

Primljen / Received: 15.9.2011.

Ispravljen / Corrected: 24.5.2012.

Prihvaćen / Accepted: 30.5.2012.

Dostupno online / Available online: 25.6.2012.

Usmjerenost prema održivoj vodoopskrbi

Autori:

Prof. dr. sc. **Živko Vuković**, dipl.ing.građ.Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
vukovic@grad.hr

Ivan Halkijević, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Zagrebu
Građevinski fakultet
halkijevic@grad.hr

Pregledni rad

Živko Vuković, Ivan Halkijević

Usmjerenost prema održivoj vodoopskrbi

Prikazano je današnje globalno stanje neodrživosti vodoopskrbe uzrokovano prekomjernom potrošnjom zaliha pitke vode i pogoršanjem kvalitete vode zbog mnogostrukih načina njezine intenzivne upotrebe. Sustavno se izlažu aktualna znanstvena istraživanja i spoznaje kojima se pridonosi postupnoj i trajnoj usmjerenosti prema održivoj vodoopskrbi te upozorava na potrebu integralnog gospodarenja vodoopskrbnim sustavima. Za učinkovito povećanje vodoopskrbnih količina analizira se recikliranje i ponovna upotreba vode. Navode se i najnovija nanotehnološka otkrića u području tretmana voda s minimalnim utjecajima na okoliš.

Ključne riječi:

održiva vodoopskrba, povećanje vodoopskrbe, smanjenje potrošnje vode, reciklirana voda, ponovno upotrijebljena voda

Subject review

Živko Vuković, Ivan Halkijević

Orientation toward sustainable water supply

The current global lack of sustainability in water supply, as caused by excessive use of drinking water reserves, and water quality deterioration due to various intensive uses of water, is presented in the paper. An overview of present-day research and advancements that contribute to gradual and durable orientation toward sustainable water supply is given. The recycling and reuse of water in order to enable an efficient increase in available quantities of water is analyzed. Latest discoveries in the field of nanotechnology, as related to water treatment with minimum environmental impact, are presented.

Key words:

sustainable water supply, increase in water supply, reduction in water consumption, recycled water, reused water

Übersichtsarbeit

Živko Vuković, Ivan Halkijević

Orientierung in Richtung Nachhaltigkeit in der Wasserversorgung

In der Arbeit wurde auf den heutigen globalen Zustand der fehlenden Nachhaltigkeit in der Wasserversorgung aufgezeigt, der durch einen übermäßigen Trinkwasserverbrauch und eine Verschlechterung der Wasserqualität wegen der vielfältigen, intensiven Verwendung entstanden ist. Es wurde eine Übersicht der aktuellen wissenschaftlichen Forschungen und Erkenntnisse gegeben, die einer schrittweisen und dauerhaften Orientierung in Richtung nachhaltiger Wasserversorgung beitragen. Es wird die Wiederverwertung und Wiederverwendung von Wasser zum Zwecke einer effizienten Erhöhung von Wasserversorgungsmengen analysiert. Es werden neueste nanotechnologische Entdeckungen in dem Bereich der Wasserbehandlung mit minimalem Einfluss auf die Umwelt angeführt.

Schlüsselwörter:

nachhaltige Wasserversorgung, Erhöhung der Wasserversorgung, Senkung des Wasserverbrauchs, wiederverwertetes Wasser, wiederverwendetes Wasser

1. Uvod

Jedan od najvećih izazova 21. stoljeća jest osigurati svim ljudima na Zemlji bolje životne uvjete uz istodobno smanjivanje utjecaja ljudskih aktivnosti (antropogenih utjecaja) na prirodne ekosustave i globalni okoliš [1].

Budući da je voda od temeljne važnosti za svako živo biće, a za mnoge namjene joj uopće nema zamjene, kao jedna od prioritetnih aktivnosti na putu ostvarivanja ovog plemenitog cilja jest osiguranje i dostupnost dovoljnih količina pitke vode za potrebe sadašnjih i budućih generacija.

Međutim, u rješavanju rastućih problema vodoopskrbe te općenito zaštite okoliša i unapređivanja ljudskog života, osobito siromašnih, na svjetskoj su razini učinjeni, ili se čine, vrlo skromni, ograničeni pomaci. Zapravo, svijet se i prema novim problemima i izazovima odnosi kao i dosada [2].

Iako je voda obnovljiv prirodni resurs, danas je zbog narušavanja hidrološkog ciklusa sveprisutnija činjenica da se prirodne zalihe pitke vode troše puno bržim tempom nego što se prirodno pune odnosno prihranjuju. To postaje sve očitije i kod površinskih i kod podzemnih voda, gdje obrok potrošnje vode znatno nadmašuje obrok njezina prirodnog prihranjivanja. Dodatno, zbog ograničene dostupnosti vodi, mnogostruki načini intenzivnog iskorištavanja vode dovode do pogoršanja njezine kvalitete do te mjere da postaje praktički neupotrebljiva za druge namjene. Osjetno je poboljšanje kvalitete takve vode s jedne strane vrlo skupo (troškovi energije, tehnologija, konačnog odlaganja otpadne tvari), a s druge strane uzrokuje znatne pritiske na okoliš s rezultirajućim negativnim utjecajima [3].

Na svjetskoj razini danas pitka voda nije dostupna za 1,2 milijarde ljudi, 2,6 milijardi pije zdravstveno neispravnu vodu, a zbog oboljenja koja se prenose takvom vodom svakoga dana umiru milijuni ljudi, od čega 4000 djece (1,5 milijuna na godinu) [4]. Prema prognozama do 2025. godine, kada se predviđa porast broja svjetskog stanovništva na 8 milijardi, oko 4 milijarde ljudi na Zemlji, odnosno svaki drugi stanovnik, oskudijevat će u pitkoj vodi [5].

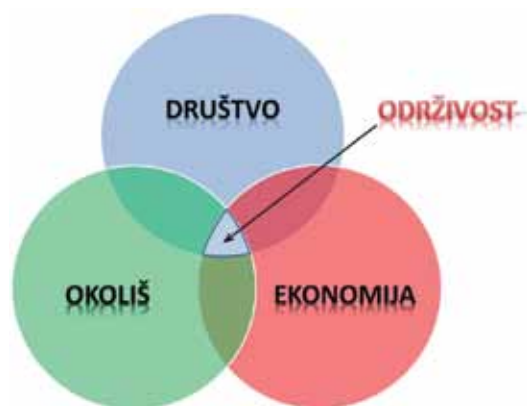
Očekivano povećanje potrošnje vode uzrokovano porastom broja stanovnika dovest će do dodatnih pritisaka na vodne resurse. Zato je današnja praksa gospodarenja vodom, a time i vodoopskrbom, neodrživa. Nastaviti s takvom praksom značilo bi nerazumno potratiti naslijeđeno prirodno vodno bogatstvo, ne ostavljajući ništa našim potomcima [6].

Stoga je cilj ovoga rada prikazati današnje globalno stanje vodoopskrbe i analizirati razloge njezine neodrživosti te dati pregled aktualnih znanstvenih istraživanja kojima se pridonosi postupnom rješavanju vodoopskrbnih problema i trajnoj usmjerenosti prema održivoj vodoopskrbi.

2. Koncept održivosti

Kao najizglednije rješenje za zadovoljenje sadašnjih i budućih potreba za pitkom vodom, danas se nudi univerzalni koncept *okolišne održivosti* koja se definira kao sposobnost zadovoljenja trenutačnih ljudskih potreba za prirodnim bogatstvima bez ugrožavanja sposobnosti budućih generacija da zadovoljavaju svoje potrebe [2]. Drugim riječima, okolišna održivost jest sposobnost ljudi da mogu gospodariti prirodnim bogatstvima na neograničeno vrijeme bez pritiska koje na prirodne sustave, koji omogućuju održavanje života na Zemlji, nameće ljudsko društvo. Time se podrazumijeva očuvanje količine i kakvoće prirodnih bogatstava ne samo za zadovoljavanje sadašnjih potreba, već i nesmetano iskorištavanje i gospodarski razvoj te osiguranje zdravog okoliša za buduće naraštaje.

Postizanje održivosti u dugom (beskonačnom) vremenu pretpostavlja ostvarenje ravnoteže između triju međusobno čvrsto povezanih sastavnica: uravnoteženoga i stabilnoga ekonomskog razvoja koji bi imao manji utjecaj na daljnju degradaciju okoliša (ekonomska sastavnica); ostvarenje društva koje odlikuje generacijska i međugeneracijska solidarnost te u kojem se poštuju različitosti u okviru demokratskih vrijednosti (društvena sastavnica); očuvanje svijeta sastavnica okoliša kao prirodnog dobra o kojima ovisi sadašnji i budući naraštaji (okolišna sastavnica) [7, 8] (slika 1.). U suštini, koncept održivosti podrazumijeva solidarnost svih čimbenika u procesu gospodarenja prirodnim resursima. Time će nedvojbeno njegovo postizanje biti dugotrajan proces sa snažnim posljedicama na sve društvene slojeve.



Slika 1. Sastavnice održivosti

Međunarodna unija za zaštitu prirode definira održivost kao onu koja omogućuje življenje unutar nosivog kapaciteta okoliša [9].

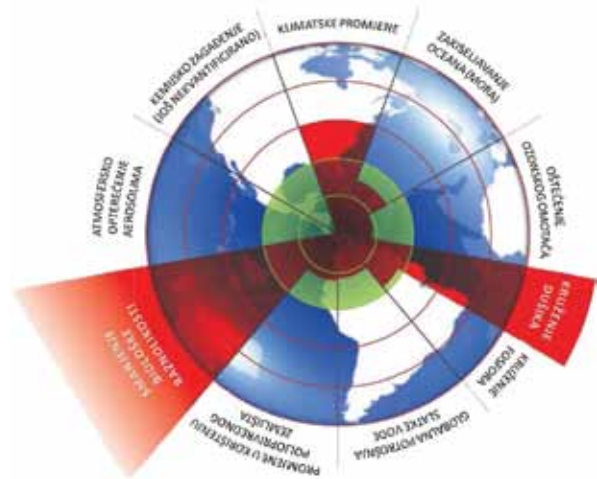
Nosivi kapacitet okoliša označava dopušteno opterećenje okoliša maksimalnim brojem korisnika popraćeno određenim djelatnostima, iskorištavanjem prirodnih bogatstava te

odlaganjem otpada, koji u neograničenom razdoblju može podnijeti prirodni ili umjetni okoliš, a da se ne ugrozi njegova stabilnost, tj. da ne dođe do smanjenja njegovih prirodnih vrijednosti (degradacije) i ugrožavanja ljudskog zdravlja.

Zbog naglog i prekomjernog porasta broja svjetskog stanovništva s pratećim antropogenim utjecajima, globalna je stabilnost okoliša danas ozbiljno ugrožena. Stoga Zemlji kao sustavu prijete destabilizacija sa značajnim ili katastrofalnim posljedicama. Ova teza postaje sve prisutnija kod znanstvenika koji Zemljin sustav definiraju setom povezanih i interaktivnih fizikalnih, kemijskih, bioloških i socioekonomskih procesa koji kontroliraju globalno stanje okoliša. Predlaže se novi konceptualni okvir – *planetarne granice* za određivanje sigurnog prostora ljudskog djelovanja i funkcioniranja Zemljina sustava (slika 2. i tablica 1.) [10].

Predložene planetarne granice odnose se na devet područja na kojima se temelji globalna održivost: klimatske promjene, zakiseljavanje oceana (mora), oštećenje ozonskog omotača, kruženje dušika i fosfora, globalna potrošnja slatke vode,

promjene u iskorištavanju zemljišta, smanjenje biološke raznolikosti, atmosfersko opterećenje aerosolima i kemijsko onečišćenje.



Slika 2. Planetarne granice

Tablica 1. Planetarne granice s predloženim i sadašnjim vrijednostima kontrolnih varijabli

| Red. Broj | Proces | Parametri | Predložena granica | Sadašnje stanje | Predindustrijska vrijednost |
|-----------|--|--|----------------------|------------------|-----------------------------|
| 1 | Klimatske promjene | (i) atmosferska koncentracija CO ₂ , [ppmv] (ii) promjena zračenja Zemljine površine, [W/m ²] | 350 1 | 387 1.5 | 280 0 |
| 2 | Smanjenje biološke raznolikosti | mjera izumiranja vrsta, [broj vrsta/10 ⁶ vrsta godišnje] | 10 | >100 | 0,1 - 1 |
| 3 | (i) Kruženje dušika (ii) Kruženje fosfora | (i) količina N ₂ uklonjena iz atmosfere za ljudske potrebe, [10 ⁶ t/godina] (ii) količina P ispuštena u oceane (mora), [10 ⁶ t/godina] | 35 11 | 121 8,5 - 9,5 | 0 ~ 1 |
| 4 | Oštećenje ozonskog omotača | koncentracija ozona, [Dobsonove jedinice] | 276 | 283 | 290 |
| 5 | Zakiseljavanje oceana (mora) | globalna srednja zasićenost morske vode aragonitom | 2,75 | 2,90 | 3,44 |
| 6 | Globalna potrošnja slatke vode | potrošnja slatke vode za ljudske potrebe, [km ³ /godina] | 4000 | 2600 | 415 |
| 7 | Promjene u iskorištavanju zemljišta | postotak od ukupne površine zemljišta pretvorenog u poljoprivredno | 15 | 11,7 | niska |
| 8 | Atmosfersko opterećenje aerosolima | ukupna koncentracija čestica u atmosferi na područnoj osnovi | još nekvantificirano | | |
| 9 | Kemijsko zagađenje | na globalnoj razini ispuštena količina ili koncentracija npr. postojanih organskih onečišćivača, plastike, teških metala, nuklearnog otpada i sl. ili time prouzročeni učinci na ekosustav i funkcioniranje Zemljina sustava | još nekvantificirano | | |

Da bi se izbjegle katastrofalne posljedice za okoliš, čovjekovo se ponašanje i iskorištavanje prirodnih bogatstava mora zadržati unutar sigurnog prostora djelovanja predloženih planetarnih granica (zeleno osjenčana površina na slici 2.). Međutim, čovjek je već danas prekoračio tri od ovih devet granica: klimatske promjene, dopuštenu mjeru smanjenja biološke raznolikosti i unos dušika u biosferu, uz primjedbu da pri utvrđivanju prekoračenja klimatskih promjena treba biti krajnje oprezan i napomenuti da današnja znanost još uvijek traži odgovor na pitanje radi li se kod klimatskih pojavnosti u posljednjih nekoliko desetljeća o promjeni klime ili samo o njezinoj uobičajenoj varijaciji [11].

Što se tiče postojećih rezervi slatke vode globalno se stanje još ne smatra katastrofičnim jer se od godišnje raspoloživih 4000 km³ slatke vode troši oko 2600 km³ na godinu. Međutim, pitanje je prostorne i vremenske distribucije postojećih slatkovodnih količina, a time i njihove dostupnosti.

3. Održiva vodoopskrba

Održiva je ona vodoopskrba kojom se zadovoljavaju sadašnje i buduće ljudske potrebe za dovoljnim količinama kvalitetne (pitke) vode bez ugrožavanja cjelovitosti prirodnoga hidrološkog ciklusa i ekosustava ovisnih o vodi. Time se i u daljnoj budućnosti osigurava ostvarivanje ljudskog napretka i osiguravanje zdravog okoliša za buduće generacije [6, 12].

Dakle, ciljevi su postavljeni visoko i za njihovu su realizaciju potrebne mnogobrojne promjene u više područja kao npr. u populacijskoj politici, industriji (proizvodnji), poljoprivredi, ekonomiji, korištenju energijom i sl. Etički aspekt održivosti zahtijeva i temeljnu promjenu ljudskog razmišljanja o vodi, odnosno vodoopskrbi. Umjesto što je čovječanstvo u neprestalnom traganju za novim vodnim resursima koji će omogućiti ostvarivanje projekcija njegovih budućih želja (potrošnje), treba planirati zadovoljavanje sadašnjih i budućih ljudskih i ekoloških potreba s danas raspoloživom vodom [6]. To je bitna promjena u ljudskom razmišljanju koja zahtijeva sveobuhvatna razmatranja i donošenje odluka na najvišoj razini, uključujući i globalnu.

Takav pristup ne znači da se mora smanjiti kvaliteta ljudskog života, već naprotiv, omogućavanje boljih životnih uvjeta. Stoga postizanje održive vodoopskrbe bitno ovisi o iznalaženju rješenja za brojne izazove s kojima se čovječanstvo danas susreće.

3.1. Današnje stanje vodoopskrbe

Temeljni problem današnje vodoopskrbe jest njezina neodrživost u gotovo svim segmentima [13]. Mnoga su izvorišta pitke vode onečišćena i potpuno ili prekomjerno iskorištena, od kojih neka nepovratno, a ona u priobalnim područjima dodatno su izložena i prodiranju slane vode (zaslanjivanju) [14].

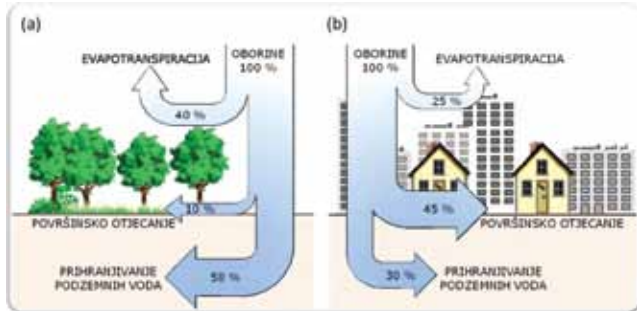
Dosadašnji pristup zadovoljavanju potreba za čistom vodom u uvjetima demografske ekspanzije, snažnog rasta industrijske proizvodnje i znatno povećane proizvodnje hrane (navodnjavanje) temeljio se na neprekidnom iznalaženju novih izvorišta i izgradnji velikih vodoopskrbnih sustava, nerijetko na regionalnoj pa čak i višoj razini. Takav je pristup rezultirao planiranjem, projektiranjem, izgradnjom, pogonom i održavanjem vrlo skupih sustava karakteriziranih građevinama velikog kapaciteta: vodozahvatima, crpnim stanicama, uređajima za kondicioniranje vode, vodospremama i stotinama (pa i tisućama) kilometara dugačkim cjevovodima velikog profila [15]. Takvi su sustavi prostorno, infrastrukturno, energetski, kemijski, tehnološki i operacijski vrlo intenzivni, sa znatno izraženim negativnim utjecajima na okoliš [16].

Dosadašnji odnos prema vodi kao isključivo javnom dobru danas je potpuno neprihvatljiv. Voda nije samo prirodno i javno bogatstvo već i ekonomsko dobro, što je ponajviše uvjetovano ekonomskim i financijskim troškovima dobave i zaštite voda, nestašicom i/ili ograničenom dostupnosti vodi te privatizacijom javne vodoopskrbe [15]. Činjenica koja dodatno potkrepljuje potrebu ovako promijenjenog odnosa prema vodi jesu znatni vodni gubici koji se zbog neodržavanja vodoopskrbnog sustava javljaju u fazi njegova iskorištavanja. Ovi gubici, nastali prvenstveno kao posljedica puknuća cjevovoda ili propuštanja spojeva, nerijetko premašuju čak i 50 % zahvaćene vode. Na svjetskoj je razini ekonomska vrijednost vode koja se na taj način gubi procijenjena na otprilike 14 milijardi US dolara godišnje [17].

Nadalje, u nastojanjima da se za različite ljudske potrebe osigura dovoljno čiste vode, često se zanemaruju potrebe pojedinih živih vrsta i prirodnih ekosustava za vodom. Tada su ekološke posljedice tragične jer od ukupno raspoloživih vodnih količina postoje ograničene vodne količine koje se mogu rabiti za ljudske potrebe. To je ograničenje određeno potrebama ekosustava za vodom. Prekoračenje ovog ograničenja u smislu potpunog ili prekomjernog iskorištavanja vode samo za ljudske potrebe rezultirat će smanjivanjem ili potpunim gubitkom prirodnih vrsta, dakle i smanjivanjem biološke raznolikosti, a time nepovratno nestaju i mogućnosti uporabe ovih vrsta u, primjerice, poljoprivredi (proizvodnja hrane), medicini (proizvodnja lijekova), građevinarstvu (proizvodnja građevnih materijala) i sl. [18]. Prema tome, održiva upotreba vode pretpostavlja istodobno definiranje kompatibilnosti između ljudskih potreba za vodom i potreba ekosustava, a sve zato da bi se osigurala ljudska i održivost ekosustava. Danas je također očito da se ne može ostvariti koncept održivosti bez održivih gradova (naselja), kod kojih je svakako jedna od glavnih sastavnica i održiva vodoopskrba [13, 16]. Između ostaloga, urbanizacija donosi povećanu koncentriranu potrošnju prehrambenih (poljoprivrednih) proizvoda, energenata, sirovina – uključivo i vode, a kao posljedica potrošnje navedenih dobara dolazi do ispuštanja otpadnih

plinova, otpadne topline i otpadne vode te nastanka otpada, što u konačnosti rezultira onečišćenjem okoliša [19].

Jedan je od bitnih utjecaja urbanizacije i promjena prirodnoga hidrološkog ciklusa [2] (slika 3.).



Slika 3. Prosječne vrijednosti parametara hidrološkog ciklusa (a) prije urbanizacije; (b) nakon urbanizacije

Kod velikih se gradova izgrađuju nepropusne površine (krovovi zgrada, trgovi, prometnice) koje, ovisno o načinu izgradnje, mogu zauzeti i do 60 % od ukupne gradske površine. Pri takvim uvjetima velike količine oborinskih voda s područja aglomeracija ne procjeđuju se u podzemlje, već se prikupljaju (koncentriraju) i odvođe izvan grada kao kategorija otpadne vode. Time se znatno smanjuju dinamičke rezerve podzemne vode, odnosno osiromašuju vodonosnici (akviferi) nužni za vodoopskrbu grada.

Stoga su potrebna sveobuhvatna, brza i efikasna djelovanja i promjene radi rješavanja navedenih problema i usmjerenja prema održivoj vodoopskrbi.

3.2. Postizanje održive vodoopskrbe

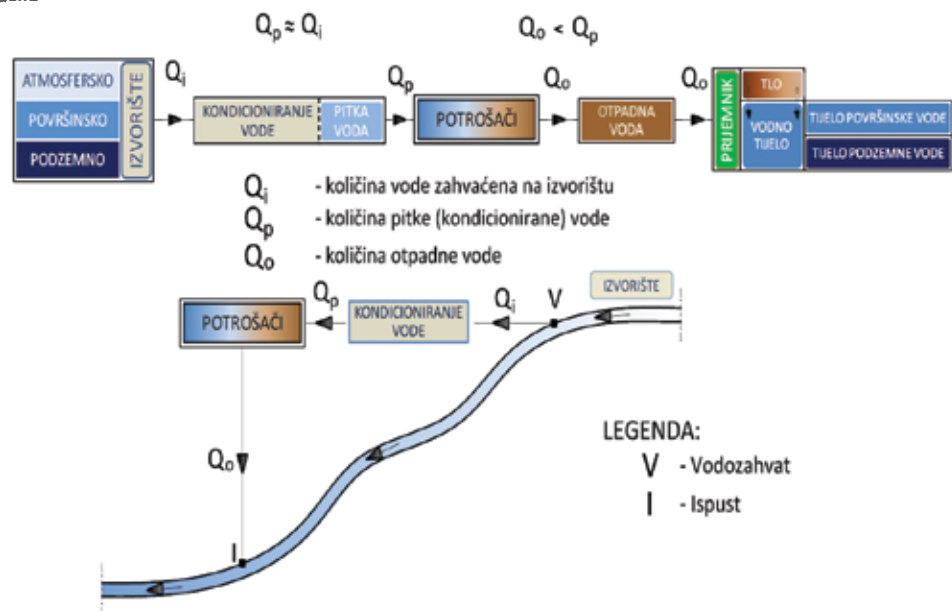
Današnji pristup rješavanju vodoopskrbnih problema može se generalno podijeliti u dvije kategorije [13, 20, 21]:

- a) povećanje vodoopskrbe (vodoopskrbnih količina)
- b) smanjenje potrošnje vode.

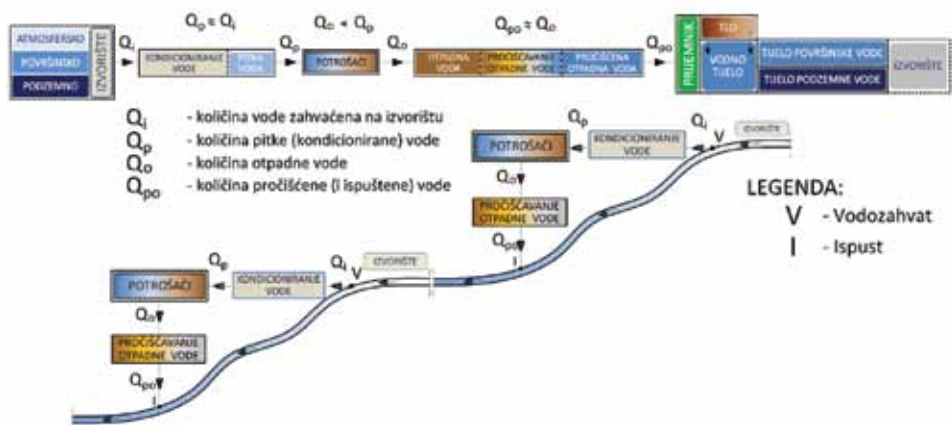
3.2.1. Povećanje vodoopskrbe

Pri razmatranju mogućnosti povećanja vodoopskrbe najprije je potrebno upoznati dosadašnje načine odnosa prema vodoopskrbi, a time i zaštitu okoliša općenito. Slika 4. prikazuje prvotno, "najjednostavnije", a u mnogim slučajevima i "najjeftinije" rješenje, primjereno dobu vodnog izobilja i nevođenja brige o zaštiti okoliša odnosno voda. Takvo je vodoopskrbno rješenje moguće pod pretpostavkom da izdašnost (kapacitet) izvorišta zadovoljava ljudske i ekološke potrebe za vodom. Tada je riječ o sustavima s jednokratnom uporabom vode, odnosno o linearnim sustavima.

Dakle, potrebne se količine vode zahvaćaju s izvorišta i nakon određenog stupnja poboljšanja kvalitete vode (kondicioniranja vode) distribuiraju potrošačima. Jednom iskorištene vode potom se kao kategorija otpadnih voda prikupljaju i bez



Slika 4. Sustav s jednokratnom uporabom vode i bez pročišćavanja otpadnih voda



Slika 5. Sustav s jednokratnom uporabom vode i s pročišćavanjem otpadnih voda

ikakvog pročišćavanja ispuštaju u okoliš, odnosno u neki od prijamnika.

Ovisno o karakteristikama otpadnih voda i količinskom odnosu otpadnih voda i voda prijamnika te samopročišćavajuće (autopurifikacijske) sposobnosti prijamnika, mogući su slabiji ili izrazitiji negativni utjecaji na prijamnike. Time mogućnost korištenja istim prijamnikom za vodoopskrbu nizvodno od mjesta ispuštanja otpadnih voda postaje krajnje upitna, a u mnogim slučajevima i onemogućena. Međutim, u praksi je primjena takvih sustava još i danas relativno česta, osobito u nerazvijenim zemljama.

Porastom svijesti o potrebi zaštite okoliša, otpadne se vode prije ispuštanja u prijamnike pročišćavaju (slika 5.), a veličina utjecaja otpadnih voda na okoliš obrnuto je proporcionalna stupnju njihova pročišćavanja. I kod takvih se sustava pretpostavlja dostatna izdašnost izvorišta za zadovoljavanje svih potreba za vodom, tako da su to također sustavi s jednokratnom uporabom vode.

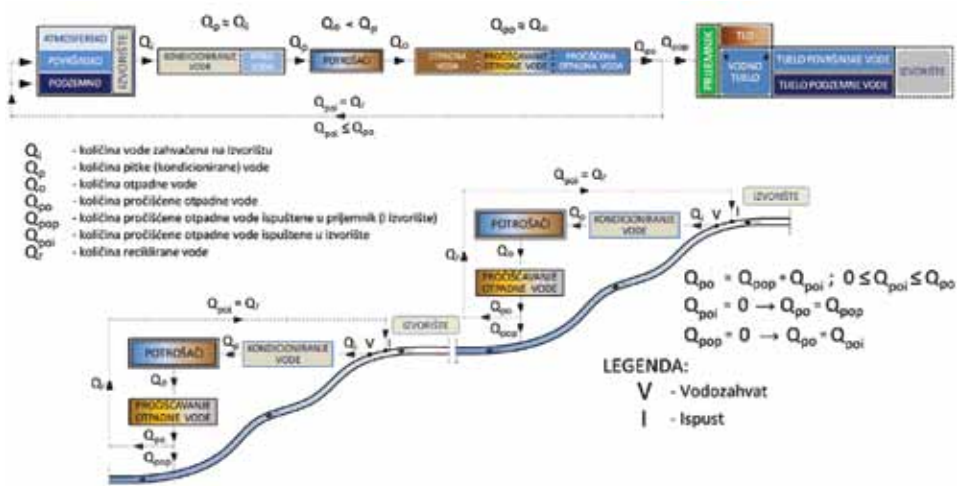
U slučaju primjene viših stupnjeva pročišćavanja otpadnih voda i/ili većega količinskog odnosa voda prijamnika i efluenta te izraženijom autopurifikacijskom sposobnošću prijamnika, kod takvih sustava isti se prijamnik može iskoristiti i kao izvorište nizvodno od mjesta ispuštanja otpadnih voda.

Ako izdašnost izvorišta, bila stalna ili u sušnim razdobljima, ne zadovoljava potrebe za vodom, tada se radi povećanja raspoloživih vodoopskrbnih količina izvode nelinearni, odnosno cirkulacijski ili sustavi s višekratnom upotrebom vode. Takvi su sustavi karakterizirani recikliranjem (engl. Recycling) ili ponovnom upotrebom (engl. Reuse) vode [2, 22].

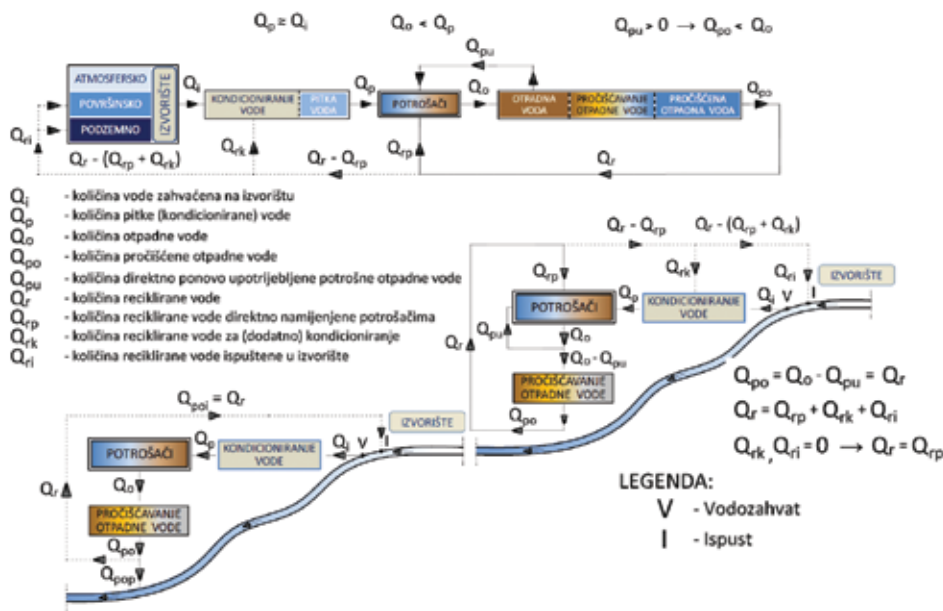
Reciklirana voda je (visoko) pročišćena otpadna voda, tj. voda koja je prošla višestruke stupnjeve pročišćavanja, uključujući i mogućnost pročišćavanja do standarda pitke vode, čime je postala sigurna za korisnu namjenu.

Ponovno upotrijebljena voda je (načelno) nepročišćena otpadna voda koja se rabi izravno za neku od korisnih namjena za koju nije potrebna pitka voda. Kod kućanskih je otpadnih voda riječ o potrošnim vodama (engl. Gray Waters), tj. vodama iskorištenim za pripremanje namirnica i hrane, pranje posuđa i rublja te održavanje osobne higijene i stana, koje se mogu izravno upotrijebiti za, primjerice, zalijevanje vrtova i okućnica, pranje automobila i ispiranje zahoda. Kod industrije je najčešće riječ o rashladnim vodama.

Naime, većina se zahvaćene i iskorištene vodoopskrbne vode uglavnom kao kategorija otpadne vode vraća u okoliš, odnosno u hidrološki ciklus. S poljoprivrednih i stočnih farmi vraća se oko 30 – 40 %, iz industrije oko 80 – 90 %, a iz kućanstava približno 75 – 85 % vode [14]. Stoga vrlo učinkovit



Slika 6. Cirkulacijski sustav s neizravnom upotrebom reciklirane vode



Slika 7. Cirkulacijski sustav s izravnom i neizravnom upotrebom reciklirane vode i s izravnom ponovnom upotrebom vode

način povećanja raspoloživih vodoopskrbnih količina, inače nedostupnih iz prirodnog hidrološkog ciklusa, jest recikliranje i ponovna upotreba otpadnih voda. To je, uz osiguranje kontinuiteta vodoopskrbe, ujedno i jedan od najučinkovitijih načina zaštite okoliša [23].

Na slici 6. prikazan je cirkulacijski sustav s ispuštanjem reciklirane vode uzvodno od vodozahvata, zbog čega se takav sustav naziva neizravnim [21].

U slučaju visokopročišćene otpadne vode moguća je kombinacija s pretežnom izravnom (potrošači) te s manjom neizravnom upotrebom reciklirane vode (kondicioniranje + prihranjivanje izvorišta). Sustav također može biti okarakteriziran i s izravnom ponovnom upotrebom potrošne otpadne vode (slika 7.). Zbog potrebnoga visokog stupnja pročišćavanja otpadnih voda takvi su sustavi vrlo skupi, pogotovo za veće gradove, odnosno izraženiju potrošnju vode, tako da su u praksi izuzetno rijetki.

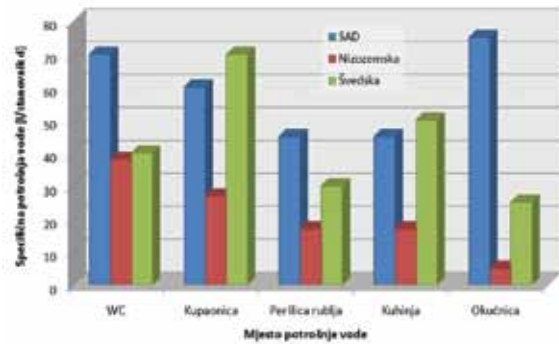
Na prethodnim shematskim prikazima sustava (slike 4. do 7.) kao tip izvorišta navedena su i atmosferska izvorišta. Podrijetlo vode atmosferskih izvorišta jest prvenstveno od kiše. Primjerena su za individualnu vodoopskrbu te za manja naselja.

Prikupljanje kišnice, primjerice, s krovova, predstavlja dodatno izvorište s mogućnošću kompletne individualne vodoopskrbe ili uštede znatnih količina vode za mnoge kućanske namjene od zalijevanja vrtova i okućnica, pranja automobila i ispiranja zahoda do primjene naprednih modela s filtriranjem i dezinfekcijom vode, koji su izravno spojeni na postojeći kućni vodovod priključen na javni vodoopskrbni sustav. Kod takvih se modela uloženi novac većinom vraća kroz petogodišnje ili kraće razdoblje [24].

3.2.2. Smanjenje potrošnje vode

Radi spoznaje mogućnosti smanjenja potrošnje vode, na slici 8. prikazana je distribucija potrošnje vode u kućanstvima triju visokorazvijenih zemalja prema mjestu potrošnje [2]. Sa slike

uočavamo da dominantan udio u specifičnoj potrošnji vode čini potrošnja vode u zahodima i kupaonicama (približno 50 %).



Slika 8. Potrošnja vode u kućanstvima na primjeru triju visokorazvijenih zemalja

Prosječan (uobičajeni) udio u specifičnoj potrošnji vode s pripadajućim potrošnim otpadnim vodama u kućanstvu prema mjestu potrošnje prikazan je u tablici 2., uz izračun ostalih parametara potrošnje za pretpostavljeno četveročlano kućanstvo. Uočava se da količinski udio potrošnih voda iznosi 50% od pretpostavljene potrošnje, odnosno 2/3 od ukupne količine kućanskih otpadnih voda (potrošne + fekalne vode = 400 + 240 = 640 l/d).

Zato je razumno potrošne otpadne vode izravno ponovno upotrijebiti za, primjerice, zalijevanje vrtova i okućnica, pranje automobila i ispiranje zahoda. Ponovnom upotrebom potrošnih voda za ispiranje zahoda može se uštedjeti čak do 50% pitke vode u kućanstvima, s povratom uloženog novca od 3 do 5 godina [24].

Radi sanitarne sigurnosti potrošne vode potrebno je u kućanstvima koristiti se biološkim i neotrovnim sredstvima za pranje i čišćenje. U protivnom je, uz dodatni efekt uklanjanja bakterija i organske tvari, potreban određen (niži) stupanj pročišćavanja potrošnih voda, najčešće filtriranje i dezinfekcija. Također je, u slučaju uporabe potrošne vode za zalijevanje, potrebno provoditi i povremena testiranja tla na sadržaj nutrijenata i kemikalija [24].

Tablica 2. Parametri potrošnje vode i potrošne otpadne vode u kućanstvu prema potrošnom mjestu

| Potrošno mjesto | Specifična potrošnja vode [l/stanovnik d] | Udio u specifičnoj potrošnji vode [%] | Potrošnja vode [l/stanovnik d] | Potrošnja vode za četveročlano kućanstvo [l/d] | Količina potrošne vode za četveročlano kućanstvo [l/d] |
|-----------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|--|--|
| Zahod | 200 | 30 | 60 | 240 | - |
| Kupaonica | | 25 | 50 | 200 | 200 |
| Perilica rublja | | 15 | 30 | 120 | 120 |
| Kuhinja | | 10 | 20 | 80 | 80 |
| Vrt i okućnica | | 20 | 40 | 160 | - |
| Ukupno: | | 100 | 200 | 800 | 400 (50%) |

Uštede u potrošnji vode moguće su na svim uređajima (izljevničkim mjestima) u kućanstvu. Tako npr. [24]:

- klasični zahodi troše i do 12 l vode po jednom ispiranju, a štedljivi 4 l. Opcija "stop" na vodokotliću omogućuje i dodatno smanjenje potrošnje
- tuševi pri prosječnoj vrijednosti vodoopskrbnog tlaka od 3 bara troše oko 20 l/min vode. Štedljivi (masažni) tuševi pri istom tlaku troše i manje od 10 l/min
- štedljive perilice posuđa reduciraju potrošnju vode (i energije) na oko 16 l po jednom pranju. Ručnim se pranjem iste količine posuđa potroši oko 40 l
- stariji tipovi perilica rublja troše više od 100 l vode po jednom pranju, a novije (štedljive) perilice manje od 50 l
- za pranje ruku na klasičnoj slavini potroši se oko 4 l vode, a na senzorskoj 2 l i manje.

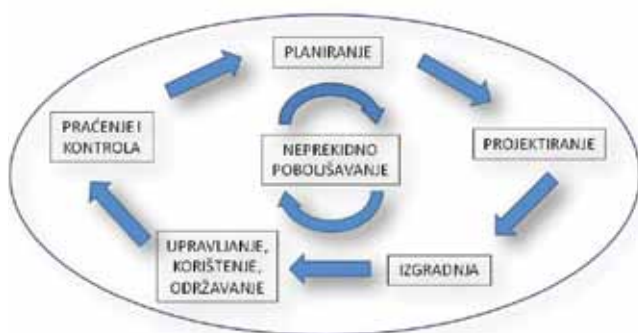
Dakle, primjenom nove generacije štedljivih uređaja moguće su znatne izravne uštede na potrošnji vode, a i energije.

Održavanjem kućnih vodovodnih armatura (slavina, ventila), vodokotlića i cjevovoda eliminira se mogućnost kontinuiranog curenja vode na kućnim vodovodnim instalacijama. Ovo curenje može iznositi i više desetaka litara vode dnevno po izljevnom mjestu te po mjestu puknuća ili propuštanja, ovisno o veličini kvara na instalaciji.

Po istoj se analogiji uštede u potrošnji vode moguće i u industriji, sukladno mogućnostima uvođenja novih, "štedljivih" tehnoloških procesa te održavanjem industrijske vodoopskrbne infrastrukture.

4. Cjelovito gospodarenje vodoopskrbom

Da bi se podržalo ostvarenje održive vodoopskrbe, nužno je vodoopskrbnim sustavima gospodariti cjelovito (slika 9.).



Slika 9. Proces cjelovitog gospodarenja vodoopskrbnim sustavima

Proces gospodarenja [25] sastoji se od pet cikličkih aktivnosti (faza) koje započinju planiranjem vodoopskrbnih sustava, nastavljaju se projektiranjem, izgradnjom i njihovim upravljanjem, upotrebom (pogonom) i održavanjem te praćenjem i kontrolom ostvarenja ciljeva, kako bi se uočile mogućnosti poboljšanja i uvele u nov ciklus koji započinje planiranjem vodoopskrbnih sustava za buduća razdoblja.

(1) Planiranje je prvi korak s iznimnim utjecajem na cjelokupnu uspješnost gospodarenja vodoopskrbnim sustavima. Ono bitno ovisi o kvaliteti prikupljenih i sistematiziranih podataka i informacija o npr. vodnim resursima, korisnicima, gospodarskim aktivnostima i sl., odnosno o uspostavljenoj bazi podataka [26].

Kako bi se uskladili vrlo različiti probici pojedinih dionika na nekom prostoru sa zaštitom i očuvanjem kvalitete okoliša, svrsishodno je primjenjivati cjelovito ili sveobuhvatno (integralno) planiranje.

Takvim se planiranjem omogućava usklađivanje višestrukih i preklapajućih probitaka pojedinih dionika na nekom prostoru na razuman način, uz očuvanje i zaštitu okoliša, čime se ujedno osigurava i najveća društvena i gospodarska dobrobit za sadašnje i buduće naraštaje. Stoga planiranje koje se bazira na sektorskom pristupu, ne uzimajući u obzir sveukupni utjecaj na prirodna bogatstva, nije razumno [3].

(2) U fazi projektiranja vodoopskrbnih sustava treba primjenjivati načine i oblike ostvarivanja vodovodnih građevina koje u cijelosti pridonose očuvanju prirodnih ekosustava. U tom smislu treba primjenjivati one oblike građevina koji možda prividno povećavaju troškove izgradnje, ali u ukupnim troškovima očuvanja i zaštite okoliša pokazuju povoljne ishode.

Nadalje, u fazi projektiranja treba poticati uporabu sekundarnih sirovina i lokalnih građevinskih materijala uz smanjenje uporabe primarnih sirovina (prirodnih bogatstava), minimizirati mogućnost nastanka otpada, smanjiti upotrebu građevinskih materijala koji mogu izazvati negativne utjecaje na okoliš, odnosno promicati materijale koji ne štete zdravlju ljudi i okolišu te primjenom energetski učinkovitih materijala i tehnoloških procesa maksimalno štedjeti energiju [27].

(3) U fazi izvedbe vodoopskrbnih sustava treba primjenjivati načine izgradnje koji ne dovode do pogoršanja stanja okoliša u širem i užem području. Posebnu pažnju treba usmjeriti na zaštitu kvalitete zraka, tla i voda (osobito podzemnih).

Pri izgradnji vodovodnih objekata na izravan ili neizravan način utječe se na promjene uvjeta staništa, a time i na dugotrajne promjene ekosustava (antropogene sukcesije).

Određeno onečišćenje okoliša moguće je i tokom izgradnje vodoopskrbnih sustava upotrebom građevinskih strojeva s tekućim gorivom te zbog buke i prokaplivanja goriva i maziva. Građevinski otpad, koji pretežno pripada kategoriji neopasnog otpada, producirana u fazi izgradnje treba adekvatno obraditi i/ili konačno odložiti na način kojim se ne ugrožava ljudsko zdravlje te postupcima koji ne štete okolišu ili mu štete u najmanjoj mogućoj mjeri.

(4) Dobro upravljanje, pogon i održavanje vodovodne infrastrukture suštinski je važno za uspješnu provedbu održive vodoopskrbe.

U praksi se kod većine vodoopskrbnih sustava najveći propusti s izravnim negativnim ekonomskim efektima i neodrživošću vodoopskrbe pojavljuju upravo u ovoj etapi gospodarenja vodoopskrbnim sustavima. To je već prethodno spomenuta pojava vodnih gubitaka (curenja vode) koji su stoga jedan od temeljnih indikatora (ne)održivosti vodoopskrbe. Za dobivanje pitke vode troše se, između ostaloga, znatne količine energije, materijala – prirodnih dobara – dobrim dijelom i neobnovljivih, prostora te se proizvodi otpad, a to u konačnosti pridonosi degradaciji svih sastavnica okoliša (zrak, voda, tlo), a onda se takva voda jednostavno ispusti u podzemlje, nerijetko u omjeru 1:1 ili većem. Stoga problemu vodnih gubitaka treba u praksi pokloniti izuzetnu pozornost, za čije smanjenje na prihvatljivu razinu danas postoje vrlo efikasne metode.

Također, uz najekonomičnije upravljanje postojećim objektima vodoopskrbnog sustava, u ovoj etapi njihova gospodarenja podrazumijeva se i potrebno školovanje te cjeloživotno obrazovanje kadra, organizacije rada, kao i sve druge prateće aktivnosti nužne za ispravno upravljanje, pogon i održavanje vodoopskrbne infrastrukture.

(5) Posljednja faza, praćenje i kontrola, osim nadzora i provjere realizacije zacrtanih ciljeva, mjera i aktivnosti iz prethodnih etapa, uključujući i motrenje okoliša, služi za prikupljanje te analizu povratnih informacija i podataka kojima se dopunjuje postojeća baza podataka, kako bi se utvrdili pokazatelji učinkovitosti i stanja sustava te uočile mogućnosti poboljšanja i uvele u novi ciklus gospodarenja vodoopskrbnim sustavom.

5. Vizija za sljedeće desetljeće

Jedan od važnih razloga onemogućavanja potpunijeg ostvarenja koncepta održivosti, pa tako i održive vodoopskrbe, jest današnje stanje znanosti odnosno znanstvenih postupaka kojima se ne uspijevaju rješavati sve izraženiji problemi.

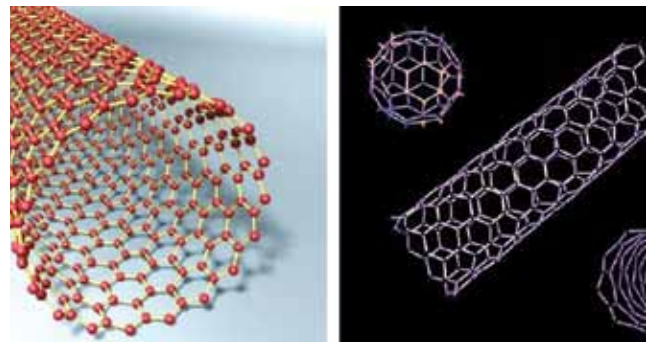
Tako su današnje metode u tehnologiji kondicioniranja vode i pročišćavanju otpadnih voda (tretmanu voda) kemijski, energetski i operacijski vrlo intenzivne. Stoga su potrebne visokoučinkovite, jeftine i robusne tehnologije s minimalnim utjecajem na okoliš [14, 23].

Značajan razvoj i napredak u znanosti i tehnologiji tretmana voda omogućavaju otkrića u nanoznanosti, odnosno nanotehnologiji.

Nanotehnologija se bavi istraživanjem, razvojem i primjenom struktura, uređaja i sustava kojima su izmjere reda veličine atoma i molekula, tj. do 100[nm] ($1\text{ [nm]} = 10^{-9}\text{ [m]}$). Zbog svojih malih dimenzija nanostrukture imaju posebna svojstva, kao npr. visoku čvrtoću i tvrdoću, kemijsku stabilnost, toplinsku i električnu vodljivost i sl. [28, 29].

Osnovni su joj ciljevi razvoj postupaka sinteze materijala na atomskoj (nano)razini, odnosno omogućavanje manipulacije

s pojedinačnim atomima, nakupinama atoma i molekulama te njihovo preslagivanje u nove (nano)strukture (slika 10.) i uključivanje u veće sustave.



Slika 10. Nanostruktura - ugljične nanocijevi

Predviđa se da u uvjetima demografske ekspanzije nanotehnologija može pronaći vrlo efikasna rješenja za globalne izazove npr. u području zaštite voda i ostalih sastavnica čistog okoliša, kod znatnog smanjivanja potrošnje energije, u medicini, proizvodnji hrane, očuvanju biološke raznolikosti, korištenju mineralnim resursima, ublažavanju klimatskih promjena te u razvoju novih metoda pretvorbe obnovljivih izvora energije, tretmanu voda i sl. [1].

Nanotehnologija također obećava i proširenje ograničenja za održivost jer će se rabiti manje vode, manje materijala, manje energije, čime će se proizvoditi i manje otpada [30].

U posljednjih je deset godina učinjen znatan napredak u razvoju i primjeni nanotehnoloških rješenja u području tretmana voda s minimalnim utjecajem na okoliš od kojih se ističu [31, 32, 33]:

- *nanobiocidi* od nanočestica na bazi magnezija i srebra, koji u onečišćenoj vodi mogu pobiti (ukloniti) bakterije bez nastanka toksičnih nusprodukata;
- *nanoadsorbenti* od (a) nanočestica i (b) nanostrukturiranih materijala, koji iz onečišćene vode uklanjaju teške metale (Cr, Cd, Hg, Zn, As, Cu) te otopljene organske tvari (spojeve);
- *nanostukturirani filtri i filtarski sustavi* bazirani (a) na nanočesticama i (b) od nanosrebra i ugljičnih nanocijevi, kojima se iz vode, uz ostale tvari, mogu dodatno ukloniti bakterije i virusi;
- *zeolitne nanokompozitne niskotlačne membrane* za reverznu osmoznu, kojima se iz vode uklanjaju otopljene soli Ca, Mg i Na (desalinizacija) i otopljene organske tvari.

Primjenom nanotehnoloških rješenja bitno će se povećati mogućnosti i za održivu vodoopskrbu, za čije ostvarenje neće trebati izgrađivati novu ili nadograđivati postojeću vodoopskrbnu infrastrukturu [6].

6. Osvrt na stanje i razvoj vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj

Republika se Hrvatska ubraja u skupinu zemalja bogatih vodom, a to potvrđuje i najnovije *Izveštje o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2005. do 2008. godine* [34], prema kojemu je prosječna količina zahvaćene vode u navedenom razdoblju iznosila oko 0,53 [km³ godina⁻¹], što je svega oko 0,5 % od ukupno obnovljivih (površinskih i podzemnih) voda koje se procjenjuju na oko 100 [km³ godina⁻¹], odnosno na oko 25·10³ [m³ stanovnik⁻¹ godina⁻¹].

Od navedenih prosječno godišnje zahvaćenih vodnih količina čak 0,48 [km³ godina⁻¹] ili 90 % namijenjeno je javnoj vodoopskrbi sa sljedećom strukturom potrošnje: stanovništvo 0,15 [km³ godina⁻¹] ili 100 [l stanovnik⁻¹ d⁻¹], industrija 0,08 [km³ godina⁻¹], poddistributeri 0,04 [km³ godina⁻¹] te gubici vode u vodoopskrbnim sustavima 0,21 [km³ godina⁻¹] ili 44 [%].

Mada prethodni podaci o zahvaćenim vodnim količinama prema obnovljivim (raspoloživim) vodnim količinama pokazuju iznimno vodno bogatstvo, ipak je vremenski (godišnji) i prostorni raspored vode u Republici Hrvatskoj neravnomjeran i nepovoljan.

Zbog promjena u okolišu uzrokovanih prirodnim poplavama i utjecajem ljudske djelatnosti postupno dolazi do ugrožavanja kakvoće voda. Stoga je važno osigurati održivo gospodarenje vodama kako bismo ih sačuvali za buduće naraštaje. To se posebice odnosi na podzemne vode budući da se gotovo 90 % vode za vodoopskrbu zahvaća iz zaliha podzemne vode.

Stoga je u proteklom razdoblju intenzivnog usklađivanja s vodnim zakonodavstvom Europske Unije, na temelju *Okvirne direktive o vodama* [35], doneseno niz dokumenata i propisa relevantnih za zaštitu voda i vodnog okoliša od kojih se ističu: *Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske* [36], *Strategija upravljanja vodama* [37], *Zakon o vodama* [38], *Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* [39], *Uredba o standardu kakvoće voda* [40] i *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta* [41].

Temeljni je cilj svih navedenih dokumenata i propisa osigurati sustavnu i trajnu zaštitu vodnih resursa ne samo u smislu kvalitete nego i količina, što će u konačnosti omogućiti i ostvarenje koncepta održive vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj.

7. Zaključak

Dosadašnji pristup rješavanju vodoopskrbe u uvjetima demografske ekspanzije, snažnog rasta industrijske proizvodnje i znatno povećane proizvodnje hrane (navodnjavanje) temeljio se na neprekidnom iznalaženju novih izvorišta i izgradnji velikih vodoopskrbnih sustava koji su prostorno, infrastrukturno, energetski, kemijski, tehnološki i operacijski vrlo intenzivni, sa znatno izraženim negativnim utjecajima na okoliš.

Očekivano povećanje potrošnje vode uzrokovano porastom broja stanovnika dovest će do dodatnih pritisaka na vodne resurse. Stoga je temeljno obilježje današnje vodoopskrbe njezina neodrživost u gotovo svim segmentima, zbog čega su potrebna sveobuhvatna, brza i efikasna djelovanja i promjene radi rješavanja vodoopskrbnih problema i usmjeravanja prema održivoj vodoopskrbi.

Pristup rješavanju vodoopskrbnih problema moguć je povećanjem vodoopskrbe i smanjenjem potrošnje vode. Vrlo učinkovit način povećanja raspoloživih vodoopskrbnih količina, inače nedostupnih iz prirodnoga hidrološkog ciklusa, jest recikliranje i ponovna upotreba otpadnih voda. To je, uz osiguranje kontinuiteta vodoopskrbe, ujedno i jedan od najučinkovitijih načina zaštite okoliša. Uštede u potrošnji vode trebaju primarno proizlaziti iz promjene čovjekova razmišljanja i odnosa prema vodi, odnosno vodoopskrbi. Ove su uštede moguće na svim uređajima u kućanstvu i u industriji.

Da bi se podržalo ostvarenje održive vodoopskrbe nužno je vodoopskrbnim sustavima gospodariti cjelovito, pri čemu je planiranje prvi korak s iznimnim utjecajem na cjelokupnu uspješnost gospodarenja vodoopskrbnim sustavima.

Znatan napredak prema održivoj vodoopskrbi počinje se danas omogućavati otkrićima u nanotehnologiji, koja također obećava i proširenje ograničenja za održivost jer će se rabiti manje vode, manje materijala, manje energije, čime će se proizvoditi i manje otpada. Primjenom nanotehnoloških rješenja bitno će se povećati mogućnosti i za održivu vodoopskrbu, za čije ostvarenje neće trebati izgrađivati nove ili nadograđivati postojeće vodoopskrbne sustave.

LITERATURA

- [1] Diallo, M., Brinker, C. J.: *Nanotechnology for Sustainability: Environment, Water, Food, Minerals, and Climate*, www.usf.gov/crssprgm/nano/reports/nano2/chapter0.5pdf, 2010, 157-187.
- [2] Raven, P. H., Berg, L.R., Hassenzahl, D. M.: *Environment*, 7th edn, John Wiley and Sons, New York, 2010.
- [3] Hurley, C., North, J.: *Sustainable Water Management*, www.americainfra.com, 2010.
- [4] Montgomery, M. A., Elimelech, M.: *Water and sanitation in developing countries: including health in the equation*, Environmental Science and Technology, 41, 2007, 17-24.
- [5] Ishaku, H. T., et al.: *Planning for Sustainable Water Supply through Partnership Approach in Wukari Town, Taraba State of Nigeria*, Journal of Water Resource and Protection, 2, 2010, 916-922.
- [6] Gleick, P. H., et al.: *California Water 2020: A Sustainable Vision*, www.pacist.org/reports/california_water_2020/summary.htm, 2005.
- [7] Brundtland, H.: *Towards sustainable development* (Chapter 2 in A/42/427. Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development, New York, 1987, (www.un-documents.net/ocf-02.htm).
- [8] Rapport, D. J.: *Sustainable science: An ecohealth perspective*, Sustainability Science 2, 2007, 77-84.
- [9] International Union for Conservation of Nature (IUCN): *Ecotourism, special issue, Parks 2(3)*, 1991, 2-20.
- [10] Rockström, J., et al.: *A safe operating space for humanity*, Nature 461, 2009, 472-475.
- [11] Bonnaci, O.: *Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj*, Građevinar 62, (2010.) 9, 781-791.
- [12] Sara, J., Katz, T.: *Making Rural Water Supply Sustainable*, World Bank (WB), Water and Sanitation Program, Washington, D. C., 2004.
- [13] Harley, J., Mercer, D.: *Sustainable water systems and household practices*, www.mams.rmit.edu.au/ib1nma3bs6rk.pdf, 2006.
- [14] Shannon, M. A., et al.: *Science and technology for water purification in the coming decades*, Nature 452, 2008, 301-310.
- [15] Crichlow, M.: *Water Demand*, www.yyy.rsmas.miami.edu/IAI/Inst2001/lectures/crichlow_jul19/crichlow_t_jul19b.pdf, 2001.
- [16] Savic, D. A., Walters, G.A.: *Evolving sustainable water networks*, Hydrological Sciences, 42(4), 1997, 549-564.
- [17] World Bank (WB): *The Challenge of Reducing Non-Revenue Water in Developing Countries*, Water Supply and Sanitation Sector Board Discussion Paper Series, Paper No. 8, Washington, D. C., 2006.
- [18] Richter, B. D., et al.: *Ecologically Sustainable Water Management: Managing River Flows for Ecological Integrity*, Ecological Applications, 13(1), 2003, 206-224.
- [19] Miller, G. T.: *Living in the Environment*, 15th edn, Thomson Brook/Cole, Belmont, 2007.
- [20] Jacobs, K., Maguire, R.: *Toward a Sustainable Water Supply: Tools and Opportunities*, www.ag.arizona.edu/AZWATER/publications/townhall/Chapter10.pdf, 2004, 141-146.
- [21] Aravinthan, V.: *Reclaimed Wastewater as a Resource for Sustainable Water Management*, Managing Resources for a Sustainable Future, University of Southern Queensland, 2005, 1-11.
- [22] www.watereducation.org/userfiles/Yannotta.pdf, 2010.
- [23] Elimelech, M.: *Science and Technology for Sustainable Water Supply*, Journal of Membrane Science, 298 (2007), 136-146.
- [24] Gray, J.: *Water and Sustainable Design*, www.sustainablebuild.co.uk/SustainableDesignWater.html, 2010.
- [25] Karleuša, B., Beraković, B., Rajčić, V.: *Ekspertni sustavi za ocjenu uspješnosti planiranja u gospodarenju vodama*, Građevinar 64 (2010) 1, 1-11.
- [26] Vuković, Ž., Halkijević, I.: *Globalni izazovi klimatskih promjena i vodnogospodarska planiranja*, 5. hrvatska konferencija o vodama, Opatija, 2011, 89-98.
- [27] Carpenter, T. G. (ed.): *Environment, construction and sustainable development*, Vol. 1-2, John Wiley and Sons, New York, 2001.
- [28] Schulte, J. (ed.): *Nanotechnology: Global Strategies, Industry Trends and Applications*, John Wiley and Sons, New York, 2005.
- [29] Jakobović, Z. (ur.): *Tehnički leksikon*, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2007.
- [30] Roco, M. C.: *From vision to the implementation of the U. S. National Nanotechnology Initiative*, Journal of Nanoparticle Research, 3(1), 2001, 5-11.
- [31] Savage, N., Diallo, M.: *Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges*, Journal of Nanoparticle Research, 7, 2005, 331-342.
- [32] Hillie, T., Munshinghe, M., Hlope, M., Deraniyagala, Y.: *Nanotechnology, water and development*, www.merid.org/nano/waterpaper.pdf, 2006.
- [33] Shannon, M. A.: *Net energy and clean water from wastewater*, ARPA-E Workshop, www.arpae.energy.gov/ConferenceEvents/PastWorkshops/Wastewater.aspx., 2010.
- [34] *Izveštje o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 2005. do 2008. godine*, Vlada Republike Hrvatske, Zagreb, 2011.
- [35] *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy*. Official Journal L 327, 22. 12. 2000 P.0001.
- [36] *Strategija održivog razvitka Republike Hrvatske*, NN 30/09.
- [37] *Strategija upravljanja vodama*, NN 91/08.
- [38] *Zakon o vodama*, NN 153/09, 130/11.
- [39] *Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda*, NN 87/10.
- [40] *Uredba o standardu kakvoće voda*, NN 89/10.
- [41] *Pravilnik o uvjetima za utvrđivanje zona sanitarne zaštite izvorišta*, NN 66/11.