

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

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



**KOPAONIK- GRAND HOTEL & SPA**  
**14-17. septembar 2016. god**



**XV SRPSKI SIMPOZIJUM O HIDROGEOLOGIJI**  
sa međunarodnim učešćem

**ZBORNİK RADOVA**

**IZDAVAČ:**

Univerzitet u Beogradu  
Rudarsko-geološki fakultet  
Đušina 7, Beograd

**ZA IZDAVAČA:**

Prof. dr Dušan Polomčić, dekan  
Rudarsko-geološki fakultet

**TEHNIČKI UREDNICI:**

Dr Ana Vranješ, dipl.inž  
Milan Vukićević, dipl.inž  
Sonja Drobac

**TIRAŽ:**

150 primeraka

**ŠTAMPA:**

Štamparija Grafolik, Beograd 2016.

Naučno-nastavno veće Rudarsko-geološkog fakulteta na sednici održanoj 18.06.2015. dalo je saglasnost za organizovanje XV srpskog simpozijuma o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem u organizaciji Departmana za hidrogeologiju.

CIP - Katalogizacija u publikaciji - Narodna biblioteka Srbije, Beograd

556(082)  
628.1(082)

СРПСКИ симпозијум о хидрогеологији са међународним учешћем (15; 2016; Копаник)  
Zbornik radova / XV Srpski simpozijum o hidrogeologiji sa međunarodnim učešćem, Kopaonik 14-17. septembar 2016. godine. - Beograd : Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2016 (Beograd : Grafolik).  
- [22], 690 str. : ilustr.; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Departman za hidrogeologiju. - Radovi ćir.i lat. -  
Tiraž 150. - Str. [5-6]: Uvodna reč organizatora / Dejan Milenić, Zoran Stevanović. - Abstracts. - Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 978-86-7352-316-3

a) Хидрогеологија - Зборници b) Снабдевање водом - Зборници  
COBISS.SR-ID 225745420

## ORGANIZACIONI ODBOR:

### Predsjednik:

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### Generalni sekretar i sekretar organizacionog i naučnog odbora:

*dr Ana Vranješ, dipl. inž.*

### Članovi:

1. *Prof. dr Olivera Krunić, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Vesna Ristić Vakanjac, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
4. *Dr Vladimir Beličević, dipl. inž.*
5. *Dr Adam Dangić, dipl. inž.*
6. *Mihajlo Mandić, dipl. inž.*
7. *Velizar Nikolić, dipl. inž.*
8. *Dragan Mitrović, dipl. inž.*
9. *Dejan Drašković, dipl. inž.*
10. *Ivan Đokić, dipl. inž.*
11. *Branko Ivanković, dipl. inž.*
12. *Zorica Vukićević, dipl. inž.*
13. *Milan Radulović, dipl. inž.*
14. *Uroš Urošević, dipl. inž.*
15. *Zoran Radenković, dipl. inž.*

## NAUČNI ODBOR:

### Predsjednik:

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

### Članovi:

1. *Prof. dr Nenad Banjac, dipl. inž.*
2. *Prof. dr Petar Milanović, dipl. inž.*
3. *Prof. dr Nadežda Dimitrijević, dipl. inž.*
4. *Prof. dr Borivoje Mijatović, dipl. inž.*
5. *Prof. dr Milan Dimkić, dipl. inž.*
6. *Prof. dr Mićko Radulović, dipl. inž.*
7. *Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*
8. *Prof. dr Miloško Lazić, dipl. inž.*
9. *Prof. dr Veselin Dragišić, dipl. inž.*
10. *Prof. dr Milenko Pušić, dipl. inž.*
11. *Prof. dr Petar Papić, dipl. hem.*
12. *Prof. dr Zoran Nikić, dipl. inž.*
13. *Dr Milenko Vasiljević, dipl. inž.*
14. *Prof. dr Vojislav Tomić, dipl. inž. (u penziji)*
15. *Prof. dr Ivan Matić, dipl. inž. (u penziji)*
16. *Prof. dr Slobodan Vujasinović, dipl. inž. (u penziji)*
17. *Dr Metka Petrič, dipl. inž.*
18. *Dr Tamara Marković, dipl. inž.*
19. *Prof. dr Neđo Đurić, dipl. inž.*
20. *Dr Konstantin Jovanović, dipl. inž.*
21. *Jugoslav Nikolić, dipl. inž.*

## UREĐIVAČKI ODBOR:

### Predsjednici:

*Prof. dr Dušan Polomčić, dipl. inž.*

*Prof. dr Dejan Milenić, dipl. inž.*

### Članovi:

*Prof. dr Petar Dokmanović, dipl. inž.*

*Prof. dr Igor Jemcov, dipl. inž.*

*Nenad Toholj, dipl. inž.*

*Boban Jolović, dipl. inž.*

*Spasoje Glavaš, dipl. inž.*

*Ivana Demić, dipl. inž.*

*Žarko Veljković, dipl. inž.*

*Andrej Pavlović, dipl. inž.*

*Milan Vukićević, 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:***

**REHAU d.o.o.**

**G.P. KOMBO d.o.o.**

**THERMO OPTIMAL PROCESS COMPANY d.o.o.**

***POKROVITELJ:***

**MILLENNIUM TEAM**

***SPONZORI:***

DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

UNIVERZITET U BEOGRADU, RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

BEOGEOAQUA d.o.o.

GECO d.o.o.

INSTITUT ZA VODOPRIVREDU „JAROSLAV ČERNI“

SPA OVČA

***DONATORI:***

Ibis-Inženjering d.o.o.

Hidrogeocentar d.o.o.

## HIDROHEMIJSKI PODACI ISPOD GRANICE DETEKCIJE U HIDROGEOLOŠKIM ISTRAŽIVANJIMA VALUES BELOW DETECTION LIMIT IN HYDROCHEMICAL DATA

Maja Todorović<sup>1</sup>, Petar Papić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11 000, Beograd. E-mail: maja.todorovic87@gmail.com

**APSTRAKT:** Prilikom određivanja koncentracija hemijskih elemenata u podzemnim vodama, laboratorijski izveštaji često sadrže koncentracije označene kao "<GD" odnosno manje od granice detekcije instrumenta ili minimalne vrednosti koja se usled ograničenja metode mogla odrediti u posmatranom uzorku. Potpuno isključivanje ovakvih podataka iz daljih analiza bi dovelo do značajnog gubitka važnih informacija. Da bi se mogle vršiti statističke analize, neophodno je postojanje potpunog seta podataka, što bi u ovom slučaju značilo da se vrednosti navedene kao "<GD" zamene odgovarajućim brojevima bez matematičkog znaka (<). Metode zamene zavise od više faktora, a na primeru elemenata retkih zemalja (ERZ) u podzemnim vodama biće prikazana metoda zamene vrednosti <GD kao karakterističnog slučaja postojanja više granica detekcije (engl. multiple detection limit) i različitog procenta cenzurisanih podataka. Za potrebe ovog rada, analiziran je set podataka od 14 varijabli – koncentracija elemenata ERZ u 94 uzorka podzemnih voda, u okviru kojih se procenat nedetektovanih vrednosti kreće do 80%. Uzimajući u obzir preporuke USEPA (Agencija za zaštitu životne sredine Sjedinjenih Država (U.S. Environmental Protection Agency) za obradu cenzurisanih podataka primenjena je metoda ROS (engl. Robust regression on order statistics) primenom statističkog programa ProUCL 5.0. Termin elementi retkih zemalja se odnosi na grupu elemenata koji se nazivaju lantanidi (La–Lu) sa itrijumom. Ulaze u grupu ultramikrokomponenti hemijskog sastava podzemnih voda, jer se nalaze u izuzetno malim koncentracijama (< 1 µg/L).

**Ključne reči:** cenzurisani podaci, elementi retkih zemalja, statistička analiza, ROS, podzemne vode

**ABSTRACT:** When measuring the chemical content of a collection of samples, it is common that laboratories report concentrations of some analytes as values below detection limit (<DL). They represent low concentrations at which a certain analyte may be present, but it cannot be reliably detected due to limitations of the analytical method. A number of more or less principled approaches have been proposed for statistical analysis of data sets including <DL. The worst practice when dealing with nondetects is to exclude or delete them. Fabrication (substitution) is quick and easy method that adds an invasive signal to the data that was not previously there, potentially obscuring the information present in the measured observations. If efficient methods are used, the information extracted from censored observations is almost equal to that for data with single known values. The USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) suggests different approaches for replacing nondetects on the basis of their percentage in the data set and number of samples. In the situation where the percentage of nondetects is between 15%, and 80% it is recommended to impute nondetects with semi-parametric method called the robust regression on order statistics (ROS). It combines the values above the detection limit(s) with the information contained in the proportion of data below the detection limit(s) in order to reach a result. Data sets that contain the rare earth elements (REE) are characterized by the presence of values below the detection limit. This paper presents an overview of the method for treatment of censored data in case of REE.

**Key words:** censored data, rare earth elements, statistical analysis, ROS, groundwater

## UVOD

Prilikom određivanja komponenti hemijskog sastava podzemnih voda laboratorijski izveštaji često predstavljaju koncentracije pojedinih elemenata (analita) kao vrednosti ispod granice detekcije (< manje od GD) (Palarea-Albaladejo & Martín-Fernández, 2013). U literaturi ovakve vrednosti se još nazivaju levo cenzurisani podaci. Predstavljaju sadržaje elemenata u vodi kod kojih se ne može sa pouzdanošću odrediti tačna koncentracija usled ograničenja primenjene analitičke metode (Zhang & O'Connor, 2005). Prisustvo cenzurisanih vrednosti znatno otežava interpretaciju celog seta podataka.

Metoda koja je ranije bila u upotrebi je jednostavno isključivanje ove vrste podataka iz analiza, međutim ovakav pristup ne omogućava potpuni uvid u podatke i dovodi do gubitka značajnih informacija (Helsel, 2012). U okviru analize hemijskog sastava podzemnih voda, istraživači najvećim delom koriste metodu zamene granica detekcije brojčanom vrednošću, najčešće polovinom vrednosti GD (Helsel, 2006). Iako bolja od isključivanja cenzurisanih podataka, ova metoda za posledicu ima neosnovano dopisivanje brojeva, što donosi određeni nivo nepreciznosti i nepouzdanosti (uzimajući u obzir da se cenzurisana vrednost može naći između 0 i GD instrumenta). USEPA (2015) je dala određene preporuke za primene statističkih metoda u zavisnosti od procenta nedetektovanih vrednosti i broja uzoraka. Za te potrebe je razvila poseban softver - ProUCL. U radu će biti prikazana obrada cenzurisanih seta podataka na primeru koncentracija ERZ u uzorcima podzemnih voda sa teritorije Srbije.

Razvoj analitičkih metoda doprineo je širenju spektra detektovanih hemijskih elemenata u vodama. Donedavno, elementi iz grupe ultramikrokomponenti (posebno ERZ), nisu bili određivani u podzemnim vodama. ERZ predstavljaju IIIB grupu periodnog sistema elemenata i čine je prelazni element Y i unutrašnji prelazni elementi tj. lantanidi (La-Lu) (McLennan, 1999). Značaj analize ovih elemenata u podzemnim vodama ogleda se pri određivanju porekla podzemnih voda. ERZ su indikativni za procese interakcije voda-stena a kako su redoks-senzitivni mogu ukazati na promene koje su se dešavale u oksido-redukcionim uslovima.

## METODE

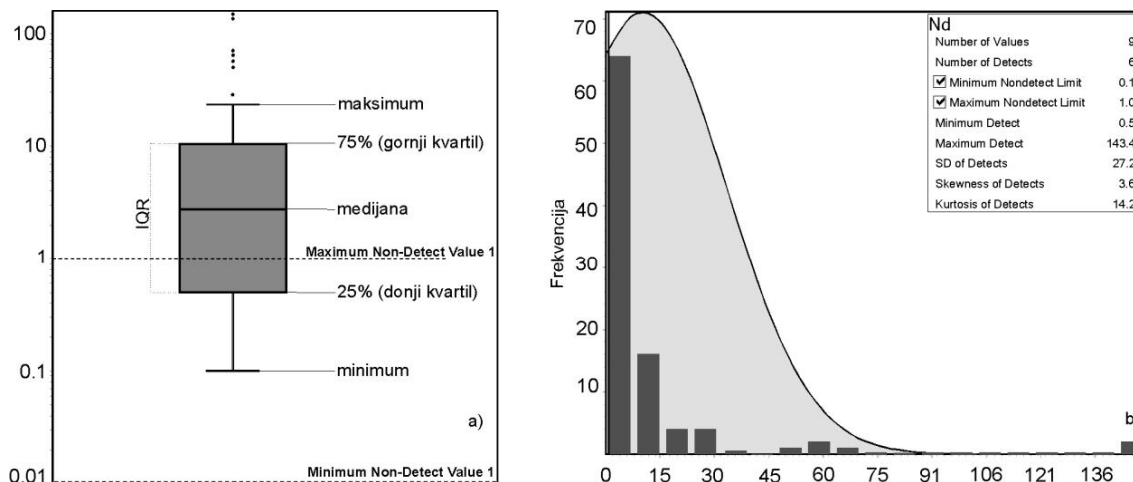
Početni korak u statističkoj analizi ERZ je predstavljao formiranje baze podataka na osnovu 94 uzorka podzemnih voda sa teritorije Srbije, prikupljena u periodu 2012-2014. godine. Određivanje koncentracija ERZ izvršeno je primenom HR-ISP-MS metode, pri čemu se u velikom broju uzoraka nije mogla odrediti tačna koncentracija ERZ. Takvi podaci su u bazi sačuvani sa tekstualnim karakterom (<) koji ukazuje na prisustvo vrednosti ispod granice detekcije instrumenta. Prilikom unosa podataka u softver ProUCL 5.0, svaki analizirani element dobio je dodatnu varijablu sa numeričkim indikatorom 0 za nedetektovane vrednosti, i 1 za detektovane vrednosti (Helsel, 2012). Prema preporukama USEPA, kada je broj uzoraka > 50, procenat nedetektovanih vrednosti < 80% sa prisustvom višestrukih GD, primenjuje se semi-parametrska ROS (Lee & Helsel, 2005).

Robustna ROS metoda se zasniva na linearnoj regresiji logaritma podataka u odnosu na njihove normalne skorove na osnovu dijagrama normalne verovatnoće. Primenom ove metode formira se regresioni model detektovanih podataka koji ima za cilj određivanje regresione jednačine za definisanje vrednosti cenzurisanih podataka (Lee & Helsel, 2005). Robustna ROS metoda smatra se semi-parametarskom metodom, uzimajući u obzir da uključuje ekstrapolaciju nedetektovanih vrednosti zasnovanu na određenim pretpostavkama distribucije detektovanih podataka. Za detektovane koncentracije u vodi pretpostavlja se da prate jednu od tri distribucije: normalnu, lognormalnu ili gama raspodelu. Za proveru da li izabrana distribucija odgovara levo cenzurisanim podacima koriste se goodness-of-fit testovi (G.O.F.) (USEPA, 2015).

## REZULTATI I DISKUSIJA

U razmatranom setu podataka 39% merenja ERZ se nalazi ispod granice detekcije, pri čemu pojedinačni elementi, odnosno varijable, imaju od 2 do 80% nedetektovanih vrednosti. Pre sprovođenja metode modeliranja vrednosti < GD, preporučuje se vizuelizacija podataka odnosno grafička interpretacija kako bi se stekao opšti uvid u prirodu podataka (USEPA, 2015). Cenzurisani podaci se najčešće predstavljaju boxplot dijagramima i histogramima, kako bi se uočila njihova distribucija u razmatranom setu podataka. Na slici 1 predstavljeni su boxplot dijagram i histogram koncentracija neodijuma (Nd) u podzemnim vodama. Dobijeni dijagrami prate karakteristične oblike dijagrama za mikrokomponente u podzemnim vodama, a samim tim i za ERZ. Pored konstrukcije dijagrama, program ProUCL omogućava tabelarni prikaz osnovne (deskriptivne) statistike: mere centralne tendencije (srednja vrednost, medijana, opseg, minimum i maksimum) i mere disperzije (standardna devijacija, skewness i kurtosis) za detektovane podatke.

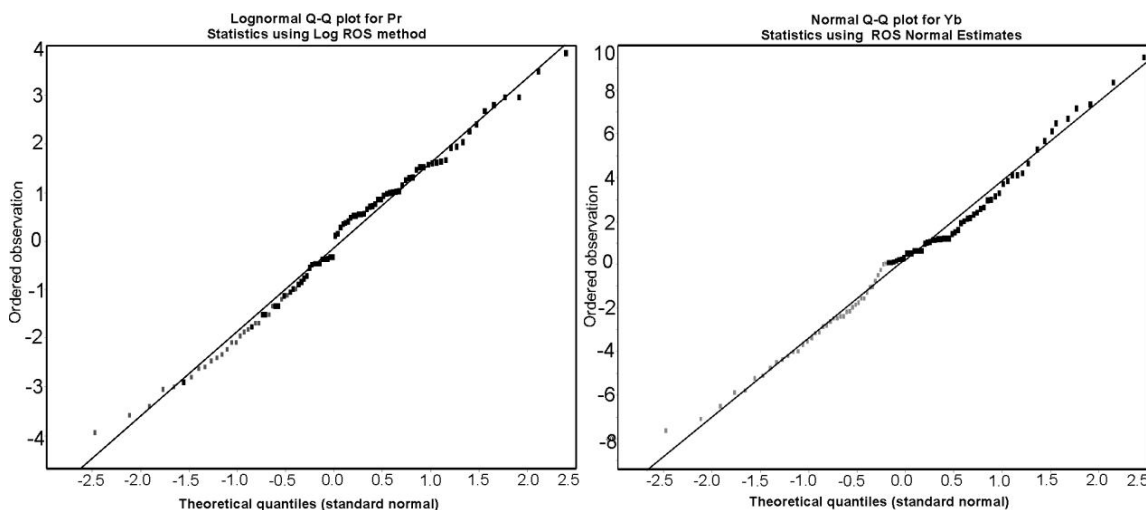
Izgled box-plot dijagrama (slika 1a) ukazuje na stepen disperzije i asimetričnosti (skewness) podataka, i jasno ističe potencijalne ekstremne vrednosti među podacima (prikazane simbolima iznad linije koja prikazuje maksimalnu vrednost na dijagramu). Pri konstruisanju histograma (slika 1b) cenzurisani podaci se prikazuju kao vrednosti jednake sa GD instrumenta. Pomoću jednostavnog prikaza frekvencija podataka na histogramu može se pretpostaviti distribucija uzorka. Pozitivne vrednosti parametara skewness i kurtosis (odstupanje od nule) i prisustvo ekstremnih vrednosti na desnoj strani histograma ukazuje da su podaci pozitivno zakrivljeni, odnosno da ne prate normalnu raspodelu (Helsel & Hirsch, 2002). Medijana i IQR (interkvartilni odnos, vrednosti razlike od 75% do 25% percentila) su parametri koji su uzeti kao mere centralne tendencije koncentracija ERZ u vodama (Huston & Juarez-Colunga (2009), Helsel (1990)).



Slika 1. a) Boxplot dijagram koncentracija Nd u podzemnim vodama (ng/L)  
 b) Histogram koncentracija Nd u podzemnim vodama (ng/L)  
 Figure 1. a) Boxplot diagram of Nd concentrations in groundwater (ng/L)  
 b) Histogram of Nd concentrations in groundwater (ng/L)

Za određivanje sumarne statistike celog seta cenzuriranih podataka, pristupilo se modeliranju vrednosti < GD. Uzimajući u obzir da je ROS semi-parametarska metoda, za svaku varijablu je primenom G.O.F. testova ustanovljena distribucija detektovanih i nedetektovanih podataka (normalna, log-normalna ili gama distribucija). Lilliefors test ukazuje da li podaci prate normalnu ili log-normalnu raspodelu, dok se za gama raspodelu verifikacija vrši Kolmogorov-Smirnov testom. U tabeli 1. dat je prikaz rezultata G.O.F statistike za odabrane ERZ, kao i prikaz Q-Q dijagrama (slika 2), kako bi se vizuelno odredila raspodela podataka i izvršilo identifikovanje potencijalnih ekstremnih vrednosti. Nakon što je ustanovljena distribucija za sve elemente, pristupilo se modeliranju nedetektovanih vrednosti. Kao rezultat celog procesa formirana je tabela sa numeričkim vrednostima za svaki element, gde je odgovarajuća modelirana vrednost transformisana u originalne jedinice utabeli (ng/L).

Prilikom izrade G.O.F. testova vrši se i određivanje relevantne deskriptivne statistike, kako bi se postigao uvid u ceo set cenzuriranih podataka ERZ. Na slici 3. predstavljene su različite vrednosti ovih parametara u zavisnosti od toga koja metoda zamene se koristila za cenzurisane podatke. Poseban akcenat se stavlja na prikaz razlike između vrednosti parametara u slučaju kada se vrednosti < GD potpuno zanemare i u slučaju korišćenja neke od metoda modeliranja ovih podataka.



Slika 2. Q-Q dijagrami koncentracija prazeodijuma (Pr) i iterbijuma (Yb) (vrednosti ispod granice detekcije su prikazane sivom bojom).  
 Figure 2. Q-Q plots of praseodymium (Pr) and ytterbium (Yb) concentrations (values below detection limit are presented in gray colour).



**Tabela 1.** Prikaz rezultata G.O.F. test statistike za koncentracije prazeodijuma (Pr) i iterbijuma (Yb) (ND engl. nondetects – nedetektovane vrednosti).

**Table 1.** Results of G.O.F. test statistics for praseodymium (Pr) and ytterbium (Yb) (ND – nondetects).

	Num Obs	Num Miss	Num Valid	Detects	NDs	% NDs
Pr	94	0	94	70	24	25.53%
Yb	94	0	94	55	39	41.49%
Normal GOF Test Results						
		No NDs	NDs = DL	NDs = DL/2	Normal ROS	
Pr	Correlation Coefficient R	0.759	0.722	0.724	0.726	
Yb	Correlation Coefficient R	0.925	0.853	0.848	0.85	
		Test value		Crit. (0.05)	Conclusion with Alpha(0.05)	
Pr	Lilliefors (Normal ROS Estimates)	0.188		0.0914	Data Not Normal	
Yb	Lilliefors (Normal ROS Estimates)	0.0733		0.0914	Data Appear Normal	
Gamma GOF Test Results						
		No NDs	NDs = DL	NDs = DL/2	Gamma ROS	
Pr	Correlation Coefficient R	0.958	0.958	0.965	0.976	
Yb	Correlation Coefficient R	0.987	0.988	0.984	0.971	
		Test value		Crit. (0.05)	Conclusion with Alpha(0.05)	
Pr	Kolmogorov-Smirnov (Gamma ROS Est.)	0.156		0.0994	Data Not Gamma Distributed	
Yb	Kolmogorov-Smirnov (Gamma ROS Est.)	0.239		0.0997	Data Not Gamma Distributed	
Lognormal GOF Test Results						
		No NDs	NDs = DL	NDs = DL/2	Log ROS	
Pr	Correlation Coefficient R	0.995	0.986	0.985	0.995	
Yb	Correlation Coefficient R	0.975	0.969	0.967	0.985	
		Test value		Crit. (0.05)	Conclusion with Alpha(0.05)	
Pr	Lilliefors (Lognormal ROS Estimates)	0.0813		0.0914	Data Appear Lognormal	
Yb	Lilliefors (Lognormal ROS Estimates)	0.0928		0.0914	Data Not Lognormal	

**Tabela 2.** Prikaz parametra deskriptivne statistike za lantan (La) i cerijum (Ce) uzimajući u obzir i modelirane vrednosti cenzurisanih podataka.

**Table 2.** Descriptive statistics for lantan (La) and cerium (Ce) considering imputed data for values below detection limit.

	La				Ce			
	Minimum	Maximum	Median	SD	Minimum	Maximum	Median	SD
Statistics (Non-Detects Only)	1	40	1	7.115	1	40	1	8.091
Statistics (Detects Only)	2	358.6	74.94	84.02	2	1119	49.89	186.7
Statistics (All: NDs treated as DL value)	1	358.6	25.02	79.91	1	1119	30.04	167.7
Statistics (Normal ROS Imputed Data)	-250.4	358.6	23.35	120.1	-416.1	1119	28.51	219.1
Statistics (Gamma ROS Imputed Data)	0.01	358.6	23.35	80.72	0.01	1119	28.51	168.2
Statistics (Lognormal ROS Imputed Data)	0.536	358.6	23.35	79.55	0.39	1119	28.51	167.8



## ZAKLJUČAK

Hemijske analize podzemnih voda često prikazuju koncentracije elemenata hemijskog sastava ispod granice detekcije instrumenta (GD). Razvoj statističkih metoda i kompjuterskih softvera omogućio je interpretaciju ovakve vrste podataka kako bi se dobile relevantne informacije o elementima hemijskog sastava podzemnih voda. U ovom radu prikazan je način tretiranja vrednosti koncentracija elemenata retkih zemalja (14 elemenata, La-Lu sa Y) ispod granica detekcije.

Ovi elementi spadaju u grupu ultramikrokomponenti hemijskog sastava, što znači da se u vodama nalaze u veoma malim koncentracijama i često su predstavljeni kao <GD. Karakterističan su primer seta podataka sa različitim procentom nedetektovanih vrednosti (2-80%) i višestrukim granicama detekcije unutar pojedinačnih elemenata. U skladu sa preporukama USEPA, primenjena je robusna ROS metoda u okviru ProUCL 5.0. softvera. Rezultati primenjene metode omogućili su modeliranje vrednosti cenzuriranih podataka (<GD), čime je dobijen kompletan set podataka sa isključivo numeričkim vrednostima pogodnim za dalju statističku obradu. Pored toga, primena ROS metode je omogućila određivanje parametara deskriptivne statistike celih nizova svih razmatranih elemenata. Rezultati su pokazali da potpuno isključivanje ili jednostavna zamena cenzuriranih podataka (<GD) može da dovede do pogrešne interpretacije rezultata istraživanja. Na ovaj način je ustanovljena adekvatna metodologija za obradu nedetektovanih podataka i postavljena osnova za dalje analize ERZ u podzemnim vodama Srbije, koji zbog svojih specifičnih karakteristika mogu imati značajan doprinos u hidrogeološkim istraživanjima.

## LITERATURA

- HELSEL D. AND HIRSCH R., 2002: *Statistical Methods By D.R. Helsel and R.M. Hirsch in Water Resources*, USGS. Publication available at: <http://water.usgs.gov/pubs/twri/twri4a3/>
- HELSEL D., 2005: *Nondetects and data analysis: statistics for censored environmental data*. 250 pp. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- HELSEL D., 2006: *Fabricating data: How substituting values for nondetects can ruin results, and what can be done about it*. *Chemosphere*, 65(11), 2434–2439.
- HELSEL D., 2012: *Statistics for Censored Environmental Data Using Minitab and R: Second Edition*. 344 pp. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- HELSEL D., 1990: *Less than obvious - statistical treatment of data below the detection limit*, *Environmental Science & Technology*, 24(12), 1766–1774.
- HUSTON C. & JUAREZ-COLUNGA E., 2009: *Guidelines for computing summary statistics for data-sets containing non-detects*. pp 177. Simon Fraser University, Bulkley Valley Research Center.
- LEE L. & HELSEL D., 2005: *Statistical analysis of water-quality data containing multiple detection limits: S-language software for regression on order statistics*, *Comput. Geo. Sci.* 31(10), 1241-1248.
- LEVITAND., SCHREIBER M., SEAL II R., BODNAR R., AYLOR J., 2014: *Developing protocols for geochemical baseline studies: An example from the Coles Hill uranium deposit, Virginia, USA*, *Applied Geochemistry*, 43, 88-100.
- MCLENNAN S. M., 1999: *Elements: Lanthanide series, Rare earths*. In C. P. Marshall, & R. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of geochemistry* (pp. 211-214). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- PALAREA-ALBALADEJO J. & MARTÍN-FERNÁNDEZ J.A., 2013: *Values below detection limit in compositional chemical data*, *Analytica Chimica Acta*, 764, 32-43.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) 2015: ProUCL Version 5.1, Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. National Exposure Research Lab, EPA, Las Vegas Nevada, October 2015.
- ZHANG C. & O'CONNOR P., 2005: *Comparison between heavy metal concentrations in sediments analysed by two methods: Analyses on detection limits and data quality*, *Applied Geochemistry*, 20, 1737-1745.