25/35) i koji može biti prihvaćen uz odgovarajuću dokumentaciju. U pogledu koncentracije azota u otpadnoj vodi, ona mora biti manja od 30 mg/l osim u slučajevima dugoročnog nagomilavanja, gde koncentracija od 15 mg/l za azot i 4 mg/l za fosfor mora biti prihvaćena.

Dezinfekcija vode vrši se hlorisanjem, ozoniranjem, ili drugim hemijskim sredstvima za dezinfekciju, UV zračenjem, membranskim procesima.

Tercijalna dezinfekcija vode obično se vrši koagulacijom, flokulacijom, sedimentacijom, filtracijom.

Direktna ili kontaktna filtracija se može koristiti ako se pri tretmanu proizvodi otpadna voda sa koncentracijom SS manjom od 20 mg/l za 80% uzoraka.

4.2 Ponovna upotreba vode u urbanim sredinama

Ova vrsta ponovne upotrebe vode obično podrazumeva navodnjavanje pejzažnih područja (grobља, golf terena, parkova), gašenje požara, sabijanje zemljišta, čišćenje puteva, trotoara, vodu za toalet, kao i snabdevanje fontana vodom. Propisi često prave razliku između ograničene i neograničene upotrebe vode u urbane svrhe na osnovu nivoa i učestalosti ljudskog kontakta sa vodom. U pogledu tretmana, za ograničenu ponovnu upotrebu vode u urbane svrhe koristi se sekundarni tretman, dok neograničena ponovna upotreba vode zahteva dodatni tretman koji se naziva tercijalni tretman. Razlika između ograničene i neograničene ponovne upotrebe vode u urbane svrhe je validan i siguran postupak pod uslovom da su institucionalne, organizacione i administrativne mere ispoštovane. Zahtevi mikroelemenata i opšte karakteristike vode za navodnjavanje date su u Tabeli 2.

Urbana ponovna upotreba vode – restauracija staništa-rekreacija	
Fecal coliforms/100 ml	5 za 80 % uzoraka
5 BOD (mg/l)	10 za 80 % uzoraka
SS (mg/l)	10 za 80 % uzoraka
toksičkih (NTU)	2 za srednju vrednost
Preporučeni tretman	- biološki tretman - tercijarna dezinfekcija

Tabela 2 - Zahtevi mikroelemenata i opšte karakteristike vode za navodnjavanje

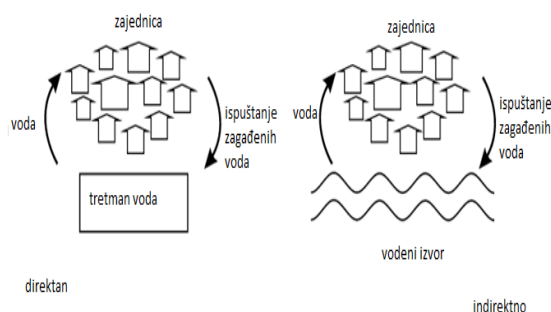
4.3 Ponovno korišćenje vode u industrijske svrhe

Ponovna upotreba vode u industrijske svrhe uključuje rashladne vode kotlova i procesne vode (VPCF, 1989). Nakon prolaska kroz sisteme hlađenja sekundarni dezinfikovani efluent sa koncentracijom FK manjom od 200/100 ml može da se koristi. Za sve ostale slučajeve, uključujući i recirkulisane sisteme hlađenja tercijarni tretman je minimalni uslov. Dodatni tretmani zavise od specifičnosti primene [4].

5. ŠEMATSKI PRIKAZI PONOVNE UPOTREBE VODE NAKON TRETMANA

Ponovna upotreba vode nakon tretmana može biti direktna i indirektna. Direktna ponovna upotreba vode nakon tretmana predstavlja planiranu i namernu upotrebu tretirane vode u korisne svrhe, uključujući i vodu za piće. Direktna upotreba tretirane vode za piće nije populama i ograničena je na nekoliko mesta uključujući Vindhuk u Nambiji i Denver u Sjedinjenim Američkim Državama. Generalno je neprihvaćena zbog troškova i stavova zajednice. Studije pokazuju da će ljudi piti tretiranu vodu iz indirektnih izvora ukoliko ne postoje dokazi da to nije bezbedno. Ljudi, međutim neće piti vodu iz direktnih izvora ukoliko ne postoje dokazi da je voda ispravna.

Indirektna ponovna upotreba vode odnosi se na vodu iz reka i jezera.



Slika 1. Šematski prikaz ponovne upotrebe vode nakon tretmana [5]

6. PREDNOSTI I MANE PONOVNE UPOTREBE VODE

6.1 Prednosti ponovne upotrebe vode

Postoji veliki broj prednosti, ekonomski i ekološki gledano, pri implementaciji upotrebne vode u programe zajednice.

6.2 Ekološke prednosti ponovne upotrebe vode

Voda može ponovo da se koristi umesto da se vrati nazad u recipijent, na pr. u poljoprivredi, navodnjavanju i industriji. Ovo omogućava da se spreči dodatni pritisak na zalihe pijaće vode, posebno kada zahtevi za pijaćom vodom rastu. Ponovna upotreba vode može da pomogne osetljivim ekosistemima koji se oslanjaju na prirodne izvore vode. Životinjama, ribama i biljkama često je potrebna određena količina vode za život. Kako poljoprivreda, urbani način života i industrija zahtevaju vodu za svoje potrebe, to može da naruši ravnotežu, negativno da utiče na količinu vode koja je na raspolaganju, kao i na ukupni kvalitet vode i na taj način, opšte zdravlje ekosistema.

Ponovna upotreba vode pomaže smanjenju preusmeravanja vode iz osetljivih ekosistema. Pored toga, ponovno korišćenje vode pomaže smanjenje nepotrebnih, štetnih materija u izvorišta vode, pomažući održavanju zdrave životne sredine, smanjenjem zagađenja vode.

Tretirana voda takođe može da se koristi za kreiranje ili poboljšanje močvara ili priobalnih staništa. I u sušnim regionima, gde se energija koristi za transport vode na veću udaljenost do naseljenih mesta, upotreba lokalno proizvedene vode smanjuje emisiju gasova staklene bašte smanjenjem energije potrebne da se isporuči voda.

Uopšteno govoreći, ponovno korišćenje vode povećava zalihe sveže vode za ljudsku upotrebu i smanjuje ispuštanje otpada u životnu sredinu.

6.3 Ekonomske pogodnosti ponovne upotrebe vode

Ponovna upotreba vode predstavlja dobru ekonomsku odluku, posebno u zajednicama koje se suočavaju sa nestašicama vode. Ona stvara pouzdane i kontrolisane lokalne izvore snabdevanja, što je od suštinskog značaja za ekonomsku stabilnost bilo koje zajednice [6].

Kako potražnja za vodom raste, više vode se ekstrahuje, tretira i transportuje ponekad na velike udaljenosti što zahteva potrošnju električne energije. Reciklažom vode na licu mesta ili u blizini smanjuje se potreba za električnom energijom potrebnom za transport vode na veća rastojanja ili pumpanje vode iz dubokih bunara.

Kvalitet vode potrebne za ispiranje toaleta je daleko niži od kvaliteta vode potrebne za piće i zahteva manje energije da se proizvede. Upotreba reciklirane vode koja je lošijeg kvaliteta za svrhe koje ne zahtevaju visok kvalitet vode štedi električnu energiju i novac smanjujući zahteve za neophodnim tretmanom.

Ponovno korišćenje vode u cilju uštede električne energije je više nego detaljno razmotreno u izveštaju iz 2005 California's Water - Energy Relationship (CEC#700-2005-011-SF). Ovaj izveštaj ukazuje da je velika količina električne energije potrebna za tretman i distribuciju vode. Na prvom mestu je potrebna za prikupljanje, vađenje, transport i distribuciju vode krajnjim korisnicima i na drugom mestu za tretman i odlaganje otpadnih voda nakon upotrebe. Iako se za tretman otpadnih voda zahteva dodatna energija, količina energije potrebne za tretman i / ili prevoz vode iz drugih izvora je generalno mnogo veća [7].

6.4 Mane ponovne upotrebe vode

Neke od mana ponovne upotrebe vode su:

- ponovna upotreba vode može biti sezonskog karaktera (npr. navodnjavanje, zalivanje golf terena),
- postoji potencijalna opasnost za javno zdravlje, ako sistem za tretman vode ne radi ispravno,
- ne može uvek biti ekonomski izvodljiva zbog potrebe za odvojenim sistemom distribucije,
- može dovesti do kontaminacije podzemnih voda i
- može dovesti do prekomerne upotrebe pesticida ukoliko korisnici koji koriste vodu za navodnjavanje nisu edukovani o

hranljivim materijama koje se već nalaze u vodi.

Možda je najveća prepreka za ponovnu upotrebu voda nakon tretmana averzija javnosti. Agresivne PR kampanje u cilju edukovanja zajednice o aktuelnim procesima tretmana i rezidualnim nivoima zagađivača su najbolji način za informisanje javnosti o prednostima ponovne upotrebe vode [8].

7. TEHNIČKI IZAZOVI I INOVATIVNOST

Tehnički faktor se često smatra najmanje važnim. Uz pomoć današnjih raspoloživih tehnologija moguće je postići kvalitet vode koji zahtevaju korisnici i koji zadovoljava propise. Opseg tehnologija koje se mogu primeniti je širok, od standardnih koje su se dobro pokazale do najnovijih naprednih. Međutim, konačni izbor zavisi od lokalnih uslova, veličine postrojenja i standarda kvaliteta vode. Adekvatan izbor, što znači najprikladnija ili "najdostupnija" tehnologija u datoj situaciji, igra ključnu ulogu za budući pouzdan rad i pruža garanciju odgovarajućeg kvaliteta vode uz niže troškove eksploatacije i održavanja. Da bi se postigle adekvatne dezinfekcijske performanse, u kojima su fekalni pokazatelji ispod granica detekcije, preporučuje se primena predtretmana u cilju smanjenja koncentracije suspendovanih čestica. Tokom poslednjih decenija, membranski tretman je odobren kao najbolja raspoloživa tehnologija za proizvodnju kvalitetne reciklirane vode za indirektnu ponovnu upotrebu i industrijsku primenu. Među membranske procese koji se koriste za prečišćavanje otpadnih voda, membranski bioreaktor (MBR) je tehnologija koja napreduje najbrže u svetu. Reversna osmoza (RO) je jedan od najčešće korišćenih predtretmana nakon mikrofiltracija (MF) i ultrafiltracije (UF) [9].

8. ZAKLJUČAK

Ponovna upotreba vode se pokazala efikasnom i uspešnom u stvaranju novog i pouzdanog snabdevanja vodom bez ugrožavanja javnog zdravlja. Ponovno korišćenje vode u tehničke svrhe je široko prihvaćena praksa koja nastavlja da raste. Međutim, u mnogim delovima SAD, ponovno korišćenje vode nakon tretmana se sve više primanjuje u praksi, kako bi se prilagodili potrebama životne sredine i rastućim zahtevima za snabdevanje vodom. Napredak u tehnologijama koje se koriste u tretmanu otpadnih voda i zdravstvene studije koje su sprovedene navode da će ponovna upotreba vode postati sve češća praksa.

Reciklaža otpadnih voda i sive vode zahteva daleko manje energije nego tretman slane vode za koji se koristi desalinizacioni sistem.

Kako zahtevi za energijom i potrebe za zaštitom životne sredine rastu, reciklaža voda će igrati veliku ulogu u našem ukupnom snabdevanju

vodom. Radeći zajedno na prevazilaženju prepreka, uz očuvanje vodnih resursa i efikasnosti, korišćenjem reciklirane vode može se postići održivo upravljanje vitalnim vodnim resursima, očuvanju životne sredinu i ojačanju ekonomije [10].

LITERATURA

[1] Chizuru, A. Mushtaq, A. M. Hiroyuki, M. Water and wastewater reuse. Osaka 538-0036 Japan, Shiga 525-0001 Japan 2006.

[2] Vigneswaran, S. Sundaravadivel M. Recycle and reuse of domestic wastewater. UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, 2004. (dostupno na <http://www.eolss.net>, pristupljeno 27.11.2013)

[3] Caigan, M. Chris, M. Wastewater reuse conserves water and protects waterways, 2005.

[4] Andreadakis, A. Gavalaki, E. Mamais, D. Tzimas, A. Wastewater reuse criteria in Greece. Global Nest: the Int. J. Vol 5, No 1, pp 9-14, 2003

[5]<http://www.lboro.ac.uk/well/resources/technical-briefs/37-re-use-of-wastewater.pdf>

(pristupljeno 27.11.2013)

[6]http://www.thirstyplanet.com/be_informed/what_is_water_reuse/benefits

(pristupljeno 27.11.2013)

[7]<http://www.epa.gov/region9/water/recycling/>

(pristupljeno 27.11.2013)

[8]<http://www.sheffy6marketing.com/index.php?page=reuse> (pristupljeno 27.11.2013)

[9]<http://www.iwahq.org/contentsuite/upload/iwa/Document/Water%20Reuse%20IWA%20%20SG%20flyer.pdf> (pristupljeno 27.11.2013)

[10] Guidelines for Water Reuse: 2012 Edition
What Is The Future Of Water Recycling?