

SNEŽANA ŠERBULA<sup>1</sup>, ANA RISTI<sup>1</sup>,  
SRE KO MANASIJEVI<sup>2</sup>, NATALIJA DOLI<sup>3</sup>

Originalni nau ni rad  
UDC:628.312.5(497.11)

## Teški metali u otpadnim vodama Rudnika bakra Majdanpek

*U radu su prikazane prose ne godišnje koncentracije jona teških metala u otpadnim vodama pogona Filtracije, Rudnika bakra Majdanpek. Na osnovu hemijskih analiza uzoraka otpadne vode utvr en 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 upore ivani sa dozvoljenim grani nim 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 jonoizmenjiva ke smole.*

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

### 1. UVOD

Otpadne vode su složenog sastava i sadrže razli ite 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 razli it u svakoj proizvodnji [1]. Koli ina i sastav industrijskih otpadnih voda zavisi od niza faktora i specifi na je za svaku granu industrije. Otpadne vode industrije obuhvataju procesne, rashladne, sanitarne i otpadne vode od iš enja sudova i prostorija. Do podataka o programu analize neophodnih parametra voda dolazi se na osnovu režima rada u proizvodnji. Na osnovu tehnologije proizvodnje odre uje se i dinamika uzorkovanja, tip uzorka, karakteristi ni period ispitivanja u toku meseca ili godine, a na osnovu situacionog plana zaga iva a upozna je se sa brojem ispusta, lokacijom ispusta, mestom uzorkovanja i koli ina 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 iskoriš ene za neku namenu, bilo da je re o ku nim, industrijskim ili poljoprivrednim vodama, potrebno je prikupiti, kao otpadnu vodu, te je na prikladan na in 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 slu ajevima veliki deo otpadne vode mogu e je ponovo koristiti

uz odre enu obradu. Zbog razli itog sastava otpadnih voda razlikuju se i materijali koji e biti primenjeni u izgradnji sistema za odvo enje razli itih tipova otpadnih voda [1].

U zavisnosti od tipa industrije, u industrijskim otpadnim vodama mogu se na i razli ite štetne, opasne i toksi ne supstance. Zaga uju e materije se mogu na i u vodi u rastvornom obliku, i u obliku jona ili molekula, koloida, suspenzija, mada mogu biti adsorbovane i na vrstima telima [1]. Uredbom o klasifikaciji voda ("Sl. glasnik SRS", br. 5/68) utv ena je opšta podela voda u etiri klase prema stepenu zaga enosti i nameni [7]. Prvoj i drugoj klasi voda pripadaju vode koje se koriste za pi e, 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 grani nih 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 Kralkizi, Dicle i Batman u Turskoj došao do rezultata da se koncentracija jona olova kretala u jezeru Kralkizi 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 podru iju reke Songhua, Kina vršena su ispitivanja uzoraka sa 6 mernih 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 slu aju olova, koji poti u 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 podru eju 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, Tehni ki fakultet, Bor, Vojske Jugoslavije 12, Bor, <sup>2</sup>Lola Institut, Kneza Visaslava 70a, Beograd, Srbija, <sup>3</sup>Univerzitet u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, Aleja narodnih heroja 3, Sisak, Hrvatska

Primljeno za publikovanje: 10. 04. 2014.

Prihv eno 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.

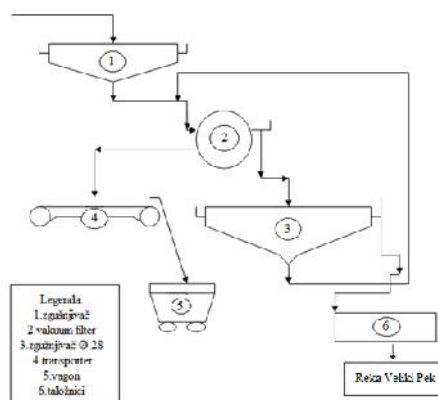
## 2. UZORKOVANJE I ANALIZA VODA

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. Po etkom 1958. godine, pošli 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 potetak proizvodnje rude se može uzeti potetak 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 započela je sa radom površinski kop "Severni revir". Do 1993. godine otkopavana je samo ruda bakra i proizveden 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 usitjava 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 usitjava u mlinovima sa šipkama i kuglama do mikronskih veličina. Tokom procesa mlevenja u mlinove se dozira voda, kre 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 razdeljiva 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% vrstog 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 vrste 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

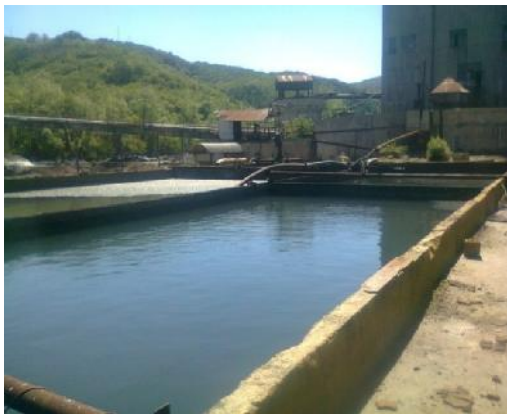
Flotacijski ostatak se pumpama transportuje do jalovišta "Valja Fundata", gde se vrši klasiranje ciklonima. Pesak ciklona služi za pravljenje zaštitnih brana. Za tehnološki proces mlevenja i flotiranja koristi se velika količina vode koja se obezbeđuje recirkulacijom iz flotacijskog jezera. Desno od 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% vrste faze i flotacijska jalovina koja sadrži od 12–18% vrste faze. Tehnološka šema postrojenja filtracije bakarnog koncentrata prikazana je na slici 1. Koncentrat bakra se transportuje u zgušnjivaču (1) gde se sadržaj vrste faze povećava na 50%. Zgušnuti 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). Kola sa vakuum filtera pada na sabirne transportere (4), a zatim u željezne vagon (5). Te na fazi sa vakuum filtera (2) odlazi u zgušnjivaču (3) i zatim u taložnici (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-

njiva a od 630 m<sup>2</sup> obezbe uje mehani ku sposobnost zgušnjiva a i za znatno ve e mase od onih koje nastaju u redovnoj proizvodnji. Preliv iz zgušnjiva a ispušta se u taložnik gde se dalje vrši mehani ko pre iš avanje otpadnih voda [14]. Taložnik za gravitaciono pre iš avanje otpadnih voda (slika 2a), je izgra en od armiranog betona i sastoji se od dve komore dimenzija 8x38m, dubine 2.5m. Svaka komora se može naizmeni no, nezavisno puniti i prazniti. Trenutno su u rad uklju ena oba gravitaciona taložnika što obezbe uje bolju efikasnost pre iš avanja otpadnih voda zbog dužeg vremena zadržavanja u samom taložniku. Na slici 2b. je fotografija mesta uzorkovanja otpadnih voda nakon gravitacionog pre iš avanja u taložniku, i nakon toga se pre iš ena 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)

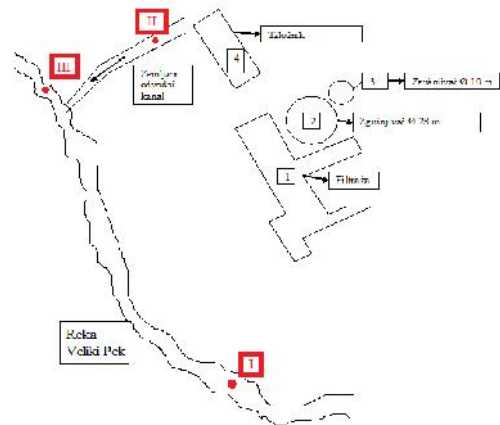


b)

Slika 2 - Gravitaciono pre iš avanje otpadnih voda, a) taložnik i b) mesto uzorkovanja

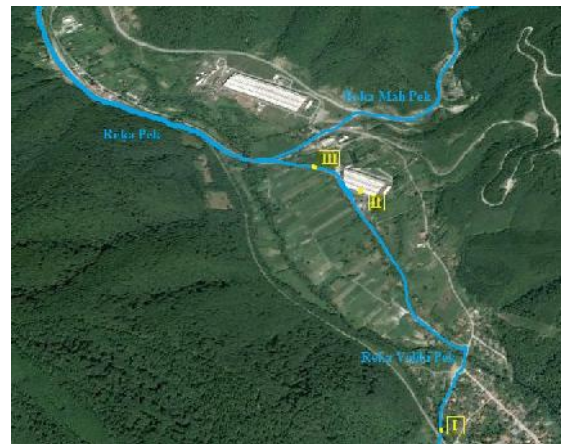
Na slici 3. dat je šematski prikaz pogona filtracije. Radi što boljeg odvijanja procesa zgušnjavanja i filtriranja koncentrata bakra postoje zgušnjiva i pre nika 28 m i 10 m u kojima se vrši predpre iš avanje otpadnih voda. Nakon toga otpadne vode odlazi u taložnike odakle se ispušta u recipijent, reku Veliki Pek. Voda koja se ispušta u reku Veliki Pek kontroliše se tri do etiri 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" Zaje ar [15,16]. Primenjena je metoda atomske apsorpcione spektrofotometrije (AAS) za odre ivanje 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, gvožđ a, olova, hroma, arsena, mangana, kadmijuma i cinka, pri emu 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. Prose ne godišnje koncentracije jona bakra

Bakar se najviše pojavljuje u sulfidnim rudama koje se prera uju 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 grani nu 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].

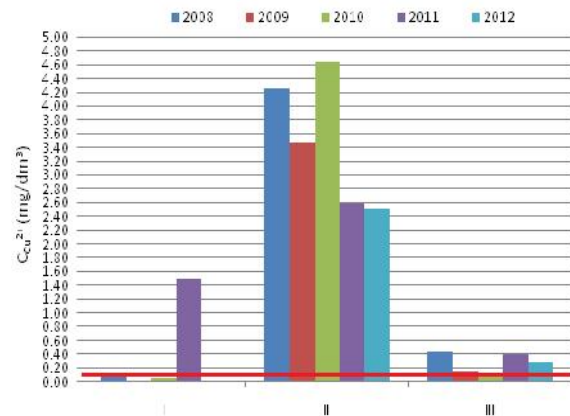
Tabela 1 - Vrednosti analiza u periodu od 2008. do 2012. godine uzete sa tri merna mesta

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 prose ne 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 odre ena 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 prekora ene tokom svih 5 godina. Uzorci sa III mernog mesta pokazuje da i posle pre iš avanja otpadnih voda pre njihovog izlivanja u recipijent kon-

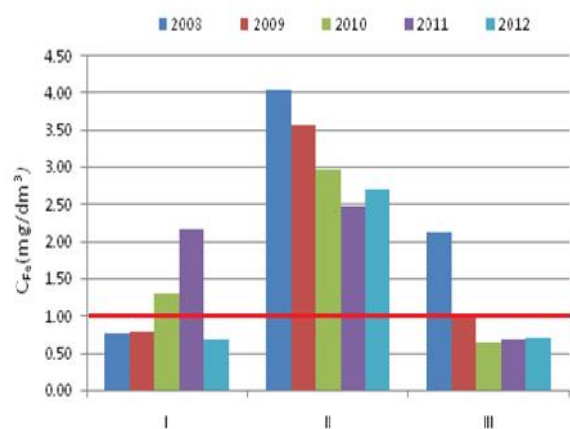
centracija bakra prevazilazi grani ne vrednosti. Vrednosti koncentracije jona bakra u reci Veliki Pek posle ispuštanja otpadne vode pogona filtracije kretala se do 0.4 mg/dm<sup>3</sup>, dok su vrednosti koncentracije jona bakra izmerene u reci Gomni i jezeru Manchar [10,13] bile ve e što je posledica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



Slika 5. Prose ne godišnje koncentracije jona bakra (crvenom linijom ozna ena je MDK)

### 3.2. Prose ne godišnje koncentracije jona gvožđ a

Gvožđ e 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 prera uje u RBM-u sadži 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 gvožđ e(III) oksihidrata koji su u vodi nerastvorni. U našoj zemlji MDK jona gvožđ a u vodama III klase iznosi 1 mg/dm<sup>3</sup>. Pravilnik Svetske zdravstvene organizacije dozvoljava grani nu vrednost za gvožđ e 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 prose ne godišnje koncentracije jona gvožđ a u periodu od 2008–2012. godine.



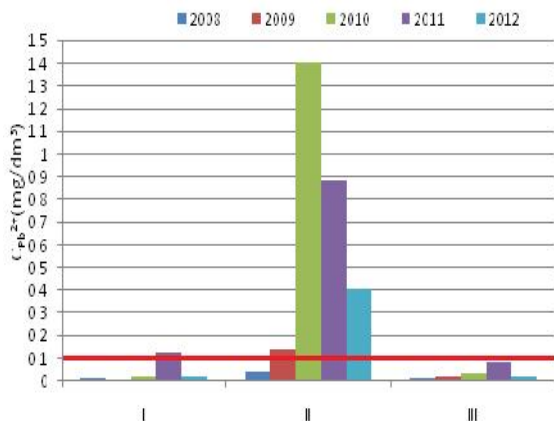
Slika 6 - Prose ne godišnje koncentracije jona gvožđ a (crvenom linijom ozna avamo MDK) [16]

Gvož e je jedan od elemenata koji se nalazi iznad dozvoljene granice u uzorcima uzetim sa sva tri merna mesta tokom godina. Svoju najve u koncentraciju pokazuje u otpadnim vodama pogona filtracije kod kojih tokom svih 5 godina uzorkovanja dolazi do prekora enja MDK. Sa slike 6 se vidi da su tokom 2010. i 2011. godine dozvoljene koncentracije gvož a u vodama III klase prekora ene u reci Veliki Pek pre ulivanja same otpadne vode. Tako e, vidi se da je u 2008. i 2009. godini MDK prekora ena i u uzorcima uzetih sa III mernog mesta, dok je u kasnijim godina došlo do uvo enja novih tehni kih i tehnoloških rešenja u samom procesu pre iš avanja u taložniku.

### 3.3. Prose ne godišnje koncentracije jona olova

U prirodi se olovo naj eš e 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 prose ne 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 emu 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 ve prelaze grani nu vrednost što je posledica prirodnog izluženja jer duž toka reke Veliki Pek nema nikakve industrije. U samim otpadnim vodama pogona filtracije još više je prekora ena, ali je tehnološki proces obrade otpadnih voda pogona filtracije doveo do smanjena koncentracije jona olova, što se vidi u uzorcima uzetih sa III mernog mesta gde koncentracija jona olova ne prelazi MDK.

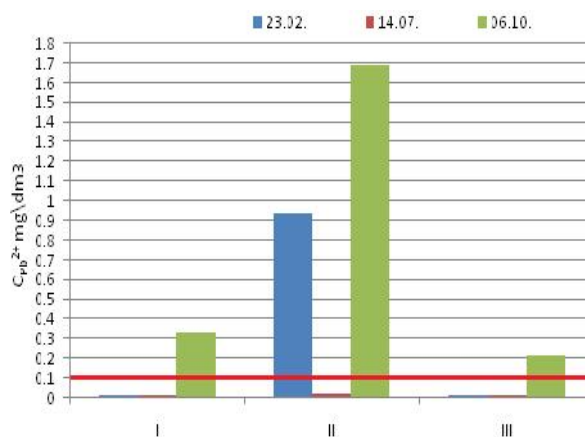


Slika 7 - Prose ne godišnje koncentracije jona olova (crvenom linijom ozna avamo MDK) [16]

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 zaklju ujemo da je usled pove anog dotoka atmosferskih voda (kiša) došlo do pove ane koncentracije jona olova u reci Veliki Pek pre uliva otpadnih voda pogona filtracije. Ulivanjem pre iš ene 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 ozna avamo MDK) [16]

Površinske i podzemne vode koje formiraju reku Veliki Pek svojim tokom prolaze kroz oblasti koje u svom sastavu imaju bakar, gvož e, cink i dr. elemente i pri tome pove avaju koncentraciju ovih elemenata u vodi što možemo i zaklju iti iz rezultata dobijenih analizama sa I mernog mesta. Maksimalna dozvoljena koncentracija jona bakra je ve prekora ena u uzorcima sa minimalnom koncentracijom, dok su se maksimalne koncentracije jona bakra kretale ak do  $7.552 \text{ mg/dm}^3$  koliko je izmereno u uzorku otpadne vode pogona filtracije. Tako e, se iz tabele 1 vidi da su koncentracije jona gvož a i olova u pove anim koli inama 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.

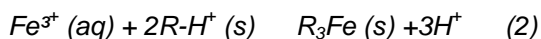
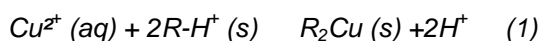
### 3.4. Predlog poboljšanja kvaliteta otpadne vode pogona filtracije

Industrijske otpadne vode ne mogu se pre istiti konvencionalnim postupcima za pre iš avanje 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 pre išavanja.

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

Kako ne bi došlo do velikih gubitaka bakra kroz otpadnu vodu, predlaže se dopuna procesa pre išavanja otpadnih voda. Poželjno je uraditi mrežni kavez adekvatne zapremine, u zavisnosti od prosečne koncentracije prekoračenja jona teških metala i kvaliteta jonoizmenjiva ke smole, u kome bi se nalazila jonoizmenjiva ka 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 koncentracija jona bakra, gvožđa i olova u otpadnim vodama pogona filtracije. Nakon određenog vremena upotrebe dolazi do prezasićenja jonoizmenjiva ke smole vezanim jonima teških metala. Proces desorpcije jona teških metala iz jonoizmenjiva ke smole određuje proizvodnja. Jedan od načina pre išavanja 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 jonoizmenjivom komolom 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 merenog 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 i te da se iz godine u godinu smanjivao. Poštujući i 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 smanjenju 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., Jonovi R., Avramovi 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 otpadnim 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, Zaje ar, 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., Stevanovi S.M., (2012) Uticaj radnih parametara na efikasnost uklanjanja jona olova pomo u kompleksiraju e-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.*