



UNAPREĐENJE EKSPLOATACIJE PODZEMNE VODE ZA VODOSNABDEVANJE UPOTREBOM VEŠTAČKE INFILTRACIJE I NAPREDNIH TEHNOLOGIJA PRERADE

IMPROVEMENT OF GROUNDWATER EXPLOITATION FOR WATER SUPPLY USING ARTIFICIAL INFILTRATION AND ADVANCED TREATMENT TECHNOLOGIES

IZVOD

Promene koje se dešavaju usled prirodnih ciklusa i antropogenog uticaja utiču i na kvalitet izvora vode koja se uz odgovarajuću preradu koristi za ljudsku upotrebu. Procesno-tehnološke linije prerade vode konvencionalnog tipa (obalska filtracija + konvencionalni tretman), koje su nekada bile potreban i dovoljan uslov za dobijanje vode odgovarajućeg kvaliteta, danas pokazuju svoj visok stepen neefikasnosti i doprinose sve većim problemima rada sistema za vodosnabdevanje. Upotrebom veštačke infiltracije i naprednih tehnologija prerade vode, praktično prirodnim i inženjerskim procesima, uspešno se prevazilaze postojeće prepreke, te se tako pruža sigurnost i bezbednost vodosnabdevanja. Primeri upotrebe su brojni. Ovim putem se želi približiti i navesti neki od razloga njihove upotrebe za buduće jačanje otpornosti naših sistema.

Ključne reči: veštačka infiltracija, napredne tehnologije prerade, kvalitet izvora vode

ABSTRACT

Changes that occur due to natural cycles and anthropogenic impact also affect the quality of water sources that are used for human consumption with appropriate treatment. Process-technological lines of water treatment of conventional type (bankfiltration + conventional treatment), which were once a necessary and sufficient condition for obtaining water of appropriate quality, today show their high degree of inefficiency and contribute to growing problems in water supply systems. The use of artificial infiltration and advanced treatment technologies, practically natural and engineering processes, successfully overcomes existing obstacles, thus ensuring the safety and security of water supply. Examples of use are numerous. In this way, we want to approach and state some of the reasons for their use for future strengthening of the resilience of our systems.

Key words: artificial infiltration, advanced treatment technologies, water source quality

1. UVOD

Dinamika i intezitet promena životne sredine posledica su prirodnih ciklusa i sve većeg i agresivnijeg antropogenog uticaja. Suštinsko prepoznavanje i razumevanje procesa koji se dešavaju oko nas, kao i uloge svakog od činilaca, važno je zbog definisanje okvira, uslova i delovanja u cilju održivog razvoja, povratku ravnoteži čoveka i prirode u celini.

Današnje ubrzano kretanje kroz neprestano zadovoljavanje sve većih čovekovih potreba, ne ostavlja dovoljno prostora i vremena obnavljanju prirodnih procesa. To je dovelo do degradacije postojećih resursa, njihovog veoma teškog ili skoro nemogućeg oporavka.

Promene kvaliteta sirovih voda koje se koriste kao izvori vode za ljudsku upotrebu danas zahtevaju

odgovarajuće prilagođavanje postojećih ili uvođenje novih pristupa i sve složenijih procesno-tehnoloških postupaka u njihovoj preradi. Ovo je potrebno učiniti kako bi se zadržao garantovani kvalitet i kvantitet isporučene vode i izvršila optimizacija procesa prerade. Sa druge strane to zahteva više nivoa svesti, znanja i organizacije, materijalnih ulaganja, energiju, vreme i sl.

Ubrzano povećavanje broja stanovnika i urbanizacija, razvoj industrije i poljoprivrede, klimatske promene i sl, navode se kao glavni činioci novonastalih promena. Međutim, to i ne bi predstavljalo tako veliki problem da su blagovremeno uspostavljeni i poštovani odgovarajući standardi.

Aleksandar Tanasković, dipl.maš.inž, Beograd SRBIJA, aca.t@ptt.rs



Sirova površinska i podzemna voda, dva su osnovna izvora snabdevanja širom EU, sveta, kao i Srbije. Pored toga postoji zastupljenost još dve karakteristične forme upotrebe površinske vode kao izvora: površinska voda sa veštačkom infiltracijom (*surface water with artificial infiltration*) i obalska filtracija (*bank/bed filtration*) rečnih tokova i jezera.

Kada se govori o postupcima prerade vode, konstatuje se da postoji upotreba izvora sirove vode bez prerada, konvencionalne tehnologije, napredne tehnologije, i kombinacije konvencionalnih i naprednih tehnologija. Kod konvencionalnih tehnologija poznato je da se to odnosi na proces aeracije, filtracije i dezinfekcije kada je u upotrebi podzemna voda kao izvor ili proces koagulacije, flokulacije, sedimentacije, filtracije i dezinfekcije kod upotrebe površinske vode. Što se tiče naprednih tehnologija (*advanced treatment technologies*), tu ubrajamo: filtere sa aktivnim ugljem, unapređene postupke oksidacije, membran filtraciju, jonsku razmenu i sl.

Danas se još uvek vrši snabdevanje vodom iz nekog od izvora bez korišćenja prerade ili samo upotrebom nekog od dezinfekcionih sredstava, najčešće hlornih preparata. Ovakvi slučajevi susreću se u dobro organizovanim sistemima vodosnabdevanja i iz izvorišta u zaštićenim zonama, te se ovakvi procesi mogu okarakterisati kao kontrolisani i bezbedni. U nerazvijenim područjima i zemljama u razvoju gde su svest i stepen sanitarne kulture na dosta nižem stepenu evolucije, snabdevanje bez prerade ili upotreba samo dezinfekcije može prouzrokovati kratkoročne i/ili dugoročne štetne posledica po pitanju zdravstvene bezbednosti korisnika, a procesi se karakterišu kao slabo ili skoro nekontrolisani.

Poslednjih godina sve više se promovišu ideje zaštite životne sredine, zaštite izvorišta, sigurno i bezbedno snabdevanje vodom, otpornosti postojećih i budućih kapaciteta za snabdevanje na sve intezivnije promene prirodnih procesa i procesa izazvanih pod uticajem čoveka i sl. Uspostavljaju se mehanizmi za kontrolu, monitoring, prediktivno delovanje u različitim situacijama i sl. Opšti je utisak da se globalno previše brzo zakoračilo u razvoj i napredak, sa nedovoljno jasnim ciljem, i da narastajuća disharmonija između čovekovih potreba i prirode u celini pretili da naruši postojeći poredak.

2. SUPSTANCE U IZVORIMA VODE KOJE IZAZIVAJU ZABRINUTOST I TEHNOLOGIJE ZA NJIHOVO UKLANJANJE

Prisustvo supstanci koje izazivaju zabrinutost (SiZ) (*emerging substances*) u izvorima sirove vode, pretežno površinskim, danas predstavlja izazov za snabdevanja vodom za ljudsku upotrebu. Upotrebom naprednih tehnologija prerade (*advanced treatment*

technologies) postoji mogućnost da se ove supstance uklone, ali su one dosta skupe i efikasnost nije uvek 100%. Takođe, ove tehnologije mogu biti prilično selektivne (Houtman, 2010). Pored toga, broj novih supstanci koje izazivaju zabrinutost je veoma velik. U EU postoji više od 100 000 registrovanih hemikalija (*European Inventory of Existing Commercial chemical Substances, EINECS*), od kojih se 30 000 do 70 000 svakodnevno koristi (Schriks et al., 2010).

Supstance koje izazivaju zabrinutost, a čije uklanjanje je veoma bitno u procesu dobijanja vode za ljudsku upotrebu, predstavljaju se u nekoliko klasa: hemikalije koje mogu ometati endokrini sistem kao što su hormoni i jedinjenja sa svojstvima sličnim hormonima, farmaceutski proizvodi, nedozvoljeni i nekontrolisani supstance (droge), zaslađivači, proizvodi za ličnu higijenu, pesticidi, aditivi za gorivo, agensi za kompleksiranje, nanočestice, perfluorovana (PFC) jedinjenja i usporivači plamena (Houtman, 2010). Prema podacima Svetske zdravstvene orhanizacije (WHO 2012), zabeleženo je prisustvo farmaceutskih proizvoda u vodenim ciklusima na nivou nanograma i mikrograma po litru, uključujući površinske i podzemne izvore vode, pa čak i u samoj vodi za ljudsku upotrebu. Takođe, istraživanja u Holandiji navode da su zabranjene droge i sredstava za smirenje detektovani na ulazi i izlazu iz postrojenja za preradu otpadnih voda, pa sve do izvorišta podzemnih voda i u samoj vodi za ljudsku upotrebu (Van der Aa et al., 2010).

Kada se generalno govori o supstancama koje izazivaju zabrinutost, činjenica je da se konvencionalnim postupkom ne mogu potpuno ukloniti, a da sa druge strane napredni postupci moraju biti maksimalno efikasni kako bi ostvarili željeni efekat. Za farmaceutske proizvode važi da se konvencionalnim postupkom sa koagulacijom/flokulacijom/filtracijom i dezinfekcijom mogu ukloniti oko 50% u optimalnim uslovima, dok kod naprednog tretmana primenom ozonizacije, napredne oksidacije, aktivnog ugalja ili membranske filtracije može se postići veći stepen uklanjanja, skoro do 90% (WHO 2012).

Neki od primera efikasnih naprednih tretmana, koje se susreću u praksi ili su rađena pilot ispitivanja su sledeće:

- Ozonizacija i filtracija na aktivnom uglju (Van der Hoek et al., 1999);
- Nanofiltracija (Hofmann et al., 2011);
- UV/H₂O₂ (Kruithof et al., 2000);
- Kombinacija UV/H₂O₂/O₃ (Scheideler et al., 2011);
- Kombinacija obalske filtracije sa filtracijom kroz aktivni ugalj i nanofiltracijom (Bertelkamp et al., 2012);
- Jonska razmena u kombinaciji sa keramičkom mikrofiltracijom (Galjaard et al., 2011).

Okvirna direktiva o vodama EU WFD2000, zagovara strategiju uvođenja zaštitnih zona za podzemne

vode i zaštitne zone za ostale vodne resurse, pored upotrebe naprednih tretmana u postupcima dobijanja vode za ljudsku upotrebu. Takođe, važno je navesti da se ovakav pristup navodi iz perspektive EU koji podrazumeva visok stepen zaštite životne sredine, što bi praktično značilo da su ljudske aktivnosti strogo definisane i kontrolisane, a što bi se između ostalog odnosilo na: sakupljanje i preradu komunalnih i industrijskih voda, sakupljanje, razvrstavanje i preradu otpada, poljoprivredne aktivnosti i sl.

3. KRETANJE OD OBALSKE FILTRACIJE KA VEŠTAČKOJ INFILTRACIJI

Kada se razmatra upotreba kombinacije prirodnih i inženjerskih procesa u postupku prerade sirove vode u vodu za ljudsku upotrebu, na prvom mestu se to odnosi na primenu rečne obalske filtracije (ObF), koja podrazumeva prirodnu filtraciju površinske vode kroz rečno korito i aluvijalnu izdan (prirodni samoprečišćavajući mehanizam (PSm)), zahvatanje uz primenu završnog tretmana i dezinfekcije.

U odnosu na direktno zahvatanje i korišćenje površinske vode, rečna ObF ima brojne prednosti kao što su: delimična ili potpuna eliminacija suspendovanih materija i čestica, biodegradabilnih materija, bakterija, virusa, delimičnu eliminaciju supstanci koje se sorbiraju, ujednačava se temperatura vode, ublažavaju se udarne koncentracije u havarijskim uslovima, formira se manje nusproizvoda dezinfekcije, poboljšava se ukus i miris i dobija biološki stabilna voda (*Dimkić M. et al., 2011*). Takođe, ovim postupkom se izbegava upotreba tehničkih hemikalija za preradu vode, a time i složeno upravljanje nastalim rezidualom.

Tehnologija obalske filtracije (ObF) u upotrebi je već više od 100 godina širom EU. Primeri su zemlje kao što je Švajcarska koja upotrebljava 80% ObF za dobijanje pijaće vode, Francuska koja to čini sa 50%, Finska sa 48%, Mađarska sa 40%, Nemačka sa 16%, Holandija sa 7% i sl. Karakteristično je za gradove kao što je Berlin koji se 75% snabdeva sa ObF iz jezera Tegel, Dizeldorf čije je osnovno snabdevanje sa ObF još od 1870 iz reke Rajne, Budimpešta gde je 100% snabdevanje sa ObF iz reke Dunav i sl. U Srbiji se primena obalske filtracije susreće u više od 50% slučajeva vodosnabdevanja, a vezana je za gradove Novi sad, Obrenovac, Beograd, Kraljevo, Požarevac i sl. Poslednjih pola veka i druge zemlje širom planete prepoznaju tehnologiju ObF kao efikasnu i jednostavnu, te je tako ona zastupljena danas u SAD, Kini, Indiji, Australiji, i razvija se i uvodi u drugim delovima sveta gde ne postoji adekvatan pristup vodi za ljudsku upotrebu dobrog kvaliteta.

Nije uvek i svuda moguće primeniti ovu vrstu tehnologije. Veoma je velika sreća i prednost onih lokaliteta gde postoje uslovi za PSm, koje je potrebno na vreme prepoznati i zaštititi pre njihove potpune

devastacije, za neke buduće generacije. Kada je jednom pređu granice zagađenja, oporavak date lokacije može trajati i više stotina godina.

Iskustva prethodno navedenih zemalja i gradova EU su veoma interesantna. Veliki zaokreti u pristupu koji su napravljeni u poslednjoj četvrtini XX veka, prvenstveno u pogledu obrade komunalnih i industrijskih otpadnih voda, kontrolisanja poljoprivrednih aktivnosti, kao i definisanja i upravljanja zonama zaštite, doveli su ih u poziciju za uzor, a prolazili su kroz fazu tranzicije (po pitanju vodosnabdevanja) u kojoj se i mi već dugo nalazimo.

Faktori kao što su rečna hidrologija, hidrogeološki uslovi lokacije (npr. debljina izdani i propustljivost), udaljenost bunara od rečnog korita, vreme kontakta filtrata i sl., veoma su važni za upotrebljivost datog lokaliteta. Vrlo često se dešava da u okviru nekog šireg područja duž površinskog izvora postoji više lokaliteta sa različitim karakteristikama, te je neophodno imati različite pristupe. Razlike u karakteristikama lokaliteta je dinamička kategorije, te je najracionalnije za njihovu bezbednu i sigurnu upotrebu uspostaviti kvalitetan monitoring. Ovo je veoma bitno jer se najčešće susrećemo sa veoma velikim odstupanjima eksploatacionih karakteristika nekog vodozahvatnog objekta, naročito nakon određenog perioda nadeksploatacije, od onih koje su definisane projektnim rešenjem. Činjenica je da na globalnom nivou ne postoje jedinstvena pravila, već se uglavnom svako upravlja prema sopstvenim iskustvima, koja je potrebno kvalitetno čuvati i redovno dopunjavati i obnavljati, i retirirati sa statusom resursa.

Izgradnjom i stavljanjem u funkciju neke od formi vodozahvatnih objekata, vertikalni ili horizontalni bunari, ili neke vrste drenažnih galerija i sl., prelazi se sa prirodnih na veštačke (prinudne) procesa filtracije površinske vode kroz rečno korito i izdan, sa težnjim da se zadrže prirodni procesi slabljenja i/ili uklanjanja zagađujućih materija datog izvora. Proces se svrstavaju u četiri celine: hidrodinamički, mehanički, biološki i fizičkochemijski. Ovom prilikom se neće govoriti posebno o samoprečišćavajućim mehanizmima od rečnog korita preko izdani do vodozahvatnog objekta, što se može pronaći u široko rasprostranjenoj i dostupnoj stručnoj literaturi, već više o spoljnim uticajim koji ove procese blokiraju i utiču na promenu pristupa i tehnologije prerade vode od obalske filtracije ka veštačkoj infiltraciji sa naprednim tretmanima.

3.1 Promene i degradacija obalske filtracije (ObF)

Promene hidrauličkog gradijenta od površinskog izvora (reka, jezero) prema izdani, kao i hidrauličke propustljivosti aluvijalnog depozita, generišu promene u brzini kretanja vode kao i u vremenu



zadržavanja, što može ograničiti ili promeniti biohemijske aktivnosti koje se dešavaju u hiporeičnoj zoni (tranzitnoj aktivnoj zoni između površinske i podzemne vode). Takođe, promene u temperaturi vode utiču ne samo na hidrauličnu propustljivost usled redukcije viskoziteta vode, već i na obim biohemijskih procesa i mikrobne aktivnosti, što može ugroziti kvalitet filtrirane vode (Vanek, 1997).

Promene vodostaja mogu uticati na promenu zasićenja, sadržaj biofilмова, geohemiju, pa čak i celokupnu strukturu ObF, što utiče na performanse procesa filtracije. Takve varijacije mogu uticati na protok i transportne karakteristike celog sistema zbog pojave nezasićenih zona, koje možda nemaju isti potencijal prečišćavanja kao zasićene zone, te time postižu lošiji kvalitet filtrata (Schubert, 2000).

Promene u brzini proticaja mogu uticati na procese čišćenja (ili pak taloženja) rečnih korita i obala od finih sedimenata koji utiču na njihovu propusnu moć, a time i na efikasnost filtriranja. Takođe čišćenjem se uklanjaju i mikroorganizmi koji su neophodni za poboljšanje kvaliteta vode u hiporeičnoj zoni (Gollnitz et al., 2004).

Važan aspekt održivosti obalske filtracije (ObF) jeste efekat začepjenja (kolmacije) rečnog korita. Rečno korito i aluvijalna izdan imaju ulogu sporih peščanih filtera za suspendovane čestice i različite kontaminante. Infiltracija i akumulacija organskih i neorganskih suspendovanih čestica, precipitacija karbonata, oksida/hidroksida gvožđa i mangana, i biološki procesi razlog su redukciji propustljivosti rečnog korita, što se označava kao začepjenje ili otpor infiltraciji. Otpor infiltraciji utiče na gubitke između reke (površinske vode) i odgovarajućeg vodonosnog sloja, a time zapremine ispumpane vode, kapaciteta bunara i smetnje bunara kada je više bunara na određenoj lokaciji.

Takođe, začepjenje se može pojaviti i oko samog sita/drena bunara. Kada se posmatra celokupni sistem ObF, mogu se razlikovati dva opsega brzina duž putanje kojom se voda kreće. Prvi je od obalske linije do efektivne zone depresije oko bunara, a drugi od zone depresije do ulaska u dren gde se brzine povećavaju, što povećava kinetičku energiju u blizini filtera. Ulaskom u horizontalni dren dolazi do naglog smanjenja brzine i nakupljanja sedimenta.

Začepjenje je neizbežan process kontrolisan rečnom hidrologijom, kvalitetom površinske vode, lokacijom bunara uvažavajući punjenje i udaljenost od rečne obale, kao i karakteristike rečnog korita (Hubbs, 2006). Začepjenje je u idealnim uslovima reverzibilno i propustljivost rečnog korita se prirodno obnavlja usled spiranja rečnog korita tokom visokih vodostaja i poplava (Mutiti, 2010).

Kada se kapacitet eksploatacije drži konstantnim i kada se infiltracija po jedinici površine smanjuje usled začepjenja, infiltraciona površina i efektivna tačka punjenja proteže se ispod reke i/ili uzvodno i nizvodno (Hubbs, 2006). Takođe, zona depresije širi se i u dubinu kopnenog dela (zaleđu), pa se tokom vremena odnos obalskog filtrata i podzemne vode koji napajaju vodozahvatni objekat menja, a samim tim i kvalitet. Kada su zone uticaja vodozahvatnih objekata pod velikim pritiskom urbanih i industrijskih zona, vrlo često se stepen degradacije kvaliteta zahvaćene vode konstantno povećava i skoro ga je nemoguće ili ekonomski neisplativo obrađivati.

Ozbiljno zagađenje rečne vode uzrokovano organskim materijama (npr. iz fabrika celuloze i papira) i/ili prekomerna eksploatacija podzemne vode, posebno iz bunara sa horizontalnim drenovima, može izazvati nezasićene uslove ispod korita (Hubbs, 2006). Jednom kada začepjeno korito izgubi vezu sa nivoom podzemnih voda, težina stuba rečne vode sabija sloj začepjenja, uzrokujući ne samo dodatno smanjenje propusnosti korita, već i povećava rizik od potencijalnog protoka podzemnih voda sa druge strane reke, iz zone koja nije pod zaštitom. Veći odnos propustljivosti izdani prema propusnosti korita rezultira većim nezasićenim područjem (Su et al., 2007). Ovo je izraženo kako se dubina vodostaja reke iznad korita smanjuje (Brunner et al., 2010).

Uzimajući u obzir sve prethodno izneto, sistemi za vodosnabdevanje koji koriste ObF neprestano se suočavaju sa izazovima očuvanja kvaliteta i kvantiteta isporučene vode. U tu svrhu preduzimaju se odgovarajuće aktivnosti, među kojima se ističu:

- Obnavljanje postojećih resursa - regeneracija i rekonstrukcija postojećih vodozahvatnih objekata (bunara) i proširenje kapaciteta izgradnjom novih ObF, kao dva kratkoročna pristupa;
- Unapređenje procesa prerade podzemne vode uvođenjem naprednih tehnologija u završnoj obradi (SI.1b'), kao ograničeni pristup, baziran samo na poboljšanju kvaliteta;
- Uvođenje procesno-tehnološke linije veštačke infiltracije (Vel) kao samostalne ili kao dopunu postojećoj strukturi vodosnabdevanja uz upotrebu naprednih tehnologija (SI.1c), kao dugoročni pristup;
- U kritičnim fazama, prelazak na direktno zahvatanje površinske sirove vode i njenu preradu naprednim tretmanima kao dugoročan pristup povećanog rizika.

3.2 Unapređenje eksploatacije podzemne vode: veštačka infiltracija + napredne tehnologije

Degradacija kvaliteta površinskih voda koje se danas koriste za obalsku filtraciju, a koje su između ostalog u većoj ili manjoj meri opterećene supstancama koje izazivaju zabrinutost (SiZ), sve

je zastupljeniji slučaj širom planete pogotovu u područjima sa nerešenim problemima koji utiču na nekontrolisano zagađenje vodotoka i šire. U takvim uslovima efikasnost i efektivnost postupka ObF svodi se na minimum, odnosno celokupni postojeći projektovani konvencionalni postupak prerade vode više nije održiv. Praktično, za upotrebu prirodnog samoprečišćavajućeg mehanizma (PSm) sada su potrebni odgovarajući predtretmani sirove površinske vode koji bi obezbediti uslove za optimalno funkcionisanje bioloških, fizičko-hemijskih i drugih prirodnih procesa, što između ostalog i karakteriše primenu veštačke infiltracije (Vel). Osnovni parametri na koje treba uticati, a koji su važni za ove procese su: sadržaj kiseonika i nutrijenata, temperatura, pH-vrednost, redoks-potencijal i sl (Dimkić M. et al.2011).

Sa druge strane, i ako se uspostave uslovi za efikasno uklanjanje različitih organskih materija tokom filtriranja kroz zaštitni filterski sloj i izdan, utvrđeno je da su neke od poznatih SiZ otporne na uklanjanje (WHO 2012), pa je tokom završne obrade vode pored konvencionalnog postupka potrebno uvesti i neki od naprednih tretmana. Za upotrebu kod velikih sistema za vodosnabdevanje to su najčešće ozonizacija, filtracija na aktivnom uglju i vrlo često UV-dezinfekcija kao završna faza naprednog tretmana.

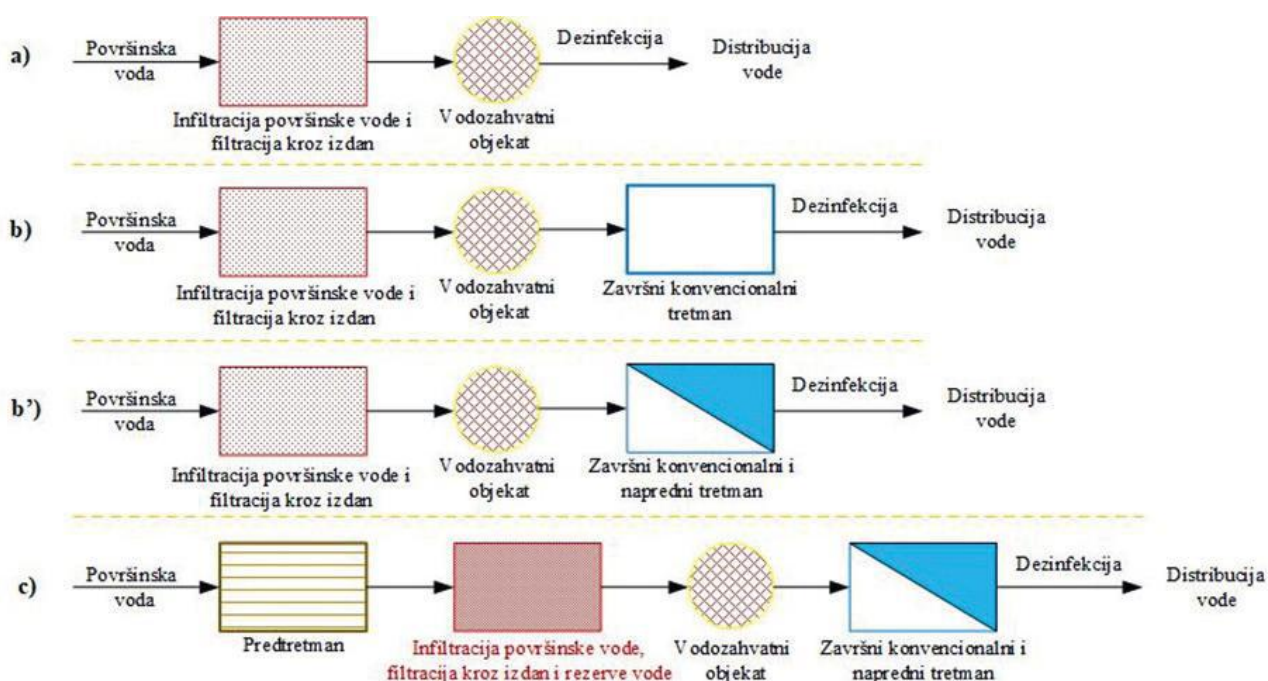
Upotreba filtera sa aktivnim ugljem (AU) može biti i sastavni deo procesno-tehnološke linije u okviru predtretmana, pre faze veštačke infiltracije. Preporuka je da se radi uklanjanja SiZ-a, uključi primena AU u nekoj od faza celokupnog postupka, što se najčešće definiše pilot ispitivanjima. Ono što bi moglo da favorizuje upotrebu AU tokom predtretmana jeste da

se izbegne opterećenje ili blokada veštačke infiltracije nekim od postojećih ili budućih SiZ.

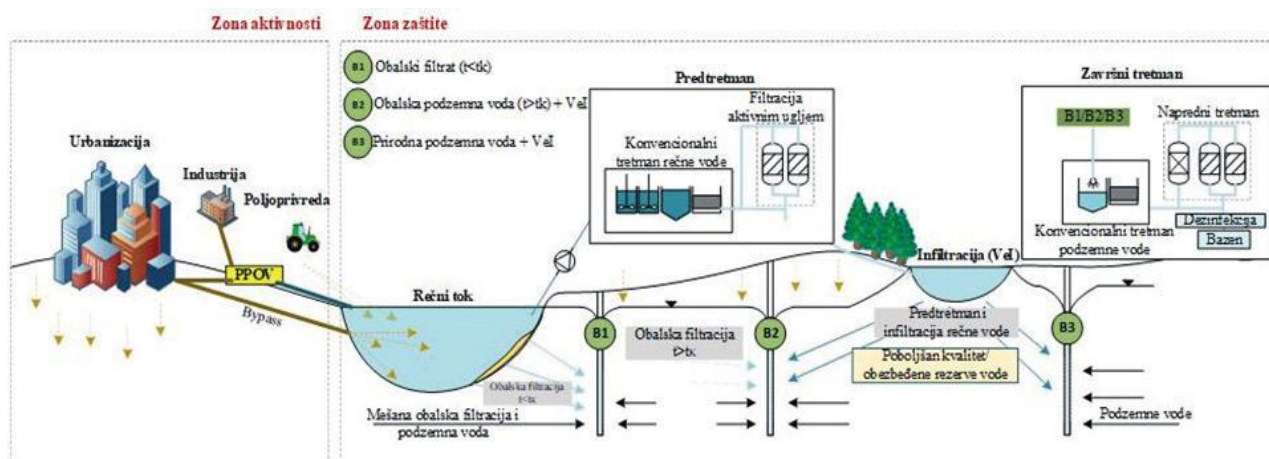
Na prikazu (Sl.1) uočava se proces transformacije primene prirodnog samoprečišćavajućeg mehanizma (PSm) od upotrebe obalske filtracije (ObF) do veštačke infiltracije (Vel). U svakom od prikazanih slučajeva, PSm je jedna od faza procesno-tehnološkog postupka prerade površinske vode kao izvora snabdevanja, kojom se upravlja. Ovo znači da PSm kao faza prerade, kao jedan fizički i biohemijski reaktor, mora imati definisane vrednosti parametra kvaliteta na ulazu, kao i očekivane vrednosti parametara na izlazu, u zavisnosti utvrđenih karakteristika same lokacije. Ono što je očigledno, pogoršanje uslova životne sredine povlači za sobom sve složenije postupke prerade u cilju dobijanja kvaliteta i kvantiteta vode za ljudsku upotrebu.

Kada se pogleda slučaj primene naprednog tretmana u završnoj obradi vode (Sl.1b'), može se konstatovati da je to potreban, ali ne i dovoljan uslov sigurnog i bezbednog vodosnabdevanja. Praktično on je samo jedan stepen nadogradnje postojećeg konvencionalnog sistema, koji se bavi posledicama nefunkcionalnosti prethodnih faza. Tek uvođenjem odgovarajućeg predtretmana, koji PSm date lokacije stavlja u optimalnu funkciju, dobija se zaokružen i funkcionalan sistem u celini (Sl.1c).

U većini poznatih slučajeva (npr. gadovi Berlin i Barselona), uvođenje veštačke infiltracije služi kao dopuna već postojećeg sistema vodosnabdevanja, radi podizanja otpornosti sistema tokom kriznih situacija. Takođe, olakšavajuća okolnost je kada



Slika 1. Transformacija upotrebe prirodnog samoprečišćavajućeg mehanizma (PSm)



Slika 2. Veštačka infiltracija + napredni tretman kao dopuna postojećoj infrastrukturi eksploatacije podzemne vode

postoje uslovi za njeno formiranje u blizini urbanih zona i već postojeća infrastruktura vezana za eksploataciju podzemne vode.

Naravno, sa pravom se može postaviti pitanje svrshodnosti postupka veštačke infiltracije (Sl.2) i zašto jednostavno ne preći direktno na upotrebu sirove površinske vode ka izvora uz primenu odgovarajućeg naprednog tretmana.

Ako pođemo od činjenica da je jednom sistemu za vodosnabdevanje važno da zadrži ili poboljša i kvalitet i kvantitet isporučene vode (u ovom slučaju podzemne), što je između ostalog važno zbog održanja i upravljanja kvalitetom vode u distributivnom sistemu i zadovoljstva korisnika. Sa druge strane, obezbeđuju se uvek neophodne rezerve vode u okviru prirodnih rezervoara, što je tokom sušnih perioda i povećane potrošnje, ekscenih situacija u površinskim izvorima, kao sigurna i stabilna podrška ekonomskom i privrednom razvoju društva u celini, naročito kod sistema čija uloga u vodosnabdevanju ima regionalni karakter, veoma bitno. Osim toga, stepen eksploatacije faza pretretmana i završnog tretmana, i ako po strukturi imaju veliku sličnost sa naprednom procesno-tehnološkom linijom za preradu sirove površinske vode, značajno je niži pogotovo tokom završnog tretmana gde je uloga PSm-a izdani najuočljivija. Takođe, kako se kvalitet površinskog izvora bude popravljao, tako će se i funkcionisanje procesno-tehnološke linije prilagođavati uz mogućnost da se neke od faza prerade zaobiđu (na primer pretretman), a da se osnovne postavke kvaliteta i kvantiteta pijaće vode zadrže.

Tokom kriznih situacija, kao što je ekstremna destabilizacija kvaliteta sirove površinske vode, nastavlja se snabdevanje, bez poremećaja, koristeći rezervoarske kapacitete izdani. Sa druge strane, svaka veća i intezivnija promena ulaznih

parametara kvaliteta nekog od sistema za direktnu preradu površinske vode, može izazvati poremećaje koji direktno utiču na kvalitet i kvantitet izlaznog proizvoda.

Tokom upotrebu veštačke infiltracije, a naročito obalske filtracije, kao sastavni deo unapređenja potrebno je definisanje i uvođenje radnih režima i monitoringa u realnom vremenu. Promene u vodostaju, temperaturi, varijacije kvaliteta sirove površinske vode i sl., samo su neki od parametara koji su potrebni za formiranje nove strategije i pristupa upravljanja prirodnim resursima za potrebe vodosnabdevanja.

3.3 Neka lokalna izvorišta i pogledi

Praktično okosnicu vodosnabdevanja Srbije čine izvorišta podzemne vode, oko 75% ukupnog kapaciteta. Na njihovom održavanju i rekonstrukciji, zaštiti, proširenju i obrazovanju novih predstoje veoma značajni poslovi (Dimkić M., 2007).

Primena veštačke infiltracije prisutna je i na ovim prostorima. Tu se mogu spomenuti izvorišta vodovoda Požarevac „Ključ“ - aluvion reke Morave, vodovoda Kraljevo „Žičko polje“ - aluvion reke Ibar ili izvorište grada Trstenik i sl, koja je potrebno kompletirati u većoj ili manjoj meri (Dimkić M., 2007).

Najveći korisnik podzemne vode, a koja je isto tako bila vezana i za početak njegovog vodosnabdevanja od 1892.godine, je grad Beograd. Prvi bunari izrađeni su u Makiškom polju, sredini koja je nekada bila pod mnogo manjim uticajem urbanizacije, industrijalizacije i poljoprivrednih aktivnosti. U kasnijem periodu, od pedesetih godina prošlog veka, počinje se sa izgradnjom vodozahvatnih objekata (bunara sa horizontalnim drenovima) duž leve i desne obale reke Save i upotrebe obalske filtracije bez završnog tretmana. Tokom šesdesetih godina XX veka, puštaju se prvi konvencionalni sistemi za preradu obalskog filtrata, kao jednog od oblika podzemne vode sa većim udelom površinske vode, koji su i

danas u upotrebi i dovoljno zreli za uvođenje nekih od naprednih tehnologija prerade. Namena ovih sistema bila je, i jeste, uklanjanje vodonik-sulfida, gvožđa, mangana i procese nitrifikacije, sa završnom dezinfekcijom hlorom.

Još na samom početku primene obalske filtracije, paralelno počinju i problemi sa kolmiranjem rečnog korita i drenova bunara, što je uticalo na postepeni pad njihove izdašnosti. Preduzimane su mere regeneracije postojećih drenova i proširivanje izvorišta izgradnjom novih vodozahvatnih objekata, što se i danas čini. Kako se kriva potrošnje u tom periodu, drastično povećavala usled ubrzane urbanizacije i razvoja, što postojeći kapaciteti eksploatacije podzemne vode nisu mogli postići, pristupilo se radikalnom zaokretu i uvođenju procesno-tehnološke linije za direktnu preradu površinske vode „Makiš“. Time se popravila slika sa aspekta kapaciteta vodosnabdevanja, ali se zato uticalo na promenu strukture vode i upravljanja njenim kvalitetom u distributivnom sistemu. Nešto kasnije, izgrađena su i puštena u rad još dva objekta za preradu površinske vode, „Jezero“ i Makiš 2“, koji su definitivno uticali na promenu odnosa udela površinske i podzemne vode u korist površinske, a što je bio i pokazatelj potrebe za promenom višedecenijskog načina eksploatacije podzemne vode.

Beograd ima svoj objekat za veštaku infiltraciju, ali čiji su kapaciteti procentualno veoma malo iskorišćeni, verovatno iz razloga što su se sve vreme koristili samo prirodni samoprečišćavajući mehanizmi koji su tokom vremena degradirani. Veštačko jezero „Ada Ciganlija“, koje je danas poznato po svojoj dominantnoj ulozi u pogledu upotrebe za rekreativne i turističke svrhe stanovnika Beograda i šire, ima i svoje dve veoma važne i skoro neprimetne uloge u pogledu vodosnabdevanja, kao infiltraciono izvorište podzemne vode i izvorište površinske vode za snabdevanje Beograda u kriznim situacijama.

Njegova dobra veza sa postojećim kapacitetima postrojenja „Makiš“, postojanje dovoljnog broja

vodozahvatnih građevina koje je moguće kvalitetno obnoviti, uz revitalizaciju jezerskog korita i smanjenje antropogenog uticaja, predstavljaju dobru osnovu za značajan uticaj na aspekte sigurnosti i bezbednosti vodosnabdevanja, a svakako kao dobar pilot model neizbežnom budućem razvoju infiltracionih izvorišta „Zidine“ i „Jabučki rit“. Kako se jezero i okolina već nalaze u okvirima zona sanitarne zaštite, to dodatno povećava njegove mogućnosti i buduću aktivniju ulogu u vodosnabdevanju teritorije grada Beograda kao regionalnog centra.

Važnost izgradnje i upotrebe novih infiltracionih izvorišta bitan je i zbog otvaranja mogućnosti budućeg postepenog gašenja vodozahvatnih objekata u urbanim zonama, a koji se sve teže štite od različitih spoljnih uticaja i što bi svakako olakšalo potrebu Beograda da nesmetano nastavi razvoj duž obala svojih reka.

4. ZAKLJUČAK

Očekujući buduće događaje koji će za sobom doneti sasvim sigurno velika iskušenja po pitanju stepena i obima zagađenosti, ispunjavanja novih regulatornih obaveza, razvoja i opstanka, ni sada još uvek nije kasno da se usmerimo ka dugoročnim strateškim opredeljenjima koja bi podrazumevala baziranje prvenstveno na kombinaciji prirodnih i inženjerskih procesa uz pomoć domaće i globalne naučno-inženjerske konekcije i podrške. Svakako da sigurnost i bezbednost vodosnabdevanja, optimizacija procesa, energetska efikasnost, smanjenje upotrebe hemikalija i briga o rezidualima iz procesa prerade, edukacija i povezivanje i sl., predstavljaju bazične vrednosti na budućem putu. Glavno opterećenje usmereno je prvenstveno ka javnim/partnerskim sistemima koji se bave vodosnabdevanjem, koja pokušavaju da daju svoj maksimum, ali čiji je manevarski prostor dosta ograničen. Međutim, jedno od ključnih pitanja je koliko je neko društvo spremno da razume i podrži takve procese. Očigledno je da aktivnosti na tom planu moraju biti ozbiljnije i odlučnije.



LITERATURA

1. Bertelkamp, C., Reungoat, J., Botton, S., Cornelissen, E., Ghadiri, E., de Jonge, M., Singhal, N., van der Hoek, J. P. & Verliefde, A. R. D. 2012 *Transformation of organic micropollutants during river bank filtration: laboratory versus field data*. Water Pract. Technol. 7 (4).
2. Brunner, P., Cook, P.G., Simmons C.T. (2009) *Hydrogeologic controls on disconnection between surface water and groundwater*. Water Resources Res., 45, W01422,
3. Dimkić M., Đurić D., Milovanović M., Laušević M., Jevtić G., Petković A. (2011c) *Natural Attenuation of Emerging Pharmaceuticals by Bank Filtration in Addressing Regional Groundwater Management Issues*, Water Research and Manag., 1(1), pp. 29-45, ISSN 2217-5237.
4. Dimkić M. (2007) *Samoprečišćavajući efekti filtracije podzemnih voda*, Monografija, Izdavač „Zadužbina Andrejević“, ISBN:978 86 7244 629 6, Beograd, Srbija.
5. Houtman, C. J. 2010 *Emerging contaminants in surface waters and their relevance for the production of drinking water in Europe*. J. Integr. Environ. Sci. 7 (4), 271–295.
6. Hofmann, R., Amiri, F., Wilson, S., Garvey, E., Metcalfe, C., Ishida, C. & Lin, K. 2011 *Comparing methods to remove emerging contaminants and disinfection by-product precursors at pilot scale*. J. Water Supply Res. Technol. – AQUA 60 (7), 425–433.
7. Hubbs, S.A. (2006) *Changes in riverbed hydraulic conductivity and specific capacity at Louisville*. In Riverbank Filtration Hydrology, Hubbs, S.A. Ed.; NATO Science Series IV; Earth and Environmental Sciences: Dordrecht, The Netherlands, pp. 199–121.
8. Galjaard, G., Martijn, B., Koreman, E., Bogosh, M. & Malley, J. 2011 *Performance evaluation SIX-Ceramac in comparison with conventional pre-treatment techniques for surface water treatment*. Water Pract. Technol. 6 (4).
9. Gollnitz, W. D., Whitteberry, B. L. and Vogt, J. A., *Riverbank filtration: induced infiltration and groundwater quality*. Journal of American Works Association (AWWA), 96 (12), 2004
10. Kruithof, J. C., Kamp, P. C. & Finch, G. R. 2000 UV H₂O₂ treatment. 'The ultimate solution for pesticide control and disinfection'. In: Proceedings AWWA An.Conference, Denver, CO,USA.
11. Mutiti, S., Levy, J. (2010) *Using temperature modeling to investigate the temporal variability of riverbed hydraulic conductivity during storm events*. Journal of Hydrology 388, 321–334.
12. Scheideler, J., Lekkerkerker-Teunissen, K., Knol, T., Ried, A., Verberk, J. & Van Dijk, H. 2011 *Combination of O₃/H₂O₂ and UV for multiple barrier micropollutant treatment and bromate formation control – an economic attractive option*. Water Pract. Technol. 6 (4).
13. Schubert, J., *How does it work? Field studies on riverbank filtration*. In: Julich W, Schubert J (eds) Proceedings of the International Riverbank Filtration Conference. IAWR, Dusseldorf, Germany, pp. 41 – 55. 2000
14. Schriks, M., Heringa, M. N., Van der Kooij, M. M. E., De Voogt, P. & Van Wezel, A. P. 2010 *Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality*. Water Res. 44.
15. Su, G.W., Jasperse, J., Seymour, D., Constantz, J., Zhou, Q. (2007) *Analysis of pumping-induced unsaturated regions beneath a perennial river*. Water Res. Research 43(8), W08421;
16. Van der Aa, N. G. F. M., Dijkman, E., Bijlsma, L., Emke, E., Van de Ven, B. M., Van Nuijs, A. L. N. & De Voogt, P. 2010 *Drugs of abuse and tranquilizers in Dutch surface waters, drinking water and wastewater*, Ministry of Health, Welfare and Sport, RIVM, Bilthoven, The Netherlands
17. Van der Hoek, J. P., Hofman, J. A. M. H. & Graveland, A. 1999 *The use of biological activated carbon filtration for the removal of natural organic matter and organic micropollutants from water*. Water Sci. Technol. 40 (9).
18. Vanek, V., Heterogeneity of groundwater-surface water ecotones. In: Gibert J, Mathieu J, Fournier F (eds) *Groundwater/Surface Water Ecotones: Biological and Hydrological Interactions and Management Options*. Cambridge University Press: New York; pp 151–161, 1997.