

SISTEM ZA PREČIŠĆAVANJE PIJAĆE VODE SA POVEĆANOM TVRDOĆOM I KONCENTRACIJOM AMONIJAKA, GVOŽĐA, MANGANA

Tomislav Trišović¹, Lidija Rafailović², Wei Li³, Branimir Grgur⁴, Trišović Zaga⁵

Izvod: Voda je jedan od najpoznatijih univerzalnih rastvarača i u kontaktu sa svim poznatim materijama manje ili više reaguje. Uprkos činjenici da se nalazi u prirodi u ogromnim količinama, potpuno čiste vode u prirodi nema. Najčistija voda u prirodi je u lednicima, snegu i eventualno kišnica mada ona sadrži izvesnu količinu primesa. Voda u prirodnim izvoristima (podzemni i površinski izvori) je u većoj ili manjoj meri opterećena mineralima koji mogu biti netoksični ili veoma toksični. Da bi se takva voda koristila kao pijaća neophodno je da ona (hemijski i bakteriološki) bude u skladu sa Pravilnikom koji definiše maksimalno dozvoljene koncentracije pojedinih mineralnih jedinjenja i bakterija u pijaćoj vodi.

Gljučne reči: kvalitet vode, jonska izmena, deferizacija i demanganizacija, omekšavanje vode, uklanjanje amonijaka, dezinfekcija, ozonizacija

Uvod

Hemijski čista voda je jedinjenje vodonika i kiseonika, koji se u vodi mogu egzistirati u obliku disosovanih vodonikovih i hidroksilnih jona (H^+ i OH^-), u obliku molekula, kao i grozdova molekula povezani vodoničnim vezama. Voda prema svom poreklu može biti: atmosferska, površinska i podzemna [Naceradska, 2017]. Kako je svaka prirodna voda slab rastvor soli, baza, kiselina i dr., disosovanih u većoj ili manjoj meri na jone, rastvorene primese određuju njenu aktivnu reakciju. U zavisnosti od odnosa količine katjona i anjona, voda može biti kisela, neutralna ili bazna. U čistoj vodi postoji deo disosovanih jona (H^+ i OH^-). Odnos disosovanih i nedisosovanih jona pri određenoj temperaturi je stalan.

Prime se u vodi se mogu razvrstati u tri grupe i to: mehaničke, koloidne i rastvorene [Đukić, Ristanović, 2005]. Mehaničke nečistoće sačinjavaju uglavnom čestice čija je oko 10 μm . Čestice veličine veće od 1 μm su u lebdećem stanju. Ukoliko im je gustina veća od gustine vode, mehaničke nečistoće se talože, ako voda miruje. Mehaničke nečistoće su odgovorne za mutnoću vode, a sastoje se iz peska, gline i raznih čestica mineralnog i organskog porekla. Sve ove čestice dospevaju u vodu kontaktom atmosferskih padavina sa tlom, mineralnim stenama, kontaktom sa biomasom i sintetičkim materijalima, potom erozijom korita potoka i

¹Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija (tomislav.trsisovic@kg.ac.rs);

²CEST, Viktor-Kaplan-Str. 2, A-2700 Wiener Neustadt, Austria;

³School of Mathematics and Statistics, Xidian University, Xi'an, China;

⁴Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11 000 Beograd, Srbija;

⁵Mašinski fakultet- Beograd, Kraljice Marije 16, 11 120 Beograd, Srbija.

reka. Mutnoća je optičko svojstvo vode i jedana od glavnih karakteristika za određivanje kvaliteta vode. Mutnoća vode je posledica prisustva nerastvornih materija, suspendovane i koloidne čestice u vodi. Mutnoća se meri poređenjem svetlosnih efekata koji se odvijaju prolaskom svetlosti kroz uzorak i kroz standard. Što je veći intenzitet skretanja svetla, što je veća interferencije, veća je i mutnoća uzorka. Ako je koncentracija suspendovanih i koloidnih čestica manja od 5 mg/l, voda se smatra prozirnoma i u skladu je sa Pravilnikom. Izražava se u nefelometrijskim jedinicama mutnoće, (eng.nephelometric turbidity units (NTU)) i u sadržaju SiO₂ u vodi izraženim u mg/l. Propisana je maksimalna dopuštena vrednost mutnoće do 1 NTU. U vanrednim prilikama ova vrednost ima vrednost od 6 NTU. Povećanu mutnoću obično prati i pojačano mikrobiološko zagađenje.

U prirodnim vodama u koloidnom stanju nalaze se i neorganske materije (jedinjenja silicijuma, aluminijuma, gvožđa, i dr.), a takođe i organske materije, nastale raspadanjem životinjskih i biljnih organizama. Rastvorene supstance u vodi mogu biti molekuli i joni soli, gasova, kiselina i baza. Ove čestice su veličine manje od μm , bitno utiču na osobine vode i kao takve uslovljavaju njenu primenu. Rastvorene materije u vodi mogu biti: soli koje čine vodu tvrdom (soli kalcijuma i magnezijuma) i ostale soli. Tvrdoća može biti stalna i prolazna. Prolazna ili karbonatna tvrdoća potiče od karbonata i bikarbonata kalcijuma i magnezijuma, dok stalna tvrdoća vode potiče od sulfata, fosfata, hlorida, nitrata kalcijuma i magnezijuma.

Jedinice za merenje tvrdoće su: nemački stepeni (jednom nemačkom stepenu odgovara 10 mg CaO po litru vode), francuski stepen (jednom francuskom stepenu odgovara 10 mg/l CaCO₃), engleski stepeni (engleskom stepenu odgovara 10 mg/l na 0,7 litara vode). Ukupna tvrdoća (UT), jednaka je zbiru karbonatne i nekarbonatne tvrdoće: $UT=KT+NT$, odnosno zbiru prolazne i stalne tvrdoće: $UT=PT+ST$, SI jedinica mere tvrdoće vode je: mg CaCO₃dm⁻³ vode. U našoj zemlji tvrdoća se izražava u nemačkim stepenima.

Iz ove druge grupe ostalih soli u prirodnoj vodi nalaze se soli natrijuma - NaHCO₃, Na₂SO₄, NaNO₃, NaCl, gvožđa - Fe(HCO₃)₂, FeSO₄, koloidni Fe(OH)₃ i organska jedinjenja gvožđa i mangana Mn(HCO₃)₂, MnSO₄ [Radovanović, 1996].

Prisustvo rastvorenih soli kalcijuma i magnezijuma ima za posledicu nastajanje taloga u vodovodnim instalacijama, bojlerima, armaturama. Taloženjem, karbonati kalcijuma i magnezijuma pospešuju taloženje i drugih soli, tako da se u sastavu kamenca mogu naći i natrijum-hlorid (NaCl), natrijum-nitrat (NaNO₃), kalijum-nitrat (KNO₃), i kalijum-sulfat (K₂SO₄).

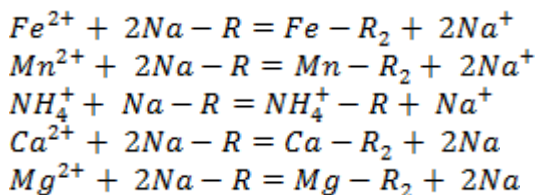
Nitrati, nitriti i amonijak predstavljaju jedinjenja azota pa su važni parametri stanja vode. Najčešće njihovo prisustvo pokazuje zagađenje vode fekalnim materijama. Za slučaj da je izvor vode na jako velikoj dubini, prisustvo azotovih jedinjenja pokazuje da amonijak ima geološko poreklo. Amonijak je toksičan i potrebno ga je ukloniti iz pijaće vode.

Gvožđe i mangan su veoma rasprostranjeni u zemljinoj kori i kao takvi dosta su u kontaktu sa površinskim i podzemnim vodama. U slučaju smanjenja koncentracije kiseonika u vodi, jedinjenja gvožđa i mangana se rastvaraju u vodi.

Najčešći oblik gvožđa je ferobikarbonat ili je u koloidnom stanju vezano sa organskim materijama. Ukoliko takvu vodu izložimo uticaju kiseonika iz vazduha, dolazi do oksidacija jedinjenja gvožđa u vodi, stvara se ferihidroksid ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), voda postaje mutna oranž boje, uz taloženje pahuljica. Voda sa povećanim sadržajem gvožđa nije pogodna za pranje jer stvara fleke na rublju. Tako je pored taloženja ferihidroksida na cevovodima i potencijalnog generisanja gvožđevitih bakterija, nije pogodna ni za zalivanje sistemom kap po kap, kao ni za napajanje živine i svinja, jer se poilice često začepi i blokiraju prolaz vode. Povećana koncentracija gvožđa u vodi zahteva i povećano doziranje sredstava za dezinfekciju, jer se deo hlora troši na oksidaciju gvožđa.

Mangan takođe pravi slične probleme kao i gvožđe tj stvara mutnoću, daje neprijatan ukus vodi i pravi crni talog manganhidroksida i mangan oksida. Znatno je toksičniji od gvožđa. S obzirom da mnoga izvorišta imaju povećane koncentracije gvožđa i mangana, potrebno je pratiti njihove koncentracije pomoću jednostavnih aparata tzv komparatora.

Uklanjanje gvožđa, mangana, amonijaka i tvrdoće iz vode može se postići na nekoliko načina. Jedan od veoma primenjivanih načina je jonskom izmenom. Na jonoizmenjivačkom materijalu se odigrava niz sledećih reakcija [Tomić, 2009]:



Ovakve jonoizmenjivačke smole (ECOMIX komercijalni naziv) mogu istovremeno da uklanjaju pet jonskih vrsta i to: gvožđe, mangan, amonijak, kalcijum i magnezijum. Jonoizmenjivačke smole ovog tipa se nazivaju „pet u jedan“ tj sa jednom jonoizmenjivačkom masom moguće je istovremeno ukloniti pet nepoželjnih jonskih vrsta. Ovaj način prečišćavanja pijaćih voda je veoma praktičan i primenjiv za male vodovodske sisteme kao i za individualna domaćinstva. Postoji niz prednosti u korišćenju ovog postupka kao što su: niska cena, dug životni vek jonoizmenjivačke smole (od 3 do 10 god), kompaktan i mali uređaj koji radi pod pritiskom postojeće instalacije, jonoizmenjivačke smole skoro da nemaju potrebu čišćenja, ovakav tretman vode ne utiče na pH vrednost i alkalitet vode, rezultat prečišćavanja su jako niske koncentracije gvožđa, mangana, amonijaka, kalcijuma i magnezijuma. Naravno, postoje i ograničenja u korišćenju jonskih masa ECOMIX kao što su: tvrdoća <750 mg/l, gvožđe <10 mg/l, magnezijum <3 mg/l, amonijak <4 mg/l, oksidabilnost (KMnO_4) <80 mg/l, radna temperatura 4-40°C, ukupno rastvorene materije <4000 mg/l. Nedostaci koji mogu dovesti do lošeg rada smole su: pri većim koncentracijama gvožđa doći će do trajnog taloženja gvožđa na smoli, pre tretmana na smoli ne sme se podešavati pH niti dodavati oksidujućih supstanci jer može doći do oksidacije Fe^{2+} u Fe^{3+} , ne može se ukloniti kvožđe koje je vezano

za prirodne organske materije POM, prilikom regeneracije smole nastaje koncentrovani slani otpad NaCl, MgCl₂, CaCl₂.

Visoka tvrdoća vode povećava utrošak sapuna, otežava proces kuvanja zrnaste hrane, stvara kamenac u boilerima i kotlovima. Tvrde vode ne deluju štetno na ljudsko zdravlje.

Materijal i metode rada

Tretman na filtrima sa jonskom masom voda treba da zadovolji sledeće parametre kvaliteta što se tiče koncentracije gvožđe, mangan, amonijak, koji su dati u Tabeli 1.

Tabela 1. Pojedini fizičko-hemijski parametri kvaliteta pijaćih voda koje su propisane Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Službeni Glasnik SRJ 42/98, 44/99 i 28/2019).

Table 1. Physicochemical parameters of drinking water quality that are prescribed by the Guidence on hygienic safety of drinking water (Document FRY 42/98, 44/99 and 28/2019).

Parametar	Jed. mere	МДК
Mutnoća	NTU	1-5*
Miris,	-	bez
pH vrednost	-	6.8-8.5
Amonijak NH ₃ ,	mg/l	0.5-1.0*
Elektrolitička provodljivost na 20°C	µS	2500
Hloridi Cl ⁻	mg/l	250
Gvožđe Fe	mg/l	0.3
Mangan Mn	mg/l	0.05
Tvrdoća	° dH	-

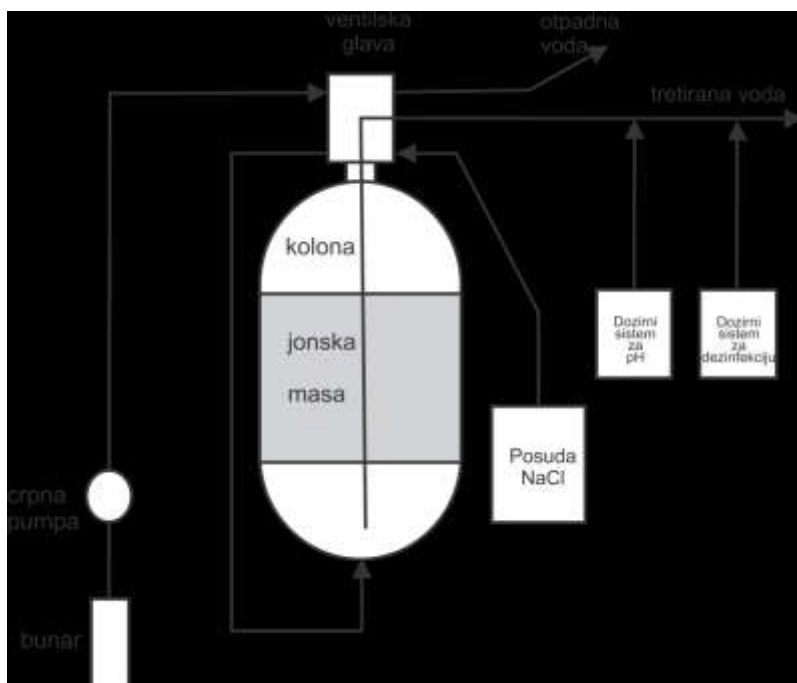
U ovom radu su predstavljeni uređaji koji prečišćavaju sirovu vodu iz bunara opterećenu sa povećanom koncentracijom amonijaka, gvožđa i mangana i tvrdoće. Uređaji su povezani u funkcionalnu celinu, rade automatski, a procesom rada upravljanja automatika sa bunarske pumpe koja crpi vodu iz bunara.

Rezultati istraživanja i diskusija

Bunarske vode mogu imati povećanu tvrdoću, a istovremeno povećane koncentracije amonijaka, gvožđa i mangana. U tom slučaju, za individualne i manje vodovode, najbolje rešenje je prečišćavanje vode sa jonskom masom koja je selektivna na svih pet gore pomenutih vrsta. Na zrcima katjonske, jako kisele izmenjivačke mase (smole), obavlja se zamena jona kalcijuma, magnezijuma,

amonijaka, gvožđa i mangana, jonima natrijuma. Svi ciklusi rada automatskog uređaja u ovom slučaju jonske mase tzv „pet u jedan”.

Jonska masa se instalira u kolonu (Slika 1.) na čijem vrhu se nalazi automatska ventilna glava. Kada je položaj ventila zakrenut tako da voda prolazi odozgo na dole, uređaj se nalazi u radu tj obavlja se proces jonske izmene (joni Fe, Mn, NH₃, Ca i Mg se menjaju sa jonima Na) (ciklusu 1). Kada se svi joni natrijuma otpuste sa smole a zamene ih joni Fe, Mn, NH₃, Ca i Mg, mora se obaviti proces regeneracije tj vraćanje jona Na jonoizmenjivačku smolu. Ovo se postiže na taj način što se prvo zakrene ventilski sklop tako da se u (ciklusu 2) masa suptotnostrujno ispira odozgo na gore u trajanju od 10 min (Tabela 2).



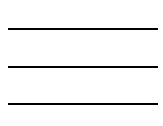




Graf. 1. Blok shema uređaja za uklanjanje gvožđa, mangana, amonijaka i tvrdće
 Graph. 1. Schematic representation of device for removal of iron, manganese, ammonia and water hardness.

Kada se ovaj ciklus završi zakrene se ponovo ventilski sklop tako da počinje proces uvlačenja koncentrovanog rastvora natrijum hlorida iz posude sa NaCl. Koncentrovani rastvor se ejektorski uvlači pa time se i meša sa vodom u odnosu 6:1. Ovaj (ciklus 3) traje oko 50 minuta. Po završetku ciklusa 3 višepoložajni ventil se zakreće tako da se u ciklusu 4 ostvaruje proces dopune posude sa tabletiranom kuhinjskom solju. Ovaj ciklus traje 5 minuta. Sledeći ciklus je moguć zakretanjem višepoložajnog ventila tako da se vrši istostrujno ispiranje jonske mase odozgo na dole. Ovaj ciklus (ciklus 5) traje 8 minuta. Po završenom ciklusu 5, višepoložajni

ventil se zakreće tako da uređaj ulazi u ciklus 1 tj u normalan rad kada se ostvaruje filtracija vode.

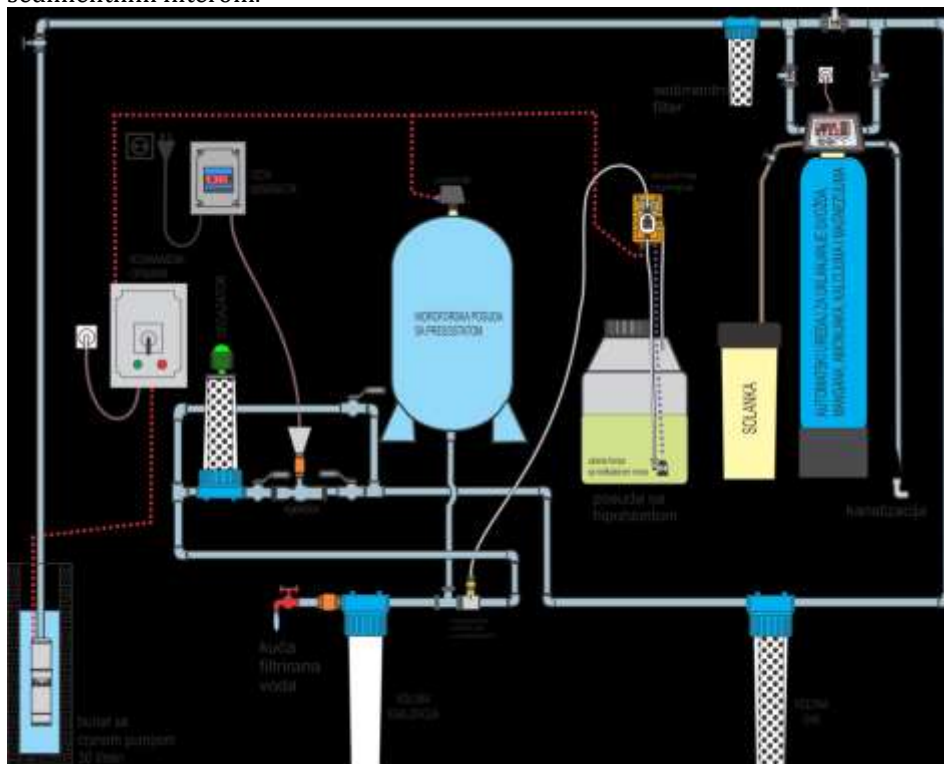
Tabela 2. Ciklusi u radu automatskog uređaja sa jonskom izmenom.

Table 2. Cycles in the operation of an automatic device with ion exchange.

Prikaz		Značenje
Ciklus	Figura	
Vreme, protok, kapacitet 1-00		Uređaj u radu
2-10 min		U ciklusu kontraispiranja preostalo 10 min do kraja
3-50 min		U ciklusu uvlačenja soli i sporog ispiranja preostalo 50 min do kraja
4-05 min		U ciklusu dopune solanke prostalo 5 min do kraja
5-08 min		U ciklusu kontraispiranja, preostalo 8 minuta

Na Slici 2. je prikazan sistem (nekoliko uređaja serijski povezanih) za prečišćavanje vode koja je opterećena sumpornim jedinjenjima (vodonik disulfid), povećanom tvrdoćom i povećanom koncentracijom gvožđa, mangana i amonijaka. Kao što se sa Slike 2. može vidjeti, radom vodovodnog sistema upravlja senzor koji meri i održava pritisak vode u vodovodnoj mreži. Taj pritisak je obično između 3 i 5 bara, kada je u pitanju presostat, a ako je u pitanju davač pritiska spregnut sa frekventnim regulatorom, pritisak se održava na tačnoj vrednosti napr 4 bara. Na Slici 1. je prikazan sistem za prečišćavanje vode kojem upravlja presostat. Crpna pumpa u bunaru se uključuje ukoliko pritisak u jednoj ili drugoj hidroforskoj posudi padne ispod 3 bara. Fizičku veličinu kao što je pritisak, jedan ili drugi presostat, pretvaraju u električnu tj uključe ili isključe crpnu pumpu pomoću kontaktera. Crpna pumpa potiskuje vodu prvo kroz transparentnu filter sveću gde se iz vode odstranjuju mehaničke nečistoće kao sto je pesak, potom voda ulazi u kolonu u kojoj je jonska masa tzv. 5 u1 gde se uklanja tvrdoća, amonijak, gvožđe i mangan. Tako obrađena voda ulazi u filtersku sveću sa aktivnim ugljem gde se popravljaju organoleptička svojstva vode. Posle ove filter sveće voda ulazi u ejektor koji povećava brzinu a obara pritisak kako bi iz atmosferskih uslova uvukao vazduh i ozon sa atmosferskih uslova. Potom voda ulazi u degazator gde se uklanjaju gasovi koji se ispuštaju u atmosferu preko ozračnog ventila na degazatoru.

Iz dezazatora voda izlazi oslobođena vodonik disulfida ulazi u filter sveću sa sedimentnim filterom.



Slika 2. Sistem za prečišćavanje vode (dezinfekcija, aeracija, omekšavanje i uklanjanje amonijaka, gvožđa i mangana iz vode).

Figure2. Water purification system (disinfection, aeration, softening and removal of ammonia, iron and manganese from water).

Tabela 3. Pojedini fizičko-hemijski parametri kvaliteta vode pre i posle filtracije.
Table 3. Selected physicochemical parameters for determination of water quality before and after filtration.

parametar	Jed. mere	MĐK	Pre filtracije	Posle filtracije
Mutnoća	NTU	1-5*	8	2
Miris	-	bez	Na sumpor	Bez
pH vrednost	-	6.8-8.5	7.4	7.5
Amonijak NH ₃	mg/l	0.5-1.0*	1.2	0.1
Elektrolitička	μS	2500	1120	1220

provodljivost na 20°C				
Hloridi Cl ⁻	mg/l	250	60	74
Gvožđe Fe	mg/l	0.3	0.5	<0.1
Mangan Mn	mg/l	0.05	0,1	<0.05
Tvrdoća	° dH	-	17	1

Posle filtracije, vrši se dezinfekcija ubacivanjem određena količina sredstva za dezinfekciju najčešće natrijum hipohlorit u vodu u cevovodu, u količini da se obezbedi nivo reziduala do 0.5 mg/l. Tako obrađena voda je po Pravilniku i može se koristiti za piće i druge sanitarne potrebe. Hemijska analiza vode pre i posle tretmana je prikazana u Tabeli 3.

Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da:

- Uređaj za za prečišćavanje pijaće vode sa povećanom koncentracijom amonijaka, gvožđa i mangana i tvrdoće uspešno radi na vodovodskim sistemima koji su pod pritiskom.
- Kolona sa jonoizmenjivačkom masom „Ecomix“ uspešno uklanja amonijak, gvožđe, mangan i tvrdoću.
- Aeracija uz dodatak ozona uspešno uklanja rastvorene gasove, posebno vodonik disulfid koji daje neprijatan miris vodi.
- Hemijska analiza izlazne vode, pokazuje da kvalitet dobijene vode zadovoljavaju Pravilnik o hemijskoj i bakteriološkoj ispravnosti pijaće vode i da se voda kao takva može koristiti u domaćinstvima.

Napomena

Istraživanja u ovom radu deo su projekta Evidencioni broj: 451-03-9/2021-14/200175 finansiranih od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoje Republike Srbije.

Literatura

- Naceradska J., Pivokonsky M., Pivokonska L., Baresova M., Henderson R.K., Zamyadi A., Janda V., The impact of pre-oxidation with potassium permanganate on cyanobacterial organic matter removal by coagulation, Water Research 114 (2017) 42-49.
- Đukić D., Ristanović V., Hemija i mikrobiologija voda, Novi Sad, Srbija, Stylos (2005)
- Radovanović M., Industrijska voda, Mašinski fakultet, Beograd, Srbija (1996).

Tomić M. V., Pavlović M. G., Tadić G., Pavlović Lj.J., Zaštita materijala, 50(2009)1.

SYSTEM FOR DRINKING WATER PURIFICATION WITH INCREASED HARDNESS AND CONCENTRATION OF AMMONIA, IRON, AND MANGANESE

Tomislav Trišović¹, Lidija Rafailović², Wei Li³, Branimir Grgur⁴, Trišović Zaga⁵

Abstract

Water is one of the most important universal solvents for gerat number of substances. Despite the fact that it is found in nature in huge quantities, there is almost no completely clean water in nature. The purest water in the nature is in glaciers, snow and possibly rainwater, although this water contains also a certain amount of impurities. Water in natural springs (underground and surface springs) is more or less loaded with minerals that can be non-toxic or very toxic. In order to use it as drinking water, it is necessary that such water (chemically and bacteriologically) be in accordance with the standards and Guidance which defines the maximum allowed concentrations of certain mineral compounds and bacteria in drinking water.

Key words: water quality, ion exchange, deferrization and demanganization, water softening, ammonia removal, disinfection, ozonation

¹Univerzitet u Kragujevcu, Agronomski fakultet u Čačku, Cara Dušana 34, Čačak, Srbija (tomislav.trsisovic@kg.ac.rs);

²CEST, Viktor-Kaplan-Str. 2, A-2700 Wiener Neustadt, Austria;

³School of Mathematics and Statistics, Xidian University, Xi'an, China;

⁴Tehnološko-metaluruški fakultet, Karnegijeva 4, 11 000 Beograd, Srbija;

⁵Mašinski fakultet- Beograd, Kraljice Marije 16, 11 120 Beograd, Srbija.