

# Prisustvo arsena u vodnim objektima na širem području grada Zrenjanina i njegovo uklanjanje metodom sorpcije nanočesticama magnetita

---

*U radu su prikazani rezultati istraživanja mogućnosti prečišćavanja voda sa visokim sadržajem arsena metodom sorpcije na nanočesticama magnetita ( $Fe_3O_4$ ). Merenjima je utvrđeno da uzorci voda iz bunara na širem području Zrenjanina imaju sadržaj arsena iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK), odnosno preko dozvoljene granice od  $10 \mu\text{g/L}$  koja je propisana od strane Svetske zdravstvene organizacije. Nanomaterijal  $Fe_3O_4$  sintetisan je metodom koprecipitacije uz mikrotalasno-hidrotermalnu obradu, i korišćen je kao sorbent za arsen. Efikasnost sorbenta testirana je na uzorku vode iz bunara u selu Mihajlovo, koja sadrži  $217 \mu\text{g/L}$  arsena. Pokazano je da se na pH vrednosti 3 i koncentraciji sorbenta iznad  $500 \text{ mg/L}$ , pri kontaktnom vremenu od 2 sata, ova koncentracija arsena može sniziti ispod  $10 \mu\text{g/L}$ . Još bolji rezultati se dobijaju ukoliko se radi predtretman vode sa granulisanim aktivnim ugljem (GAC). Međutim, primenom metode pri vrednosti pH 8, ne može se postići smanjenje koncentracije arsena ispod MDK, čak ni pri koncentraciji sorbenta od  $2000 \text{ mg/L}$  i predtretmanom vode granulisanim aktivnim ugljem. Rezultati ovog istraživanja ukazuju da je  $Fe_3O_4$  dobar sorbent za arsen u zagađenim vodama, a kako je po prirodi magnetičan, može se spoljnjim magnetom lako odvojiti od vode, reciklirati i ponovo upotrebljavati.*

---

## Uvod

Ranija istraživanja pokazuju da vode na teritoriji Vojvodine većinski imaju povišene koncentracije jedinjenja gvožđa i arsena (Jovanović *et al.* 2011). Poreklo arsena u vodama povezano je sa geološkom građom terena, kao i upotrebom mineralnih đubriva. U prirodi se najčešće nalazi u formi kao što su arsenopirit ( $FeAsS$ ), realgar ( $As_4S_4$ ) i orpiment ( $As_2S_3$ ) (Orešćanin 2013). Na te vode ne mogu se primeniti standardne metode za dobijanje vode za piće, s obzirom na to da one ne daju zadovoljavajuće rezultate (Dalmacija 2009). Trenutno ne postoji ni jedan sistem za prerađivanje voda u AP Vojvodina koji otklanja sva zagađujuća jedinjenja. U gradski

---

Sara Antić (2000),  
Novi Beograd,  
Omladinskih brigada  
7a, učenica 4. razreda  
Zemunske gimnazije

### MENTORI:

dr Biljana Dojčinović,  
dipl. hemičar, naučni  
savetnik u Institutu za  
hemiju, tehnologiju i  
metalurgiju,  
Univerzitet u  
Beogradu

dr Dejan Grujić,  
lekar, specijalista  
kliničke biohemije, šef  
oddeljenja za  
laboratorijsku  
dijagnostiku, Dom  
zdravlja Novi  
Kneževac

vodovod se puštaju nepotpuno obrađene vode koje stanovništvo potom koristi u svakodnevnom životu. Vojvodina se većinski snabdeva vodom koja je zagađena izuzetno toksičnim jedinjenjima arsena (Dalmacija 2009), tako da je ideja za ovaj rad nastala zbog opšteg i lokalnog značaja pomenutog problema.

Arsen se nalazi na 20. mestu po zastupljenosti u Zemljinoj kori, tako da predstavlja problem kojim se bave naučnici širom sveta (Mandal i Suzuki 2002). Na mnogim mestima u svetu količina arsena u vodama je iznad MDK, pogotovo na području Indije i Bangladeša, gde je 1980. godina došlo do masovnog trovanja (Mandal i Suzuki 2002). Dosadašnja eksperimentalna istraživanja na životinjama i epidemološke studije na humanoju populaciji su dokazala toksična i kancerogena svojstva arsena (Hughes 2002). Smrtna doza arsena kod odraslih je 120-200 mg/kg, dok je kod dece svega 2 mg/kg (Hughes 2002).

Toksičnost arsena zavisi od njegove hemijske forme i delom je uslovljena valentnim stanjem. Trovalentni arsen ima veliki afinitet za tiolne grupe, jer lako gradi stabilne veze sa sumporom. Prema tome, reakcija As(III) uzrokuje inaktivaciju enzima, jer su tiolne grupe važne za funkcionisanje enzima. Petovalentni arsen ima mali afinitet prema tiolnim grupama, ali je molekularni analog fosfatima, i može poremetiti oksidativnu fosforilaciju u mitohondrijama, čime remeti metabolizam (Ratnaik 2003). Nakon unošenja u organizam putem vode za piće, arsen se brzo apsorbuje u crevnom traktu, i krv ga raznosi po celom organizmu. Zdravstveni negativni efekti arsena su anemija, neuropatija, opadanje kose, periferna vaskularna oboljenja, kancer kože, pluća i unutrašnjih organa (Ratnaik 2003).

Cilj istraživanja je procena efikasnosti i optimizacija metode za uklanjanje arsena iz podzemnih voda koje se u Vojvodini koriste za svakodnevnu kućnu upotrebu. U prvom delu rada sintetisan je nanomaterijal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> metodom koprecipitacije uz mikrotalasno-hidrotermalnu obradu. U drugom delu sintetisani materijal je korišćen je kao sorbent za arsen iz vode. Efikasnost sorbenta testirana je na uzorku vode iz bunara u selu Mihajlovu (opština Zrenjanin). Ispitana je efikasnost sorpcije arsenovih jedinjenja u kiseloj i baznoj sredini, kao i uticaj početnih koncentracija sorbenta. Identičan postupak sorpcije urađen je na uzorcima vode koji su prethodno tretirani granulisanim aktivnom ugljem. Takođe, u okviru ovog istraživanja urađena je kompletna fizičko-hemijska analiza 9 uzoraka sa vodnih objekata na širem području grada Zrenjanina.

## Materijal i metode

Kao sorbent korišćen je magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) koji je sintetisan metodom koprecipitacije uz mikrotalasno-hidrotermalnu obradu. U trogrli balon je odmereno 0.35 dm<sup>3</sup> vode. Kroz prvo grlo je konstantno dovoden azot radi održavanja inertne sredine, dok je kroz drugo tokom 1 sata ukapavano 22 mL baze amonijum-hidroksida (NH<sub>4</sub>OH). U balon su kroz treće grlo pre početka ukapavanja baze dodati gvožđe(II)-sulfat heptahidrat

( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) i gvožđe(III)-hlorid heksahidrat ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) u molskom odnosu 1 : 2 (0.15 mol  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  i 0.30 mol  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), nakon čega je smeša mešana uz konstantno ukapavanje amonijum hidroksida. Tokom čitavog procesa trogrli balon je stajao u ultrazvučnom kupatilu. Kraj sinteze je označila promena boje iz narandžaste u crnu. Nakon sinteze, smeša je presuta u teflonske kivete koje su prenete u mikrotalasno-hidrotermalni reaktor (MWH, ETHOS 1, Advanced Microwave Digestion System, MILESTONE, Italy). Uzorak je postepeno zagrevan 10 minuta do  $100^\circ\text{C}$  i potom je 20 minuta održavan na istoj temperaturi. Pritisak u reakcionoj kiveri je podešen na 100 bara tokom čitavog procesa. Sadržaj iz teflonskih kivera je presut u laboratorijsku čašu. Gvožđe(II,III)-oksid ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) je ispiran destilovanom vodom do postizanja negativne reakcije za hloride (dokazna reakcija sa  $\text{AgNO}_3$ ) i sulfate (dokazna reakcija sa  $\text{BaCl}_2$ ) i smanjenja elektroprovodljivosti ispod  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

Uzorci vode za analizu i tretman uzeti su sa teritorije grada Zrenjanina i okolnih sela. Osam uzoraka je uzeto iz bunara dubine od 20 do 97 metara (šest bušenih, dva kopana), dok je jedan uzorak uzet iz vodovoda naselja Ečka. Kompletna fizičko-hemijska analiza je urađena na svih devet uzoraka, a uključila je sledeće parametre: temperaturu, miris, mutnoću, vrednost pH, elektroprovodljivost na  $20^\circ\text{C}$ , suvi ostatak na  $105^\circ\text{C}$ , sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ukupne fosfate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ukupno gvožđe ( $\text{Fe}^{2+/3+}$ ), mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ), kalcijum ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnezijum ( $\text{Mg}^{2+}$ ), stroncijum ( $\text{Sr}^{2+}$ ), natrijum ( $\text{Na}^+$ ), kalijum ( $\text{K}^+$ ), litijum ( $\text{Li}^+$ ), antimon ( $\text{Sb}^{3+}$ ), ukupni hrom (Cr), kadmijum ( $\text{Cd}^{2+}$ ), olovo ( $\text{Pb}^{2+}$ ), nikl ( $\text{Ni}^{2+}$ ), cink ( $\text{Zn}^{2+}$ ), bakar ( $\text{Cu}^{2+}$ ), kobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ), aluminijum ( $\text{Al}^{3+}$ ), silicijum ( $\text{Si}^{4+}$ ), bor ( $\text{B}^{3+}$ ), ukupni selen (Se) i ukupni arsen ( $\text{As}^{3+/5+}$ ). Temperatura je određena termometrom. Mutnoća je određena turbidimetrijski, pH vrednost potencimetrijski, elektroprovodljivost konduktometrijski i suvi ostatak gravimetrijski. Koncentracija sledećih parametara merena je ICP-OES analitičkom tehnikom (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) (Method 200.7, EPA 2001): aluminijum ( $\text{Al}^{3+}$ ), bor ( $\text{B}^{3+}$ ), sulfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ukupni fosfati ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), ukupno gvožđe (Fe), mangan ( $\text{Mn}^{2+}$ ), kalcijum ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ), bakar ( $\text{Cu}^{2+}$ ), magnezijum ( $\text{Mg}^{2+}$ ), stroncijum ( $\text{Sr}^{2+}$ ), natrijum ( $\text{Na}^+$ ), kalijum ( $\text{K}^+$ ), litijum ( $\text{Li}^+$ ), antimon ( $\text{Sb}^{3+}$ ), olovo ( $\text{Pb}^{2+}$ ), ukupni hrom (Cr), kadmijum ( $\text{Cd}^{2+}$ ), olovo ( $\text{Pb}^{2+}$ ), nikl ( $\text{Ni}^{2+}$ ) i ukupni arsen (As). Eksperimentalna merenja su urađena u Laboratoriji za analitičku hemiju, Hemijskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

Na uzorku sa najvišom koncentracijom arsena ( $217 \mu\text{g}/\text{L}$ ) primenjen je metod sorpcije. Korišćeni su optimalni parametri iz literature. Poznato je da je optimalno kontaktno vreme metode sorpcije sa gvožđe(II,III)-oksidom 2 sata, a pH vrednost između 2 i 8 (Marković 2018). U eksperimentu je korišćeno kontaktno vreme od 2 sata. Metoda je primenjena na vrednost pH 3 i 8, odnosno u kiseloj i baznoj sredini, vodeći se podacima iz literature o optimalnom opsegu vrednosti pH.

**Eksperimentalni postupak.** Odmereno je po 25 mL uzorka vode u osam plastičnih flašica. pH vrednosti uzoraka su podešene na 3 i 8 (po četiri flašice). Na obe serije voda, za pH vrednosti 3 i 8, dodate su četiri različite

mase sorbenta tako da je u tretiranom uzorku vode bilo 100, 500, 1000 i 2000 mg/L Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Uzorci vode su mučkani na šejkeru 2 sata nakon dodavanja sorbenta. Talog je odvojen pomoću magneta nakon isteka ovog vremena, a u odlivenom supernatantu je izmerena koncentracija arsena metodom ICP-OES.

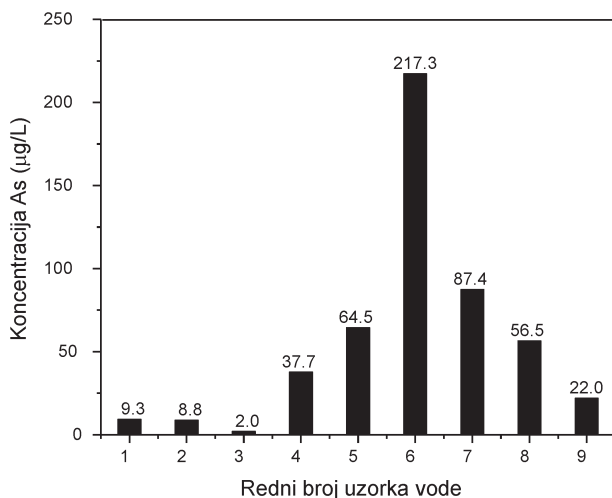
Prethodni postupak je ponovljen uz predtretman aktivnim ugljem. Pre podešavanja pH vrednosti, u uzorak vode je dodato 10 g granulisanog aktivnog uglja (GAC) u 1 litar uzorka vode. Uzorak vode je mučkan narednih 12 h kako bi deo organske materije bio uklonjen pomoću GAC-a.

## Rezultati i diskusija

Za potrebe naših istraživanja voda je uzorkovana iz bunara u Zrenjaninu i okolini, kao i iz vodovoda u selu Ečka. Bunari su bili različite dubine i starosti. Uzorkovano je ukupno devet uzoraka vode: (1) Ečka, 47 m; (2) Ečka, 45 m; (3) Ečka, vodovod (voda se uzima na dubini od oko 150 m); (4) Zrenjanin, 60 m; (5) Zrenjanin, 20 m; (6) Mihajlovo, 65 m; (7) Mihajlovo, 97 m; (8) Jankov Most, 90 m i (9) Zrenjanin, 64 m.

### Hemijska analiza voda sa šireg područja grada Zrenjanina

Urađena je kompletna fizičko-hemijska analiza svih 9 uzoraka. Svi uzorci su imali žutu boju i pH vrednost 7-8. Elektroprovodljivost u svim uzorcima je na gornjoj granici, osim u trećem i petom, gde prelazi MDK. U svim uzorcima su trostruko veće koncentracije bora (B) od MDK. Najviša koncentracija je u uzorku 4 i iznosi 1324 µg/L. Koncentracije gvožđa (Fe) su povišene u svim uzorcima, osim u trećem i osmom. Najveća koncentracija gvožđa izmerena je u uzorku broj pet i iznosi 4.77 mg/L. Mangan (Mn) prelazi dozvoljene koncentracije u uzorcima 5, 6 i 9. Najviše mangana (Mn) je u uzorku pet i iznosi 127.7 µg/L. Uočene su povišene koncentracije



Slika 1. Rezultati merenja koncentracije arsena (ppb) sa devet izvora vode: (1) Ečka, 47 m, (2) Ečka, 45 m, (3) Ečka, vodovod, oko 150 m, (4) Zrenjanin 1, 60 m, (5) Zrenjanin 2, 20 m, (6) Mihajlovo, 65 m, (7) Mihajlovo, 97 m, (8) Jankov Most, 90 m, (9) Zrenjanin 3, 64 m.

Figure 1. Results of arsenic concentration measurement (ppb) from nine water sources: (1) Ečka, 47 m, (2) Ečka, 45 m, (3) Ečka, water system, around 150 m, (4) Zrenjanin 1, 60 m, (5) Zrenjanin 2, 20 m, (6) Mihajlovo, 65 m, (7) Mihajlovo, 97 m, (8) Jankov Most, 90 m, (9) Zrenjanin 3, 64 m.

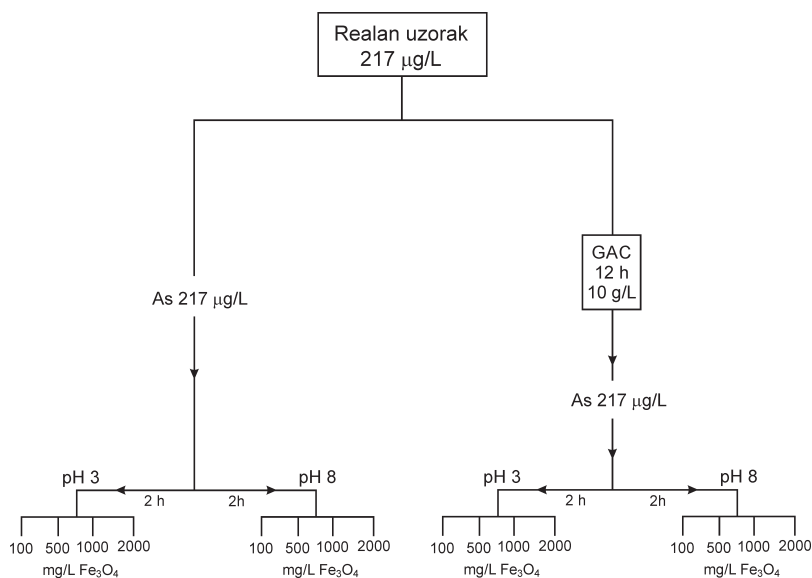
natrijuma (Na) i olova (Pb) u svim uzorcima. Najznačajnije odstupanje koncentracije olova (Pb) od MDK je u uzorku 6 (30.67  $\mu\text{g/L}$ ). Najviša koncentracija natrijuma (Na) je u uzorku broj 5 i iznosi 401.5 mg/L. U prvom, drugom, trećem, četvrtom i petom uzorku javljaju se povećane koncentracije selena (Se). U trećem uzorku je najviša izmerena koncentracija od 13.00  $\mu\text{g/L}$ . U svim uzorcima izmerene su povišene koncentracije ukupnih fosfata ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Peti uzorak je najopterećeniji fosfatima ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sa koncentracijom 9.56 mg/L. Koncentracija sledećih parametara ne prelaze MDK ni u jednom uzorku: aluminijum ( $\text{Al}^{3+}$ ), kalcijum ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kobalt ( $\text{Co}^{2+}$ ), bakar ( $\text{Cu}^{2+}$ ), magnezijum ( $\text{Mg}^{2+}$ ), stroncijum ( $\text{Sr}^{2+}$ ), kalijum ( $\text{K}^+$ ), litijum ( $\text{Li}^+$ ), antimon ( $\text{Sb}^{3+}$ ), ukupni hrom (Cr), kadmijum ( $\text{Cd}^{2+}$ ), olovo ( $\text{Pb}^{2+}$ ) i nikel ( $\text{Ni}^{2+}$ ).

Ukupna koncentracija arsena je na šest uzoraka iznad MDK (10  $\mu\text{g/L}$ ), slika 1. Na gornjoj granici dozvoljne koncentracije su uzorci jedan i dva, uzeti u naselju Ečka. Najnižu koncentraciju ima Ečki vodovod koji doprema vodu sa teritorije van Zrenjanina (2  $\mu\text{g/L}$ ). Najviša izmerena koncentracija arsena je 217.3  $\mu\text{g/L}$  u vodi u predgrađu Mihajlovo (uzorak 6). U odnosu na MDK, koncentracije arsena (As) su povišene između 2 i 20 puta.

Nakon urađene hemijske analize voda, odabran je uzorak sa najvišom koncentracijom arsena koji je korišćen u daljem radu.

## Otklanjanje arsena iz voda sorpcijom na nanočestičnom magnetitu

Na slici 2 je prikazan algoritam eksperimenta sorpcije arsenovih jedinjenja pomoću magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Eksperiment sorpcije rađen je na dva načina, sa i bez predtretmana. Izabran je uzorak vode sa najvišom kon-



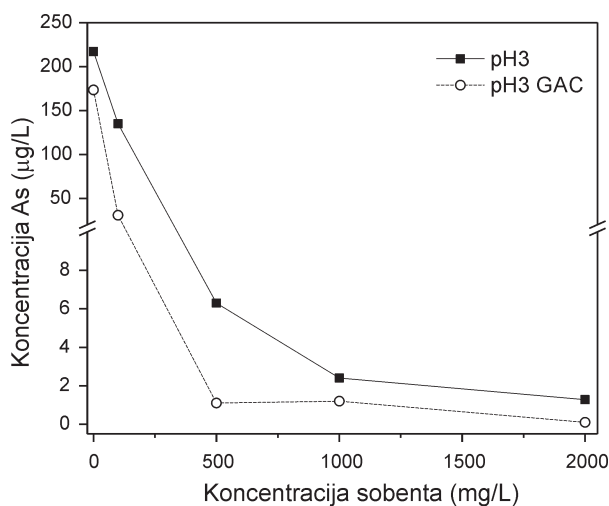
Slika 2.  
Šematski prikaz eksperimenata sorpcije arsenovih jedinjenja pomoću magnetita,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Figure 2.  
Schematic representation of sorption experiments of arsenic compounds with the help of magnetite nanoparticles,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

centracijom arsenovih jedinjenja i na njemu je ispitivana efikasnost sorpcije nanomaterijala. Osim uticaja predtretmana, rađena je optimizacija koncentracije sorbenta i ispitivan uticaj vrednosti pH sredine na sorpciju, šematski prikaz na slici 2.

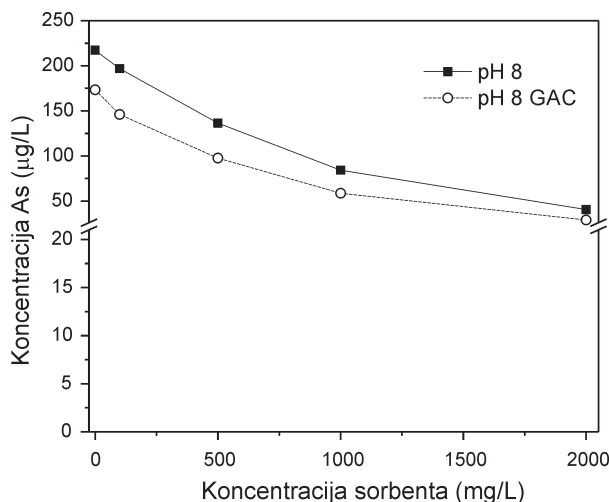
Za predtretman je korišćen granulisani aktivni ugalj (GAC). U uzorak vode koji je imao 217.3  $\mu\text{g/L}$  As, dodata je odgovarajuća količina GAC tako da je njegova koncentracija u vodi iznosila 10 g/L. Dobijena suspenzija je mešana 12 sati. Nakon ovog tretmana koncentracija arsena je bila 173.4  $\mu\text{g/L}$  As. Ovim je pokazano da sam GAC sorbuje arsen i smanjuje njegovu koncentraciju za 20%.

Eksperimenti su rađeni na identičan način na uzorku sa predtretmanom, kao i na netretiranom uzorku. Ispitivan je uticaj različitih koncentracije sorbenta na vrednostima pH 3 i na pH 8. Kisela i bazna sredina su izabrane na osnovu ranijih rezultata (Marković 2018). Takođe, koncen-



Slika 3. Koncentracija arsena u uzorku nakon primene metode sorpcija/GAC+sorpcija sa različitim koncentracijama sorbenta u uzorku vode na vrednost pH 3

Figure 3. Arsenic concentration in the sample after application of the sorption method/GAC + sorption with different sorbent concentrations in the water sample at pH 3



Slika 4. Koncentracija arsena u uzorku nakon primene metode sorpcija/GAC+sorpcija sa različitim koncentracijama sorbenta u uzorku vode na vrednost pH 8 (MDK = 10 mg/L za arsen)

Figure 4. Arsenic concentration in the sample after application of the sorption method/GAC + sorption with different sorbent concentrations in the water sample at pH 8 (MPC = 10 mg/L for arsenic)

tracije sorbenta  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  od 100, 500, 1000 i 2000 mg/L u vodi koja je tretirana, su izabrane imajući u vidu ranija istraživanja (Marković 2018). Vreme sorpcije je bilo 2 h u svakom eksperimentu. Dobijeni rezultati nakon tretmana sorpcije arsena bez i sa predtretmanom su prikazani na slikama 3 i 4.

Efikasnost metode, odnosno sorbenta može da se izrazi u procentima otklonjenog arsena u odnosu na početnu koncentraciju. Rezultati pokazuju da je arsen otklonjen preko 97% sa koncentracijom sorbenta preko 500 mg/L na vrednost pH 3, pri čemu je procenat prečišćavanja koji uključuje predtretman sa GAC iznad 99.5%. Ovo poboljšanje koje uključuje predtretman sa GAC se može objasniti ometajućim uticajem nekih organskih materija u vodi koje se sorbuju upotrebom GAC, i koje predstavljaju smetnju za sorpciju arsena na magnetitu. Najlošije otklanjanje arsena iz vode pri uslovima koji su ispitivani je u uzorku na vrednost pH 8 sa primenjenom koncentracijom sorbenta od 100 mg/L. Postoji primetna razlika između efikasnosti uklanjanja arsena u kiseloj i baznoj sredini, s obzirom na to da ni u jednom ispitivanom slučaju na vrednost pH 8 nije bilo većeg prečišćavanja od 77%. U baznoj sredini koncentracija sorbenta bi trebala da bude iznad 2000 mg/L kako bi koncentracija arsena posle tretmana možda bila ispod MDK, što je u krajnjem slučaju neisplativo za upotrebu.

Poslednji rezultat se objašnjava činjenicom da se arsen u vodi nalazi u dva valentna stanja, As(III) i As(V), u obliku negativnih oksojona ( $\text{AsO}_3^{3-}$ , arsenit i  $\text{AsO}_4^{3-}$ , arsenat), i dominantno se sorbuju elektrostatičkom interakcijom na pozitivno naelektrisanim sorbentima. U kiseloj sredini  $\text{H}^+$  joni se nalaze na površinskom sloju sitnih čestica (nanočestica) sorbenta  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , i zajedno sa jonima  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  čine pozitivan omotač koji privlači negativna jedinjenja arsena. Obrnuto, višak  $\text{OH}^-$  jona u baznoj sredini formira negativan površinski sloj na nanočestici, čime je sorpcija arsenovih jedinjenja slaba, odnosno dolazi do elektrostatičkog odbijanja sorbenta i negativnih jona arsena.

Rezultati ukazuju da je materijal koji je sintetisan i korišćen kao sorbent efikasan za otklanjanje arsena iz prirodnih voda u kiseloj sredini. Kako korišćen material ima magnetna svojstva, može se posle tretmana sorpcije jednostavno, efikasno i bez utroška energije lako odvojiti spoljnim magnetima iz vode koja je tretirana, čime se dobija čista voda. Takođe, može se uraditi reciklaža sorbenta, pa se isti material može koristiti za ponovnu upotrebu kao sorbent, tako što se zajedno sa sorbovanim jedinjenjima arsena ispira u baznoj sredini, kada dolazi do desorpcije arsenovih jedinjenja sa površine sorbenta.

## Zaključak

Istraživanjem je pokazano da se iz prirodnih voda sa povišenim sadržajem arsena, arsen može ukloniti primenom metode sorpcije uz upotrebu nanočestica magnetita kao sorbenta. Koncentracija arsena se u vodi za piće na ovaj način može sniziti do vrednosti ispod MDK (10  $\mu\text{g/L}$ ), ukoliko se metoda sorpcije primeni na pH vrednosti 3, uz minimalnu koncentraciju primenjenog sorbenta od 500 mg/L tokom kontaktnog vremena

od 2 sata. Predtretman vode granulisanim aktivnim ugljem (10 g/L, 12 sati) povećava efikasnost metode, jer snižava početne koncentracije As u vodi, pa time povećava efikasnost ukupnog otklanjanja arsena iz vode. Primenom metode sorpcije uz upotrebu magnetita kao sorbenta na vrednosti pH 8, ne može se postići smanjenje koncentracije arsena u vodi ispod MDK za vodu za piće čak ni pri primeni 2000 mg/L sorbenta i predtretmanom vode granulisanim aktivnim ugljem.

**Zahvalnost.** Veliku zahvalnost dugujem mojim mentorima dr Biljani Dojčinović i dr Dejanu Grujiću na svim smernicama i pomoći u radu, izuzetna je čast imati ih kao podršku. Takođe se zahvaljujem MSc. Miladi Novaković sa Visoke tehničke škole strukovnih studija u Zrenjaninu koja je odvojila vreme da nam pomogne na terenu i upoznala nas sa lokalnim stanovništvom. Zahvaljujem se Anđeli Aćimović, učenici Prve gimnazije u Beograd, koja je pomogla pri terenskom radu.

---

## Literatura

- Dalmacija B. 2009. *Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini*. Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu – Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju
- Hughes M. F. 2002. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*, **133**: 1–16.
- Jovanović D., Jakovljević B., Rašić-Milutinović Z., Paunović K., Peković G., Knežević T. 2011. Arsenic occurrence in drinking water supply systems in ten municipalities in Vojvodina Region, Serbia. *Environmental Research*, **111** (2): 315.
- Mandal B. K., Suzuki K. T. 2002. Arsenic around the world: a review. *Talanta*, **58** (1): 201.
- Marković M. 2018. Primena nanomaterijala na bazi magnetite za adsorpciju neorganskog As(III) i As(V) iz podzemnih voda. Master rad. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositaja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
- EPA (Environmental Protection Agency) 2001. Method 200.7, Revision 5.0, January 2001. Trace Elements in Water, Solids, and Biosolids by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. U.S. Environmental Protection Agency Office of Science and Technology Ariel Rios Building 1200 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, D.C. 20460.
- Oreščanin V. 2013. *Arsen u vodama – porijeklo, toksični učinak i metode uklanjanja*. Zagreb: Napredna energija
- Ratnaike R. N. 2003. Acute and chronic arsenic toxicity. *Postgraduate Medical Journal*, **79** (933): 391.



---

*Sara Antić*

## Presence of Arsenic in Water Objects in the Wider Area of Zrenjanin Municipality and Its Removal by the Sorption Method Using Magnetite Nanoparticles

The paper presents the research results of the possibility of purifying groundwater with a high content of arsenic by the sorption method on the nanomaterial magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). It has been found that the water samples from the wells in Zrenjanin and its surroundings have a content of arsenic above the maximum permissible concentration (MPC), i.e. over the allowed limit of  $10 \mu\text{g/L}$ . Magnetic nanomaterial ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) was synthesized by the co-precipitation method with final microwave hydrothermal treatment and it was used as a sorbent for arsenic in a water sample from a well in the Mihajlovo village containing  $217 \mu\text{g/L}$  of arsenic. It has been shown that arsenic concentration can be reduced below MPC at pH 3 with a sorbent concentration above  $500 \text{ mg/L}$  with a contact time of 2 hours. Better results are obtained if water is pre-treated with granular activated carbon (GAC). By applying the sorption method using the  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanomaterial as a sorbent at a pH of 8, a reduction of the arsenic concentration in water below the MPC for drinking water cannot be achieved, even with sorbent concentration of  $2000 \text{ mg/L}$  with pre-treatment of water with granular activated carbon. The results of the study indicate that  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  is a good sorbent material for arsenic in contaminated water, and as a magnetic material it can be easily removed from the water by using an external magnet, recycled and re-used.

