

VLADANA N. RAJAKOVIĆ¹
LJUBINKA V. RAJAKOVIĆ²

¹Elektrotehnički institut "Nikola
Tesla", Beograd

²Tehnološko–metalurški fakultet,
Beograd

PREGLEDNI RAD

628.316.12+543.31:628.038

SPREGA KONVENCIONALNIH I SAVREMENIH METODA ZA OBRADU VODE OD ULTRA ČISTIH DO OTPADNIH

"Voda igra važnu ulogu u životu čoveka.
Ona dolazi odmah posle sunca ili uporedo s njim"
Ivo Andrić

U ovom radu su razmotrene savremene metode i savremeni postupci za prečišćavanje vode. Dobar kvalitet vode i racionalizacija potrošnje vode u svim oblastima imperativ su novog milenijuma. Kvalitet života zavisi od kvaliteta vode. Dugotrajan i pouzdan rad industrijskih postrojenja zavisi od kvaliteta vode. Kako je ekološki prioritet sprečavanje zagađenja vode, velika odgovornost i dužnost ekologa, inženjera i hemičara je da razvijaju i primenjuju efikasne postupke za prečišćavanje vode. Pored konvencionalnih metoda i postupaka, treba ulagati u razvoj novih, savremenih metode za prečišćavanje. Recikliranje vode zauzima posebno mesto. Postrojenja sa membranskim separacionim tehnologijama omogućuju uštedu u potrošnji sveže vode uz visoku efikasnost. Paralelno sa razvojem metoda za prečišćavanje moraju da se razvijaju i metode za praćenje stanja i zaštitu vode.

Razvoj novih i usavršavanje postojećih sistema za prečišćavanje vode u uskoj je vezi sa razvojem civilizacije, industrijskim i tehnološkim razvojem. Cilj svake metode ili postupka za prečišćavanje je uklanjanje štetnih i toksičnih komponenti. Sve je veći broj novih toksičnih supstanci čiju nisku koncentraciju treba smanjiti efikasnim i ekonomičnim postupcima. To se ostvaruje primenom jednog ili više postupaka čija priroda može da bude fizička, hemijska i biološka. Pojedini postupci se ne isključuju već se međusobno dopunjuju, čineći kompleksan sistem za prečišćavanje vode. Prioritet imaju postupci koji slede prirodu i prirodni načina uklanjanja zagađivača.

U fizičke postupke (često se koristi i termin mehanički postupci) ubrajaju se: sedimentacija, flotacija, koncentrisanje, filtracija, centrifugiranje, aeracija, destilacija, adsorpcija i membranski separacioni procesi. U hemijske postupke se ubrajaju: flokulacija, koagulacija, taloženje, oksidacija, jonska izmena, hemisorpcija, dezinfekcija. U biološke postupke se ubrajaju oksidacija i adsorpcija nižim biološkim vrstama [1–5]. Stroga i isključiva podela na fizičke i hemijske postupke u obradi voda je uslovna i razlikuje se zavisno od literaturnog izvora. Postupci kao adsorpcija, membranska filtracija ne isključuju udeo hemijskih procesa, a taloženje, jonska izmena i dezinfekcija ne isključuju udeo fizičkih procesa.

U tabeli 1 dat je pregled supstanci koje se mogu naći u vodi, njihov negativni uticaj i metode za uklanjanje ili smanjenje sadržaja tih supstanci u vodi.

Izbor postupka za prečišćavanje vode, izbor odgovarajuće operacije ili procesa, kao i njihova kombinacija, zavisi od niza činilaca [2]:

Adresa autora: Lj.V. Rajaković, Tehnološko–metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11 000 Beograd
Rad primljen: Maj 19, 2003
Rad prihvaćen: Jul 1, 2003

- porekla, kapaciteta, karakteristika vode koju treba prečistiti (rečna voda, izvorska, bunarska, morska, industrijska...);
- karakteristika i zahteva za prečišćenu vodu što je određeno ustanovljenim zakonskim propisima i standardima, odnosno zahtevima procesa za koji se voda koristi;
- podudarnosti različitih operacija i procesa;
- stabilnosti, pouzdanosti i prilagodljivosti postupaka, i
- ekonomskih uslova (oprema, energija, hemikalije...).

Savremene metode za obradu vode obuhvataju fizičke i hemijske postupke koji se primenjuju u nekoliko karakterističnih stupnjeva [2]:

- prethodne obrade vode (egalizacija sastava vode, gruba filtracija, površinsko uklanjanje ulja i masti, ujednačavanje protoka);
- primarne obrade (hemijski i mehanički postupci: neutralizacija, oksidacija, flotacija, taloženje; postupci kojima se vrši korekcija pH vrednosti vode, uklanjanje suspendovanih čestica i uklanjanje neorganskih toksičnih supstanci);
- sekundarne obrade (aerobni i anaerobni postupci za prečišćavanje biorazgradivih organskih materija);
- terciarne obrade (denitrifikacija, jonska izmena, adsorpcija, ultrafiltracija, reversna osmoza kojima se uklanjaju joni, neprijatan miris, neodgovarajuća boja vode i bionerazgradive organske materije); i
- finalne, dodatne obrade vode (dezinfekcija vode: hlorisanjem, ozonizacijom, UV zračenjem, kojima se smanjuje i sprečava razvoj patogene mikroflore).

Ovim stupnjevima obuhvaćeni su uglavnom danas poznati postupci za obradu vode koji u određenoj kombinaciji čine kompleksan sistem za prečišćavanje. Od kvaliteta ulazne vode i od zahteva za specifičan kvalitet prečišćene vode zavisi koji će stupanj obrade vode biti primenjen, odnosno izostavljen.

Voda je najrasprostranjenije jedinjenje u prirodi. Fizička i hemijska svojstva su dobro poznata. Neka od tih

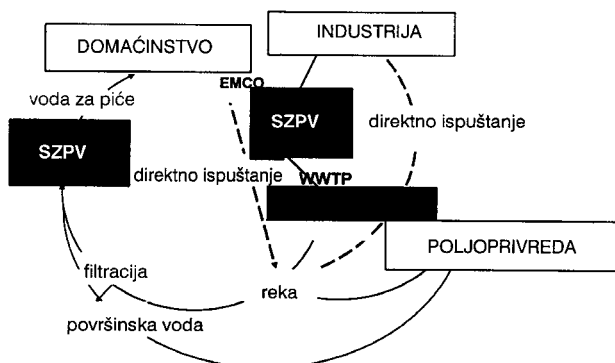
Tabela 1. Pregled supstanci koje se mogu naći u vodi, njihov negativni uticaja i metode za uklanjanje ili smanjenje sadržaja tih supstanci u vodi.

Table 1 Overview of some components of water, their negative effects and methods for their removal or reduction of their content in water.

Rastvorene primese	Negativni uticaji	Metoda za uklanjanje ili smanjenje koncentracije	
		Klasične	Savremene
Soli kationi: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺ , H ₃ O ⁺ , NH ₄ ⁺ Teški metali: Pb ²⁺ , Hg ²⁺ , As ³⁺ , Cd ²⁺ Anjoni: Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , HSiO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻ , OH ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , F ⁻ Toksični anjoni: CN ⁻ , AsO ₃ ³⁻	Kiselost Alkalnost Tvrdoća vode Korozivnost Toksičnost	Neutralizacija Filtracija Koagulacija Taloženje Denitrifikacija Separacione hromatografske metode (jonska izmena i sorpcija na jonoizmenjivačkim smolama, zeolitima, bentonitima, aktivnom uglju)	Reversna osmoza (Desalinizacija) Elektrojonizacija Selektivna sorpcija na novim impregnisanim sorbentima (RVV, HUT, HUFH)
Organske materije	Potrošnja kiseonika Toksičnost	Aktivni ugalj	MAU, IAU
Masti i ulja	Sprečavanje razmene kiseonika između vazduha i vode. Blokiranje rada sistema za prečišćavanje	Površinsko uklanjanje	Mikrofiltracija Sorbenti za masti i ulja na bazi vune i celuloze
Hranjive supstance Azot i fosfor	Razvoj bioorganizama	Podešavanjem pH Oksidacija i denitrifikacija bakterijama Taloženje i koagulacija fosfata pomoću jedinjenja Ca, Fe i Al	Ultrafiltracija
Rastvoreni gasovi: O ₂ , N ₂ , CO ₂ , H ₂ S, NH ₃	Oksidacija Redukcija Korozivnost Kiselost Alkalnost	Aktivni ugalj	Selektivni sorbenti Denitrifikacija
Bakterije i virusi	Toksičnost	Aktivni mulj Hlorisanje Ozonizacija	Mikrofiltracija

RVV – reciklirana vunena vlakna, HUT – hemisorpciona ugljenična tkanina, HUFH – hemisorpciona ugljenična filter hartija, MAU – modifikovani aktivni ugalj, IAU – impregnisani aktivni ugalj

svojstva su jedinstvena. Upravo zbog posebnih svojstava voda je važna za održavanje života na Zemlji. Od svih



Slika 1. Komponente delimično zatvorenog ciklusa vode s naznačenim akcijama za prečišćavanje vode, SZPV-sistem za prečišćavanje vode

Figure 1. Components of a semi-closed water cycle with designated methods for purification, SWP-System for Water Purification

svojstva treba izdvojiti ona koja izdvajaju vodu od drugih jedinjenja bitnih za čovekovu okolinu. To su gustina vode (zapreminska masa), polarnost, površinski napon, toplotna svojstva (toplotni kapacitet, 75,5 J/mol K; toplotna provodljivost; toplota topljenja, 6,0 kJ/mol; toplota isparavanja, 44,1 kJ/mol) [3, 5].

Zbog kružnog toka u prirodi voda se retko nalazi u potpuno čistom stanju. Na slici 1 prikazane su komponente delimično zatvorenog ciklusa vode s naznačenim akcijama za prečišćavanje vode.

U toku cirkulacije u vodi se rastvaraju različita jedinjenja, gasovi iz zagađene atmosfere ili iz zemljišta (NO, NO₂, NO_x, SO₂, H₂S, CO₂,), minerali, mikroorganizmi, radioaktivne supstance itd. Hladna voda lakše rastvara gasove, a topla čvrste supstance. Količina i vrsta supstanci koje su rastvorene u vodi zavise od porekla vode.

Atmosferska voda je relativno najčistija. Prolaskom kroz atmosferu, kiša i sneg deluju kao prečišćavači atmosfere. Površinske vode (reke, jezera, akumulacije, močvare) su bogatije mineralnim supstancama zbog dužeg kontakta sa površinama preko kojih teku ili na koji-

ma leže. Podzemne vode mogu da budu kvalitetan izvor vode. Ne sadrže jedinjenja organskog porekla koja utiču na miris i ukus vode (što najviše utiče na izbor izvora vode za piće), konstantnog su sastava i ima ih relativno dovoljno. Vode iz velikih dubina su nepodesne jer mogu da sadrže CO₂ (kiseo ukus), Fe²⁺ (metalni ukus), Mg²⁺, Na⁺, SO₄⁻ (gorak ukus), NaCl (slan ukus), H₂S (neprijatan miris), naftu i druge sastojke [3–5].

Otpadne vode, gradske, industrijske i vode koje nastaju u poljoprivredi sadrže štetne supstance koje troše kiseonik rastvoren u vodi, a to ima neposredan, negativan uticaj na čoveka i živi svet u vodi. Drugi štetni sastojci su: infektivna sredstva (bakterije, mikroorganizmi), mineralna đubriva (jedinjenja azota i fosfora, kojima se vrši obogaćivanje vode); organska jedinjenja (detergenti, pesticidi, industrijska organska jedinjenja, produkti raspadanja); neorganska jedinjenja: minerali (čestice zemljišta, stena, čvrste čestice teško rastvornih soli), radioaktivne supstance (otpadni materijali rudnika, nuklearnih centrala, medicinskih i naučnih ustanova); toplota (voda za hlađenje u industriji posebno u termoelektranama). Pored relativno poznatih zagađivača u vodi se može naći i veliki broj novih jedinjenja o čijem delovanju na ekološke sisteme se malo ili ništa ne zna.

Zbog prisustva velikog broja otpadnih supstanci koje menjaju kvalitet vode, neophodno je pratiti kvalitet vode i pridržavati se kriterijuma, pravila, propisa i zakona koji pomažu u regulisanju kvaliteta vode. Usvojeno je da je poznavanje fizičkih, hemijskih i bioloških parametara vode dovoljno da se proceni kvalitet vode i upotrebljivost vode za određene svrhe [6–8].

Fizički pokazatelji su: temperatura, miris, ukus, boja, mutnoća, čvrste supstance, providnost, provodljivost.

Hemijski pokazatelji su: aciditet i alkalitet, HPK, tvrdoća vode, redoks potencijal i specifični hemijski sastav kao što su: sadržaj katjonskih (posebno teških metala), anjonskih (toksični anjoni) i molekularnih oblika.

Biološki i mikrobiološki pokazatelji vode su mikroorganizmi, bakterije i virusi. Standardna metoda bakteriološkog ispitivanja vode se sastoji u brojanju koliformnih bakterija *Escherichia coli*.

Saprobioološke metode ispitivanja kvaliteta vode predstavljaju objedinjena fizička, hemijska, biološka i mikrobiološka ispitivanja. Potpuna slika stvarnog zagađenja s poznavanjem flore i faune površinske vode može dati najobjektivniji podatak za izbor postupka za prečišćavanje vode [5].

Rezultati fizičkih, hemijskih, bakterioloških i saprobiooloških analiza služe za klasifikaciju i procenu stupnja zagađenosti voda. Vode vodotokova (u ovoj klasifikaciji isključene su samo mineralne i termalne vode) podeljene su u četiri klase [9]. Osnovni kriterijumi za razvrstavanje vode po klasama su: rastvoreni kiseonik (zasićenost vode kiseonikom što se karakteriše kao saturacija ili supersaturacija), BPK, HPK, suspendovane čestice, suvi ostatak, pH vrednost, boja, miris, toksične supstance, temperatura, radioaktivnost i broj koliformnih bakterija.

I klasa predstavlja najčistije prirodne vode (izvori i gornji tokovi reka);

II klasa predstavlja relativno čiste vode, koje se uz odgovarajuće prečišćavanje mogu koristiti kao izvor vode za piće i za industriju u kojoj je potrebna relativno čista voda. Ova voda se može koristiti za kupanje, sportove, itd.

III klasa predstavlja vode koje su prolazeći kroz naselja i industrijske oblasti postale zagađene. Ove vode su još uvek pogodne za poljoprivredu i većinu industrija uz neznatna ili bitnija prečišćavanja.

IV klasa predstavlja vode vrlo zagađene koje se obavezno moraju prečišćavati.

Na procese prečišćavanja vode ima uticaj, što se često zanemaruje, temperatura vode. Od temperature vode zavisi sadržaj rastvorenog kiseonika, biološka aktivnost, pH-vrednost i salinitet. Svi ravnotežni procesi u vodi zavise od temperature i ne mogu se tumačiti bez uvida u temperaturu na kojoj se odigravaju. Niža temperatura vode usporava procese koagulacije, flokulacije, brzinu filtracije, smanjuje efikasnost hlorisanja i sl. Povećana temperatura ukazuje na prodor industrijske vode korišćene za hlađenje. Pad temperature ukazuje na prodor podzemnih voda.

Voda za piće i komunalne otpadne vode

U urbanim sredinama osnovni problem je dobijanje vode za piće i rešavanje problema gradskih otpadnih voda. Procenjuje se da je minimalna dnevna količina vode potrebna za aktivnosti jednog čoveka 5–10 litara. U najrazvijenijim zemljama, s uvođenjem novih tehnologija i mašina u domaćinstvima troši se oko 100 litara dnevno po stanovniku [1].

Za vodu za piće osnovni zahtev je da voda nema štetne sastojke i da je higijenski ispravna (u skladu sa Direktivom EU 98/83/EC). Voda treba da ima prozirnost, prijatan miris i ukus. To znači da iz vode treba ukloniti suspendovane čestice, koloide, organske i neorganske supstance i bioorganizme, a to se može postići primenom gotovo svih postupaka primarne, sekundarne i tercijarne obrade, uz prethodnu i dodatnu obradu.

Na slici 2 prikazana je shema za prečišćavanje vode za piće u slučaju kada je ulazna voda površinska voda iz rečnih tokova, akumulacija i jezera [10].

U slučaju korišćenja relativno nezagađenih voda kao izvora za prečišćavanje mogu se primeniti samo neki segmenti u liniji industrijskog prečišćavanja vode. Izvorišta relativno nezagađene slatke vode su retka privilegija zemalja koje nemaju visoku industrijalizaciju i u kojima se prirodni izvori čuvaju i kontrolišu. U Evropskoj povelji o vodi sugerise se zdravorazumski pristup da izvorišta (resurse) slatke vode treba ne samo čuvati i kontrolisati već i povećavati jer predstavljaju dragoceno dobro neophodno svakoj ljudskoj delatnosti.

U skladu s podacima Ekološkog programa UN-a 1,1 milijarda ljudi u svetu nema pristup čistoj vodi za piće [1]. Ograničeni izvori sveže vode svakodnevno se osiromašuju i zagađuju tako da će do 2025. godine dve

darnom obradom primenjuju se biohemijski procesi kojima se uklanjaju biorazgradive organske materije zaostale posle primarnog prečišćavanja. To se vrši najčešće filtracijom, oksidacijom i razgradnjom pomoću mikroorganizama. U ovim procesima simuliraju se prirodni procesi samoprečišćavanja uz dodatna razblaženja vode.

Kako je čiste vode sve manje sve češće je potrebno vodu posle prečišćavanja ponovo koristiti. To zahteva još potpunije prečišćavanje otpadnih voda. U tom slučaju se primenjuju postupci tercijarne obrade vode.

Sa aspekta ekoloških problema savremenog društva koje proizvodi otpadne supstance i otpadne materijale u ogromnim količinama, najsloženiji sistem je sistem za prečišćavanje otpadnih voda. Uz svu složenost koja podrazumeva visoke koncentracije štetnih i toksičnih materija koje treba smanjiti na zakonski propisan nivo, u okviru sistema za prečišćavanje treba rešiti i problem obrade i odlaganja vode.

Voda u industriji: procesna i otpadna

Voda se u industriji koristi indirektno za zagrevanje ili hlađenje i direktno za odigravanje hemijskih procesa u reaktorima kao reaktant, proizvod, rastvarač ili medijum. Voda za zagrevanje ili hlađenje je najmanje reaktivna pa je najmanje i zagađena. Posle upotrebe direktno se ispušta u vodoprijemnike pri čemu se samo mora temperatura vode dovesti u odgovarajuće okvire. Procesna voda je gotovo uvek zagađena i mora se prečišćavati. U industriji se razlikuju vode za industrijske procese ili procesna voda i otpadne industrijske vode.

Procesna voda

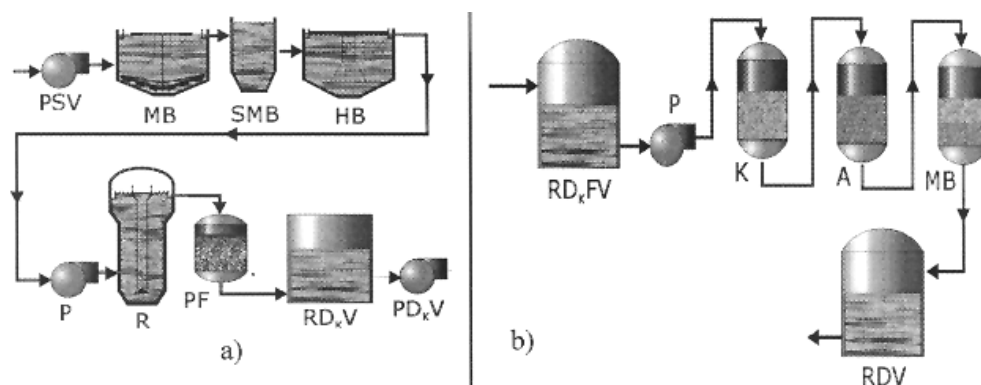
Da bi se voda koristila kao procesna voda neophodna je priprema i fizičko-hemijska obrada vode strogo zahtevanog kvaliteta koja se može koristiti kao reaktant ili medijum.

Za pripremu procesne vode u industriji primenjuju se postupci: deferizacija, dekarbonizacija, filtracija, demineralizacija, degazacija (termička obrada vode) i kondicioniranje. Usled razlike u kvalitetu rečnih i bunarskih voda različiti su i postupci pripreme ovih voda. U fabrikama koje vodu crpe iz bunara, hemijska priprema vode započinje procesom deferizacije zbog povećanih koncentracija jona gvožđa. Nakon deferizacije, voda prolazi kroz više-medijumske filtre, a zatim se odvodi na linije za demineralizaciju vode. Kada se kao izvor vode koriste površinske vode, kod kojih je sadržaj rastvorenog ugljen-dioksida u vodi blizu tačke zasićenja, proces hemijske pripreme vode započinje dekarbonizacijom. Kako rečne vode ne sadrže veće količine jona gvožđa, postupak deferizacije je izostavljen. Voda se nakon dekarbonizacije podvrgava filtraciji i odvodi na postrojenje za demineralizaciju vode.

Ultra čista voda, najčistija u kategoriji procesnih industrijskih voda je voda koja se koristi u termoenergetskim postrojenjima za proizvodnju pare i u farmaceutskoj industriji za proizvodnju lekovitih proizvoda [11–22].

Na slici 4 prikazana je shema linije za dekarbonizaciju i dejonizaciju koje su karakteristične za pripremu ultra čiste vode u termoenergetskim objektima kao što su termoelektrane EPS-a. Primarno se (slika 4a) vrši dekarbonizacija, a zatim dejonizacija (slika 4b).

Rečna voda se pre svega propušta kroz peščani filter, a zatim se vrši koagulacija i taloženje u reaktoru uz dodatak polielektrolita i kreča. Izlazna voda ima regulisanu pH vrednost, smanjena je tvrdoća vode i smanjen je sadržaj neorganskih supstanci. Kvalitet dekarbonizovane vode, međutim, nije dovoljno dobar za korišćenje u termoenergetskim postrojenjima. Da bi se voda koristila kao izvor pare u ciklusu voda-para, dekarbonizovana voda se mora prečistiti i primenom jonoizmenjivačkih smola: katjonske, anjonske i mešane koja se nalaze u



Slika 4. Šema linije za dekarbonizaciju i dejonizaciju vode [19]: a) šema linije za dekarbonizaciju vode u TE Kolubara, b) šema linije za dejonizaciju u TE Sremska Mitrovica

Figure 4. Scheme of a water decarbonization and deionization line: a) scheme of the water decarbonization line at TPP Kolubara, b) scheme of the water decarbonization line at TPP Sremska Mitrovica

Legenda: PSV–pumpa sirove vode, MB–mehaničko bistrenje, SMB–sud za brzo mešanje, HB–hemijsko bistrenje, P–pumpa, R–reaktor, PF–peščani filter, RDxV–bazen dekarbonizovane vode, PDxV–pumpa dekarbonizovane vode, RDxFV–rezervoar dekarbonizovane i filtrirane vode, K–katjonski izmenjivač, A–anjonski izmenjivač, MB–mešani izmenjivač i RDV–rezervoar dejonizovane vode.

odgovarajućim izmenjivačkim kolonama. Jonoizmenjivačkim smolama mogu se iz vode ukloniti katjoni i anjoni, uključujući jone jedinjenja azota i fosfora. Ulja i masnoće kao i rastvoreni gasovi (nenaelektrisane čestice i molekuli) blokiraju ili smanjuju efekat izmene jona na jonoizmenjivačkim smolama, te se preporučuje da se ove materije prethodno uklone iz vode.

Za kontrolu kvaliteta ultra čistih voda neophodno je primeniti analitičko oruđe s najvećom osetljivošću. Kontrolni parametri se moraju kontinualno meriti automatskim meračima i analizatorima najveće osetljivosti ugrađenim u sistem (on-line). Rad tih instrumenata mora biti kontrolisan i standardizovan. Paralelno se moraju proveravati kontrolni i dijagnostički parametri u referentnim laboratorijama koje moraju da budu opremljene najsavremenijim aparatima za GC, HPLC, AAS, ICP i MS analizu. Pored toga što se koriste najosetljivije metode, metode moraju da budu "prijateljske" bez dodatnih štetnih posledica za okolinu, u okviru koncepta zelene analitičke hemije [25–30].

Industrijska otpadna voda

Industrijske otpadne vode se ne mogu prečistiti konvencionalnim postupcima za prečišćavanje vode jer sadrže jone metala, posebno toksičnih, teških metala i druga hemijska jedinjenja koja su biološki nerazgradiva što destruktivno deluje na mikroorganizme koji su aktivni u procesu prirodnog prečišćavanja i procesima sekundarnog prečišćavanja. U zavisnosti od tipa industrije u industrijskim otpadnim vodama mogu se naći različite štetne, opasne i toksične supstance. Kompleksnost se uvećava jer se zagađivači mogu naći u vodi u rastvoru u obliku, u obliku jona i molekula, koloida, suspenzija i mogu da budu adsorbovani na čvrstim česticama. Na slici 5 prikazan je makro izgled jednog od najsavremenijih sistema za prečišćavanje vode u industriji celuloze i



Slika 5. Sistem za prečišćavanje otpadnih voda u industriji celuloze i papira

Figure 5. A waste water purification system in the paper and pulp industry

papira [31,32] koji uključuje mehaničko, hemijsko i biološko prečišćavanje.

Da bi se sagledala raznovrsnost parametara koji ukazuju na kvalitet, odnosno nekvalitet industrijskih voda svi parametri su podeljeni u dve grupe [5].

I grupa parametara kvaliteta: temperatura, električna provodljivost (merilo ukupno rastvorenih neorganskih soli), pH, aciditet, alkalitet, mutnoća, boja, suspendovane čestice (SČ), biološka potrošnja kiseonika (BPK), hemijska potrošnja kiseonika (HPK), ukupan organski ugljenik (UOU kao merilo ukupno prisutnih organskih jedinjenja).

U I grupu parametara kvaliteta spadaju parametri koji su zakonom regulisani. Ovi parametri se redovno i gotovo u svim industrijskim vodama analiziraju. Propisima je ograničena maksimalno dozvoljena vrednost nekih od ovih parametara koji moraju da budu ispoštovani pre nego što se otpadna voda ispusti u vodotokove. Kada se radi o koncentraciji to je maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK) supstanci u vodi.

II grupa parametara kvaliteta: teški metali, toksične supstance, amonijak, sadržaj ulja i masti i drugi. U II grupu parametara kvaliteta spadaju retki zagađivači, poznati ali i novi nepoznati zagađivači, koji su toliko specifični da ne mogu uniformno i potpuno zakonom biti regulisani. Ovi parametri se analiziraju u svim slučajevima gde se utvrdi da postoji opravdana sumnja za njihovo prisustvo u vodama. Individualnim propisima je ograničena i njihova maksimalno dozvoljena koncentracijama (MDK). U tabeli 2 prikazani su još neki dodatni, specifični parametri kvaliteta otpadnih voda nekih industrija.

Tabela 2. Specifični (dodatni) parametri kvaliteta otpadne vode koji moraju biti u strogo propisanim opsezima za neke od industrija [4,5]

Table 2. Specific (additional) parameters of waste water quality which must be strictly regulated for certain industries

Industrija	Parametri kvaliteta	
	I grupa	II grupa
Prehrambena	Standardna I grupa parametara + Ukupan broj koliformnih bakterija	Azotna jedinjenja i ukupan azot Fosforna jedinjenja i ukupan fosfor Hloridi Pena
Tekstilna	Standardna I grupa parametara	Fenoli, Sulfidi, Hrom
Industrija celuloze i papira	Standardna I grupa parametara + Ukupan broj koliformnih bakterija	Merkaptani, Fenoli Cink, Sulfiti, Sulfidi, Hrom
Proizvodnja vodene pare Termoenergetska postrojenja	Standardna I grupa parametara	Fosfati, Hromati, Bor, Bakar, Gvožđe, Cink, Natrijum, Hloridi, Silicijum, Kiseonik, Hidrazin Nerazgradiva organska jedinjenja Ukupno rastvorna čvrsta jedinjenja

Najsavremenije metode za prečišćavanje otpadne vode

Najveći broj istraživanja posvećen je razvoju metoda u okviru tercijarne obrade voda. To su pre svega *selektivni sorpcioni procesi zasnovani na efikasnim novim materijalima* pri čemu se ne isključuju i klasični sorbenti koji se modifikuju specifičnim hemijskim agensima, fizičkim postupcima (dejtstvom plazme) i oblikuju tako da u proces prečišćavanja uključuju molekulske geometrijske prepoznavanje i dimenzionu separaciju (mezoporozni materijali) [31]. Posebno se razvijaju metode koje slede prirodne materijale i prirodne postupke. (Prirodan način destilacije–isparavanja vode primenom energije sunca i prečišćavanje smrzavanjem vode primenjeno je za desalinizaciju morske vode, ali ove tehnike još nisu dovoljno usavršene.)

Prirodni, zeleni aspekt prečišćavanja otpadnih voda [30] podrazumeva metode i postupke bez dodavanja hemijskih reagenasa. Ukoliko je dodavanje hemijskih agenasa neophodno prioritet imaju prirodni mikro i mezoporozni materijali: zeoliti, silicijum–oksid, aluminijum–oksid [32–35].

Poseban aspekt je korišćenje relativno čistih otpadnih materijala za prečišćavanje štetnijih i toksičnih zagađivača vode. To su na primer: pepeo nastao sagorevanjem drveta ili uglja koji se može upotrebiti kao efikasan sorbent za uklanjanje arsena i teških metala iz otpadnih voda [33], to je reciklirana vuna modifikovana hitozanom i hladnom plazmom za uklanjanje boja, masti i ulja, jona olova i žive iz vode [34], to su hemisorpcioni

filtri napravljeni od reciklirane hartije i celuloze za uklanjanje cijanida i arsena iz vode [2,32], to je reciklirana tkanina (karbonizirana) ili impregnisana selektivnim agensima za uklanjanje masti i ulja, toksičnih molekula i jona iz vode. Prirodno je da svaka industrija, u skladu s tom logikom, može da svoj otpadni materijal razvije prečišćavanjem i recikliranjem uz efikasan sorbent za uklanjanje najštetnijeg zagađivača u svom proizvodnom ciklusu. U tabeli 3 prikazani su neki modifikovani sorpcioni materijali, potencijalni specifični sorpcioni materijali razvijeni od recikliranih i prilagođenih otpadnih materijala.

Za prečišćavanje otpadnih voda koriste se sorbenti koji omogućavaju kontrolu sorpcionog i desorpcionog procesa. Prirodni sorbenti: glina, ilovača, pepeo [2], imaju malu površinu, reda 200 m²/g što je nedovoljno, a sorbenti na bazi granulisanog aktivnog uglja i sintetički sorbenti imaju površinu i do 2000 m²/g. Efekat adsorpcije je izuzetan te se sorpcija primenjuje za završno fino prečišćavanje vode, za uklanjanje detergenata, fenola, fosfata, nitrata, hlora, supstanci koje povećavaju vrednost HPK, teških metala, boje i mirisa.

Prečišćavanja vode–recikliranje

Po podacima iznetim na simpozijumu o vodama održanom u Štokholmu 2001. godine, jedan od osnovnih razloga za nestašicu vode je velika potrošnja vode u industriji i u poljoprivredi. Mnogi istraživači i stručnjaci, međutim, smatraju da se ova opasnost može izbeći ili bar ublažiti primenom savremenih metoda prečišćavanja

Tabela 3. Specifični (dodatni) parametri kvaliteta nekih otpadnih voda koji moraju biti strogo propisani
Table 3. Specific (additional) parameters of waste water quality which must be strictly regulated

Industrija	Parametri kvaliteta		Selektivni sorpcioni materijali za prečišćavanje
	I grupa	II grupa	
Prehrambena	Standardna I grupa parametara + Ukupan broj koliformnih bakterija	Azotna jedinjenja i ukupan azot Fosforna jedinjenja i ukupan fosfor Hloridi Pena	(Mikroorganizmi) Mikro i mezoporozni zeoliti koji sadrže AlPO ₄ i kompleksne neorganske polimere tipa [SiO ₄] ⁴⁻ i [AlO ₄] ⁵⁻
Tekstilna	Standardna I grupa parametara	Fenoli Sulfidi Hrom	Aktivna ugljenična tkanina Reciklirana vuna impregnisana hitozanom i aktivirana hladnom plazmom
Industrija celuloze i papira	Standardna I grupa parametara + Ukupan broj koliformnih bakterija	Merkaptani, Fenoli, Cink, Sulfiti, Sulfidi, Hrom	Hemisorpcioni filtri na bazi celuloze, hartije, lignina
Proizvodnja vodene pare Termoenergetska postrojenja	Standardna I grupa parametara	Fosfati, Hromati, Bor, Bakar, Gvožđe, Cink, Natrijum, Hloridi, Silicijum, Kiseonik, Hidrazin, Nerazgradiva organska jedinjenja Ukupno rastvorna čvrsta jedinjenja	(Jonoizmenjivačke smole) (Aktivni ugali) (Peščani filtri) Pepeo sagorelog drveta ili uglja

U zagradi su navedeni konvencionalni materijali za prečišćavanje

i recikliranjem vode u svim oblastima, a posebno u oblasti industrijskih voda. Procenjuje se da se recikliranjem može smanjiti potrošnja sveže vode od 40 do 90 % [1].

Istaknute rezultate u istraživanju procesa prečišćavanja s recikliranjem ima Anglian Water Group (AWG) u Velikoj Britaniji. Oni su posebno primenjivali membranske separacione tehnologije za dobijanje ultra čiste vode koja se može koristiti u termoenergetskim postrojenjima. Membranske separacione tehnologije predstavljaju projekciju budućih ekoloških, efikasnih i ekonomski opravdanih postupaka za prečišćavanje, recikliranje i uštedu vode. Membranski procesi se mogu primeniti za prečišćavanje i recirkulisanje otpadne vode ali se preporučuje da to bude proces koji sledi posle biološke, mehaničke i hemijske obrade otpadne vode.

Membranski separacioni procesi

Membranski separacioni procesi se mogu definisati kao niz operacija pri kojima dolazi do razdvajanja hemijskih vrsta iz jednog fluida u drugi posredstvom različitih membrana. Membrana se može definisati kao tanak sloj koji razdvaja dva fluida i omogućava selektivni transport hemijskih vrsta iz jednog fluida u drugi. Membrana može da bude: polimer, metal, oksid metala, keramika, tečnost i gas [13,37]. U tabeli 4 prikazan je pregled membranskih procesa za prečišćavanje vode, karakteristična svojstva, pogonska sila koja je primarna za separacioni proces i neki karakteristični primeri primene.

Pod dejstvom pogonske sile pojedine supstance lakše ili teže prolaze kroz membranu. Pogonska sila može da bude: razlika pritiska, razlika koncentracija, hemijskog ili električnog potencijala. Ukoliko je membrana difuziona barijera, selektivnost membrane je fizičko-hemijske prirode (reversna osmoza). Ukoliko je membrana sa porama dimenzija veličine molekula, selektivnost membrane se zasniva na mehaničkom prosejavanju mo-

lekula kroz mikropore, a zavisi od razlike u veličini molekula permeata i pora membrane (ultrafiltracija, mikrofiltracija).

Najznačajniji membranski procesi koji se koriste za separaciju tečnih smeša su: mikrofiltracija, ultrafiltracija i reversna osmoza. U tabeli 5 prikazana su jedinjenja, joni i čestice različitih dimenzija koje se mogu izdvojiti nekom od membranskih tehnika.

Mikrofiltracija se primenjuje za bakteriološku obradu vode i sterilizaciju uklanjanjem bakterija iz vode.

Ultrafiltracija se primenjuje za koncentrisanje, frakcionisanje i prečišćavanje koloidnih disperzija i za bistrenje pravih rastvora. Ultrafiltracija je membranski proces kod koga se proces separacije odvija mehanizmom molekuskog prosejavanja. Membrana propušta vodu, a na membrani se zadržavaju makromolekuli dimenzija većih od pora membrane. Kroz membranu ne prolaze koloidi, suspenzije i makromolekuli. Primenjuje se u prehrambenoj industriji za bistrenje vina, voćnih sokova, za odvajanje proteina, šećera i enzima.

Reversna osmoza se primenjuje za desalinaciju morske vode, dobijanje ultračiste vode za specijalne svrhe, dobijanje vode za piće i prečišćavanje otpadnih voda.

Reversna osmoza je proces u kome kroz membranu prolazi voda, a na membrani se zadržavaju svi ostali sastojci. Reversna osmoza, kako i sam naziv ukazuje je proces suprotan od osmoze, naziva se i inverzna osmoza. Osmoza je prirodan proces u kome molekuli vode prolaze kroz polupropustljivu membranu u pravcu od razblaženijeg rastvora ka koncentrovanijem i teče sve dok se koncentracije ne izjednače. Idealna membrana omogućava prolaz samo molekula vode. Razlika pritiska u sistemima razdvojenim membranom jednaka je osmotskom pritisku. Kod reversne osmoze spoljni pritisak je veći od osmotskog i molekuli vode prolaze u suprotnom pravcu, u pravcu od koncentrovanijeg ka razblaženijem rastvoru. Koncentracija zagađivača se povećava u kon-

Tabela 4. Pregled membranskih separacionih tehnika za prečišćavanje vode [37]
Table 4. Overview of membrane separation techniques for water purification

Proces	Karakteristična svojstva	Pogonska sila	Primena Primer
MIKROFILTRACIJA	Veličina pora membrane 1–100 nm	Gradijent pritiska 0,01–0,3 MPa	Separacija suspenzija (izdvajanje ćelija) i emulzija (ulje–voda)
ULTRAFILTRACIJA	Veličina pora membrane 0,05–50 nm	Gradijent pritiska 0,1–1 MPa	Koncentrisanje i frakcionisanje rastvora makromolekula (izdvajanje hranljivih materija–proteina)
REVERSNA OSMOZA	Afinitet	Gradijent pritiska 1–10 MPa	Koncentrisanje komponenti sa malom molekulkom masom (desalinizacija)
DIJALIZA	Afinitet	Koncentracioni gradijent, Difuzija	Izdvajanje komponenti sa malom molekulkom masom (hemodijaliza)
ELEKTRODIJALIZA	Naelektrisanje	Gradijent električnog potencijala	Desalinizacija i deacidifikacija i dejonizacija (izdvajanje jona metala).

Tabela 5. Jedinjenja, joni i čestice različitih dimenzija koje se mogu ukloniti membranskim tehnikama
 Table 5. Compounds, ions and particles of different dimensions which can be removed by various separation techniques

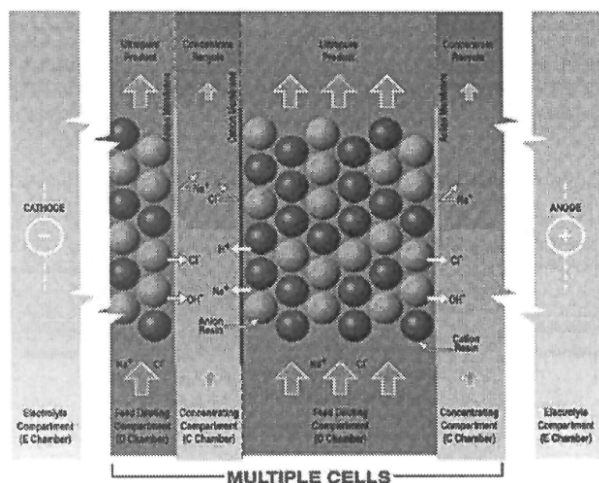
Vidljivost				
STM	SEM	Optički mikroskop		Golim okom
Dimenzije i vrste čestica				
Joni < 0,001 μm	Molekuli 0,001–0,01 μm	Makromolekuli 0,01–1 μm	Mikročestice 1–100 μm	Makročestice 10–1000 μm
Rastvori soli	Ugljenihidrati	Proteini		Pesak
	Sintetičke boje	Virusi	Bakterije	
Joni atomskog radijusa		Boje i pigmenti		
	Pesticidi			
	Herbicidi	Emulzije	Ugljena prašina	
Joni metala	Koloidni silicijum			Granulisani aktivni ugalj
		Azbest		
	Želatin			
Separacija				
Reversna osmoza elektrodijaliza	Nano filtracija	Mikrofiltracija		
		Ultrafiltracija		Filtracija čestica

SEM–skenirajuća elektronska mikroskopija; STM–skenirajuća tunelska mikroskopija.

centrovanijem rastvoru, a u drugi deo dotiče čista voda. Zbog obrnutog toka vode ovaj proces se naziva reverzna osmoza.

Dijaliza je fizički proces odvajanja supstanci rastvorenih u vodi na osnovu različite brzine kojom difunduju kroz membranu pod dejstvom pogonske sile koju čini razlika hemijskih potencijala supstanci s obe strane membrane. Dijaliza je praćena osmotskim procesom.

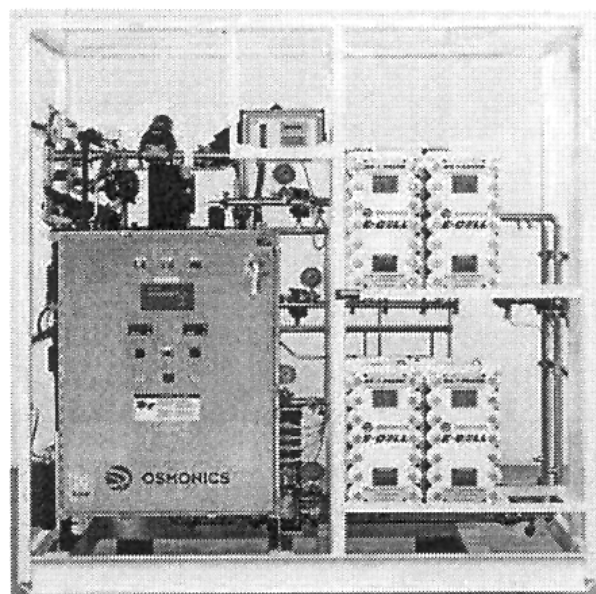
Elektrodijaliza spada u najsavremenije separacione tehnike, a zasniva se na migraciji jona pod uticajem jakog električnog polja. Polupropustljive membrane su selektivne pa jedna propušta katjone, a druga anjone. Efekat prečišćavanja zavisi od kvaliteta membrane i prethodnog izbistravanja rastvora.



Slika 6. Šematski prikaz ćelije za elektrodijalizu sa membranama propustljivim za katjone i anjone

Figure 6. Scheme of electrodialysis cells with membranes selective for cations and anions

Na slici 6 prikazana je šematski ćelija za elektrodijalizu, a na slici 7 tipičan uređaj za membransku separaciju s mogućnošću ugradnje različitih modula, od modula za reversnu osmozu do modula za elektrodijalizu [35]. Ćelija je podeljena u manje delove pomoću membrana koje su propustljive samo za katjone odnosno anjone. Na taj način nastaju struje čiste vode i struje obogaćene katjonima i anjonima. Koloidne čestice i neutralna organska jedinjenja zatvaraju pore membrana pa



Slika 7. Uređaj za membransku separaciju s mogućnošću ugradnje različitih modula

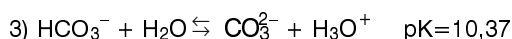
Figure 7. An instrument for membrane separation with the possibility of adding optional modules

je potrebno često čišćenje i protivstrujno ispiranje membrana.

Rešavanje specifičnih problema prečišćavanja

Primena savršenih tehnika, bez poznavanja suštine procesa, *Corpos sine spiritu*, ne pomaže u rešavanju suptilnih problema sa kojima se susreću posvećeni profesionalci u oblasti voda. Jedan od primera koji uključuje poznavanje tehnike, tehnologije i hemije u vodenim rastvorima predstavlja uklanjanje rastvorenog CO₂ iz vode, a u slučajevima kada se zahteva proizvodnja ultra čiste vode za farmaceutske industrije. Strogi propisi USP 23 PW propisuju provodljivost od 1,3 μS/cm, a prisustvo rastvorenog CO₂ povećava provodljivost na 2,4 μS/cm. Za dobijanje ovako čiste vode može da se koristi jonska izmena ili reversna osmoza. Problem membranskih tehnika je što se CO₂ ne zaustavlja membranom već prolazi u permeat, u prečišćenu vodu i time utiče na povećanu provodljivost.

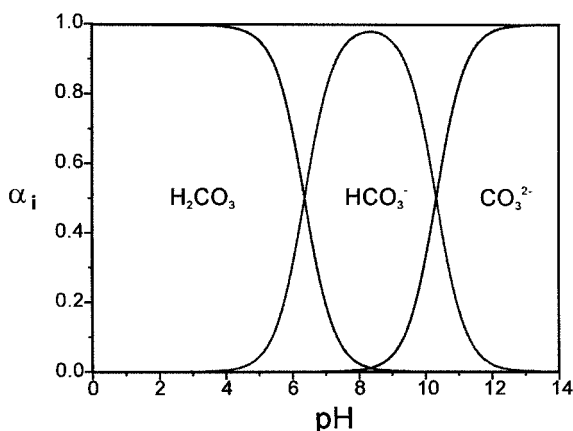
Ovaj problem se može prevazići na sledeći način: CO₂ se mora prevesti u jon većih dimenzija: HCO₃⁻ ili CO₃²⁻. Moraju se uvažavati zakoni hemijske ravnoteže. U vodenom rastvoru odigravaju se paralelno sledeće ravnoteže:



Mora se poznavati dijagram raspodele molekulskih i svih jonskih oblika ugljene kiseline koji je prikazan na slici 8.

Sa dijagrama raspodele može se zaključiti da će se efikasno prečišćavanje ostvariti jedino ukoliko se pH vrednost vodenog rastvora podesi na vrednost 8,30 i više! U tom slučaju membrana lako i efikasno uklanja karbonatne jone.

U našoj zemlji se posvećuje velika pažnja kvalitetu vode za piće, komunalnim vodama, industrijskim procesnim i otpadnim vodama, izradi zakona, propisa i stan-



Slika 8. Dijagram raspodele ugljen-dioksida u vodenom rastvoru u zavisnosti od pH rastvora [34]

Figure 8. Diagram of carbon dioxide distribution in aqueous solution vs solution pH

darda, ali je značaj ovog problema toliki da ni jedan napor, ni jedno dostignuće nije dovoljno. Ministarstvo za nauku i tehnologiju (MINT) trenutno podržava nekoliko studija iz ove oblasti. Teme su posvećene unapređenju analitičkog oruđa za otkrivanje i određivanje tragova specifičnih zagađivača i postupcima za prečišćavanje vode od štetnih i toksičnih zagađivača [39–41].

Kontrola kvaliteta vode

Kvalitet vode u složenom sistemu za prečišćavanje vode mora se neprekidno pratiti analizom kontrolnih i dijagnostičkih parametara, zakonom propisanih parametara I i II reda, od ulaza preko pojedinih faza prečišćavanja do krajnjeg produkta – prečišćene vode. Parametri kvaliteta vode se moraju održavati u standardnim projektovanim granicama. Kontrolni parametri koji daju informaciju o trenutnom stanju kvaliteta vode u svim komponentama sistema moraju se meriti kontinualno, pomoću "on line" ugrađenih senzora, merača ili analizatora. To su, na primer, za industrijske vode: pH vrednost, provodljivost, sadržaj natrijuma, silicijuma i kiseonika. Dijagnostički parametri koji daju informaciju o pojedinim ne tako kritičnim parametrima bitnim za opšti uvid o kvalitetu vode i režima rada, moraju da se mere u referentnim laboratorijama, primenom najsavremenijih instrumenata i aparata. To su, na primer, za industrijske vode: sadržaj amonijaka, gvožđa, bakra, hidrazina, ulja i ukupna tvrdoća. Za svaki izabrani parametar kojim se kontroliše kvalitet vode propisane su granične vrednosti, a primenjena metoda za određivanje mora da bude najmanje deset puta osetljivija kako bi izmerena vrednost bila pouzdana [4,7,16,25,26].

Zaključak

Dobar kvalitet vode i racionalizacija potrošnje vode u svim oblastima potrošnje imperativ su novog milenijuma. Kvalitet života zavisi od kvaliteta vode. Dugotrajan i pouzdan rad industrijskih postrojenja zavisi od kvaliteta vode. Iako je ekološki prioritet u sprečavanju zagađenja vode, velika odgovornost i dužnost ekologa, inženjera i hemičara je da razvijaju i primenjuju efikasne postupke za prečišćavanje vode. Recikliranje vode zauzima posebno mesto. Pored konvencionalnih metoda i postupaka, u budućnosti treba ulagati u postrojenja sa membranskim separacionim tehnologijama kako bi se ostvarile uštede u potrošnji sveže vode uz visoku efikasnost. Paralelno sa razvojem metoda za prečišćavanje moraju da se razvijaju i metode za kontrolu kvaliteta i zaštitu vode.

LITERATURA

- [1] J. Murrer, *Filtration and Separation*, **39**, 4 (2002) 18.
- [2] Lj. Rajaković, *Doktorska teza*, TMF, Beograd, 1986.
- [3] D.K. Todd, *The Water Encyclopedia*, Water Information Center, New York, 1970.
- [4] V. Rekalić., *Analiza vazduha i vode*, TMF, Beograd, 1996.
- [5] D. Tuhtar, *Zagađenje zraka i vode*, Svetlost, Sarajevo, 1984.
- [6] "Environmental Health Criteria", UNEP i WHO, 2002.
- [7] ASTM Standards, Part 31, *Water*, American Society for Testing and Materials, 1980.

- [8] Unificirovannye metody analiza vod, Moskva, Khimiya, 1973.
- [9] Pravilnik o kategorizaciji vodotoka, Sl.glasnik SRS, 5/1968, 61.
- [10] Reklamni materijal BMG preduzeća, Beograd, 1999.
- [11] Lj. Rajaković, Lj. Gradišar, Lj. Nešić: "Obezbeđenje i osavremenjavanje postojećih režima voda-para i mogućnost uvođenja novih tehnologija u termoenergetskih sistemima objektima EPS-a", Studija, Interna publikacija TMF-EPS, Beograd, 1994.
- [12] Lj. Rajaković, V. Šijački-Žeravčić, P. Stefanović i drugi: "Mere i postupci za pouzdan i efikasan sistem kontrole korozionog stanja, vodeno parnog ciklusa TE i TE-TO EPS-a i preporuke za primenu novih tehnologija - I i II faza", Studija EPS-a, Programski zadatak br. 4/99, TMF, Beograd (1999-2003)
- [13] Lj. Rajaković, "Savremene metode za prečišćavanje ultra čistih voda", Stručna predavanja u Hemofarmu, Vršac, 2002.
- [14] R.B. Dooley, W.P. McNaughton, Boiler Tube Failures: Theory and Practice, Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA, 1997.
- [15] Lj. Gradišar, Lj. Nešić, Lj. Rajaković, Elektroprivreda, 1 (1996) 57.
- [16] Lj. Rajaković, J. Čučković, Lj. Gradišar, Lj. Nešić, J. Jović, J. Kerečki, Simpozijum: Energetika Jugoslavije-2000, Zlatibor, Zbornik radova (2000) 386.
- [17] Lj. Rajaković, D.Z. Čičkarić, J. Kerečki, XLI Savetovanje SHD, Beograd, Knjiga izvoda radova, AH 2, (2003) 16.
- [18] Lj. Rajaković, D. Čičkarić, Z. Naunović, J. Kerečki i drugi: "Korozija termoenergetskih postrojenja", Monografija, Codex, Beograd, 2002.
- [19] Lj. Rajaković, D. Čičkarić, Z. Naunović, K. Trivunac, J. Kerečki i drugi: "Korozioni potencijal vode u termoenergetskim postrojenjima", Monografija, Codex, Beograd, 2002.
- [20] Lj. Rajaković: "Postupak i uređaj za finalno bakteriostatsko prečišćavanje vodovodske vode - TIP Raj 2", Savezni YU patent P-1201/91, 1991.
- [21] Lj. Rajaković: "Uređaj za finalno bakteriostatsko prečišćavanje vodovodske vode -TIP Raj 3", Savezni YU patent P-1399, 1991.
- [22] Lj. Rajaković: "Bakteriostatski filterski perlator za prečišćavanje vodovodske vode - TIP Raj 4", Savezni YU patent P-201, 1992.
- [23] Lj. Rajaković: "Levak za dobijanje dejonizovane vode - TIP Raj 5", Savezni YU patent 48116, 1992.
- [24] Z. Jurić, Magistarski rad, TMF, 1997.
- [25] Lj. Rajaković: "Priručnik za kontrolu kvaliteta vode u sistemu voda-para u termoenergetskim objektima EPS-a", TMF-EPS, Beograd, 1994.
- [26] Lj. Rajaković, Lj. Gradišar, Lj. Nešić, J. Jović, Simpozijum: Energetika Jugoslavije-2000, Zlatibor, Zbornik radova, (2000) 383.
- [27] Lj. Rajaković: "Priručnik za kontrolu kapaciteta jonoizmenjivačkih smola u termoenergetskim objektima EPS-a", TMF-EPS, Beograd, 1999.
- [28] V. Rajaković, D. Čičkarić, K. Trivunac, Lj. Rajaković, Euroanalysis, Dortmund, Book of Abstracts, P2-019 (2002) 449.
- [29] D. Nešković, V.N. Rajaković, Lj. Rajaković, Hun-pra-Par-tec, Budapest, Book of papers, (2001) 135.
- [30] Lj. Rajaković, XLI Savetovanje SHD, Beograd, Knjiga izvoda radova, AH 6, (2003) 20.
- [31] C. Cooper, R. Burch, Wat.Res., 33, 18 (1999) 3689.
- [32] Lj.V. Rajaković, Sep. Sci. Technol., 27 (1992) 1423.
- [33] M.H. Rahman, N.M. Wasiuddin, R. Islam, Canadian Journal of Chemical Engineering, (2003) u štampi
- [34] M. Radetić, D. Jocić, P. Jovančić, Lj. Rajaković, H. Thomas, Z.Lj. Petrović, J. Appl. Polym. Sci. (2003) u štampi
- [35] Lj.V. Rajaković: VIII jugoslovenski simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike sa međunarodnim učesćem, Zlatibor, Zbornik radova, TMF, (2002) 35.
- [36] M. Krgović, Lj. Rajaković, S. Jovanović, S. Nikolić, V. Valent, D. Žarković i drugi: "Racionalizacija potrošnje vode u industriji papira i celuloze", Studija za Ministarstvo za zaštitu životne sredine, TMF, u štampi
- [37] S. Stevanović: "Procesi membranske ekstrakcije", Monografija, TMF, 2000.
- [38] Lj. Rajaković, A. Perić-Gruić, T. Vasiljević, D. Čičkarić: "Praktikum za kvantitativnu hemijsku analizu", TMF, 2002.
- [39] Lj. Rajaković, V. Rajaković, S. Stevanović i drugi: "Razvoj analitičkih metoda i tehnika za kontrolu kvaliteta i analizu tragova supstanci", Fundamentalni projekat MNTS, #1941, TMF, Beograd (2002-2005)
- [40] Lj. Rajaković, V. Šijački-Žeravčić, P. Stefanović i drugi: "Unapređivanje tehnoloških rešenja za smanjenje korozionog potencijala u sistemu voda-para u termoenergetskim postrojenjima", Tehnološki projekat MNTS, #265, TMF, Beograd (2002-2004)
- [41] M. Vukić, Lj. Rajaković, D. Čičkarić i drugi: "Istraživanja i razvoj metoda za prečišćavanje zauljenih otpadnih voda iz železničkih stacionarnih objekata", Tehnološki projekat MNT, # 116, CIP/TMF, Beograd (2002-2005)

SUMMARY

CONVENTIONAL AND CONTEMPORARY METHODS FOR WATER TREATMENT: FROM WASTEWATER TO ULTRA PURE WATER

(Review paper)

Vladana N. Rajaković¹, Ljubinka V. Rajaković²

¹Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd, ²Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

In this paper modern methods and techniques for water purification are described. Good water quality and the rational use of water are an absolute need of the new millennium. The quality of life depends on water quality. Although it is an ecological priority to prohibit the contamination of water, it is a responsibility for environmental engineers and chemists to develop and apply effective methods for water purification. Beside well-known methods and techniques, it is necessary to create new methods for water purification and treatment. Water recycling is especially important. Plants with membrane separation technologies enable savings in fresh water with high efficiency. Methods for monitoring and controlling processes and water protection should be developed simultaneously with the development of techniques for the methods for purification.

Key words: Water treatment • Water purification • Wastewater • Ultra pure water • Modern methods •
Ključne reči: Voda • Prečišćavanje • Metode • Otpadna voda • Ultra čista voda •