

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

XIV SRPSKI SIMPOZIJUM  
O HIDROGEOLOGIJI  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNIK RADOVA**



ZLATIBOR  
17-20. maj 2012. godine



**XIV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI**  
sa međunarodnim učešćem  
**ZBORNİK RADOVA**

**IZDAVAČ:**

Univerzitet u Beogradu  
Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7

**ZA IZDAVAČA:**

Prof. dr Vladica Cvetković, dekan  
Rudarsko-geološki fakultet

**TEHNIČKI UREDNICI:**

Nevena Savić, dipl. inž.  
Marina Jovanović, dipl. inž.

**TIRAŽ:**

150 primeraka

**ŠTAMPA:**

Štamparija Grafik Centar

Na 123. sednici Nastavno-naučnog veća Departmana za hidrogeologiju doneta je odluka o organizaciji XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, koja je utvrđena saglasnošću Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta od 24.05.2011.

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Narodna biblioteka Srbije, Beograd  
556.3(082)

SRPSKI simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem (14 ; 2012 ; Zlatibor)  
Zbornik radova XIV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem,  
Zlatibor, 17-20. maj 2012. godine /  
[organizator Rudarsko-geološki fakultet ... et al.]. - Beograd : #Univerzitet,  
#Rudarsko-geološki fakultet, 2012 (Beograd : Grafik centar).  
- [18], 642 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Tiraž 150. - Str. [7-8]:  
Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. -  
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-236-4

a) Hidrogeologija - Zbornici  
COBISS.SR-ID 190619660

## ORGANIZACIONI ODBOR:

### Predsednik:

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### Organizacioni sekretari:

*Nevena Savić, dipl. inž.*

*Đuro Milanković, dipl. inž.*

### Članovi:

1. *Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.*
3. *Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.*
4. *Dr Milovan Rakijaš, dipl. inž.*
5. *Mihajlo Mandić, dipl. inž.*
6. *Zoran Danilović, dipl. inž.*
7. *Dragan Mitrović, dipl. inž.*
8. *Nenad Toholj, dipl. inž.*
9. *Vladan Kocić, dipl. inž.*
10. *Dejan Drašković, dipl. inž.*
11. *Ivan Đokić, dipl. inž.*
12. *Zorica Vukićević, dipl. inž.*
13. *Ivana Demić, dipl. inž.*
14. *Neda Dević, dipl. inž.*
15. *Uroš Urošević, dipl. inž.*
16. *Tibor Slimak, dipl. inž.*
17. *Dušan Đurić, dipl. inž.*
18. *Mihajlo Kurela, dipl. inž.*

## NAUČNI ODBOR:

### Predsednik:

*Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.*

### Članovi:

1. *Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Adam Dangić, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.*
4. *Prof. dr Budimir Filipović, dipl. inž.*
5. *Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.*
6. *Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.*
7. *Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.*
8. *Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.*
9. *Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*
10. *Prof. dr Slobodan Vujasinović, dipl. inž.*
11. *Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž.*
12. *Prof. dr Milojko Lazić, dipl. inž.*
13. *Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.*
14. *Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž.*
15. *Prof. dr Mihailo Milivojević, dipl. inž.*
16. *Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.*
17. *Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.*
18. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
19. *Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.*
20. *Mr Milena Zlokolica Mandić, dipl. inž.*

## REDAKCIONI ODBOR:

### Članovi:

*Prof. dr Zoran Stevanović, dipl. inž.*

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

*Doc. dr Vesna Ristić-Vakanjac, dipl. inž.*

*Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.*

*Doc. dr Igor Jemcov, dipl. inž.*

**ORGANIZATOR SIMPOZIJUMA:**

*UNIVERZITET U BEOGRADU*

*RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET*

*DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU*

*u saradnji sa*

*DRUŠTVOM GEOLOŠKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE*

*SRPSKIM GEOLOŠKIM DRUŠTVOM*

*NACIONALNIM KOMITETOM IAH*

**SPONZORI:**

**GENERALNI SPONZOR:**

**Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi"**

**POKROVITELJ:**

**Opština Čajetina**

**SPONZORI:**

SIEMENS d.o.o.

REHAU d.o.o.

GRAD ČAČAK

**DONATORI:**

Departman za hidrogeologiju, Rudarsko-geološki fakultet

„BeoGeoAqua“ d.o.o.

"HidroGeoEko Inženjering" d.o.o.

„Geo ing system“ d.o.o.

„Hidro-geo rad“ d.o.o.

„Geco-inženjering“ d.o.o.

Republički zavod za geološka istraživanja, Republika Srpska

„Zlatibor voda“

„Mašinoprojekt KOPRING“ a.d.

## ARSEN U PODZEMNIM VODAMA ZA VODOSNABDEVANJE VOJVODINE

## ARSENIC IN GROUNDWATER FOR WATER SUPPLY IN VOJVODINA

Marina Ćuk<sup>1</sup>, Maja Todorović<sup>1</sup>, Jana Stojković<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000 Beograd  
E-mail: marinacuk@ymail.com, maja.todorovic87@ymail.com, janastojkovic@gmail.com

**APSTRAKT:** Vodosnabdevanje stanovništva na prostoru Vojvodine organizovano je zahvatanjem podzemne vode bušenim bunarima. Najveći deo podzemnih voda Vojvodine pokazuje nezadovoljavajući hemizam, što je posledica složenosti geoloških i hidrohemijskih uslova. Visoka alkalnost ovih voda, mala tvrdoća, visok sadržaj prirodnih organskih materija i visoka koncentracija arsena su generalne odlike ovih voda. Jedan od najvećih problema vezanih za vodosnabdevanje na teritoriji Vojvodine ogleda se u povećanim koncentracijama arsena. Na osnovu 400 hemijskih analiza podzemnih voda za vodosnabdevanje, urađena je hidrohemijska karta podzemnih voda sa aspekta reonizacije arsena, na kojoj se kao najugroženija područja izdvajaju zapadna Bačka i srednji Banat. Najkritičnija situacija je u Subotici, Zrenjaninu i Kikindi, sa koncentracijama arsena i preko 200 µg/L. U južnom Banatu (Vršac, Kovin, Bela Crkva) nisu zabeležene povišene koncentracije ovog toksičnog elementa. Područje Srema se izdvaja po kvalitetnijoj podzemnoj vodi, i na ovom području koncentracije arsena su u okviru dozvoljenih vrednosti u vodi za piće.

**Ključne reči:** arsen, podzemna voda, vodosnabdevanje, hidrohemija, Vojvodina

**ABSTRACT:** The water supply for the population of Vojvodina is provided by ground water catchment by drilled wells tapping two water-bearing horizons. The major part of groundwater of Vojvodina shows unsatisfactory chemism, which is the consequence of the complexity of geological and hydrochemical characteristics. The high alkalinity of this water, low hardness, the high content of natural organic matters and the high concentration of arsenic are general characteristics of this water. Increased arsenic concentrations which in some cases exceed, significantly, allowed concentrations of this element in drinking water represent one of the biggest problems related to the water supply in Vojvodina. On the basis of 400 chemical analyses of groundwater, a hydrochemical map of groundwater from the aspect of arsenic zoning was made in which western Bačka and middle Banat are singled out as the most endangered regions. The most critical situation is in Subotica, Zrenjanin and Kikinda with concentrations that even exceed those values. In southern Banat (Vršac, Kovin, Bela Crkva) increased concentrations of this toxic element have not been recorded. The region of Srem is singled out by its qualitative groundwater, and in this region the concentrations of arsenic in drinking water are within the frame of allowed values.

**Key words:** arsenic, groundwater, water supply, hydrochemistry, Vojvodina

## 1. UVOD

Arsen u životnoj sredini može biti geološkog ili antropogenog porekla, a njegov transport se vršiputem vode. Problem uklanjanja arsena iz plitkih izdani je raširen, naročito nakon što su EPA (US Environmental Protection Agency, 2001) i drugimeđunarodni standardi smanjili MDK arsena u vodi za piće sa 50 na 10  $\mu\text{g/L}$  (66 FR 6976 / 22. januar 2001.)

U prirodnim vodama arsen je uglavnom zastupljen u svom neorganskom obliku, koji se nalazi u vodama kao As(III) i As(V). Jedinjenja As(III) su toksičnija od oblika koje formira As(V), zbog čega je važno da se odredi zastupljenost oba tipa arsena. As(V) je najčešće zastupljen u jonskom obliku ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  i  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ), dok je As(III) zastupljen u molekularnoj formi ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) (Marković D. i dr, 2008).

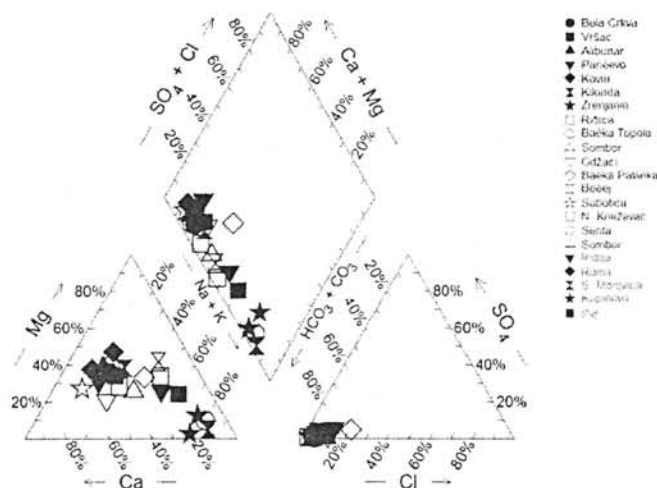
Arsen je redoks-senzitivan element i na njegovu sudbinu i na oblike nalaženja u prirodnoj sredini utiču: pH vrednost sredine, redoks-potencijal, distribucija drugih jonskih oblika, hemizam vodene sredine, prisustvo organskih materija i mikrobiološka aktivnost. Identifikovan je veći broj štetnih efekata arsena na zdravlje ljudi, kao što su promene na koži, efekti na kardiovaskularni i respiratorni sistem, neurološki efekti, pojava kancera kože i drugih organa (Petruševski B. i dr, 2005). Zbog svoje raširenosti u vodi za piće, kao i zbog navedenog štetnog dejstva na zdravlje ljudi, arsen predstavlja predmet mnogih istraživanja.

## 2. METODE

Analize sadržaja arsena u podzemnoj vodi su vršene u bunarima za vodosnabdevanje stanovništva na teritoriji Vojvodine. Analize su urađene od strane Geozavoda (Mandić, M. 2004), Rudarsko-geološkog fakulteta iz Beograda (Papić P., 2005), kao i Prirodno-matematičkog fakulteta iz Novog Sada (Dalmacija B., 2008). Za izradu hidrohemijske karte urađena je statistička obrada više od 400 hemijskih analiza podzemnih voda, pri čemu je korišćen program za statistiku IBM SPSS 19.0. Podaci su statistički obrađeni i grafički interpretirani po izvoristima i naseljenim mestima. Hidrohemijska karta reonizacije arsena u podzemnoj vodi za vodosnabdevanje Vojvodine je urađena u ESRI-jevom paketu ArcGIS 9.3, u razmeri 1:650 000.

## 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Za potrebe vodosnabdevanja u Vojvodini koriste se isključivo podzemne vode. U hidrogeološkom smislu ovo područje se sastoji od neogenih i kvartarnih naslaga velike debljine sa brojnim vodonosnim sredinama različitog strukturnog tipa poroznosti i rasprostranjenosti. U pogledu kvaliteta ovih voda smatra se da su one uslovno lošeg kvaliteta, ali se tehnološkim postupcima mogu dovesti na zakonom propisan kvalitet vode za piće (Dalmacija B., 2009).



Slika 1. Trilinearni Piperov dijagram hemijskog sastava podzemnih voda Vojvodine  
Figure 1. Piper diagram of the chemical composition of groundwater in Vojvodina

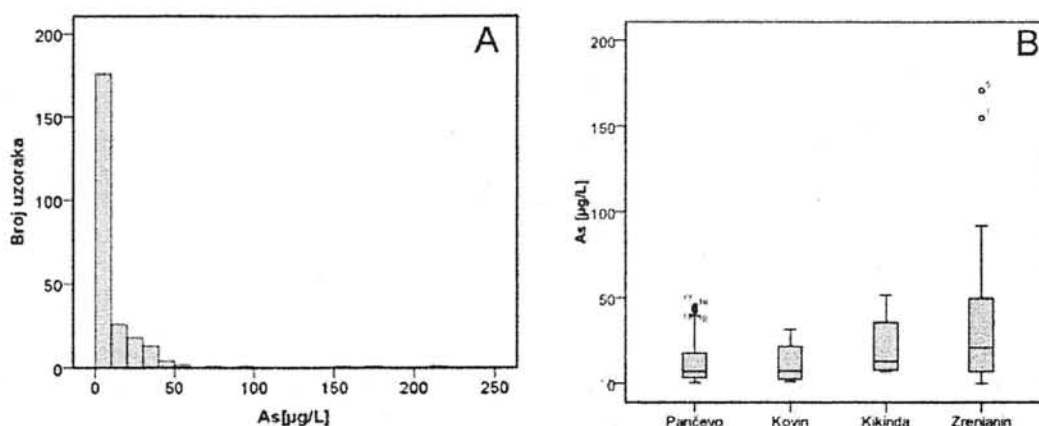
Na slici 1 je prikazan osnovni hemizam podzemnih voda za vodosnabdevanje Vojvodine. Od parametara koji ne zadovoljavaju propisane vrednosti u vodi za piće ističu se gvožđe, amonijum jon i arsen. U tabeli 1 prikazani su osnovni statistički parametri koncentracije arsena u vodi za piće na osnovu obrađenih analiza podzemnih voda Vojvodine.

**Tabela 1.** Statistički parametri koncentracije arsena u podzemnoj vodi za vodosnabdevanje Vojvodine (IBM SPSS 19.0)**Table 1.** Statistical parameters of arsenic concentrations in groundwater for water supply in Vojvodina (IBM SPSS 19.0)

	Banat	Bačka	Srem
Broj uzoraka	244	146	64
Minimum	0	0	0
Maksimum	217	210	48
Sr.vrednost	11.07	43.55	6.60
Std. Devijacija	23.19	41.67	7.06
Varijansa	537.72	1736.26	49.87

## Banat

Na osnovu hidrohemijskih ispitivanja arsena, iz 244 bunara u Banatu, izdvajaju se Zrenjanin i Kikinda kao najugroženija područja sa izuzetno visokim koncentracijama arsena, koje u pojedinim bunarima i do 20 puta prelaze MDK arsena u vodi za piće. Ove vode se izdvajaju i po svom hemijskom sastavu od ostalog dela Banata, i pripadaju natrijum-hidrokarbonatnom tipu (Slika 1), a dominira njihov alkalni karakter (pH=7.4-8.9). Boja vode je uglavnom žuta i uslovljena je visokim sadržajem organskih materija prirodnog porekla (utrošak  $\text{KMnO}_4$  je 14-95 mg/L), što ukazuje na prisustvo huminskih i fulvo kiselina.



**Slika 2.** A) Histogram koncentracije arsena u podzemnim vodama Banata, B) Vrednosti arsena u vodi za piće u pojedinim gradovima Banata: minimalne, maksimalne vrednosti sa medijanom

**Figure 2.** A) Distribution of mean arsenic concentrations in water supply systems in Banat District, B) The values of arsenic in drinking water in some cities in Banat: minimum, maximum values of the median

Uzrok hemijske neispravnosti podzemnih voda južnog Banata uglavnom predstavljaju povišene koncentracije gvožđa i mangana, a na nekim lokacijama amonijum jon prelazi dozvoljene vrednosti. U bunarima u okolini Vršca, Alibunara i Kovina nisu zabeležene povišene koncentracije arsena u vodi za vodosnabdevanje. U Kovačici, od analiziranih 17 bunara samo u jednom bunaru koncentracija arsena prelazi MDK, a u pitanju je najbliži bunar koji sa 32 m dubine zahvata vodu prve (slobodne) izdani.

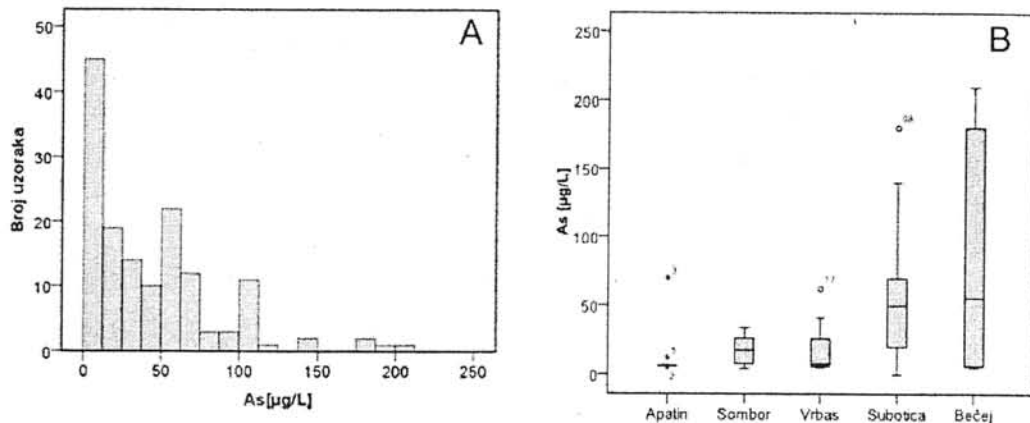
U južnom Banatu, po visokim koncentracijama arsena izdvaja se Pančevo. Vodosnabdevanje ovog grada se vrši iz centralizovanog vodovodnog sistema sa tri izvorišta (Sibnica, Gradska šuma, Filter). Bunari na ovim izvorištima zahvataju podzemnu vodu iz prve izdani. Koncentracije arsena su od 1.1  $\mu\text{g/L}$  do 45.5  $\mu\text{g/L}$  u vodi za piće i najveći broj uzoraka ne prelazi 10  $\mu\text{g/L}$ .

Sa histograma (Slika 2A) se uočava da 175 (71%) uzoraka podzemnih voda ima koncentraciju arsena manju od 10  $\mu\text{g/L}$  arsena, i to su najvećim delom vode iz južnog Banata, dok se na području srednjeg Banata izdvajaju najviše koncentracije arsena u vodi za piće (Slika 2B).

## Bačka

Područje severne Bačke snabdeva se vodom najvećim delom preko organizovanih centralizovanih gradskih vodovodnih sistema. Manja, seoska naselja snabdevaju se vodom iz lokalnih izvorišta. Većina bunara u Severnobačkom okrugu kaptira prvu izdan i zahvata vode sa intervala 70-207 m od površine terena (Dalmacija B., 2009). Što se tiče prostora zapadne Bačke vode iz kvartarnih naslaga kaptiraju se sa dubina od 26 - 134 m od površine terena, dok se neogene naslage na ovom prostoru kaptiraju sa dubina od oko 105 - 150 m (Zdravković

J., 2008). U ovim podzemnim vodama se nalazi relativno mala količina organskih materija i huminskih kiselina sa prihvatljivim stepenom obojenosti. Mešanjem voda u pojedinim bunarima, zahvatanjem vode iz plitkih i dubokih izdani dolazi do određenog poboljšanja kvaliteta. Vode dublje, neogene izdani u Severnobačkom okrugu i zapadnoj Bačkoj, karakterišu povećani sadržaji sulfata i hlorida (i do 50 %ekv), dok su koncentracije hlorida u kvartarnim naslagama šire okoline Subotice izuzetno niske (do 5 mg/l)(Mandić M. i dr. 2005).



**Slika 3. A)** Histogram koncentracije arsena u podzemnim vodama Bačke, **B)** Vrednosti arsena u vodi za piće u pojedinim gradovima Bačke: minimalne, maksimalne vrednosti sa medijanom  
**Figure 3. A)** Distribution of mean arsenic concentrations in water supply systems in Backa District, **B)** The values of arsenic in drinking water in some cities in Backa: minimum, maximum values of the median

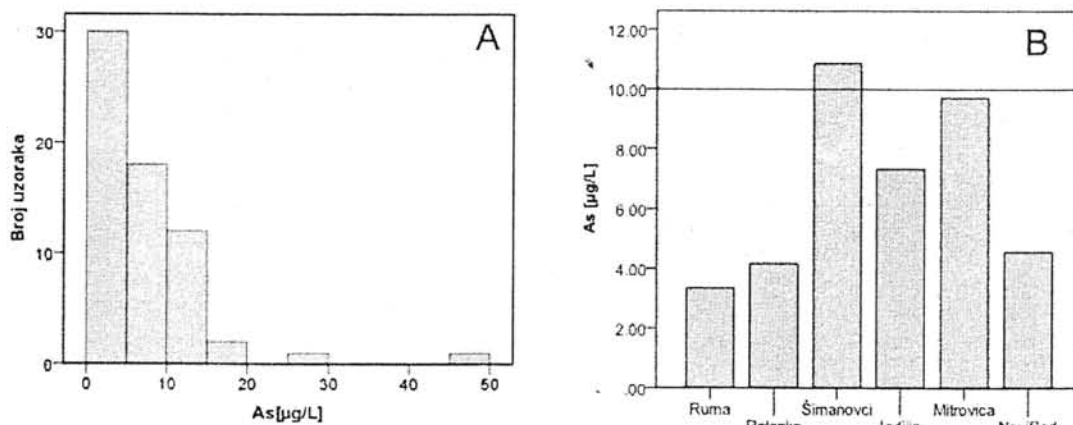
Najveći broj uzoraka (98 analiza - 67%) pripada izvoristima u severnoj Bačkoj: Subotica, Palić, Bački vinogradi, Bajmok, Čantavir, Đurđin, Mišičevo, Mala Bosna, Kelebija, Novi Žednik, Stari Žednik, Višnjevac, Zmajev i Kula Horgoš (Zdravković J., 2008).

Na osnovu histograma se uočava da je samo 46 uzoraka podzemnih voda imalo koncentraciju arsena ispod 10 µg/L (Slika 3A).

Najviša koncentracija arsena u podzemnim vodama, na području Bačke, registrovana je u bunaru B 1-6, u Novom Bečeju, koja je iznosila 220 µg/L, dok na području Apatina, Sombora, Vrbasa i Bačke Topole koncentracije arsena retko prelaze MDK (Slika 3B).

## Srem

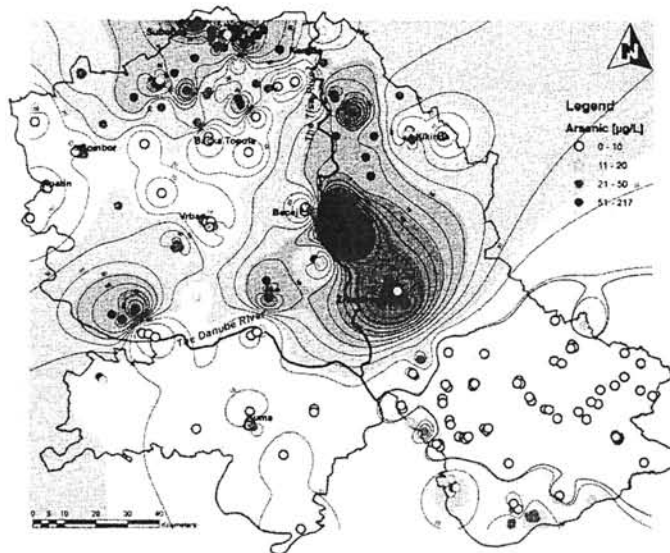
Kvalitet voda koje se zahvataju za vodosnabdevanje Srema je znatno bolji, u odnosu na Banat i Bačku. Uzroci fizičko-hemijske neispravnosti podzemnih voda na području Srema su najčešće povišene koncentracije gvožđa i mangana (Mandić M. i dr 2008). Ovaj deo Vojvodine gotovo da nema koncentracije arsena iznad maksimalne dozvoljene vrednosti u vodi za piće, što je uzrokovala drugačija geološka građa sedimenata iz kojih se zahvata podzemna voda za vodosnabdevanje. U pojedinim uzorcima vode za piće u Šimanovcima je ustanovljena povećana koncentracija arsena (Slika 4).



**Slika 4. A)** Histogram koncentracije arsena u podzemnim vodama Srema, **B)** Srednje vrednosti arsena u vodi za piće u pojedinim gradovima Srema  
**Figure 4. A)** Distribution of mean arsenic concentrations in water supply systems in Srem District, **B)** The values of arsenic in drinking water in some cities in Srem District



Rezultat obrade hemijskih analiza podzemnih voda za vodosnabdevanje Vojvodine je Prognozna hidrohemijaska karta reonizacije arsena (Slika 5).



Slika 5. Prognozna hidrohemijaska karta reonizacije arsena u podzemnim vodama za vodosnabdevanje Vojvodine  
Figure 5. Prognostic hydrochemical map with arsenic zoning of cities in Vojvodina

#### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izrađene hidrohemijanske karte reonizacije arsena u podzemnoj vodi za vodosnabdevanje Vojvodine, jasno se mogu uočiti gradovi koji imaju problem sa vodosnabdevanjem zbog povišenih koncentracija arsena u vodi za piće. Kao najugroženija područja mogu se izdvojiti Zrenjanin, Kikinda, Pančevo, Bečej i Subotica, odnosno srednji Banat i severna Bačka, sa koncentracijama arsena koje i do nekoliko puta prelaze propisanu vrednost od 10 µg/L u vodi za piće. U južnom Banatu (Vršac, Kovin, Bela Crkva) nisu zabeležene povišene koncentracije ovog toksičnog elementa. Područje Srema ima najkvalitetniju vodu za piće, u odnosu na druge delove Vojvodine.

#### LITERATURA:

- DALMACIJA B., 2008: *Monitoring arsena u vodi bunara za vodosnabdevanje stanovništva na području Južnog Banata*
- DALMACIJA B., 2009: *Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda u AP Vojvodini* - Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju:
- EPA United States Environmental Protection Agency, 2006: <http://water.epa.gov>
- <http://www.eko.vojvodina.gov.rs/files/file/dokumenti/sajt%20strategija%20vodosnabdevanja%20i%20zastite%20voda%20apv.pdf>
- <http://www.eko.vojvodina.gov.rs/files/file/monitoring/voda/2008/juzni%20banat%20arsen%202008.pdf>
- MANDIĆ M., 2004: *Analiza kvaliteta podzemnih voda sa aspekta njihovog korišćenja za vodosnabdevanje - Gepzavod, Izveštaj II faze, Beograd*
- MANDIĆ M., PAPIĆ P., 2005: *Prilog poznavanju Kvalitativnih svojstava podzemnih voda Vojvodine – 14. Kongres geologa Srbije i Crne Gore, str 385-390, Novi Sad*
- MARKOVIĆ D., PACIĆ I., PETKOVIĆ S., UROŠEVIĆ D., 2008: *Arsen u životnoj sredini i mogućnosti smanjenja njegovog štetnog uticaja, Ecologica 15, str. 47-52.*
- PETRUŠEVSKI B., SHARMA S., SCHIPPERS J.C., 2005: *Arsen u vodi za piće - osnovna hemija, detekcija, standardi, rasprostranjenost i efekat na zdravlje, Voda i sanitarna tehnika 35, str 11-18.*
- ZDRAVKOVIĆ J., 2008: *Kvalitet podzemnih voda Severo-zapadne Bačke sa aspekta vodosnabdevanja - Diplomski rad, RGF, Beograd*