

SNEŽANA ŠERBULA<sup>1</sup>, ANA RISTIĆ<sup>1</sup>,  
SREĆKO MANASIJEVIĆ<sup>2</sup>, NATALIJA DOLIĆ<sup>3</sup>

Originalni naučni rad  
UDC:628.312.5(497.11)

## Teški metali u otpadnim vodama Rudnika bakra Majdanpek

*U radu su prikazane prosečne godišnje koncentracije jona teških metala u otpadnim vodama pogona Filtracije, Rudnika bakra Majdanpek. Na osnovu hemijskih analiza uzoraka otpadne vode utvrđen povišen sadržaj jona teških metala (Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, i dr.) koji premašuju vrednosti maksimalne dozvoljene koncentracije definisane pravilnikom Republike Srbije. Dobijeni rezultati su upoređivani sa dozvoljenim graničnim vrednostima koncentracija koje propisuju Pravilnik Svetske zdravstvene organizacije i Direktiva 98/83/EC Evropske unije kao i sa nekim literaturnim podacima. Na kraju rada dat je predlog za smanjenje koncentracije jona teških metala u otpadnim vodama pogona filtracije primenom jonoizmenjivačke smole.*

**Ključne reči:** otpadne vode, Rudnik bakra Majdanpek, Veliki Pek, joni teških metala

### 1. UVOD

Otpadne vode su složenog sastava i sadrže različite primese. Njihova koncentracija i vrsta zavise od vrste tehnološkog procesa, vrste sirovine i proizvoda. Mnogi procesi su diskontinualni, te je i režim nastajanja i ispuštanja otpadnih voda različit u svakoj proizvodnji [1]. Količina i sastav industrijskih otpadnih voda zavisi od niza faktora i specifična je za svaku granu industrije. Otpadne vode industrije obuhvataju procesne, rashladne, sanitarne i otpadne vode od čišćenja sudova i prostorija. Do podataka o programu analize neophodnih parametara voda dolazi se na osnovu režima rada u proizvodnji. Na osnovu tehnologije proizvodnje određuje se i dinamika uzorkovanja, tip uzorka, karakteristični period ispitivanja u toku meseca ili godine, a na osnovu situacionog plana zagađivača upoznaje se sa brojem ispusta, lokacijom ispusta, mestom uzorkovanja i količina ispuštene vode [1–6]. Klasifikacija otpadnih voda vrši se na osnovu porekla i dele se na: komunalne otpadne vode, industrijske otpadne vode i otpadne vode agro-kompleksa [7,8].

Sve vode koje su iskorišćene za neku namenu, bilo da je reč o kućnim, industrijskim ili poljoprivrednim vodama, potrebno je prikupiti, kao otpadnu vodu, te je na prikladan način obraditi i odvesti u recipiente bez štetnih posledica za životnu sredinu i bez narušavanja prirodnog kružnog toka vode [1–4]. Recipienti otpadnih voda mogu biti prirodne vode: reke, jezera, mora, ali u nekim slučajevima veliki deo otpadne vode moguće je ponovo koristiti

uz određenu obradu. Zbog različitog sastava otpadnih voda razlikuju se i materijali koji će biti primenjeni u izgradnji sistema za odvođenje različitih tipova otpadnih voda [1].

U zavisnosti od tipa industrije, u industrijskim otpadnim vodama mogu se naći različite štetne, opasne i toksične supstance. Zagađujuće materije se mogu naći u vodi u rastvornom obliku, i u obliku jona ili molekula, koloida, suspenzija, mada mogu biti adsorbovane i na čvrstim telima [1]. Uredbom o klasifikaciji voda ("Sl. glasnik SRS", br. 5/68) utvrđena je opšta podela voda u četiri klase prema stepenu zagađenosti i nameni [7]. Prvoj i drugoj klasi voda pripadaju vode koje se koriste za piće, kupanje i rekreaciju, dok III i IV klasa voda obuhvata vodu koja se koristi u industriji i voda koja se može upotrebljavati nakon posebne obrade. Podela vode u klase i podklase vrši se na osnovu pokazatelja i njihovih graničnih vrednosti.

U ovom radu akcenat je dat na analizi jona teških metala u industrijskim otpadnim vodama [1,2,5,6,9,10]. Varol je tokom ispitivanja koncentracije jona olova u jezerima Kralkızı, Dicle i Batman u Turskoj došao do rezultata da se koncentracija jona olova kretala u jezeru Kralkızı od 0.256–2.648 mg/dm<sup>3</sup>, u jezeru Dicle 0.184–1.473 mg/dm<sup>3</sup> i u jezeru Batman 0.409–2.457 mg/dm<sup>3</sup> [11]. U periodu od 2005. do 2009. godine na području reke Songhua, Kina vršena su ispitivanja uzoraka sa 6 memnih mesta. Vrednosti koncentracije jona olova u uzorcima su se kretala od 0.503–2.81 mg/dm<sup>3</sup> što pokazuje veliki uticaj teških metala, u ovom slučaju olova, koji potiču iz industrijskih postojenja koja se nalaze u oblasti oko reke Songhua [12]. U reci Gomni, Indija vrednosti koncentracije jona bakra su se kretale od 0.102–0.503 mg/dm<sup>3</sup> [10]. Kazi i saradnici su vršili ispitivanja na području jezera Manchar, Pakistan u periodu od 2005. do 2006. godine kako bi utvrdili koliki je uticaj industrijskih otpadnih voda, koje se ulivaju u samo jezero, na kvalitet vode. Koncentracija jona bakra

Adresa autora: <sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet, Bor, Vojske Jugoslavije 12, Bor, <sup>2</sup>Lola Institut, Kneza Viseslava 70a, Beograd, Srbija, <sup>3</sup>Univerzitet u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, Aleja narodnih heroja 3, Sisak, Hrvatska

Primljeno za publikovanje: 10. 04. 2014.

Prihvaćeno za publikovanje: 23. 06.2014.

se kretala od 0.91–3.84 mg/dm<sup>3</sup> u uzorcima uzetih sa pet mernih mesta [13].

Cilj ovog rada je analiza ukupne gubitke bakra u Rudniku Bakra Majdanpek u okviru otpadnih voda pogona filtracije u periodu od 2008–2012.

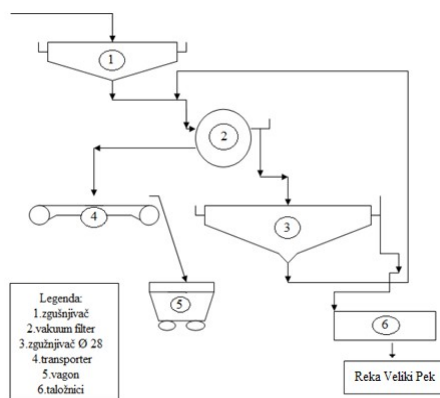
## 2. UZORKOVANJE I ANALIZA VODA

Ruda bakra u Majdanpeku je otkrivena krajem 1953. godine, kada su utvrđene rezerve na Južnom reviru od oko 85 miliona tona sa prosečnim sadržajem od 0.83% Cu. Na ovim rezervama rude bakra, uz pretpostavku daljeg nastavljanja sa istraživanjem, u julu 1957. godine odobrena su sredstva za izgradnju rudnika, a prvi radovi su započeli krajem 1957. godine. Početkom 1958. godine, počeli su radovi na pripremanju prve etaže za površinski kop "Južni revir" kada je iz Bora dobijen prvi bager. Pred kraj 1958. godine započeli su prvi radovi na jalovini na brdu "Švajns". Za početak proizvodnje rude se može uzeti početak probnog rada flotacije, juna 1961. godine. Prve tone koncentrata bakra iz Majdanpeka su isporučene juna 1961. godine. Do 1977. godine u okviru RBM-a radio je samo površinski kop "Južni revir", kada započinje sa radom površinski kop "Severni revir". Do 1993. godine otkopavana je samo ruda bakra i proizvođen koncentrat bakra. Nakon te godine je započelo otkopavanje rude cinka i olova i proizvodnja ovog koncentrata. Radovi na Površinskom kopu "Severni revir" su se odvijali u okviru tri radilišta: Centralni deo, Tenka i Dolovi.

Celokupni proces proizvodnje u Rudniku bakra Majdanpek može se uglavnom posmatrati kroz nekoliko faza: otkopavanje, usitnjavanje i flotiranje rude. Otkopavanje rude vrši se miniranjem eksplozivima. Ruda usitnjena miniranjem (do 1 m veličine) se transportuje do drobilica na primarnom drobljenju, gde se usitnjava do 250 mm i kao takva ide trakama na sekundarno drobljenje. Sa sekundarnog drobljenja izlazi usitnjena do 75 mm i ide trakama u flotaciju na prosejavanje i tercijalno drobljenje (do 20 mm). Tehnološka operacija mlevenja se odvija u flotaciji, gde se usitnjava u mlinovima sa šipkama i kuglama do mikronskih veličina. Tokom procesa mlevenja u mlinove se dozira voda, kreč i reagensi potrebni za flotiranje. Tako pripremljena pulpa transportuje se u hidrociklone, gde se vrši razdvajanje na preliv koji ide na proces flotiranja i gruba faza koji se ponovo vraća u mlin sa kuglama. Proizvod mlevenja uvodi se u kondicionere, zatim u razdeljivač pulpe, odakle se ravnomerno distribuira u flotacione mašine. Flotiranje se sastoji iz osnovnog flotiranja i tri prečišćavanja. U osnovnom flotiranju dobija se grubi koncentrat koji se melje u dopunskom mlinu i definitivnu jalovinu. Trostepeno prečišćavanje daje definitivni koncentrat bakra koji u sebi sadrži oko 23% bakra. Koncentrat, u obliku pulpe sa oko 20% čvrstog mate-

rijala, odvodi se tunelom kroz plastične cevi u pogon filtriranja. Iz prihvatnih rezervoara pulpa se pumpama prebacuje na zgušnjavanje, a nakon toga na filtriranje. Filtriranje se vrši na kontinualnim diskfilterima. U toku ovog procesa se odvaja voda od čvrste frakcije tako da proizvod sadrži oko 10% vlage i naziva se "koncentrat bakra". Iz pogona filtriranja koncentrat bakra se sistemom transportnih traka prebacuje do vagona, a zatim železnicom do Bora [14]. Koncentrat bakra je polazna sirovina za borsku topionicu

Flotacijski ostatak se pumpama transportuje do jalovišta "Valja Fundata", gde se vrši klasiranje ciklonima. Pesak ciklona služi za pravljenje zaštitnih brana. Za tehnološki proces mlevenja i flotiranja koristi se velika količina vode koja se obezbeđuje recirkulacijom iz flotacijskog jezera. Desno od obale reke Veliki Pek izgrađeno je postrojenje filtracije u neposrednoj blizini sela Debeli Lug. U procesu flotacijske koncentracije dobijaju se dva proizvoda koncentrat koji sadrži oko 20% čvrste faze i flotacijska jalovina koja sadrži od 12–18% čvrste faze. Tehnološka šema postrojenja filtracije bakarnog koncentrata prikazana je na slici 1. Koncentrat bakra se transportuje u zgušnjivače (1) gde se sadržaj čvrste faze povećava na 50%. Zgusnuti proizvod se gravitacijskim tokom se transportuje tunelom dužine 3270 m do Debelog Luga u pogon filtracije. Iz prihvatnog rezervoara se pumpama prebacuje do vakuum filtera (2). Kolač sa vakuum filtera pada na sabirne transportere (4), a zatim u železničke vagone (5). Tečna faza sa vakuum filtera (2) odlazi u zgušnjivač (3) i zatim u taložnik (6) gde se vrši gravitaciono prečišćavanje filtrata koji predstavlja otpadnu vodu procesa filtracije. Iz taložnika (6) se gravitaciono prečišćena otpadna voda ispušta u recipijent, reku Veliki Pek.



Slika 1 - Tehnološka šema postrojenja filtracije bakarnog koncentrata

Uređaj za prečišćavanje otpadnih voda pogona filtracije izgrađen je 1970. godine, i sastoji se od zgušnjivača i taložnika. Zgušnjivač je betonski bazen kružnog oblika prečnika 28 m. Površina zguš-

njivača od 630 m<sup>2</sup> obezbeđuje mehaničku sposobnost zgušnjivača i za znatno veće mase od onih koje nastaju u redovnoj proizvodnji. Preliv iz zgušnjivača ispušta se u taložnik gde se dalje vrši mehaničko prečišćavanje otpadnih voda [14]. Taložnik za gravitaciono prečišćavanje otpadnih voda (slika 2a), je izgrađen od armiranog betona i sastoji se od dve komore dimenzija 8x38m, dubine 2.5m. Svaka komora se može naizmenično, nezavisno puniti i prazniti. Trenutno su u rad uključena oba gravitaciona taložnika što obezbeđuje bolju efikasnost prečišćavanja otpadnih voda zbog dužeg vremena zadržavanja u samom taložniku. Na slici 2b. je fotografija mesta uzorkovanja otpadnih voda nakon gravitacionog prečišćavanja u taložniku, i nakon toga se prečišćena otpadna voda odvodi zemljanim kanalom do reke Veliki Pek. Zemljani kanal je širine od 1.5–3 m, dubine 1.4–1.6 m i dužina kanala je oko 600 m [14].



a)

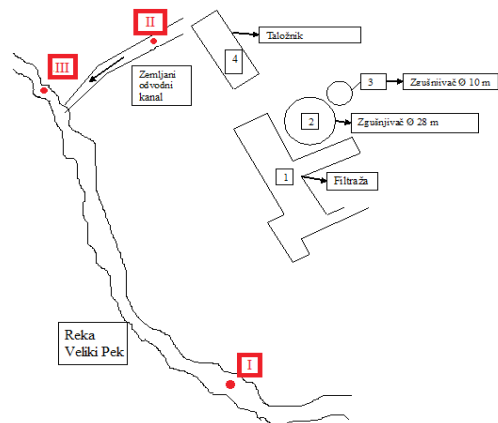


b)

Slika 2 - Gravitaciono prečišćavanje otpadnih voda, a) taložnik i b) mesto uzorkovanja

Na slici 3. dat je šematski prikaz pogona filtracije. Radi što boljeg odvijanja procesa zgušnjavanja i filtriranja koncentrata bakra postoje zgušnjivači prečnika 28 m i 10 m u kojima se vrši predprečišćavanje otpadnih voda. Nakon toga otpadne vode odlazi u taložnike odakle se ispušta u recipient, reku Veliki Pek. Voda koja se ispušta u reku Veliki Pek kontroliše se tri do četiri puta godišnje

kao i kvalitet reke Veliki Pek pre i posle uliva otpadnih voda pogona filtracija.



Slika 3. Situacioni plan objekata u pogonu filtracije i mesta uzorkovanja: I. Veliki Pek pre uliva otpadne vode, II. Otpadna voda pogona filtracije, III. Veliki Pek posle uliva otpadne vode

Kvalitet voda ispituje akreditovana institucija Zavod za javno zdravlje "Timok" Zaječar [15,16]. Primenjena je metoda atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) za određivanje koncentracije jona teških metala u otpadnoj vodi. Na slici 4. je prikazan satelitski snimak pogona filtracije Rudnika Bakra Majdanpek sa mestima uzorkovanja i tokom reke Veliki Pek.



Slika 4 - Satelitski snimak pogona filtracije Rudnika Bakra Majdanpek sa mestima uzorkovanja i tokom reke Veliki Pek

Prema Uredbi o klasifikaciji voda Republike Srbije, reka Veliki Pek spada u III klasu voda. Analizirano je prisustvo jona teških metala poput gvožđa, olova, bakra, cinka i dr. koji se nalaze u otpadnoj vodi pogona filtracije.

### 3. DISKUSIJA I REZULTATI

U ovom radu su analizirani rezultati u periodu od 2008. godine do 2012. godine koji su uzorko-

vani na tri merna mesta. Tabela 1. prikazuje vrednosti pokazatelja kao što su koncentracije jona bakra, gvožđa, olova, hroma, arsena, mangana, kadmijuma i cinka, pri čemu su pokazane minimalne, maksimalne i srednje vrednosti koncentracije, kao i maksimalna dozvoljena koncentracija pokazatelja (MDK) propisana za III klasu klasu voda u koju spada reka Veliki Pek.

### 3.1. Prosečne godišnje koncentracije jona bakra

Bakar se najviše pojavljuje u sulfidnim rudama koje se prerađuju u Rudniku bakra Majdanpek sa udelom od 0.27 % Cu (halkopirit, kovelit, halkozin i bornit), zatim u oksidnim (kuprit) i u karbonatnim rudama. Pravilnik Svetske zdravstvene organizacije i Direktiva 98/83/EC Evropske unije propisuju graničnu vrednost koncentracije jona bakra u vodama od 0.2 mg/dm<sup>3</sup>, dok je u našoj zemlji Uredbom o klasifikaciji voda ta granica do 0.1 mg/dm<sup>3</sup> [1,7,16].

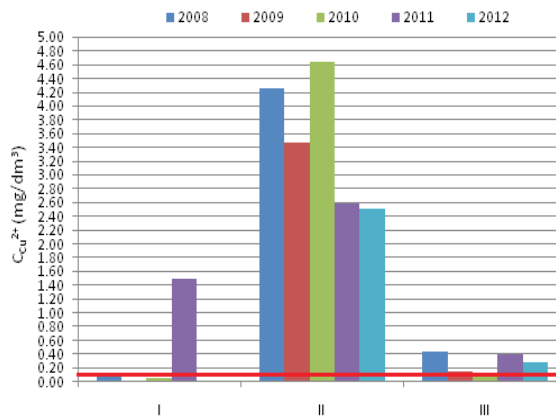
Tabela 1 - Vrednosti analiza u periodu od 2008. do 2012. godine uzete sa tri merna mesta

Joni teških metala	Mesto uzorkov., slika 2	Pokazatelji, mg/ dm <sup>3</sup>			MDK
		Min	Max	Srednja vrednost	
Cu	I	0.008	<b>4.412</b>	0.313	0.1
	II	0.672	<b>7.552</b>	3.24	
	III	0.035	<b>0.884</b>	0.278	
Fe	I	0.092	<b>5.090</b>	<b>1.071</b>	1.0
	II	0.736	<b>6.576</b>	<b>2.989</b>	
	III	0.137	<b>4.810</b>	0.966	
Pb	I	0.01	<b>0.333</b>	0.036	0.1
	II	0.01	<b>2.255</b>	<b>0.562</b>	
	III	0,01	<b>0.126</b>	0.027	
Mn	I	0.015	0.088	0.054	/
	II	0.01	0.132	0.047	
	III	0.019	2.442	0.195	
Cd	I	0.001	0.005	0.0021	0.01
	II	0.001	0,004	0.0020	
	III	0.001	0.004	0.0021	
Zn	I	0.025	0.651	0.082	1.0
	II	0.082	<b>1.162</b>	0.316	
	III	0.049	0.727	0.126	

Na slici 5 prikazane su prosečne koncentracije jona bakra u otpadnim vodama pogona filtracije i reci Veliki Pek pre i posle uliva otpadne vode pogona filtracije.

Na slici 5 se vidi da je i pre odlivanja same otpadne vode filtracije u reci Veliki Pek postojala određena koncentracija jona bakra, što je posledica prirodnog luženja bakra iz zemljišta koje je bogato sulfidnim mineralima bakra. Pri uzorkovanju vode sa II mernog mesta, te granice su još više preoračene tokom svih 5 godina. Uzorci sa III mernog mesta pokazuje da i posle prečišćavanja otpadnih voda pre njihovog izlivanja u recipijent kon-

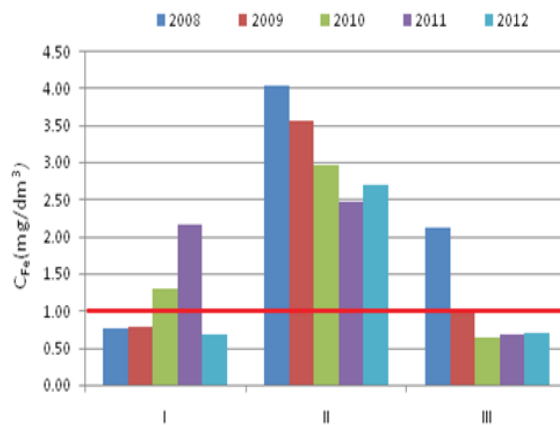
centracija bakra prevazilazi granične vrednosti. Vrednosti koncentracije jona bakra u reci Veliki Pek posle ispuštanja otpadne vode pogona filtracije kretala se do 0.4 mg/dm<sup>3</sup>, dok su vrednosti koncentracije jona bakra izmerene u reci Gomni i jezeru Manchar [10,13] bile veće što je posledica velike koncentracije jona bakra u samim otpadnim industrijskim vodama koje se u njih ulivaju.



Slika 5. Prosečne godišnje koncentracije jona bakra (crvenom linijom označena je MDK)

### 3.2. Prosečne godišnje koncentracije jona gvožđa

Gvožđe spada u teške metale i u okolini je prisutan kao posledica korozije cevi, ispiranja kiselih ruda, otpadnih industrijskih voda u kojima se nalazi. Ruda koja se prerađuje u RBM-u sadrži oko 0.65% Fe. Postoji u obliku fero (Fe<sup>2+</sup>) i feri (Fe<sup>3+</sup>) jona. Divalentni jon je nepostojan u aerobnim uslovima i lako podleže oksidaciji do gvožđe(III) oksihidrata koji su u vodi nerastvorni. U našoj zemlji MDK jona gvožđa u vodama III klase iznosi 1 mg/dm<sup>3</sup>. Pravilnik Svetske zdravstvene organizacije dozvoljava graničnu vrednost za gvožđe od 2 mg/dm<sup>3</sup>, kolika je i prema Direktivi 98/83/EC Evropske unije [1,7,17]. Na slici 6 su prikazane prosečne godišnje koncentracije jona gvožđa u periodu od 2008–2012. godine.



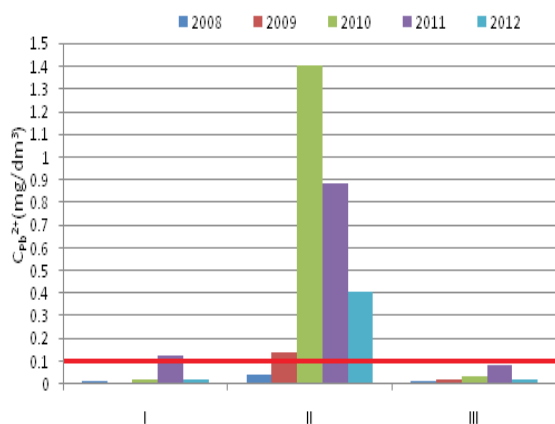
Slika 6 - Prosečne godišnje koncentracije jona gvožđa (crvenom linijom označavamo MDK) [16]

Gvožđe je jedan od elemenata koji se nalazi iznad dozvoljene granice u uzorcima uzetim sa sva tri merna mesta tokom godina. Svoju najveću koncentraciju pokazuje u otpadnim vodama pogona filtracije kod kojih tokom svih 5 godina uzorkovanja dolazi do prekoračenja MDK. Sa slike 6 se vidi da su tokom 2010. i 2011. godine dozvoljene koncentracije gvožđa u vodama III klase prekoračene u reci Veliki Pek pre ulivanja same otpadne vode. Takođe, vidi se da je u 2008. i 2009. godini MDK prekoračena i u uzorcima uzetih sa III mernog mesta, dok je u kasnijim godina došlo do uvođenja novih tehničkih i tehnoloških rešenja u samom procesu prečišćavanja u taložniku.

### 3.3. Prosečne godišnje koncentracije jona olova

U prirodi se olovo najčešće javlja u vidu sulfida, PbS, kao ruda galenit. Maksimalna dozvoljena koncentracija jona olova u III klasi voda je  $0.1 \text{ mg/dm}^3$  prema Uredbi o klasifikaciji voda Republike Srbije, *Pravilniku Svetske zdravstvene organizacije i Direktivi 98/83/EC Evropske unije* [1,7,17]. Na slici 7. su prikazane prosečne godišnje koncentracije jona olova u uzorcima uzetih sa tri merna mesta.

Olovo se u otpadnim vodama pogona filtracije našao u velikim koncentracijama u toku 2009., 2010., 2011., i 2012. godine pri čemu njegove koncentracije dostižu vrednost od  $1,4 \text{ mg/dm}^3$  i ako je MDK za olovo samo  $0.1 \text{ mg/dm}^3$ . U toku 2011. godine vrednosti koncentracija jona olova uzetih sa I mernog mesta već prelaze graničnu vrednost što je posledica prirodnog izluženja jer duž toka reke Veliki Pek nema nikakve industrije. U samim otpadnim vodama pogona filtracije još više je prekoračena, ali je tehnološki proces obrade otpadnih voda pogona filtracije doveo do smanjenja koncentracije jona olova, što se vidi u uzorcima uzetih sa III mernog mesta gde koncentracija jona olova ne prelazi MDK.

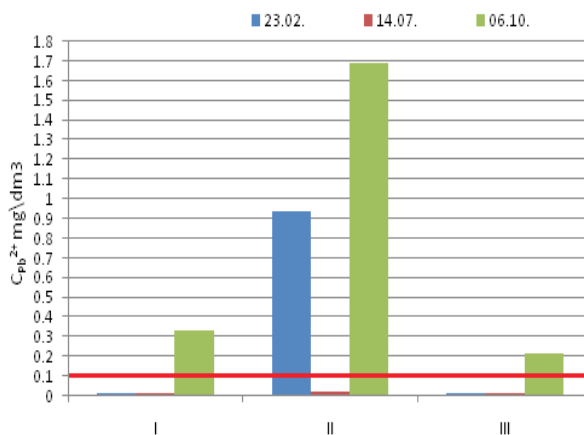


Slika 7 - Prosečne godišnje koncentracije jona olova (crvenom linijom označavamo MDK) [16]

Vrednosti koncentracije jona olova u reci Veliki Pek posle ulivanja otpadne vode pogona filtracije

su manje u odnosu na koncentraciju jona olova koja se pojavljuje u reci Songhua i jezerima u Turskoj [11,12]. Kao glavni izvori velike koncentracije jona teških metala navode se otpadne vode koje industrijska postrojenja ispuštaju.

Koncentracije olova u toku 2010. godine prikazane su na slici 8. Iz uzorka uzetog 06.10.2010. godine zaključujemo da je usled povećanog dotoka atmosferskih voda (kiša) došlo do povećane koncentracije jona olova u reci Veliki Pek pre uliva otpadnih voda pogona filtracije. Ulivanjem prečišćene otpadne vode pogona filtracije smanjila se koncentracija jona Pb, mada je ipak uzorak sa III mernog mesta imao u sebi olova koji prevazilazi MDK.



Slika 8 - Koncentracije jona olova u 2010. godini (crvenom linijom označavamo MDK) [16]

Površinske i podzemne vode koje formiraju reku Veliki Pek svojim tokom prolaze kroz oblasti koje u svom sastavu imaju bakar, gvožđe, cink i dr. elemente i pri tome povećavaju koncentraciju ovih elemenata u vodi što možemo i zaključiti iz rezultata dobijenih analizama sa I mernog mesta. Maksimalna dozvoljena koncentracija jona bakra je već prekoračena u uzorcima sa minimalnom koncentracijom, dok su se maksimalne koncentracije jona bakra kretale čak do  $7.552 \text{ mg/dm}^3$  koliko je izmereno u uzorku otpadne vode pogona filtracije. Takođe, se iz tabele 1 vidi da su koncentracije jona gvožđa i olova u povećanim količinama u uzorcima uzetim sa II mernog mesta i da posle obrade otpadne vode pogona filtracije njihova koncentracija prelazi MDK u uzorcima uzetih sa III mernog mesta. Svi ostali pokazatelji ispitivanih voda su ispod zakonski dozvoljenih granica.

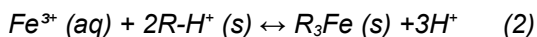
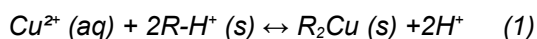
### 3.4. Predlog poboljšanja kvaliteta otpadne vode pogona filtracije

Industrijske otpadne vode ne mogu se prečistiti konvencionalnim postupcima za prečišćavanje vode jer sadrže jone metala, kao i druga hemijska jedinjenja koja su biološki nerazgrađiva, što destruk-

tivno deluje na mikroorganizme koji su aktivni u procesu prirodnog prečišćavanja.

Poboljšanje kvaliteta otpadne vode pogona filtracije može se sprovesti korišćenjem raznih adsorbentasa. Za adsorpciju u tečnosti koriste se joniti, akrivni ugalj, silika gel i zeoliti. Joniti kao prirodni ili sintetički adsorbensi, organskog ili neorganskog porekla, mogu biti: zeoliti, glinasti minerali, jonoizmenjivačke smole, aktivirani minerali i dr. [1,18]. Praktično su nerastvorni u vodi ili drugim rastvaračima. Dele se na anjonite i katjonite, zavisno od structure molekula i reakcija sa jonima koji se nalaze u rastvoru i koje adsorbuju [1,18]. Za uklanjanje teških metala iz otpadnih voda mogu se koristiti različiti tipovi katjonskih jonoizmenjivača kao što su Amberlite IR-120, Dowex 50, Duolite C-20, Lewatit S-100 i dr.

Kako ne bi došlo do velikih gubitka bakra kroz otpadne vode, predlaže se dopuna procesa prečišćavanja otpadnih voda. Poželjno je uraditi mrežni kavez adekvatne zapremine, u zavisnosti od prosečne koncentracije prekoračenja jona teških metala i kvaliteta jonoizmenjivačke smole, u kome bi se nalazila jonoizmenjivačka smola. Mrežni kavez bi se nalazio na nivou otpadne vode u taložniku u koji bi se slivala prelivna voda iz zgušnjivača. Na taj način smanjila bi se koncentraciju jona bakra, gvožđa i olova u otpadnim vodama pogona filtracije. Nakon određenog vremena upotrebe dolazi do prezasićenja jonoizmenjivačke smole vezanim jonima teških metala. Proces desorpcije jona teških metala iz jonoizmenjivačke smole određuje proizvođač. Jedan od načina prečišćavanja mreže sa smolom od jona je regenerisanje smole rastvorom sumporne kiseline. Na taj način bi se bakar preveo u bakarsulfat i mogao bi da se koristi u pogonu elektrolize u Boru, čime bi iskorišćenje bakra bilo potpuno. Nakon toga, mrežni kavez sa jonoizmenjivačkom smolom ponovo bi mogao da se koristi. U cilju praćenja procesa jonske izmene odigravaju se sledeće reakcije [1]:



## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazani su rezultati kvaliteta otpadne vode pogona filtracije Rudnika bakra Majdanpek i reke Veliki Pek pre i posle uliva otpadne vode pogona filtracije. Rezultati pokazuju da koncentracija jona bakra u uzorcima uzetih iz reke Veliki Pek posle ulivanja otpadne vode pogona filtracije je prekoračila zakonski dozvoljenu vrednost tokom svih pet godina uzorkovanja. Takođe, koncentracija jona gvožđa je bila iznad MDK tokom

2008. i 2009. godine u uzorcima uzetih sa III mer-nog mesta, dok je koncentracija jona olova bila ispod zakonski dozvoljenih granica tokom svih pet godina.

Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da su se vrednosti parametara u periodu od 2008. godine do 2012. godine kretale u širokom rasponu. U ranijim godinama vidi se da je uticaj bio veći te da se iz godine u godinu smanjivao. Poštujući zakonsku regulativu, kao i smanjenje uticaja na životnu sredinu (u ovom slučaju vodotokove) Rudnik bakra Majdanpek je puno radio na poboljšanju kvaliteta otpadnih voda, a samim tim i na smanjenje zagađenja reke Veliki Pek.

## LITERATURA

- [1] Ristić A., Uticaj otpadnih voda Rudnika bakra Majdanpek na reku Veliki Pek, Završni rad, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Bor, oktobar 2013.
- [2] [Bugarin M.](#), [Jonović R.](#), [Avramović Lj.](#), (2012) Tretman industrijskih otpadnih voda iz procesa proizvodnje bakra u RTB Bor, Rudarski radovi, 4, 73-78
- [3] Kittinger C., Marth E., Reinthaler F.F., Zarfel G., Pichler-Semmelrock F., Mascher W., Mascher G., Mascher F., (2013) Water quality assessment of a Central European River-Does the Directive 2000/60/EC cover all the needs for a comprehensive classification, Science of Total Environment 447, 424-429.
- [4] Hegazi [H.A.](#), (2013) Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents, HBRC Journal 9, 3, 276-282.
- [5] Kurniawan [T.A.](#), Chan [Y.S.](#), Lo W.H., Babel [S.](#), (2006) Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals, [Chemical Engineering Journal \(118\) 1-2](#), 83-98.
- [6] Cheremisinoff N.P., Handbook of water and wastewater treatment technologies, Butterworth-Heinemann USA, (2002) 306-312.
- [7] Službeni glasnik, Uredba o klasifikaciji voda, SRS br. 5/68, 16.01.1968.
- [8] RBM, Elaborat o otadnim vodama pogona filtraže, Služba za ekologiju RBM-a, (2008)
- [9] Šerbula S., Ristić A., Manasijević S., Dolić N., Davitkov (2014), pH vrednost i koncentracija ukupnog suvog ostatka i suspendovanih materija u otpadnim vodama Rudnika bakra Majdanpek, Zaštita materijala, Vol. 55, No 3, str. 327-334
- [10] Singh K.P., Malik A., Sinha S., (2006) Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-a case study, Analytica Chimica Acta 538, 355-374.
- [11] [Varol M.](#), (2013) Dissolved heavy metal concentrations of the Kralkızı, Dicle and Batman dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey, [Chemosphere](#) 22, 56-72.

- [12] Wang Y., Wang P., Bai Y., Tian Z., Li J., Shao X., Mustavich L.F., Li B.L., (2013) Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China, *Journal of Hydro-environment Research* 7(6), 30–40.
- [13] Kazi T.G., Arain M.B., Jamali M.K., Jalbani N., Afridi H.I., Sarfraz R.A., Baig J.A., Shah A.Q., (2009) Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72, 301–309.
- [14] <http://djovanovic.wordpress.com/projekti/>
- [15] RBM, Elaborat o otadnim vodama pogona filtraže, Služba za ekologiju RBM-a, (2008).
- [16] Zavod za javno zdravlje Timok, Izveštaj o analizama otpadnih i površinskih voda RBM-a, Zaječar, 2008–2012.
- [17] EUR-Lex, Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal L330, pp. 32, 1998, <http://eur-lex.europa.eu>.
- [18] Trivunac K.V., Stevanović S.M., (2012) Uticaj radnih parametara na efikasnost uklanjanja jona olova pomoću kompleksirajuće-mikrofiltracionog proces, *Hemijska industrija*, (66)4, 461–467.

## ABSTRACT

### HEAVY METAL IONS IN THE WASTEWATER OF THE MAJDANPEK COPPER MINE

*The paper presents the average annual concentrations of heavy metal ions in the wastewater of the Majdanpek Copper Mine filtration plant. Chemical analyses of wastewater samples found an increased content of heavy metal ions (Cu, Fe, Mn, Zn, Pb, Cd etc.) that exceed the values of the maximum permissible concentration defined by the relevant Regulation of the Republic of Serbia. The obtained results were compared with the permissible concentration limits prescribed by the Regulation of the World Health Organization and Directive 98/83/EC of the European Union as well as with some data from the literature. The final section of the paper provides a suggestion for reducing the concentrations of heavy metal ions in the wastewater of the filtration plant by using ion exchange resin.*

**Keywords:** wastewater, Majdanpek Copper Mine, Veliki Pek, heavy metal ions.

*Scientific paper*

*Received for Publication: 10. 04. 2014.*

*Accepted for Publication: 23. 06. 2014.*