

Procesi fizikalne i kemijske obrade voda i njihova primjena u oružanim snagama

Dragutin Tušek i Ivana Cetina

Sažetak

Provedbe vojnih operacija zahtijevaju velike količine vode (vode za piće i tehničke vode). Na terenu je komunalni vodoopskrbni sustav u pravilu nedostupan, a raspoloživa voda često je onečišćena mehaničkim, kemijskim i/ili biološkim zagađenjem. Voda se stoga mora osigurati i prevoziti iz drugih dostupnih izvora ili je prije upotrebe treba obraditi mehaničkim, kemijskim i fizikalnim metodama pročišćavanja. U radu se predstavljaju neke od najvažnijih suvremenih metoda pročišćavanja vode (membranski procesi obrade vode, elektrolitička obrada vode i napredni oksidacijski procesi) te se navode novi pristupi i metode obrade vode. Nakon toga prikazuju se metode i sustavi za pročišćavanje vode specifično za vojne potrebe te doktrinarni i logistički aspekt planiranja upravljanja vodom, za potrebe provedbe vojnih djelovanja. Analizom postojećih metoda pročišćavanja, a uzevši u obzir specifične zahtjeve djelovanja vojnih postrojbi, uočava se trend razvoja manjih sustava, koji će koristiti nove tehnologije i obnovljive izvore energije te će vodom opskrbljivati pojedince manjih taktičkih postrojbi do razine satnije. Time se povećava neovisnost postrojbi o opskrbi, logistička održivost te smanjuje potreba za logističkim kapacitetima za dostavu i obradu vode.

Ključne riječi:

pročišćavanje vode, membranski procesi, reverzna osmoza, elektrolitička obrada vode, napredni oksidacijski procesi, ROWPU

Abstract

Physical and chemical treatment processes for water and their application in armed forces

Military operations require large amounts of water (both potable and technical). Communal water supply system generally is not accessible in the theatre of operation, and available water is often contaminated by mechanical, chemical and/or biological contaminants. Therefore, water must be provided and transported from other available sources or it needs to be treated by mechanical, chemical and physical purification methods before use. This paper reviews some of the most important modern water purification methods (membrane processes, electrolytic water treatment and advanced oxidation processes in water purification) and presents new approaches and methods used for water purification. Afterwards, paper analyses doctrinal and logistics aspects of water management planning for military operations purposes. At the end, the paper presents methods and systems for water purification that are specifically used for military purposes. By analysing existing water purification methods and considering specific needs of military units and operations, the new trend is noticed in development of smaller systems that would provide water for soldiers in smaller tactical units up to the company level, using new technologies and renewable energy sources. This would increase military units' independence on water supply, increase logistic sustainability and decrease needs for logistics capacity for water purification and water delivery.

Key words:

water purification, membrane processes, reverse osmosis, electrolytic water treatment, advanced oxidation processes, ROWPU

Uvod

Voda prekriva oko 75 % Zemljine površine, zauzima značajnu ulogu u svakidašnjem životu svih živih bića te je integralni dio svakog ekosustava i mnogih industrijskih procesa (Mahoney, 2008).

Dostupnost vode za piće izravno utječe na kvalitetu života, kao i na gospodarsku snagu zajednice. U područjima koja su siromašna vodenim resursima postoji stalna opasnost od izbijanja sukoba zbog kontrole izvora vode. Tijekom 20. stoljeća voda je postala strateški resurs (Del Valle, 2015) i geopolitički faktor (vidi kao primjer spor Izraela i Sirije u Wihbey i Berman, 2000).

Potreba za vodom za piće kod vojnog i civilnog segmenta sve je veća, a zbog kemijskih, bioloških ili fizikalnih zagađenja vode za piće sve je manje. Takve vode moraju se tretirati prije konzumiranja ili se moraju pročišćavati zbog toga što su opasne za zdravlje ljudi (Palaniappan i Gleick, 2009).

Raspolaganje dostatnim zalihama vode jedan je od važnih uvjeta za uspjeh provedbe vojnih operacija, a vojne postrojbe mogu biti razmještene u područjima gdje nema dovoljno vode za njihove potrebe. Industrijska proizvodnja za potrebe obrane, vojni istraživački i analitički laboratoriji te vojne postrojbe tijekom vježbi i provedbe svojih zadaća, između ostaloga provedbe RBK (radiološka, biološka i kemijska) dekontaminacije, koriste i proizvode mnoge toksične kemikalije koje mogu kontaminirati okoliš (uključujući vodu) i tako negativno utjecati na sva živa bića u njemu. Kako bi se riješio taj problem, oružane snage diljem svijeta razvijaju sposobnosti za pročišćavanje i opskrbu vodom za piće i tehničkom vodom. Najveći napredak u razvoju sustava za pročišćavanje vode dogodio se s razvojem kemije kao znanosti.

Važno je istaknuti da vojne postrojbe tijekom svojih djelovanja stvaraju i otpadne vode, koje se sukladno sa zakonskom regulativom, poglavito u zemljama zapada, moraju propisno zbrinuti i obraditi. Osim postojećih zakonskih regulativa, sve je uočljiviji trend povećane brige za zaštitu okoliša, kojem se, na vlastitu inicijativu, posvećuju pojedine oružane snage. Jedan je od najboljih primjera Strategija održivosti Kopnene vojske SAD-a (U.S. Department of the Army, 2004), kojom se definiraju ciljevi, načini i sredstva za održivu proizvodnju energije za operativnu uporabu, upravljanje vodom (vodom za piće i tehničkom vodom) te zbrinjavanje otpada.

U prvom dijelu rada ukratko je opisana povijest razvoja kapaciteta za čuvanje i pročišćavanje vode za potrebe vojske. U drugom dijelu opisane su

suvremene metode fizikalno-kemijske obrade vode, uključujući membranske procese obrade vode, elektrolitičku obradu vode te napredne oksidacijske procese. U poglavlju koje slijedi navedene su nove metode obrade vode, trenutačno u fazi razvoja i istraživanja. Nakon toga prikazane su metode i sustavi za pročišćavanje vode za vojne potrebe. Važnost vode za provedbu misija i zadaća vojnih postrojbi opisana je u poglavlju o vodi kao elementu logističkog planiranja i doktrina te održivosti vojnih postrojbi, nakon čega slijedi zaključak.

Povijest razvoja kapaciteta za čuvanje i pročišćavanje vode za potrebe vojske

Potreba za vodom za piće u vojnim postrojbama stara je koliko i povijest ratovanja. Prvo su za potrebe osiguranja dostupnosti vode tijekom ratnih pohoda razvijane posude za čuvanje vode za pojedinca ili skupine. Kako su rasle vojne postrojbe, pokretljivost i dinamika ratovanja, rasle su i potrebe za sve većim kapacitetima za čuvanje i prijevoz vode (Barlow, 2007: str. 196).

Vojnik u ratu izložen je velikim psihofizičkim naprezanjima pa troši velike količine vode. Logističke postrojbe često nisu imale mogućnost dostaviti potrebnu vodu vojnicima tijekom ratnih operacija. Zbog toga bi vojnici svoje posudice s vodom punili iz prirodnih izvora, koji su često bili zagađeni. I u današnje vrijeme vojnik ne može pored osobnog naoružanja i opreme nositi filter za pročišćavanje vode, poglavito tijekom aktivnosti u kojima nema mogućnosti prijevoza, a zbog fizičkih ograničenja nosivosti, nego samo posudu (čuturicu ili vrećicu u naprtnjači) s određenom količinom vode koja mu je potrebna tijekom dana.

U vojnim postrojbama voda se u velikim količinama koristi za različite potrebe (za piće i pripremu hrane, za potrebe vozila, sanitarnih čvorova, dekontaminacije i pranja rublja). Iako za sve te potrebe nije potrebna voda za piće visoke kvalitete, često je vojnoj logistici vrlo zahtjevno raspolagati zasebnim sustavima za vodu za piće i tehničku vodu. Cijevi, rezervoare i cisterne kroz koje prođe tehnička voda nije moguće koristiti za vodu za piće bez prethodne kemijske obrade i dezinfekcije. Iz tog razloga većinom se za

sve potrebe koristi voda za piće. Tehnička voda koristi se samo za, primjerice, pranje vozila, RBK dekontaminaciju i slično (Eaton i sur., 1998).

Prvi materijali koji su korišteni za posude za čuvanje i nošenje vode bili su životinjskog podrijetla (koža, mjehur, razne vrste tikva i slično). Te posude nisu bile osobito praktične jer su bile nespretne za nošenje ili su zbog organskog podrijetla bile prepune bakterija. Sljedeći materijal koji se koristio bilo je drvo. Drvo je bilo bolji materijal jer je relativno čvrst pa je dobro čuvao vodu. No, za izradu takve posude trebala je određena vještina te su one vojnicima bile poprilično teške za nošenje.

Početak razvoja vojne logistike (antička Grčka, stari Rim i Bizant) uglavnom je obuhvaćao i opskrbu vojnika hranom i vodom. Za potrebe prijevoza velike količine vode razvijala su se prikladna prijevozna sredstva, a voda se većinom prevozila u velikim drvenim bačvama.



Slika 1. Primjeri vojnih posudica za čuvanje vode; drvena (lijevo), bakrena (sredina), željezna (desno) Izvor: Stewartsmilitaryantiques (2018)

Razvoj tehnologije tijekom prve ekonomske revolucije pokrenuo je brz razvoj manufakturne proizvodnje i razvoj transportnih sredstava (u prvom redu brodova na parni pogon i željeznice) te je započeo brži razvoj vojne logistike. Započela je izgradnja metalnih tankova za čuvanje vode te upotreba filtara s pijeskom i aktivnim ugljikom za pročišćavanje vode. Razvojem metalurgije započeo je i razvoj vojnih posudica za vodu od metala. Koristili su se metali

poput bakra, željeza i nehrđajućeg čelika. Učinkovita logistika s dovoljnom opskrbom hranom, vodom i streljivom postala je odlučujući faktor za dobivanje rata (Slika 2).

Prije razvoja kemije naglasak je bio na razvoju odgovarajućih posuda za čuvanje vode, kao i pročištače na principu filtriranja vode kroz pijesak, šljunak i aktivni ugljen (Hill, Feigl i Baum, 1993). U 19. stoljeću događa se nagli razvoj kemije kao znanosti pa su rezultati kemijskih istraživanja često prvi put bili testirani na bojištu. Kod pročišćavanja vode to je značilo početak korištenja dezinfekcije vode upotrebom tvari na bazi aktivnog klora.

Neke od najsofisticiranijih tehnika pročišćavanja vode prvo su razvijene u vojne svrhe, a tek su poslije korištene za civilnu upotrebu. Primjer je sustav reverzne osmoze, koji je danas u širokoj uporabi diljem svijeta, a razvijen je u američkoj vojsci šezdesetih godina prošlog stoljeća (Lindsten, 1984).



**Slika 2. Opskrba postrojbi vodom tijekom američke invazije na Grenadu 1983. godine
Izvor: Olive-drab (2017)**

Trenutačno se primjenjuje nekoliko desetaka metoda pročišćavanja vode, kao što su sedimentacija, primjena UV zračenja, kloriranje, bromiranje, jodiranje, obrada kloraminom, uporaba srebrovih iona, koagulacija i aglomeracija, aglomeracija i flokulacija, filtracija sporim pijeskom, stlačenim pijeskom, dijatomejskom zemljom, poroznim kamenom ili keramikom, papirom i tkaninom (Eaton i sur., 1998). Navedeni načini pročišćavanja vode imaju veću ili manju učinkovitost, no gotovo svi su korišteni ili se još koriste i za potrebe oružanih snaga.

Suvremene metode fizikalno-kemijske obrade vode

Onečišćenja se u vodi mogu nalaziti u krutom, tekućem ili plinovitom stanju. Zbog svojeg polarnog karaktera voda je odlično otapalo za sve polarne spojeve. Poznavanje fizikalno-kemijskih svojstava potencijalnih kontaminanata i njihovih produkata hidrolize od velikog je značaja jer će oni utjecati na odabir metode koja će se koristiti za pročišćavanje vode. Neke od tehnika obrade vode koje će biti opisane u ovom radu koriste se i za uništavanje kemijskih ratnih agensa (bojnih otrova) (U.S. Army Chemical Materials Activity Headquarters, 2018).

Filtriranje ili pročišćavanje vode poznato je već od davnina. U prošlosti su korišteni razni načini pročišćavanja vode, poput filtara na bazi pijeska, šljunka i raznih vrsta glina, dok se danas koriste filtri na bazi aktivnog ugljena, reverzne osmoze i ultrafiltriranja. Novije metode uklanjanja toksičnih tvari iz vode uključuju korištenje aktiviranog mulja. Navedena metoda pogodna je i za uklanjanje organofosfatnih spojeva iz vode (Schuldt, 2012).

Krutine koje se nalaze u vodi mogu se same slegnuti na dno ili ostati raspršene u vodi. Za uklanjanje kontaminanata koji nisu topivi u vodi koriste se različite jednostavne fizičke metode kao što su gravitacijska separacija, zračna flotacija i filtracija, dok se za uklanjanje topivih kontaminanata koriste metode naprednog stupnja obrade vode (Colic i sur., 2005).

Metode naprednog stupnja obrade vode

Spaljivanje

Spaljivanje podrazumijeva proces izgaranja organskih spojeva koji se nalaze u vodi, pri čemu nastaju CO₂ i H₂O. Termičko uništavanje kontaminanta iz vode provodi se u specijalnim zatvorenim pećima u kojima se odvija visokotemperaturno izgaranje s pomoću mješavine goriva i zraka. Temperatura koja se koristi u zoni za izgaranje obično se nalazi u rasponu od 750 °C do 870 °C. Krutina koja preostane na kraju procesa izgaranja inertni je materijal. Tom metodom dolazi do razaranja molekulske strukture organskih

spojeva tijekom procesa oksidacije, tj. dolazi do toplinske degradacije. U procesu spaljivanja toksični spojevi potpuno se uništavaju i ne dospijevaju u atmosferu (Liu i Liptak, 1997).

Kemijska precipitacija

Precipitacija se koristi za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda. Otpadne vode iz vojne industrije sadrže i određene koncentracije toksičnih metala, od kojih su mnogi topivi pri niskim pH-vrijednostima. Podešavanjem pH-vrijednosti metali se talože u obliku metalnih oksida ili metalnih hidroksida, ali u navedenom procesu pH-vrijednost se mora pažljivo kontrolirati kako bi se minimizirala topivost kontaminanta.

Kemikalije koje se najčešće koriste za podešavanje pH-vrijednosti, tj. za taloženje metala u formi hidroksida, jesu kalcijev hidroksid, natrijev hidroksid i natrijev karbonat (Wang i sur., 2005). Prilikom primjene te metode prije taloženja metala potrebno je provesti predtretman kojim se uklanjaju spojevi koji bi mogli ometati taloženje metala. Primjer su takvih spojeva npr. cijanidi i amonijak, koji stvaraju komplekse s mnogim metalima. U konačnici se kontaminanti tom metodom uklanjaju kemijskom reakcijom koja dovodi do precipitacije ili adsorpcijom iona na već postojeći formirani precipitat (Barakat, 2011).

Adsorpcija

Kontaminanti se iz vode mogu učinkovito ukloniti s pomoću selektivnih adsorbensa (Barakat, 2011). Primjena adsorpcije osobito je učinkovita kada je riječ o otopinama s niskim koncentracijama kontaminanta ili kada se u otopini nalazi kontaminant koji je vrlo specifičan i odlično ga uklanja točno određeni adsorbens.

Razlikujemo dva tipa adsorpcijskih procesa ovisno o tipu sile koja djeluje između adsorbensa i tvari koja se adsorbira, a to su fizička adsorpcija (van der Waalsova adsorpcija) i kemisorpcija. Većina komercijalnih adsorbensa djeluje na principu fizičke adsorpcije.

Adsorbensi su obično polimerni spojevi s česticama nanoveličine. Selektivnost čestica adsorbensa može se povećati tako da se u procesu dobivanja polimera iz monomera u smjesu dodaju i molekule ciljanog kontaminanta. Nakon što se monomer polimerizira, dodane molekule kontaminanta uklone se i na taj način u adsorbensu ostanu svojevrsni „otisci“ koji su specifični za ciljani kontaminant (Fraunhofer IGB, 2013). Čestice adsorbensa općenito imaju veliku specifičnu površinu, a za njihovu proizvodnju može se koristiti veliki izbor različitih mono-, bi- i trifunkcionalnih monomera.

Osim polimera, za proces obrade vode koriste se i sljedeći adsorbensi:

a) Aktivni ugljik

Aktivni ugljik najčešće je korišten i jedan od najučinkovitijih adsorbensa za obradu otpadnih voda i uklanjanje širokog raspona kontaminanata. Dobar adsorpcijski kapacitet aktivnog ugljika izravno je povezan s njegovom velikom aktivnom površinom u jedinici volumena, koja se kreće od 300 do 2000 m²/g (Chemviron Carbon, 2018). Odlično adsorbira nebiorazgradive organske spojeve, toksične tvari, obojene tvari i boje, aromatske spojeve, klorirane i halogenirane organske spojeve te organofosfate. Jednom iskorišten aktivni ugljik može se regenerirati termički, s pomoću pare, ekstrakcijom s otapalom, obradom kiselinom ili bazom i kemijskom oksidacijom. Za regeneraciju se najčešće koristi termička metoda, koja podrazumijeva obradu visokom temperaturom (650 °C – 980 °C) uz prisutnost vodene pare i kisika, pri čemu se adsorbirane molekule kontaminanta termički uništavaju.

b) Aktivni aluminij

Aktivni aluminij koristi se za obradu otpadnih voda i adsorpciju organskih i anorganskih spojeva, kao i aktivni ugljik, na principu njegove specifične aktivne površine (250 – 350 m²/g), strukture pora, ionske snage i kemijske inertnosti.

c) Zeoliti

Zeoliti spadaju u skupinu prirodnih ili sintetskih alumosilikatnih minerala koji sadrže alkalijske i zemnoalkalijske metale. Postoji

nekoliko tipova zeolita, kao što su CM-22, ZSM-5, ZSM-22, BETA i Y, no istraživanja su pokazala da kada je riječ o uklanjanju kontaminanta iz otpadnih voda, sintetski zeoliti imaju veći adsorpcijski kapacitet od prirodnih. Od prirodnih zeolita jedino je klinoptilolit pokazao visoku selektivnost za uklanjanje određenih teških metala kao što su Pb(II), Cd(II), Zn(II) i Cu(II) (Barakat, 2011).

d) Treset i prirodni materijali

Treset i ostali materijali od biomase koriste se za pročišćavanje otpadnih voda koje sadrže teške metale i organske spojeve (Barakat, 2011). Takvi se materijali sastoje od djelomično karboniziranih materijala koji zapravo nastaju tijekom prve faze formacije ugljena. Treset sadrži aldehidne, karboksilne, ketonske, alkoholne, eterske i fenolne površinske funkcionalne skupine, koje sudjeluju u adsorpciji. Njihova polarna priroda odgovorna je za specifični adsorpcijski potencijal prema metalima i polarnim organskim spojevima koji su otopljeni u vodi.

Prirodni materijali, kao što je agrikulturna otpadna biomasa, dostupni su u velikim količinama te imaju velik potencijal kao jeftini i učinkoviti adsorbensi kontaminanta iz otpadnih voda. Jedan je primjer takva prirodnog materijala ljuska riže, koja se pokazala kao odličan izvor za obradu vode jer sadrži približno 20 % SiO₂, koji se pokazao kao dobar adsorbens za uklanjanje teških metala, fenola, organofosfata i kloriranih hlapljivih organskih spojeva.

Ionska izmjena

Ionska izmjena može se koristiti za uklanjanje neželjenih aniona i kationa iz vode. Kationi se izmjenjuju s vodikovim ili natrijevim ionima, a anioni s hidroksilnim ionima. Smole koje se koriste za ionsku izmjenu sastoje se od organskih ili anorganskih spojeva mrežnih struktura koje na sebi imaju određene funkcionalne skupine. Većina smola koje se koriste za pročišćavanje vode sintetske su i dobivaju se polimerizacijom organskih

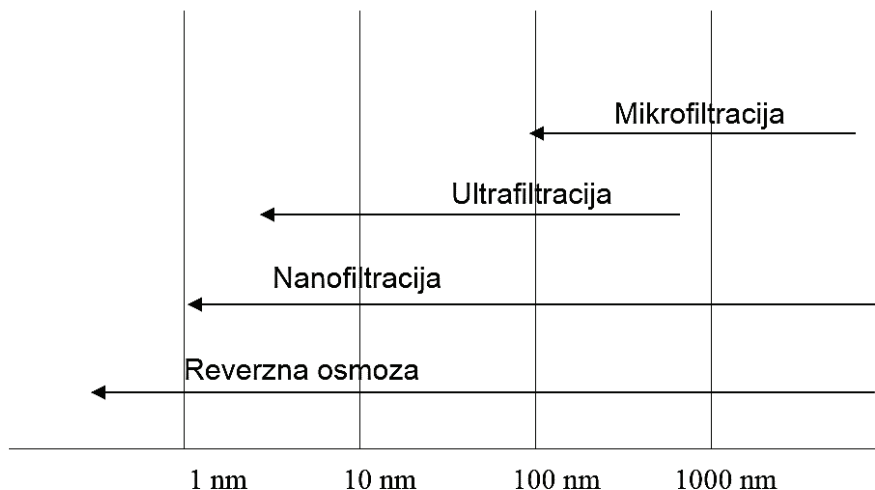
spojeva. Kationske izmjenjivačke smole sadrže kisele funkcionalne skupine, kao što su sulfonska skupina (-SO₃H) za jake kiseline i karboksilna skupina (-COOH) za slabe kiseline, a anionske smole sadrže bazične funkcionalne skupine, kao što su kvaterna amonijeva skupina (R₃N⁺OH⁻) za jake baze iaminska skupina (-NH₂ ili -RNH) za slabe baze (Calmon, 1986).



Slika 3. Primjer sustava za pročišćavanje vode na principu ionske izmjene
Izvor: Wastech (2008)

Membranski procesi

Uobičajeni membranski procesi uključuju ultrafiltraciju (UF), koja se najčešće koristi za predtretman u obradi vode, nanofiltraciju (NF), koja se koristi nakon UF i prije RO procesa, reverznu osmozu (RO), elektrodijalizu (ED) i reverznu elektrodijalizu (EDR). Membrane omogućavaju tvarima određene veličine da kroz njih prođu, a blokiraju prolaz većih čestica.



Slika 4. Usporedba membranskih procesa i njihova područja primjene
Izvor: Lenntech (2018)

Tijekom procesa pročišćavanja čista voda difundira kroz mikroporoznu membranu i sakuplja se s jedne strane membrane, dok kontaminanti ostaju s druge strane membrane.

Postoje različiti dizajni membrana, no vrijedi da membrana svojim dizajnom mora maksimizirati dostupnu površinu, imati što manju veličinu pora i minimizirati pad tlaka koji će voda doživjeti pri protoku kroz sustav. Membrane se najčešće proizvode od polimernih materijala kao što su poliamid, polisulfon, polikarbonat, celuloza acetat i keramika (Accepta, 2017). Učinkovitost membranske filtracije potpuno ovisi o razlici između veličine pora membrane, veličine čestica kontaminanta i veličine molekula vode.

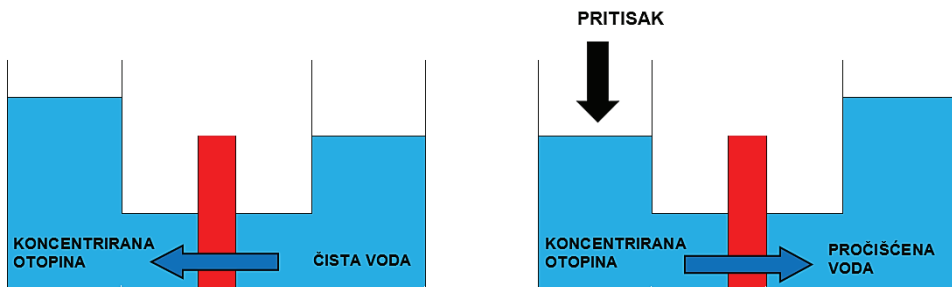
Većina uređaja koji se koriste za proizvodnju velikih količina vode bazira se na principu filtracije (UF i RO) i kemijske obrade dobivene vode kloriranjem prije transporta ili skladištenja.

Reverzna osmoza

Vlada SAD-a investirala je stotine milijuna američkih dolara (USD) u cilju pronalaska najbolje metode obrade i pročišćavanja vode te mjera opreza u slučaju napada kemijskim i biološkim oružjem. Sustav reverzne osmoze prvotno su razvili i usavršili američki znanstvenici nakon Drugog svjetskog rata i na početku razdoblja hladnog rata. Tijekom šezdesetih godina prošlog stoljeća tehnologija reverzne osmoze koristila se isključivo u vojne svrhe.

Reverzna osmoza (RO) najvažniji je membranski proces koji se koristi za odstranjivanje najmanjih čestica (otopljenih soli i malih organskih spojeva), koje su manje od 1 nm. Zbog navedenih svojstava RO je pogodan proces za pročišćavanje vode od kontaminanata i za desalinizaciju morske vode (Chian i sur., 2007).

Osmoza je oblik difuzije koji predstavlja protok otapala kroz polupropusnu membranu iz razrijeđene otopine prema koncentriranoj otopini dok se ne postigne ravnoteža. Taj protok nastaje kao rezultat razlike u tlaku između dviju otopina. Reverzna osmoza predstavlja proces u kojemu se protok preusmjerava u suprotni smjer i pritom kroz membranu „tjera“ vodu da prijeđe iz koncentrirane u razrijeđenu otopinu kako bi nastala filtrirana voda.



Slika 5. Prikaz principa djelovanja osmoze (lijevo) i reverzne osmoze (desno)
Izvor: Idreco (2018)

Do procesa reverzne osmoze dolazi kada se na koncentriranu otopinu primijeni dovoljan tlak kako bi se svladao osmotski tlak, a on se postiže s pomoću pumpi koje dovode vodu. Protok vode kroz polupropusnu RO membranu ovisi o veličini pora membrane, tlaku koji djeluje na membranu i o temperaturi vode.

Najčešće RO membrane izrađuju se od celuloze acetata (CA), celuloze triacetata (CTA) i tankoslojnih poliamidnih (PA) kompozita. Negativna strana membrana izrađenih od celuloze acetata njihova je podložnost hidrolizi u uvjetima visokih i niskih pH-vrijednosti. Sulfonirane polisulfonske (SPS) membrane otporne su na klor i mogu izdržati više pH-vrijednosti pa su najprikladnije za meke otpadne vode, u uvjetima visokog pH i u uvjetima kada se u vodi nalaze nitrati.



Slika 6. Primjeri industrijskih RO membrana
Izvor: Vnex (2018)

Ovaj je proces ograničen jer ne uklanja otopljene plinove iz vode, ali je zato vrlo učinkovit pri uklanjanju širokog raspona toksičnih kemikalija.

Elektrolitička obrada vode

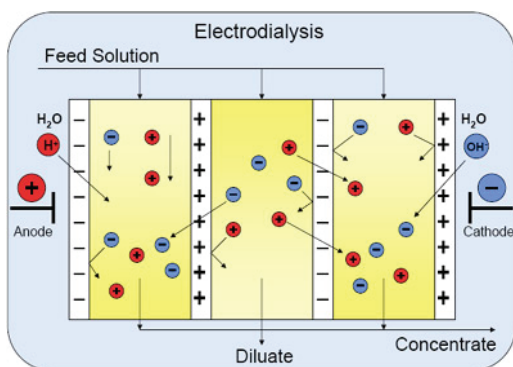
Još 1820. godine Michael Faraday postavio je prve principe procesa elektrolize. Proces elektrolize događa se u elektrolitu (u našem slučaju vodenoj otopini), u kojemu dolazi do prijenosa iona između dviju elektroda (Chopra, 2011). Elektrokemijski procesi predstavljaju ekološki prihvatljivu i relativno jeftinu metodu za pročišćavanje vode. Proces se mogu automatizirati pa se njima lako upravlja. Njima se, osim uklanjanja kemijskih onečišćenja, može inaktivirati i širok raspon mikroorganizama (bakterija, virusa i algi) (Reimanis, 2012).

Najznačajnije su metode za proces pročišćavanja vode elektrodijaliza i elektrokoagulacija te će stoga one biti detaljnije objašnjene.

Elektrodijaliza

Elektrodijaliza (ED) je proces prijenosa iona otopljene soli kroz membranu, a kretanje iona inducirano je s pomoću električne struje. Negativna elektroda (katoda) privlači katione (pozitivno nabijene ione) pa na njoj dolazi do njihove redukcije, a pozitivna elektroda (anoda) privlači anione (negativno nabijene ione) pa na njoj dolazi do oksidacije (Barakat, 2011). Sustav se sastoji od više naizmjeničnih kationskih i anionskih membrana za prijenos koje se sastoje od ionsko-izmjenjivačkih smola koje selektivno prenose ione. Takve su membrane bazirane na polimernim materijalima kao što su stiren ili polietilen, koji sadrže fiksne i mobilne nabijene funkcionalne skupine. Kod kationskih izmjenjivačkih membrana negativno nabijene skupine fiksne su, a pozitivno nabijene skupine mobilne. Pod utjecajem električnog polja kationsko izmjenjivačka membrana privlači pozitivno i negativno nabijene ione, ali je permeabilna samo za pozitivne ione, dok istodobno odbija negativne ione. Kod anionsko izmjenjivačkih membrana princip djelovanja je isti, no ona je permeabilna samo za negativne ione.

S pomoću ED metode uspješno se može ukloniti od 40 % do 60 % otopljenih iona. Ograničenje ED procesa jest činjenica da on ne uklanja velike čestice kontaminanta i slabo ionizirane kontaminante.



Slika 7. Prikaz principa djelovanja ED metode
Izvor: Fumatech (2018)

Reverzna elektrodijaliza

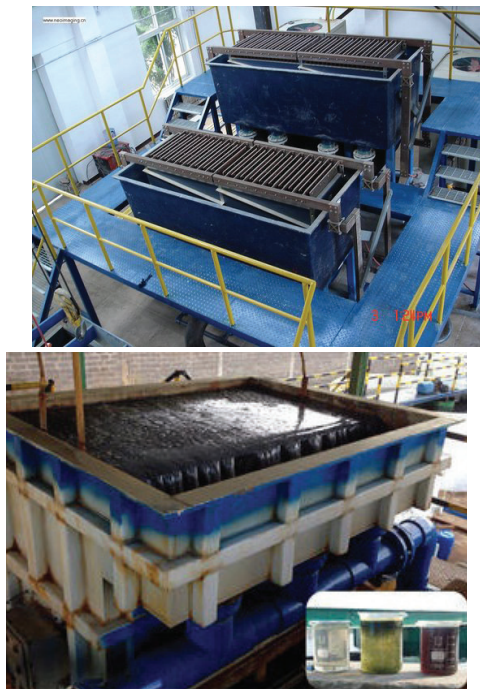
Proces reverzne elektrodijalize (EDR) funkcionira na istom principu kao ED metoda, uz razliku da se kod EDR metode tijekom rada mijenja polarlost (obično od 3 do 4 puta na sat). Promjena polarlosti sprječava nakupljanje koncentrirane otopine na membrani, čime se smanjuje nakupljanje anorganskog i organskog taloga na površini membrane. Konstrukcija i učinkovitost EDR sustava vrlo je slična ED sustavima.



Slika 8. Primjer sustava za EDR
Izvor: IonIndia (2018)

Elektrokoagulacija

Ova se metoda uspješno koristi za uklanjanje teških metala, organskih i anorganskih spojeva odnosno općenito kontaminanata koji se teško uklanjaju iz vode. Elektrokoagulacija (EC) provodi se primjenom električne struje na metalne elektrode u obliku ploče (najčešće od željeza ili aluminija) koje su uronjene u vodu koja se obrađuje (Chopra, 2011). Elektrode se elektrokemijski otapaju i kontinuirano stvaraju metalne ione (najčešće Fe^{3+} i Al^{3+}). Oslobođeni ioni neutraliziraju naboje čestica u vodi i time iniciraju njihovu koagulaciju. Metalni ioni kontaminante uklanjaju kemijskom reakcijom i precipitacijom ili uzrokujući spajanje koloidalnih čestica, tj. koagulaciju, tvoreći nakupinu koja se može lako odvojiti iz vode.



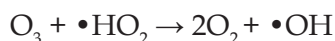
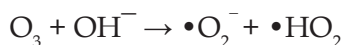
Slika 9. Primjeri sustava za elektrokoagulaciju
Izvor: Pollucon Engineering Services (2018) i World Innovation Technologies (2018)

Napredni oksidacijski procesi

Napredni oksidacijski procesi (engl. AOP, *Advanced Oxidation Processes*) predstavljaju skup postupaka kemijske obrade namijenjenih za uklanjanje kontaminanta (organskih i anorganskih tvari) iz vode procesom oksidacije s pomoću ozona, vodikova peroksida, kisika i zraka te u određenim procesima uz kombinaciju s UV zračenjem i sa specifičnim katalizatorima. AOP postupci posebno su korisni za uklanjanje bioloških i nerazgradivih materijala kao što su aromatski spojevi, pesticidi, naftni derivati i hlapljivi organski spojevi. Kontaminanti se AOP procesom pretvaraju u stabilne anorganske spojeve (Sharma, 2011).

Ozonizacija

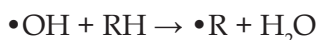
Ozon (O_3) se u vodi otapa bolje od kisika, a kao rezultat otapanja ozon se raspada, pri čemu nastaje nekoliko različitih vrsta radikala, između ostalih i vrlo aktivni elektrofilni $\bullet OH$ radikal, koji brzo i neselektivno reagira s gotovo svim elektronski bogatim organskim spojevima:



Ozon djeluje na kontaminante u otpadnim vodama kao vrlo jak oksidans s vrlo visokim oksidacijskim potencijalom, koji na 25 °C iznosi 2,07 V u kiselim otopinama te 1,24 V u alkalnim otopinama. Porastom pH-vrijednosti raste brzina raspada ozona u vodi, a time se ubrzava i povećava učinkovitost ozonizacije (Guo i sur., 2012). Dodavanje vodikova peroksida (H_2O_2) u proces ozonizacije može inicirati ciklus raspada ozona i nastanak $\bullet OH$ radikala, posebno ako se dodatno primijeni i UV zračenje. Osim direktnog dodavanja H_2O_2 u sustav, on se može dobiti i fotolizom vodene otopine. Ako se u sustav ozonizacije doda aktivni ugljik, također se može povećati brzina nastanka $\bullet OH$ radikala.

Fentonova oksidacija

Fentonov proces oksidacije koristi vodikov peroksid (H_2O_2) i soli željeza pri niskim pH-vrijednostima. Soli željeza djeluju kao katalizator povećavajući učinkovitost H_2O_2 formiranjem visoko reducirajućih $\bullet OH$ radikala koji oksidiraju kontaminante u otopini.



H_2O_2 Oksidacijski potencijal $\bullet OH$ radikala iznosi 2,33 V, što ga čini vrlo snažnim oksidirajućim agensom. Brzina raspada organskih kontaminanata ubrzava se dodatnom primjenom UV zračenja. Fotoliza Fe^{3+} kompleksa omogućuje

regeneraciju do Fe^{2+} iona, što omogućuje brži tijek reakcije uz prisutnost nastalog H_2O_2 (Glaze, 1987).

Oksidacija mokrim zrakom

Oksidacija mokrim zrakom (engl. WAO, *Wet Air Oxidation*) metoda je koja omogućava oksidaciju organskih i oksidabilnih anorganskih spojeva koji se nalaze u vodi korištenjem povišenih temperatura od $125\text{ }^\circ\text{C}$ do $300\text{ }^\circ\text{C}$ i tlakova od 0,5 do 20 MPa. Ovom se metodom propuhivanjem mjehurića zraka (kisika kao oksidansa) oksidiraju spojevi u vodi.

Oksidacijska reakcija događa se u superzagrijanoj vodi na temperaturi iznad $100\text{ }^\circ\text{C}$, a ispod kritične temperature, koja iznosi $374\text{ }^\circ\text{C}$. Cijeli se sustav nalazi pod tlakom kako bi se izbjegla evaporacija vode jer je tekuća voda nužna da bi došlo do oksidacijske reakcije (Zou, Li i Hung, 2007).

Pri WAO procesu katkad se također koriste i različiti metalni katalizatori. Kao konačni rezultat procesa ugljik se oksidira do CO_2 , dušik se prevodi u NH_3 , NO_3 ili N_2 , a halogenidi i sumpor prevode se u anorganske halide i sulfate.



Slika 10. Primjeri sustava za oksidaciju mokrim zrakom
Izvor: Oil and Gas online (2018) i Siemens Energy (2009)

Oksidacija superkritičnom vodom

Oksidacija superkritičnom vodom (engl. SCWO, *Supercritical Water Oxidation*) termički je oksidacijski proces koji se događa u vodi na temperaturama i tlakovima koji su iznad termodinamičke kritične točke smjese, tj. na temperaturama i tlakovima iznad kritične točke vode ($p_c = 22,055$ MPa, $T_c = 373,976$ °C). U takvim uvjetima voda postaje fluid s jedinstvenim svojstvima koji se može koristiti za uništavanje opasnih organskih i anorganskih spojeva (Veriansyah, Kim i Lee, 2007).

Obrada vode započinje primjenom oksidansa u uvjetima povišene temperature i tlaka ($p > 22,1$ MPa, $T > 550$ °C) u trajanju od 10 do 15 sekundi. Superkritična voda oksidira kontaminante do CO_2 , N_2 i H_2O . Nakon što se u reaktoru postigne željena reakcija, voda se hladi i smanjuje joj se tlak te se odvajaju plinska i tekuća faza. Prije ispuštanja iz sustava voda prolazi završni monitoring kako bi se utvrdilo da ne postoji zaostala kontaminacija.





Slika 11. Primjeri sustava za oksidaciju superkritičnom vodom
Izvor: National Academy of Engineering (2013) i Cabeza i sur. (2014)

Reaktor SCWO sustava potpuno je zatvoren pa tijekom procesa ne nastaju opasni i neželjeni nusprodukti (NO_x i SO_x spojevi, dioksini i čađa). Ovo je potpuna i brza metoda obrade širokog raspona različitih otpadnih voda kontaminiranih opasnim tvarima te ima učinkovitost veću od 99,9 %.

Razvoj novih metoda obrade vode

Osim navedenih metoda, u novije se vrijeme za pročišćavanje vode razvijaju i nove metode, koje često uključuju sasvim nove pristupe problemu. Jedna od njih uključuje korištenje otvorenog izvora plazme. Plazma se proizvodi pri normalnom atmosferskom tlaku, a sastoji se od iona, elektrona, kemijskih radikala i zračenja malih valnih duljina. Može se postići s pomoću elektromagnetskog polja, npr. primjenom visokog napona. Dobivena plazma primjenjuje se izravno na površinu kontaminirane vode (Fraunhofer IGB, 2013).

Druga metoda među novije razvijenim metodama pročišćavanja vode uporaba je snopa pulsnih izboja (engl. PSD, *Pulsed Streamer Discharges*), koja spada u jedan od tipova napredne oksidacijske tehnologije (Sahni i Locke, 2006).

Obje su metode u eksperimentalnoj fazi razvoja i još nemaju komercijalnu primjenu za pročišćavanje vode.

Metode i sustavi za pročišćavanje vode za vojne potrebe

Mjesto za postavljanje sustava i provedbu pročišćavanja vode mora biti na povišenom poroznom mjestu kako ne bi bilo ugroženo sezonskim kišnim razdobljima. Površina mora biti ravna i po mogućnosti popločena, kamenita, šljunčana ili drenirana kako nakon nekog vremena oprema ne bi završila u dubokom blatu. Za odvodnju viška vode kosina mora biti u smjeru suprotnom od postrojbi ili smjera njihova djelovanja. Kosina i udaljenost od izvora vode ne smiju biti prevelike kako ne bi utjecale na snagu pumpnog sustava. Nagib kosine mora biti oko 3 %. Prostor mjesta za pročišćavanje vode zauzimaju sustav za pročišćavanje vode, sklopivi spremnici za vodu, sustav pumpi i uređaj za kloriranje, a mora imati mogućnost proširenja ili nadogradnje novim uređajima i spremnicima za vodu. Mjesto mora biti prikriveno i nadzirano, na dovoljnoj udaljenosti od dometa zemaljskog topništva te osigurano protiv sabotaza i diverzija od protivnika ili domicilnog stanovništva. Osoblje postrojbe za pročišćavanje vode i snage osiguranja moraju imati prostor za boravak, koji mora biti udaljen najmanje 30 metara od prostora za pročišćavanje (U.S. Army, 2007).

Oružane snage RH koriste za pročišćavanje vode mobilni sustav ROWPU (engl. *Reverse Osmosis Water Purification Unit*), koji radi na principu dvostrukog procesa reverzne osmoze (Slika 12). Riječ je o naprednom sustavu za pročišćavanje vode koji također može pročistiti vodu kontaminiranu nuklearnim, biološkim i kemijskim ratnim agensima (Nicoll, 2001).





Slika 12. ROWPU sustav - pustinjska verzija (lijevo) i zelena verzija na uporabi u OSRH-u (desno)

Izvor: Asanté (2016) i Puljizević (2018)

Sustav kombinira dva tipa membrana za filtraciju: ultrafiltracijske (UF) membrane veličine 50 μm i 5 μm za predtretman vode, koje filtriraju veće čestice do molekulske težine od 100 000 Daltona, i membrane za reverznu osmozu (RO), koje uklanjaju molekule do veličine 0,5 nm (McArdle, 2009). Prije dolaska na RO membranu u vodu se dodaju polielektroliti, koji omogućuju koagulaciju otopljenih soli kako bi se one prije dolaska u RO membrane odvojile. Modul za reverznu osmozu sastoji se od sedam RO elemenata koji su izrađeni od tankoslojnog kompozita poliamida kako bi se povećala učinkovitost.

Spremnici za pročišćavanje imaju promjer 12,7 cm. Sastoje se od šupljih vlaknastih membrana, a svaka ima kapacitet 35 mL. Membrane i spremnici izrađeni su od visoko otpornog polimera polisulfona, koji pruža kemijsku stabilnost pri širokom rasponu temperatura.

Taj sustav proizvodi vodu za piće bez obzira na izvor vode (rijeka, potok, jezero, voda ispod ledenog pokrivača, more, ocean). O kvaliteti vode s izvora (stupanj onečišćenja i količina otopljenih soli) ovisi kolika će biti proizvodnja vode, a kreće se od 2000 do 10 000 litara vode na sat po jednom sustavu (Canadian Forces Military, 2012). Morska voda sadrži između 30 000 i 60 000 ppm (engl. *parts per million* – dijelova na milijun) otopljenih minerala poput natrija, klorida, magnezija i drugih soli. Voda koja sadrži manje od 1000 ppm ukupno otopljenih soli TDS (engl. *total dissolved solids* – ukupna

količina otopljenih krutina) smatra se sigurnom za ljudsku upotrebu. ROWPU osigurava vodu s udjelom od 300 do 800 ppm TDS-a, što je količina TDS-a ekvivalentna komercijalnim flaširanim vodama.

Dobivena pročišćena voda prije skladištenja i transporta tretira se procesom kloriranja kako bi joj se produžio rok trajanja. Čista voda se skladišti u 10 000-litarske rezervoare napravljene od umjetne gume. Voda koja se transportira postrojbama na terenu prevozi se u 3000-litarskim tankovima. Šest takvih tankova dolazi na logističko vozilo.

ROWPU sustav pokazao se kao vrlo učinkovit tijekom ratnih operacija *Pustinjska oluja* i *Pustinjski oklop* te tijekom mnogih mirovnih misija diljem svijeta. Jedan ROWPU sustav dovoljan je za opskrbu jedne pješake bojne vodom za piće.

ROWPU je samostalni robustan sustav dimenzija oko 2 × 4 metra, visine 2,5 metara i težine otprilike 3,5 tona. Ima vlastiti generator za osiguranje potrebne električne energije. Životni ciklus filtra je od 1000 do 2000 sati rada, nakon kojeg se filtri čiste ili zamjenjuju. Jedan set filtara košta otprilike 15 000 USD (U.S. Army, 2007).

Na Slici 13 mogu se vidjeti dijelovi ROWPU sustava, upravljačka jedinica s energetskim i pumpnim sustavom, jedinice za obrnutu osmozu i gumeni spremnici.



Slika 13. Dijelovi ROWPU sustava

Izvor: Puljizević (2018)

Svaki ROWPU sustav opslužuje i održava desetina ljudi. Ta postrojba mora imati velik broj vozila i namjenskih prikolica u raznim veličinama. Ako se postupak provodi na pravilan način, tada je moguće osigurati vodu za piće za tisuće vojnika na terenu. Zadaća tog sustava nije samo osigurati vodu koja je sigurna za konzumaciju, nego voda mora biti dobrog okusa, niske razine kvarljivosti, pogodna za pranje rublja, korištenje u bojlerima i za mnoge druge potrebe. Sustave za pročišćavanje vode za vojnu i/ili civilnu upotrebu razvija i ima većina država. Većina ih se bazira na principu ultrafiltriranja i korištenja membrana za reverznu osmozu. Principi rada slični su kao i kod ROWPU sustava, a neki noviji sustavi imaju i jedinicu na bazi nanofiltracije.

Velik sustav za pročišćavanje vode kao što je ROWPU ne može riješiti sve potrebe opskrbe vodom vojnika na bojnopolju. Na primjer, što je s pojedincem, vojnikom koji je izvan dosega sustava opskrbe vodom? Hoće li vojnik sa sobom nositi potrebnu količinu vode i tako opteretiti osobnu opremu, koja je i bez vode poprilično teška i nepraktična za nošenje? U prošlosti su vojnici kao sastavni dio osobne opreme nosili tablete za dezinfekciju vode na bazi klora, ali one nisu učinkovite za uklanjanje virusa i mikroskopskih organizama, a ne mogu ni pretvoriti morsku vodu u vodu za piće. Zbog navedenoga je razvijen sustav za pročišćavanje vode za pojedinca. Taj sustav teži oko pola kilograma i osigurava do 1000 litara vode prije zamjene filtra. Sustav se sastoji od predfiltra s porama veličine 4 µm, keramičkog filtra i filtra s aktivnim ugljenom, a dolazi pod nazivom PWP-C (engl. *Personal Water Purifier*) (Quémérais, 2006).

Voda kao element logističkog planiranja i održivosti provedbe misija oružanih snaga

Voda je iznimno važan resurs za osiguranje održivosti vojnih postrojbi u području djelovanja. Za ilustraciju parametara koji se uzimaju u obzir prilikom planiranja logističkog osiguranja vodom uzeti su službeni dokumenti oružanih snaga (vojske) SAD-a.

Američka Združena doktrina upravljanja gorivom i vodom u nepakiranom obliku

(Joint Publication 4-03, 2017) opisuje sljedeće ključne korake i elemente za planiranje opskrbe vodom:

- razvoj detaljnog plana distribucije vode
- prepoznavanje zahtjeva za opskrbom vodom
- osoblje i oprema potrebni za provedbu pročišćavanja, skladištenja i distribucije vode
- postupci za postizanje vode dobre kakvoće
- prepoznavanje kvalitetnog lokalnog izvora vode
- prepoznavanje mogućeg utjecaja kakvoće vode iz izvora na proces pročišćavanja vode.

Murphy (2012) navodi dva glavna faktora za planiranje potrošnje vode po vojniku po danu:

- minimalni faktor planiranja – dovoljna količina vode za preživljavanje snaga u razdoblju do jednog tjedna koja iznosi 23 litre po osobi
- održivi faktor planiranja – zahtjevi za vodu za razdoblje duže od jednog tjedna (50 litara). Održivi faktor planiranja uključuje i smanjenje ovisnosti postrojbi o vodi u bočicama s obzirom na to da je ona skupa za proizvodnju, pakiranje i distribuciju na bojišnici te predstavlja neučinkovito korištenje prijevoznih sredstava u području operacija.

Vojni sustav opskrbe vodom, prema standardima Združenih snaga vojske SAD-a mora zadovoljiti sljedeće taktičke pretpostavke (U.S. Army, 2007):

1. Osigurati odgovarajuće količine vode

U mnogim oružanim snagama postoje, u prvom redu, logističke postrojbe koje su zadužene za opskrbu vodom, uz potporu izvidnika koji se bave pronalaženjem vode, obavještajnog osoblja koje pribavlja podatke o rezervama vode na određenom području te laboranata koji ispituju kvalitetu vode.

Prilikom planiranja vojnih djelovanja i razmještaja postrojbi na određeno područje mora se voditi računa o dostupnosti izvora vode za piće i tehničke vode u dovoljnoj količini. Iako se smatra da je za vojne

potrebe najvažniji resurs oružje i streljivo te eventualno pogonsko gorivo, važnost vode ne smije se zanemariti. Dehidriran i bolestan vojnik predstavlja slabost vojne postrojbe jer se time znatno smanjuje borbeni potencijal. Utjecaj nedostatka vode na borbeni moral, koji je ključan za uspjeh vojnog djelovanja, nije ni potrebno posebno isticati.

Tablica 1. Glavni zahtjevi za potrošnju vode za piće i tehničke vode prilikom vojnih djelovanja

Izvor: Joint Chiefs of Staff (2017) i Force Development Directorate (2008)

VODA ZA PIĆE	TEHNIČKA VODA
piće priprema hrane osobna higijena proizvodnja leda bolnice (Role I, II, III i IV) civilno osoblje, izbjeglice i ratni zarobljenici	RBK dekontaminacija ljudi, vozila i opreme održavanje i pranje vozila i zrakoplova inženjerski radovi gašenje požara pranje rublja mrtvačnica grijanje

Nikako se ne smije zaboraviti ni na odgovornost vojnih postrojbi za osiguranje vode za piće domicilnom stanovništvu na području gdje se provode vojne operacije. Zbog vojnih djelovanja civilno stanovništvo može ostati bez opskrbe vodom za piće. Takva situacija, posebno tijekom sudjelovanja u operacijama izvan matične države (npr. vođene operacije NATO-a ili EU-a), može dovesti do promjene naklonosti ili neutralnosti lokalnog stanovništva te prijeći na neodobravanje i otvoreno neprijateljstvo.



Slika 14. Autocisterna za opskrbu vodom na uporabi u OSRH-u
Izvor: Večernji list (2018)

2. Osigurati kvalitetu vode

Voda mora biti odgovarajuće kvalitete kako ne bi utjecala na zdravlje vojnog osoblja. Zato se njezina kvaliteta redovito kontrolira i po potrebi pročišćava odgovarajućom opremom. Testovi za kontrolu kvalitete vode uobičajeno se baziraju na kontroli mirisa, mutnoće, temperature, pH-vrijednosti i količine mikroorganizama.

3. Osigurati dostupnost izvoru vode

Izvor vode mora biti odgovarajući za pristup vozilima koja putem pumpi crpe vodu u odgovarajuće tankove. Ako je potrebno provesti pročišćavanje takve vode, mora se odabrati odgovarajuće područje za postavljanje sustava za pročišćavanje, koje mora biti u blizini izvora

vode i mora biti prometno dobro povezano s postrojbama.

4. Uskladiti potrebe potrošnje vode

Vojne postrojbe koriste znatne količine vode tijekom vojnih djelovanja. Kako bi se predočila ta količina, navest ćemo primjer američke mehanizirane divizije, koja u svojem sastavu ima 350 tenkova, 250 borbenih vozila i 16 000 vojnika, a dnevno troši oko milijun litara vode. Ako napravimo korelaciju s našim snagama, jedna naša mehanizirana brigada ima dnevne potrebe za otprilike 200 000 litara vode, što nije jednostavno osigurati. Za dostavu te količine vode putem autocisterni potrebno je od 20 do 40 spremnika, ovisno o kapacitetu spremnika cisterni, kako bi se osigurala potrebna opskrba vodom. Najjednostavnija i najučinkovitija opskrba vodom, ako je moguća, jest opskrba preko vodovodne mreže. Na terenu je takav oblik opskrbe vodom često onemogućen zbog nedostatka ili oštećenja vodovodnog sustava, zagađenosti sustava i slično. Prijenosni sustavi za pročišćavanje vode na bazi obrnute osmoze u dobroj mjeri rješavaju taj problem.

Osim brige o vodi kao resursu važnome za provedbu operacija i zadaća u tijeku, sve je prepoznatljiviji trend brige o vodi u odnosu na prirodni okoliš (opskrba, uporaba i zbrinjavanje otpadnih voda). Kopnena vojska SAD-a započela je početkom 2000-ih godina niz aktivnosti usmjerenih prema održivom upravljanju resursima, primarno energijom za operativnu uporabu, vodom i otpadom, oblikovanim u Strategiji za okoliš (engl. Strategy for the environment) (U.S. Department of the Army, 2004). Njome se definiraju ciljevi, načini i sredstva za održivu proizvodnju energije za operativnu uporabu, upravljanje vodom (vodom za piće i tehničkom vodom) te zbrinjavanje otpada. Provedba ciljeva definiranih u toj strategiji objavljuje se svake godine u izvješću pod nazivom Sustainability Report (vidi primjer izvješća za 2016. u U.S. Department of the Army, 2016). Navedeni dokumenti potvrđuju činjenicu da pripadnici oružanih snaga još nisu dovoljno obaviješteni, uvježbani i obrazovani o problematici i praksama zaštite okoliša (Janssen, 2011). S obzirom na rastuće probleme zaštite okoliša, u provedbi vojne obuke i vojnog obrazovanja sve se više posvećuje pozornost podizanju razine svijesti i unaprjeđivanju suradnje sastavnica Kopnene vojske SAD-a

u provedbi koncepata zaštite okoliša, u koje spada i problematika zaštite i pročišćavanja vode (U.S. Department of the Army, 2016: str. 9). Navedenom strategijom i provedbenim planovima nastoji se osigurati dugoročna raspoloživost resursa, a time i sposobnost provedbe vojnih misija. Otuda i moto ove strategije: „Učini misiju održivom, osiguraj budućnost“ (engl. *Sustain the mission, secure the future*). Takvim „održivim“ pristupom nastoji se smanjiti potreba za pročišćavanjem voda pažljivim upravljanjem izvorima vode te uporabom i brigom o vodama koje se vraćaju u okoliš.

Postojeće metode pročišćavanja, uzevši pritom u obzir specifične zahtjeve djelovanja vojnih postrojbi, pokazuju trend razvoja manjih sustava koji će koristiti nove tehnologije i obnovljive izvore energije te će vodom opskrbljivati postrojbe do razine satnije. Postoji cijeli niz različitih novijih vojnih logističkih pristupa za osiguranje vode za potrebe pojedinca ili manjih taktičkih postrojbi. Pritom su u fokusu ponajprije energetska učinkovitost, korištenje različitih vrsta izvora energije, uključujući obnovljive izvore, upotreba novih učinkovitijih materijala za izradu membrana i filtara, smanjenje mase i volumena sustava ili korištenje različitih izvora vode koji se koriste za dobavu ili pročišćavanje vode za piće. Razvoj novih sustava za pročišćavanje vode za vojne potrebe može počivati na jednom navedenom principu, više njih ili na svim navedenim principima. Ako je u fokusu energetska učinkovitost, tada je cilj smanjiti količinu utrošene energije po volumenu pročišćene vode. U novije vrijeme proizvode se sustavi koji troše manje od 3 kW električne energije za proizvodnju 1000 l (1 m³) vode za piće. Kako bi se to postiglo, koriste se noviji, učinkovitiji materijali, poput novih keramičkih materijala (vidi, primjerice, proizvode: Katadyn, 2018) ili polimernih materijala, za izradu membrana i filtara u sustavima za pročišćavanje vode (vidi: IWT, 2018). Osiguravanje više različitih energetskih izvora (osim korištenja električne energije iz različitih izvora: javni električni distribucijski sustav, generatori za proizvodnju električne energije, solarni moduli, baterijski sustav) za pokretanje sustava za pročišćavanje vode omogućuje rad sustava na različitim naponima električne energije (od istosmjerne struje na malim naponima od 12/24 V, uključujući DC utičnice na vojnim i komercijalnim vozilima, do izmjenične struje od 90 do 260 V). Manji sustavi za pročišćavanje vode uključuju modele namijenjene za

pojedina mase, a masa im je do 600 grama i volumen kao jedna boca od 1 l (vidi: Katadyn, 2018), te prijenosne sustave koji se nalaze u najviše do tri kovčega, a mogu opskrbljivati postrojbe do veličine satnije (vidi, na primjer, proizvode: Aspen Water, 2018). Najnoviji trend dobivanja vode za piće na terenu također uključuje i generiranje atmosfere vode od prirodne vlage u zraku. Postoje prijenosni uređaji za proizvodnju manjih količina vode iz zraka od 40 do maksimalno 180 litara vode na sat po jednoj jedinici (vidi, na primjer, rješenja: iHLS, 2018) pa do većih uređaja koji osiguravaju do 900 litara vode na dan (vidi: Watergen, 2018).

Sa sve većim zahtjevima za čistu vodu raste i potreba za kontinuiranim poboljšavanjem procesa i sustava za pročišćavanje vode. Jedan od budućih pristupa pročišćavanju vode teži smanjenju primjene kemijskih sredstava (npr. kloriranje) kako bi se smanjile količine zaostalih kemikalija koje dugoročno mogu izazvati određene negativne zdravstvene posljedice u ljudi. Jedan od novijih pristupa uključuje kombinaciju upotrebe fotona i nanomaterijala. Primjer je UV svjetlo koje može aktivirati fotokatalitičke materijale kao što je TiO_2 , dok TiO_2 , dopiran s dušikom (TiON) ili kodopiran s dušikom i određenim metalom (npr. paladijem) može biti aktiviran i vidljivim svjetlom, koje ima mnogo manju energiju od UV svjetla (Shannon i sur., 2008). Iako sustavi na principu reverzne osmoze, koji se najčešće koriste u većini oružanih snaga, imaju relativno nisku potrošnju energije, najčešće koriste skupu električnu energiju ili druge skupe energente i zahtijevaju čestu zamjenu dijelova sustava kao što su RO membrane (Shin i sur., 2017). Buduće RO membrane trebale bi imati mnogo manje pore i velik protok vode u odnosu na primijenjeni tlak. Trebale bi potpuno uklanjati otopljene čestice, imati malu sklonost začepljenja i biti otporne na kemikalije koje se koriste tijekom procesa pročišćavanja, što će uvelike smanjiti trošak pročišćavanja vode i povećati samoodrživost sustava, posebno u terenskim uvjetima rada. Materijali koji se ponajviše istražuju za izradu takvih membrana uključuju keramičke materijale, kopolimere i liotropne tekuće kristale (Shannon i sur., 2008). Primjer potpuno drukčijeg pristupa pročišćavanju vode pokazala je NASA (engl. *National Aeronautics and Space Administration*), koja je razvila akustični sustav s nanocjevčicama (engl. *Acoustics Nanotube Technology*). Taj sustav, iako koristi molekulska sito kao i ostale filtracijske metode,

nije fokusiran na zadržavanje kontaminanta, nego na „guranje“ vode od kontaminanta. Neki od novijih pristupa problemu pročišćavanja vode uključuju multifunkcionalne filtracijske membrane koje umjesto uobičajenih polimernih materijala koriste TiO₂ nanotehnologiju, sustav za pročišćavanje vode na bazi pepela od ljuske riže i nanosrebra te biofiltracijski sustav koji koristi vodeni organizam Eugleni, koji apsorbira kontaminante iz vode (AAWF, 2018).

Zaključno možemo reći da pristup većine današnjih znanstvenih istraživanja na području pročišćavanja vode uključuje razvoj bioinspiriranih sustava aktivnog transporta te da će svako buduće poboljšanje tehnologije procesa pročišćavanja vode zasigurno osigurati razvoj novih isplativijih i robusnijih sustava za pročišćavanje vode.

Zaključak

Pročišćavanje vode vrlo je važno za vojne postrojbe jer su one velik potrošači vode, a većinu vremena nalaze se na terenu, gdje često nedostaje ili nema dovoljno vode za piće.

Vojne postrojbe diljem svijeta koriste neki od načina pročišćavanja vode, od upotrebe tablete za dezinfekciju do velikih sustava za pročišćavanje. Iako postoji velik broj procesa za obradu onečišćenih voda, najčešće korišteni procesi pročišćavanja vode temelje se na membranskim procesima, reverznoj osmozi, elektrolitičkoj obradi vode i naprednim oksidacijskim procesima. Na navedene načine voda može se pročišćavati iz gotovo svih dostupnih izvora slatke, bočate i slane vode. Nakon provedenog postupka pročišćavanja voda se dodatno obrađuje postupkom kloriranja kako bi bila zdravstveno ispravna dulje razdoblje.

Vojni sustavi za pročišćavanje vode koji se baziraju na principu reverzne osmoze većinom su vrlo veliki, zahtijevaju velike količine vode, imaju mnogo dijelova, troše mnogo energije i nisu osobito mobilni.

Zbog navedenoga se razvijaju manji sustavi koji će koristiti nove tehnologije i obnovljive izvore energije pa će vodom opskrbljivati pojedince manjih taktičkih postrojbi do razine satnije. Time se povećava neovisnost postrojbi

o opskrbi i logistička održivost, pa se smanjuje potreba za logističkim kapacitetima za dostavu i obradu vode.

Zaštita okoliša (ekološko načelo) postaje sve prepoznatljiviji trend djelovanja vojnih postrojbi diljem svijeta, posebno na zapadu. Zaštita voda ugrađena je u mnoga civilna zakonodavstva, a toga se moraju pridržavati i njihove vojne postrojbe. Ekološko načelo u zaštiti voda u vojnim se postrojbama i dalje više primjenjuju u mirnodopsko vrijeme nego tijekom odgovora na krize ili oružanog sukoba. Međutim, ekološki pristup sve se više primjenjuje, bez obzira na to što njegova primjena usložnjava planiranje i djelovanje vojnih postrojbi. Pripadnici oružanih snaga još nisu dovoljno upoznati o problematici i praksama zaštite okoliša, niti su dovoljno obrazovani o tome. S obzirom na sve veće probleme u zaštiti okoliša, u provedbi vojne obuke i vojnog obrazovanja morat će se sve više usmjeravati pozornost na podizanje razine svijesti i upoznavanje s konceptima i problemima zaštite okoliša, u koje spada i problematika zaštite i pročišćavanja vode. Trendovi u tehnologijama za pročišćavanje vode pokazuju orijentaciju prema uporabi manjih sustava koji će koristiti nove tehnologije i obnovljive izvore energije. Time bi se dugoročno utjecalo i na održivost postrojbi na određenom području i smanjile potrebe za operativnom energijom (za prijevoz i pročišćavanje vode).

Literatura

Accepta. (2017) *Advanced Environmental Technologies, Reverse Osmosis (RO) Process Water Treatment*. Dostupno na: <http://www.accepta.com/environmental-water-wastewater-knowledge/reverse-osmosis-membrane-technologies-knowledge/303-reverse-osmosis-ro-process-water-treatment> [pristupljeno 15. rujna 2018.]

AAWF. (2018) *9 Great Water Filter Technology Advancements (You Need To Know About Today)*. Dostupno na: <http://all-about-water-filters.com/great-water-filter-technology-advancements-you-need-to-know-about-today/> [pristupljeno 27. prosinca 2018.]

Asanté, A. (2016) Why aren't military water purification units „ROWPU“ being used in cities like Flint ... *Sheezacoldpiece. Weblog*. Dostupno na: <https://>

sheezacoldpiece.com/2016/01/30/why-arent-military-water-purification-units-rowpu-being-used-in-cities-like-flint/ [pristupljeno 9. studenog 2016.]

Aspen water. (2018) *Aspen water inc. official web site*. Dostupno na: <http://www.aspenwater.com/> [pristupljeno 28. prosinca 2018.]

Barakat, M. A. (2011) New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*. 4, 361-377.

Barlow, M. (2007) *Blue covenant: the global water crisis and the coming battle for the right to water*. New York, New Press, distributed by W. W. Norton.

Cabeza, P., Queiroz, J. P. S., Bermejo, M. D., Martin, A., Mato, F. i Cocero, M. J. (2014)

Reactors for Supercritical Water Oxidation Processes. U: Fang, Z. i Xu, C. (ur.) *Near-critical and Supercritical Water and Their Applications for Biorefineries. Biofuels and Biorefineries*. Dordrecht, Springer Science+Business Media, pp. 179-206.

Calmon, C. (1986) Recent Developments in water treatment by ion exchange. *Reactive Polymers, Ion exchangers, Sorbents*. 4(2), 131-146.

Canadian Forces Military. (2012) *Reverse Osmosis Water Purification Unit*. Dostupno na: http://canadianforcesmilitary.com/reverse_osmosis_water_purification_unit.html [pristupljeno 10. rujna 2018.]

Chemviron Carbon. (2018) *Water treatment*. Dostupno na: <https://www.chemviron.eu/products/activated-carbon/> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Chian, E. S. K., Chen, J. P., Sheng, P.-X., Ting, Y.-P. i Wang, L. K. (2007) Reverse Osmosis Technology for Desalination. U: Wang, L. K., Hung, Y. T. i Shammass, N. K. (ur.) *Advanced Physicochemical Treatment Technologies: Handbook of Environmental Engineering*, Vol. 5. Humana Press, str. 329-366.

Chopra, A. K., Kumar Sharma, A. i Kumar, V. (2011) Overview of Electrolytic treatment: An alternative technology for purification of wastewater. *Applied Science Research*. 3(5), 191-206.

Colic, M., Morse, D., Morse, W. i Miller, J. D. (2005) *New developments in mixing, flocculation and flotation for industrial wastewater pretreatment and*

municipal wastewater treatment. Dostupno na: <https://pdfs.semanticscholar.org/3830/91cbc93e5a34665c2e9c9bcc292f07a16595.pdf> [pristupljeno 12. rujna 2018.]

Del Valle, M. J. (2015) Water as a strategic resource: International cooperation in shared basins and geowater. *Journal of the Spanish Institute for Strategic Studies*. 5, 1-52.

Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Greenberg, A. E. i Franson, M. A. H. (1998) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. Washington, DC, American Public Health Association.

Force Development Directorate (2008) *Water planning guide: potable water consumption planning factors by environmental region and command level*. United States Army Combined Arms Support Command, Fort Lee, Virginia, I-1-X-1.

Fraunhofer IGB. (2013) *Removing pollutants and contaminants from wastewater*. Dostupno na: <http://www.igb.fraunhofer.de/en/press-media/press-releases/2013/removing-pollutants-and-contaminants-from-wastewater.html> [pristupljeno 12. rujna 2018.]

Fumatech. (2018) *Membranes and Plant Technology: Electrodialysis*. Dostupno na: <https://www.fumatech.com/EN/Membrane-processes/Process%2Bdescription/Electrodialysis/index.html> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Glaze, W. H., Kang, J. W. i Chapin, D. H. (1987) The chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and UV radiation. *Ozone science & engineering*. 9, 335-352.

Guo, Y., Yang, L., Cheng, X. i Wang, X. (2012) The Application and Reaction Mechanism of Catalytic Ozonation in Water Treatment. *Journal for Environmental & Analytical Toxicology*. 2 (7) 2-7.

Hill, J. W., Feigl, D. M. i Baum S. J. (1993) *Chemistry and Life*. 4th Edition. New York, Macmillan Publishing Company.

Idreco. (2018) *Reverse osmosis*. Dostupno na: <http://www.idreco.com/reverse-osmosis/> [pristupljeno 12. prosinca 2018.]

iHLS (Israel's Homeland Security). (2018) *Israeli company presents new water purification technology*. Dostupno na: <https://i-hls.com/archives/19263> [pristupljeno 27. prosinca 2018.]

IonIndia. (2018) *Electrodialysis reversal (EDR)*. Dostupno na: <https://ionindia.co.in/product/70/14> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

IWT (Island Water Technologies). (2018) *Canadian Military Validates Solar Powered Wastewater Treatment*. Dostupno na: <http://www.islandwatertech.com/military-solar-powered-wastewater-treatment/> [pristupljeno 28. prosinca 2018.]

Janssen, K. (2011) *The Ecosystem Approach in military operations: No security without ecological security, no stability without sustainability*. *Forestry Studies/Metsanduslikud Uurimused*. 54, 48-53.

Joint Chiefs of Staff (2017) *Joint Publication 4-03: Joint Bulk Petroleum and Water Doctrine*. U.S. Joint Chiefs of Staff, Armed Forces of the United States.

Katadyn. (2018) *Combi water filter*. Dostupno na: <https://www.katadyn.com/en/de> [pristupljeno 31. prosinca 2018.]

Lenntech. (2018) *Membrane Technology*. Dostupno na: <https://www.lenntech.com/membrane-technology.htm> [pristupljeno 12. prosinca 2018.]

Lindsten, D.C. (1984) *Technology transfer: Water purification, U.S. Army to the civilian community*. *The Journal of Technology Transfer*. 9(1), 57-59.

Liu, D. H. F. i Liptak, B. G. (1997) *Environmental Engineers' Handbook*. CRC Press, str. 507-926.

Mahoney, N. (2008) *Unique and Mysterious Properties of Water*. *National Science Foundation. Weblog*. Dostupno na: https://www.nsf.gov/news/special_reports/water/index_low.jsp?id=properties [pristupljeno 7. studenog 2016.]

McArdle, J. (2009) *Pretreatment for Portable Purification*. *Water Quality Products. Weblog*. Dostupno na: <http://www.wqpmag.com/pretreatment-portable-purification> [pristupljeno 12. rujna 2018.]

Murphy, T. P. (2012) *Army Water Sustainment: An Analysis of Capabilities and Capacities*. United States Army War College, Pennsylvania, 1-29.

National Academy of Engineering. (2013) *Assessment of Supercritical Water Oxidation System Testing for the Blue Grass Chemical Agent Destruction Pilot Plant*. Dostupno na: <https://www.nae.edu/89290.aspx> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Nicoll, H. (2001) Portable Purification: Reverse Osmosis Plays Expanded Role in Military Logistics. *Water Conditioning and Purification Magazine: WCP Online*. (5), 43-45. Dostupno na: <http://www.wcponline.com/2001/05/15/portable-purification-reverse-osmosis-plays-expanded-role-military-logistics/> [pristupljeno 7. studenog 2016.]

Oil and Gas online. (2018) *Zimpro, Wet Air Oxidation*. Dostupno na: <https://www.oilandgasonline.com/doc/zimpro-wet-oxidation-0001> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Olive-drab. (2017) *Military Canteen*. Dostupno na: https://olive-drab.com/od_soldiers_gear_canteen.php [pristupljeno 8. studenog 2017.]

Palaniappan, T. M. i Gleick, P. H. (2009) Peak Water. U: Gleick, P. (ur.) *The World's Water: 2008-2009*. Island Press, str. 1-31.

Pollucon Engineering Services. (2018) *Electrocoagulation System*. Dostupno na: <http://www.polluconengineering.in/electrocoagulation-system.htm> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Puljizević, L. (2018) Obuka rukovanja sustavom za pročišćavanje voda. *Hrvatski vojnik*. 552. Dostupno na: <https://hrvatski-vojn timer.hr/obuka-rukovanja-sustavom-za-prociscavanje-voda/> [pristupljeno 1. rujna 2018.]

Quémerais, B. (2006) *Water collection purification system: Identifying CF capabilities and requirements and assessing off-the-shelf purification systems*. Dostupno na: <http://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc69/p526477.pdf> [pristupljeno 12. prosinca 2018.]

Reimanis, M., Mezule, L., Ozolins, J., Malers, J. i Juhna, T. (2012) Drinking water disinfection with electrolysis. *Latvian Journal of Chemistry*. 4, 296-304.

Sahni, M. i Locke, B. R. (2006) Degradation of chemical warfare agent simulants using gas-liquid pulsed streamer discharges. *Journal of Hazardous Materials*. 137 (2), 1025-1034.

Schuldt, S. J. (2012) *Biodegradation of organophosphate chemical warfare agents by activated sludge*. Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, USA, USAF, Department of the Air Force, Air University, Air Force Institute of Technology. Dostupno na: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a559665.pdf> [pristupljeno 1. rujna 2018.]

Shannon, M. A., Paul W. Bohn, P. W., Elimelech, M., Georgiadis J. G., Marinas, B. J. i Mayes, A. M. (2008) Science and technology for water purification in the coming decades. *Nature*. 452, 301-310.

Sharma, S., Ruparelia, J. P. i Patel, M. L. (2011) A general review on Advanced Oxidation Processes for waste water treatment. International conference on current trends in technology: Institute of technology, Nirma University, Ahmedabad, str. 1-7.

Shin, S., Shardt, O., Warren, P. B. i Stone, H. A. (2017) Membraneless water filtration using CO₂. *Nature Communications*. 8, 1-6.

Siemens Energy. (2009) Siemens Wet Air Oxidation Technology for Wastewater Treatment. *Hydrocarbon online*. Weblog. Dostupno na: <https://www.hydrocarbononline.com/doc/sinopec-selects-siemens-wet-air-oxidation-0001> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Stewartsmilitaryantiques. (2018) *Italian late 19th century wooden cask canteen & leather shoulder strap*. Dostupno na: <https://stewartsmilitaryantiques.com/italian-late-19th-century-wooden-cask-canteen-leather-shoulder-strap.35499.archive.htm> [pristupljeno 9. studenog 2018.]

U.S. Department of the Army (2004) *Strategy for the environment. Sustain the mission, secure the future*. Washington, D.C., U.S. Department of Defense.

U.S. Department of the Army (2016) *Sustainability Report 2016. Sustain the mission, secure the future*. Washington, D.C., U.S. Department of Defense.

U.S. Army (2007) *Field Manual FM 10-52: Water purification operation*. Washington, DC, Headquarters Department of the Army.

U.S. Army Chemical Materials Activity Headquarters. (2018) *U.S. Army chemical materials activity*. Dostupno na: <https://www.cma.army.mil/> [pristupljeno 10. rujna 2018.]

Večernji list. (2018) *Opskrba građana Sl. Broda pitkom vodom odviija se bez problema*. Dostupno na: <https://www.vecernji.hr/vijesti/slavonski-brod-voda-vlada-1236464> [pristupljeno 13. prosinca 2018.]

Veriansyah, B.J., Kim, D. i Lee, J.C. (2007) Destruction of chemical agent simulants in a supercritical water oxidation bench-scale reactor. *Journal of Hazardous Materials*. 147(1-2), 8-14.

Vnex. (2018) *RO Membrane - Residential, commercial and industrial RO membranes*. Dostupno na: <https://vnex.en.taiwantrade.com/product-catalog/ro-membrane-148975.html> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Wang, L. K., Vaccari, D. A., Li, Y. i Shammas, N. K. (2005) Chemical Precipitation. U: Wang, L.K., Hung, Y.T. i Shammas, N.K. (ur.) *Physicochemical Treatment Treatment Processes: Handbook of Environmental Engineering*, Vol. 3. Humana Press, pp. 141-197.

Wastech. (2008) Recycling Systems Using ION Exchange. Dostupno na: <https://www.wastechengineering.com/11-newsletters/109-mail61-ion-exchange.html> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Watergen, (2018) *Water-from-air, for a better world*. Dostupno na: <http://www.watergen.com/products/gen-350g-medium-scale-atmospheric-water-generator/> [pristupljeno 27. prosinca 2018.]

Wihbey, P. M. i Berman, I. (2000) The Geopolitics Of Water. *IASPS Research Papers in Strategy # 10*. Dostupno na: <http://www.ilanberman.com/6514/the-geopolitics-of-water> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

World Innovation Technologies. (2018) *Electrocoagulation System*. Dostupno na: <https://www.indiamart.com/worldinnovationtechnologies/electrocoagulation-system.html> [pristupljeno 14. studenog 2018.]

Zou, L. Y., Li, Y. i Hung, Y. T. (2007) Wet Air Oxidation for Waste Treatment. U: Wang, L.K., Hung, Y.T. i Shammas, N.K. (ur.) *Advanced Physicochemical Treatment Technologies: Handbook of Environmental Engineering*, Vol. 5. Humana Press, str. 576-610.

O autorima:

Dr. sc. Dragutin Tušek (drtusek@gmail.com), doktor analitičke kemije, pukovnik, časnik za nuklearnu zaštitu u NBK laboratoriju Centra za obrambene i strateške studije „Janko Bobetko“. Predavač i suradnik na predmetima „Instrumentalna analitička kemija“, „NBK zaštita“, „Upravljanje kriznim NBKO situacijama“ i „Vojno stručna praksa – NBK obrana“ na preddiplomskom vojnom studiju Vojno inženjerstvo Hrvatskog vojnog učilišta „Dr. Franjo Tuđman“. Područja interesa i istraživačkog rada jesu NBK zaštita, razvoj ekološki prihvatljivih dekontaminanata bojnih otrova, razvoj metoda detekcije i identifikacije bojnih otrova, njihovih prekursora i razgradnih produkata.

Ivana Cetina (ivana.cetina@morh.hr), dipl. ing. kemije, satnica, časnica za kemijsku zaštitu u NBK laboratoriju Centra za obrambene i strateške studije „Janko Bobetko“. Predavačica i suradnica na predmetima „Instrumentalna analitička kemija“, „NBK detekcija identifikacija i monitoring“, „Upravljanje u NBK kriznim situacijama“, „Vojno stručna praksa – NBK obrana“ na preddiplomskom vojnom studiju Vojno inženjerstvo Hrvatskog vojnog učilišta „Dr. Franjo Tuđman“ i „Suвременe metode analize i određivanje struktura spojeva“ na diplomskom vojnom studiju Vojno inženjerstvo. Područje interesa i istraživačkog rada je radijacijska kemija.