

UNIVERZITET U BEOGRADU  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET  
DEPARTMAN ZA HIDROGEOLOGIJU

HG

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

## PRIMENA MULTIVARIJANTNE STATISTIČKE ANALIZE U HIDROGEOHEMIJI APPLICATION OF MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS IN HYDROGEOCHEMISTRY

Petar Papić<sup>1</sup>, Jana Stojković<sup>1</sup>

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

**APSTRAKT:** Multivarijantne statističke metode se koriste u cilju svođenja velikog broja podataka na manji broj promenljivih, koje najbolje objašnjavaju dominantne hidrogeohemijske procese odgovorne za formiranje sastava podzemnih voda. Metoda glavnih komponentata (Principal Component Analysis ili PCA) omogućava otkrivanje interkorelacija unutar skupa podataka, tj. grupisanje parametara koji su međusobno korelisani. Na taj način se izdvajaju tzv. glavne komponente ili faktori, pri čemu se svaki faktor objašnjava određenim hidrogeohemijskim procesom. Primenom PCA na matricu sačinjenu od 15 parametara hemijskog sastava određivanih na 40 uzoraka podzemnih voda sa teritorije Srbije, izdvojena su četiri faktora, koji objašnjavaju ukupno 73,9% ukupne varijanse podataka. Interpretacija dobijenih faktora ukazala je na sledeće hidrogeohemijske procese: uticaj morske sredine i volatila u geološkoj prošlosti, istiskivanje vezane vode iz glina morskog porekla, katjonsku izmenu i rastvaranje karbonatnih i silikatnih minerala.

**Ključne reči:** PCA, hidrogeohemija, podzemne vode, faktorski koeficijenti.

**ABSTRACT:** Multivariate statistical analyses are used for reducing large datasets to a smaller number of variables, which explain main hydrogeochemical processes that control water geochemistry. Principal component analysis (PCA) allows discovering intercorrelations inside the data matrix and grouping of similar variables, i.e. chemical parameters. In this way the principal components (factors or PCs) are extracted, and each PC is explained by some hydrogeochemical process. Applying PCA to a dataset that consists of 15 chemical parameters measured on 40 groundwater samples from Serbia, four PCs were extracted, which explain 73,9% of total variance in the analyzed dataset. Interpretation of obtained factors indicated several hydrogeochemical processes: the impact of sea water intrusions and volatiles in previous geological periods, solutes diffusion from the marine clay, cation exchange and dissolution of carbonate and silicate minerals.

**Key words:** PCA, hydrogeochemistry, groundwater, factor loadings.

### Uvod

Obrada rezultata hemijskih analiza podzemnih voda često podrazumeva sagledavanje velikog broja podataka, što otežava interpretaciju i prikaz svih informacija kojima istraživač raspolaže. Multivarijantne statističke metode su veoma korisna alatka u hidrogeohemijskim istraživanjima, jer omogućavaju organizovanje i pojednostavljivanje velikih skupova podataka. One značajno doprinose uočavanju korelacija između analiziranih hemijskih parametara, ali i proceni sličnosti između uzoraka, tj. pojava podzemnih voda. Multivarijantne statističke metode imaju za cilj identifikaciju hidrogeohemijskih procesa odgovornih za formiranje sastava podzemnih voda. Njihovom primenom, uz prethodno poznavanje geoloških i hidrogeoloških karakteristika izdani, moguće je rešiti pitanje porekla podzemnih voda, kao i putanje njihove cirkulacije. Multivarijantne statističke metode se koriste i za definisanje faktora migracije i rasprostranjenja određenih elemenata. Mogu da ukažu na izvesne anomalije u hemijskom sastavu podzemnih voda, prouzrokovane npr. antropogenim uticajem.

Jedna od metoda koje se često primenjuju u hidrogeohemiji jeste faktorna analiza ili metoda glavnih komponentata (*Principal Component Analysis, PCA*). Ona omogućava otkrivanje interkorelacija unutar skupa podataka, tj. grupisanje varijabli (promenljivih) koje su međusobno korelisane. Osnovni cilj PCA jeste izdvajanje tzv. faktora (glavnih komponentata, *PCs*), kojih treba da je što manje i kojima bi se mogle objasniti varijacije velikog broja analitičkih podataka. Dakle, svrha ove metode jeste svođenje većeg broja varijabli (hemijski parametri koje merimo) na manji broj faktora, koji dalje podležu interpretaciji (Cloutier et al., 2008; Drever, 1982).

U ovom radu je analizirano 40 pojava podzemnih voda sa teritorije Srbije, pri čemu je na svakom uzorku određivano ukupno 15 parametara hemijskog sastava. Na ovaj skup podataka primenjena je PCA, sa ciljem identifikovanja dominantnih hidrogeohemijskih faktora i procesa koji uslovljavaju formiranje sastava podzemnih voda.

## Metodologija

PCA je primenjena na skup hidrohemijijskih podataka koji čini 15 parametara hemijskog sastava merenih na 40 uzoraka podzemnih voda sa teritorije Srbije. Analizirane su koncentracije (u mg/l) sledećih elemenata: Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, SiO<sub>2</sub>, F, B, Li, Sr i CO<sub>2</sub>, kao i temperatura (°C) i pH. Za statističke proračune korišćen je softverski paket IBM SPSS Statistics 19.0.

Za analizirani skup hidrohemijijskih podataka određene su elementarne statističke veličine (aritmetička sredina, minimalna i maksimalna vrednost, medijana itd.). Izvršena je ln-transformacija svih promenljivih (izračunavanje prirodnog logaritma svih analiziranih podataka). Transformisani podaci su zadovoljavali uslov normalnosti raspodele, što je i potvrđeno primenom Kolmogorov-Smirnov testa.

Broj izdvojenih faktora je određen na osnovu Kajzerovog kriterijuma (Kaiser, 1960), prema kome se uzimaju u obzir samo oni faktori čija je tzv. svojstvena vrednost (karakteristična vrednost korelacione matrice ili *eigenvalue*) veća od 1. Ovo je bilo u skladu i sa Katelovim grafičkim testom odrona (*Cattell's scree plot*), koji na x-osi prikazuje faktore, a na y-osi njihove svojstvene vrednosti, pri čemu se kriva preseca na mestu preloma i odbacuje deo sa blažim nagibom (Cattell, 1966). Da bi se olakšala interpretacija izdvojenih faktora, primenjena je varimaks ortogonalna rotacija, pomoću koje se pojačava doprinos značajnijih varijabli, a smanjuje doprinos onih koje su manje značajne (Field, 2005; Helena et al., 1999).

## Rezultati

Na osnovu vrednosti elementarnih statističkih veličina prikazanih u Tabeli 1 konstatovano je da se koncentracije većine merenih parametara ne pokoravaju normalnoj raspodeli. Njihovi histogrami raspodele su asimetrični u desnu stranu, na šta ukazuju i izrazito pozitivni koeficijenti asimetrije (Tabela 1). Iz tog razloga su u PCA korišćeni ln-transformisani podaci.

**Tabela 1.** Rezultati elementarnih statističkih proračuna za 40 analiziranih uzoraka podzemnih voda.  
**Table 1.** Descriptive statistics for the 40 groundwater samples.

Parametri	Minimum	Maksimum	Opseg	Aritmetička sredina	Medijana	Koeficijent asimetrije
Temperatura (°C)	13,10	83,20	70,10	28,36	21,10	1,72
pH	6,60	9,23	3,17	7,47	7,32	0,74
CO <sub>2</sub> (mg/l)	0	171,24	171,24	51,84	35,20	1,01
Ca (mg/l)	0	130,26	130,26	51,21	46,89	0,48
Mg (mg/l)	1,82	96,31	94,49	22,12	13,98	1,93
Na (mg/l)	2,50	684,00	681,50	139,42	64,10	1,87
K (mg/l)	0,20	51,20	51,00	5,80	2,60	3,90
Cl (mg/l)	2,00	223,34	221,34	44,20	21,98	2,04
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	124,44	1770,00	1645,56	504,04	400,00	2,35
SO <sub>4</sub> (mg/l)	1,20	240,00	238,80	35,39	15,40	2,65
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	9,39	91,60	82,21	32,59	25,10	1,27
F (mg/l)	0,05	13,00	12,95	1,62	0,70	3,12
B (mg/l)	0	32,60	32,60	2,02	0,29	5,09
Li (mg/l)	0,003	4,78	4,777	0,31	0,10	5,21
Sr (mg/l)	0,004	2,10	2,096	0,46	0,27	1,56

Primenom PCA na skup od 15 varijabli (hemijijskih parametara) određivanih na 40 uzoraka podzemnih voda, dobili smo četiri faktora, koji zajedno objašnjavaju 73,9% ukupne varijanse analiziranih podataka. U Tabeli

2 prikazani su izdvojeni faktori, njihovi faktorski koeficijenti, kao i procenat varijanse koji objašnjavaju. Faktorski koeficijenti (saturacije ili *loadings*) predstavljaju koeficijente korelacije između varijabli i faktora, tj. ukazuju na relativni doprinos određene varijable svakom od izdvojenih faktora (Field, 2005). U ovom primeru su značajnim, tj. visokim faktorskim koeficijentima smatrani oni čija je apsolutna vrednost veća od 0,5 (boldovane vrednosti u Tabeli 2). Očigledno je da se po nekoliko varijabli odlikuje visokim faktorskim koeficijentima prema svakom faktoru, što znači da je 15 polaznih varijabli raspoređeno u četiri grupe, prema međusobnoj sličnosti, što olakšava dalju interpretaciju.

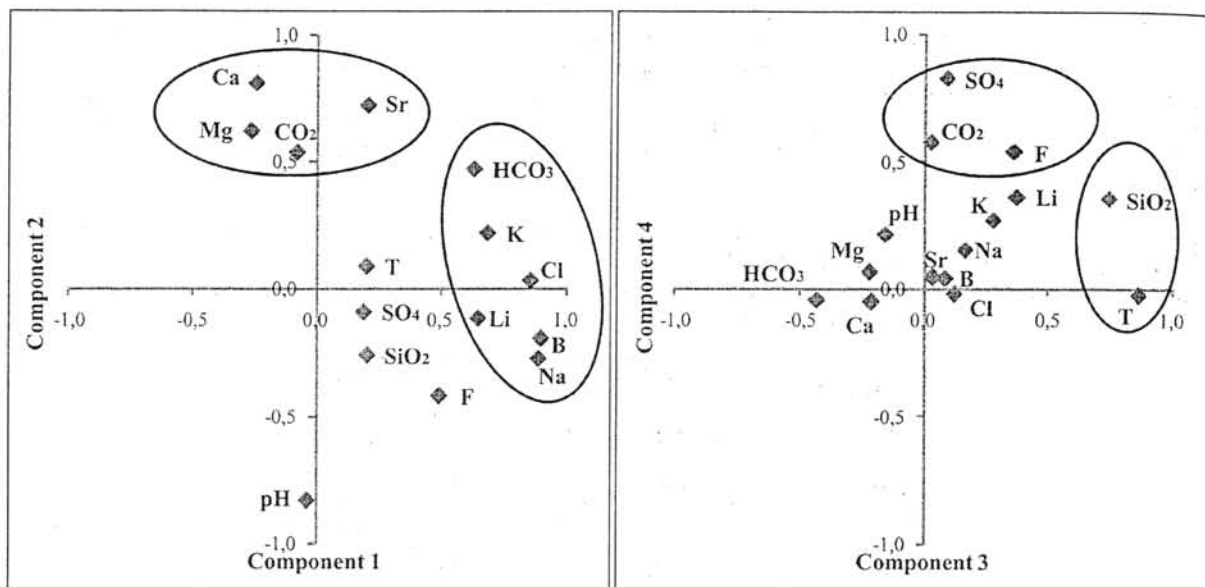
**Tabela 2.** Faktorski koeficijenti i procenat varijanse koji objašnjava svaki od izdvojena četiri faktora, uz primenu varimaks rotacije (boldovane su vrednosti > 0,5).

**Table 2.** Principal component loadings and percentage of variance explained by the four extracted components, with Varimax rotation (values in bold represent loadings > 0,5).

Parametri	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
B	<b>,901</b>	-,190	,085	,045
Na	<b>,891</b>	-,270	,164	,158
Cl	<b>,858</b>	,037	,121	-,020
K	<b>,687</b>	,223	,275	,274
Li	<b>,649</b>	-,112	,375	,366
HCO <sub>3</sub>	<b>,632</b>	<b>,473</b>	-,430	-,040
pH	-,033	<b>-,825</b>	-,152	,218
Ca	-,240	<b>,808</b>	-,210	-,049
Sr	,207	<b>,721</b>	,036	,050
Mg	-,260	<b>,620</b>	-,219	,067
Temperatura	,202	,093	<b>,862</b>	-,025
SiO <sub>2</sub>	,205	-,256	<b>,742</b>	,357
SO <sub>4</sub>	,191	-,087	,089	<b>,830</b>
CO <sub>2</sub>	-,075	<b>,537</b>	,026	<b>,579</b>
F	<b>,495</b>	-,415	,362	<b>,541</b>
% varijanse	27,8	21,2	13,3	11,6
kumulativni % varijanse	27,8	49,0	62,3	73,9

Prva dva faktora objašnjavaju skoro 50% ukupne varijanse, dok treći i četvrti faktor objašnjavaju, redom, 13,3% i 11,6% ukupne varijanse. Prvi faktor se odlikuje izrazito visokim pozitivnim faktorskim koeficijentima B, Na i Cl (> 0,85), kao i visokim pozitivnim faktorskim koeficijentima K, Li i HCO<sub>3</sub> (> 0,6). Ovde je značajno pomenuti i relativno visok faktorski koeficijent F (0,495). Drugi faktor karakterišu visoki pozitivni faktorski koeficijenti Ca, Sr, Mg i CO<sub>2</sub>, kao i visoki negativni faktorski koeficijent pH, pri čemu ne treba zanemariti ni faktorski koeficijent HCO<sub>3</sub> (0,473). Sve ovo je i grafički prikazano na Slici 1: faktorski koeficijenti svih varijabli naneti su na dijagram, čija x-osa predstavlja prvi faktor (PC1), a y-osa predstavlja drugi faktor (PC2). Sa dijagrama se lako uočavaju varijable koje dominiraju u prvom i drugom faktoru (označene elipsom).

Treći i četvrti faktor objašnjavaju manji deo ukupne varijanse, što se može objasniti hidrogeohemijskim procesima koji su više lokalne prirode i javljaju se samo kod određenog broja pojava podzemnih voda (Cloutier et al., 2008). Treći faktor karakterišu visoki pozitivni faktorski koeficijenti temperature i SiO<sub>2</sub>, dok u četvrtom faktoru dominira SO<sub>4</sub>, ali su relativno visoki i faktorski koeficijenti CO<sub>2</sub> i F.



Slika 1. Dijagram faktorskih koeficijenata svih varijabli prema prvom i drugom faktoru (levo) i trećem i četvrtom faktoru (desno).

Figure 1. Plot of PC loadings for the first two components (left) and for the other two (right).

## Diskusija

Ako posmatramo izdvojene faktore u geološkom (prvenstveno litološkom) kontekstu, možemo da steknemo uvid u glavne hidrogeohemijske procese koji utiču na formiranje hemijskog sastava analiziranih podzemnih voda. Kod izrade PCA često se svim ili barem glavnim faktorima dodeljuju uslovna imena, koja asociraju na varijable koje dominiraju u tom faktoru. Prvi faktor karakteriše dominacija B, Na, Cl, K, Li i  $\text{HCO}_3$ , i ovaj faktor bismo uslovno mogli da nazovemo „prirodna mineralizacija“, pošto sadrži Na, Cl, K i  $\text{HCO}_3$ , koji predstavljaju jone osnovnog hemijskog sastava. Izrazito visoki pozitivni faktorski koeficijenti B, Na i Cl ( $> 0,85$ ) u okviru prvog faktora, mogu se objasniti mešanjem podzemnih voda sa morskim vodama u geološkoj prošlosti, ali i istiskivanjem vezane vode iz glina morskog porekla. Jedan od mogućih procesa je i katjonska izmena između Ca i Mg iz vode i Na iz stena prisutnih u izdani. Naime, rastvaranjem karbonatnih minerala voda se obogaćuje kalcijumom, magnezijumom i hidrokarbonatima, pri čemu naknadno dolazi do pomenute katjonske izmene, pa se tako koncentracija Ca i Mg u vodi smanjuje, a raste koncentracija Na. U prilog ovoj teoriji idu i negativni faktorski koeficijenti Ca i Mg, kao i već pomenuti pozitivni faktorski koeficijenti Na i  $\text{HCO}_3$  (Salifu et al., 2011; Cloutier et al., 2008). Kod prvog faktora takođe treba obratiti pažnju na pozitivne faktorske koeficijente bora, kalijuma, litijuma i fluora, što se može tumačiti paragenezom, tj. zajedničkim poreklom pomenutih mikroelemenata.

Drugi faktor se odlikuje povišenim pozitivnim faktorskim koeficijentima Ca, Sr, Mg i  $\text{CO}_2$ , kao i povišenim negativnim faktorskim koeficijentom pH, pri čemu i ovde treba uzeti u razmatranje  $\text{HCO}_3$ . Ovaj faktor bismo uslovno mogli nazvati „karbonatni faktor“, zbog toga što varijable koje dominiraju svakako ukazuju na proces rastvaranja karbonatnih minerala. Prisustvo ugljen-dioksida u vodi čini vodu agresivnom i omogućava rastvaranje karbonata kalcijuma i magnezijuma, pri čemu se joni Ca, Mg i  $\text{HCO}_3$  oslobađaju u vodu. Ovo je u skladu sa visokim pozitivnim faktorskim koeficijentima Ca, Mg,  $\text{CO}_2$  i  $\text{HCO}_3$ . Pomenuti proces odvija se u kiseloj sredini, odnosno, sadržaj  $\text{CO}_2$  i pH vrednost su obrnuto proporcionalni, pa otuda negativni predznak ispred vrednosti faktorskog koeficijenta pH. Visok pozitivan faktorski koeficijent stroncijuma objašnjava se njegovom paragenezom sa Ca. Ova dva elementa su hemijski slična, pa je iz tog razloga Sr česta primesa u kalcijumskim mineralima.

U trećem faktoru se ističu faktorski koeficijenti temperature i  $\text{SiO}_2$ , što se pripisuje činjenici da sa porastom temperature raste i rastvorljivost silikatnih minerala (Matthess, 1981). Četvrti faktor se odlikuje povišenim faktorskim koeficijentima  $\text{SO}_4$ ,  $\text{CO}_2$  i F. Ova asocijacija elemenata ukazuje na volatile vulkana aktivnih u geološkoj prošlosti.

## Zaključak

PCA je efikasna metoda za obradu hidrogeohemijskih podataka, zbog njihove velike varijabilnosti, uslovljene nizom geoloških, hidrogeoloških i drugih faktora. Ona omogućava identifikaciju glavnih korelacija između ispitivanih hemijskih parametara, tj. njihovo grupisanje prema sličnosti u tzv. faktore ili PCs, što olakšava dalju interpretaciju. U analiziranom primeru je upotrebom PCA izdvojeno nekoliko dominantnih procesa, koji objašnjavaju najveći deo varijacije polaznog skupa podataka: uticaj morske sredine i volatila u geološkoj prošlosti, istiskivanje vezane vode iz glina morskog porekla, katjonska izmena i rastvaranje karbonatnih i silikatnih minerala. Dobijeni rezultati ukazuju na značaj upotrebe multivarijantne statističke analize prilikom utvrđivanja geneze podzemnih voda, odnosno faktora i procesa formiranja hemijskog sastava podzemnih voda.



## Zahvalnica

Ovo istraživanje je sprovedeno zahvaljujući finansijskoj podršci Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije, kroz Projekat III 43004, kao i zahvaljujući finansijskoj podršci Ministarstva životne sredine, rudarstva i prostornog planiranja.

## Literatura

- CATTELL, R. B., 1966: *The scree tests for the number of factors* - Multivariate Behavioral Research, 1, pp. 245-276.
- CLOUTIER, V., et al., 2008: *Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system* - Journal of Hydrology, 353, pp. 294-313.
- DREVER, J., 1982: *The Geochemistry of Natural Waters* - New Jersey, pp. 157-162.
- FIELD, A., 2005: *Discovering Statistics Using SPSS*, second edition, SAGE Publications Ltd, London, pp. 619-681.
- HELENA, B., et al., 1999: *A case of hydrochemical characterization of an alluvial aquifer influenced by human activities* - Water, Air and Soil Pollution, 112, pp. 365-387.
- KAISER, H. F., 1960: *The application of electronic computers to factor analysis* - Educational and Psychological Measurement, 20, pp. 141-151.
- MATTHESS, G., 1981: *The Properties of Groundwater*, A Wiley-Interscience publications, New York, pp. 256-257.
- SALIFU, A., et al., 2011: *Fluoride occurrence in groundwater in the Northern region of Ghana* - IWA Specialist Groundwater Conference, Belgrade, pp. 267-275.