

UNIVERZITET U BEOGRADU  
FAKULTET ZA FIZIČKU HEMIJU

Irena R. Tanasković

**RADIOAKTIVNOST PODZEMNIH VODA  
U TIPSKIM VODONOSNIM SREDINAMA  
SRBIJE**

doktorska disertacija

Beograd, 2014.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF PHYSICAL CHEMISTRY

Irena R. Tanasković

**RADIOACTIVITY OF GROUNDWATER  
IN TYPICAL AQUIFERS OF SERBIA**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2014.

Mentori:

dr Šćepan Miljanić, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Fakulteta za fizičku hemiju

dr Nada Miljević, naučni savetnik  
Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, Beograd

Članovi komisije:

dr Ljubiša Ignjatović, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Fakulteta za fizičku hemiju

dr Mirjana Radenković, naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Datum odbrane:

*Ova disertacija rađena je u Institutu za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“, Odeljenje za radioekologiju, Institutu za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“ i Gradskom zavodu za javno zdravlje Beograd, Centar za higijenu i humanu ekologiju u Beogradu.*

*Ovom prilikom bih želela da najiskrenije zahvalim svom mentoru, dr Nadi Miljević, na pomoći, poverenju, stpljenju i razumevanju tokom izrade ove disertacije.*

*Za sve korisne sugestije i pomoć u pisanju disertacije želim da se zahvalim svom mentoru Prof. dr Šćepanu Miljaniću.*

*Prof. dr Ljubiši Ignjatoviću veliko hvala na pomoći tokom pisanja disertacije.*

*Dr Mirjani Radenković veliko hvala na pomoći tokom pisanja disertacije.*

*Veliku zahvalnost dugujem dr Miomiru Komatini koji me je uveo u problematiku vezanu za geologiju Srbije i nesebično mi prenosio svoje znanje.*

*Hvala i svim mojim dragim kolegama iz navedenih Instituta na kolegijalnosti i stručnoj pomoći.*

*Mojoj porodici, suprugu Vladimiru, ćerki Katarini, mojim roditeljima, ocu Radenku i majci Milici, beskonačno hvala za podršku bez koje ne bih uspela sve što sam postigla u životu.*

*Irena Tanasković*

**Naslov doktorske disertacije:**

**RADIOAKTIVNOST PODZEMNIH VODA U TIPSКИM  
VODONOSNIM SREDINAMA SRBIJE**

**Izvod**

U radu je ispitana mogućnost uticaja geološke strukture nalazišta voda na njihove radiološke i fizičko-hemijske karakteristike. Vode sa teritorije Republike Srbije su klasifikovane u tri grupe: banjske vode, mineralne vode i vode za piće. Uzorci banjskih voda su klasifikovani prema geološkoj strukturi tla i stena na kome se nalaze izvorišta na 4 grupe po geotektonskim jedinicama i na 4 grupe po hidrogeološkim strukturama. Uzorci ostalih mineralnih voda su klasifikovani u četiri grupe prema hidrogeološkim strukturama i u šest grupa prema tipu vodonosne sredine, a pijaće vode u četiri grupe po geotektonskim jedinicama i u četiri grupe po tipu vodonosne sredine nalazišta.

Primenom analize glavnih komponentata (engl. Principal Component Analysis- PCA) i drugih statističkih metoda u obradi rezultata, pokazana je zavisnost fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika podzemnih voda od geološke strukture tla.

**Ključne reči:** radioaktivnost, podzemne vode, geologija

**Naučna oblast:** Prirodno matematička

**Uža naučna oblast:** Fizička hemija - radiohemija

**UDK broj:** 544.58

**Title:**

**RADIOACTIVITY OF GROUNDWATER IN TYPICAL AQUIFERS  
OF SERBIA**

**Abstract:**

In this work we investigated the possibility of geologic deposits influence on water and its radiological and physico-chemical characteristics. Water samples from the territory of the Republic of Serbia were classified into three groups: the spa water, mineral water and drinking water. Spa water samples were classified according to the geological structure of the soil and bedrock into 4 groups considering geotectonic units and also into 4 groups in relation to hydro geological structures. Mineral water samples were classified into four groups according to the hydro geological structures and into six groups according to the type of bearing environment. Drinking water samples were classified into four groups in relation to geotectonic units and into four groups according to the type of bearing environment.

Applying Principal Component Analysis- PCA and other statistical methods to the measurement data, the dependence of physico-chemical and radiological properties of groundwater on the geological structure of the soil, was shown.

**Keywords:** radioactivity, groundwater, geology

**Scientific Field:** Natural Sciences

**Field of Academic Expertise:** Physical Chemistry - Radiochemistry

UDC number: 544.58

# SADRŽAJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
1.1	Cilj	2
<b>2</b>	<b>OPŠTI DEO</b>	<b>3</b>
2.1	<b>Radioaktivnost podzemnih voda</b>	<b>3</b>
2.1.1	Prirodna radiaktivnost	3
2.1.2	Veštačka radiaktivnost	5
2.1.3	Kruženje vode u prirodi	6
2.1.4	Radioaktivnost podzemnih voda	7
2.1.5	Osnovni uslovi pojavljivanja podzemnih voda Srbije	12
2.1.6	Geološka i hidrogeološka podela teritorije Srbije	13
2.1.7	Hidrogeološki i geochemijski uslovi formiranja ležišta mineralnih voda	17
2.1.8	Tipovi vodonosnih sredina	18
	<b>Pregled literature</b>	<b>20</b>
2.2	<b>Statističke metode analiza koje su korišćene u radu</b>	<b>24</b>
2.2.1	Definicije korišćenih pojmova	24
2.2.2	Analiza glavnih komponenata	26
2.2.3	Analiza grupisanja (CA)	33
<b>3</b>	<b>EKSPERIMENTALNI DEO</b>	<b>36</b>
3.1	<b>Uzorkovanje voda</b>	<b>36</b>
3.2	<b>Metode merenja radioaktivnosti i fizičkochemijskih karakteristika ispitivanih voda</b>	<b>36</b>
3.3	<b>Merenje ukupne alfa i beta aktivnosti</b>	<b>37</b>
3.4	<b>Izračunavanje ukupne alfa i beta aktivnost</b>	<b>37</b>
3.5	<b>Merna nesigurnost</b>	<b>38</b>
3.6	<b>Minimalna detektovana aktivnost</b>	<b>38</b>

<b>3.7</b>	<b>Spektrometrija gama zračenja</b>	<b>39</b>
<b>3.8</b>	<b>Metode merenja i gamaspektrometrijsko određivanje aktivnosti radionuklida</b>	<b>43</b>
<b>3.9</b>	<b>Efikasnost detektora</b>	<b>45</b>
<b>3.10</b>	<b>Specifična aktivnost uzorka</b>	<b>46</b>
<b>3.11</b>	<b>Granica detekcije</b>	<b>46</b>
<b>3.12</b>	<b>Merna nesigurnost</b>	<b>47</b>
<b>3.13</b>	<b>Merna nesigurnost tipa A</b>	<b>47</b>
<b>3.14</b>	<b>Merna nesigurnost tipa B</b>	<b>48</b>
<b>3.15</b>	<b>Postupci pripreme uzoraka za merenje</b>	<b>48</b>
<b>3.16</b>	<b>Određivanje osnovnih fizičko-hemijskih parametara kvaliteta voda</b>	<b>49</b>
3.16.1	Određivanje temperature vode	49
3.16.2	Određivanje pH vrednosti vode	49
3.16.3	Određivanje specifične provodljivosti vode	50
3.16.4	Određivanje koncentracije jona $\text{Na}^+$ i $\text{K}^+$ u vodi	50
3.16.5	Određivanje koncentracije jona $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ i $\text{HCO}_3^-$ u vodi	50
3.16.6	Određivanje koncentracije jona $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ u vodi	51
3.16.7	Određivanje koncentracije $\text{SiO}_2$ u vodi	52
3.16.8	Vrste uzoraka i njihova klasifikacija	52
<b>4</b>	<b>REZULTATI I DISKUSIJA</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Banjske vode (BV) Srbije</b>	<b>53</b>
4.1.1	Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka banjskih voda Srbije	53
4.1.2	Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika banjskih voda Srbije	60
4.1.3	Analiza glavnih komponenata karakteristika banjskih voda Srbije	63
4.1.4	Klaster analiza karakteristika banjskih voda	69
<b>4.2</b>	<b>Uzorci mineralnih voda (MV) Srbije</b>	<b>73</b>
4.2.1	Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka mineralnih voda Srbije	73
4.2.2	Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika mineralnih voda Srbije	86
4.2.2.1	Analiza glavnih komponenata	99
4.2.2.2	Grupa mineralnih voda 5M	101
4.2.2.3	Grupa voda M mineralnih voda	116



<b>4.3</b>	<b>Uzorci pijaćih voda (PV) Srbije</b>	<b>131</b>
4.3.1	Fizičko-hemijske karakteristike pijaćih voda Srbije	131
4.3.2	Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika pijaćih voda Srbije	142
4.3.3	Analiza glavnih komponenta uzoraka pijaćih voda	148
4.3.3.1	Grupa pijaćih voda 5M	150
4.3.3.2	Klaster analiza rezultata ispitivanja karakteristika grupe 5M pijaćih voda	158
4.3.3.3	Grupa pijaćih voda M	160
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČAK</b>	<b>170</b>
<b>5.1</b>	<b>Banjske vode Srbije</b>	<b>170</b>
<b>5.2</b>	<b>Mineralne vode Srbije</b>	<b>171</b>
<b>5.3</b>	<b>Pijaće vode Srbije</b>	<b>172</b>
<b>5.4</b>	<b>Opšti osvrt na rezultate obrade glavnih komponenta karakteristika podzemnih voda Srbije</b>	<b>174</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA</b>	<b>175</b>

# 1 Uvod

Voda, kao glavno jedinjenje neophodno za opstanak živog sveta na planeti, pobuđuje veliko interesovanje istraživača. Podzemne vode predstavljaju više od 50 puta veće zalihe sveže vode od površinskih voda. Predstavljaju ključni element u velikom broju geoloških i fizičko-hemijskih procesa. Njihov hemijski sastav je pod uticajem sastava stena akvifera, uslova toka i vremena boravka u podzemlju i pri tome je kontrolisan hemijskim i fizičkim procesima kao što su adsorpcija-desorpcija, kompleksiranje i taloženje-rastvaranje [1].

Raznovrsnost geološke strukture zemljišta na našoj planeti, utiče da svako nalazište ima geološki uticaj na karakteristike vode. Prirodna radioaktivnost podzemne vode je u velikom opsegu koncentracija, koje zavise od prirode akvifera i hemijskih karakteristika vode kao što je pH i salinitet. Srbija 75% svojih potreba za vodosnadbavanje pijaćom vodom zadovoljava iz sopstvenih podzemnih voda. Kada su u pitanju vode za piće neophodna je hemijska, bakteriološka i radiološka ispravnost. Postoji više integralnih i selektivnih metoda za određivanje radioaktivnosti uzoraka iz životne sredine (vazduh, voda, zemljište, rastinje, hrana itd.). Integralnim metodama se određuje ukupna alfa i beta aktivnost u uzorcima, ali se ne može odrediti doprinos pojedinačnih radionuklida ukupnoj aktivnosti. Da bi se odredio sadržaj pojedinačnih radionuklida koriste se specifična merenja npr., spektrometrija alfa i gama emitera i radiohemijska određivanja.

Teritorija Srbije se odlikuje raznovrsnim litološkim sastavom i složenim strukturnim sklopom. Unutar te teritorije, izdvaja se nekoliko geotektonskih celina, koje se odlikuju specifičnim geološkim sastavom i posebnim hidrogeološkim karakteristikama. Radioaktivnost u vodama je uglavnom posledica prisutnosti radioaktivnih elemenata u Zemljinoj kori koji se

rastvaraju u podzemnim vodama, kada se ona kreće kroz pukotine u stenovitom tlu. Teritorija Srbije je vrlo bogata podzemnim vodama, poznavanje uticaja geološke strukture tla na njihove karakteristike je od velikog nacionalnog interesa.

## 1.1 Cilj

U Srbiji je na osnovu Pravilnika o monitoringu radioaktivnosti, obavezna redovna kontrola radioaktivnosti voda [2]. Cilj ove disertacije je ispitivanje radioaktivnosti podzemnih voda u tipskim vodonosnim sredinama Srbije. Ispitivanja su podeljena u dva dela. Prvi deo istraživanja je praćenje radioloških i fizičko-hemijskih karakteristika podzemnih voda sa stanovišta balneologije i korišćenja voda u zdravstvene svrhe, u zavisnosti od geotektonskih jedinica i hidrogeoloških struktura samog nalazišta. Drugi deo istraživanja je praćenje radioloških i fizičko-hemijskih karakteristika podzemnih voda sa teritorije Republike Srbije, sa stanovišta vodosnabbevanja naselja, u zavisnosti od hidrogeološke strukture, geotektonskih jedinica i tipa vodonosne sredine samog nalazišta akvifera. Metode koje su korišćene za određivanje radioaktivnosti u vodama su: gamaspektrometrijska analiza uzoraka voda (*ISO 10703 Water quality-Determination of the activity concentration of radionuclides by high resolution gamma-ray spectrometry, 1997*) i merenje ukupne alfa i beta aktivnosti u uzorcima voda (*ISO 9696 Water quality-Measurement of gross alpha activity in non-saline water- Thich source method, 1992* i *ISO 9697 Water quality-Measurement of gross beta activity in non-saline water, 1992*). Za određivanje sadržaja anjona i katjona ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) i  $\text{SiO}_2$  korišćene su volumetrijske metode i metoda jonske hromatografije, a za katjone  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$  atomska apsorpciona spektrofotometrija. Cilj istraživanja je doprinos uvida u opštu sliku uticaja geološke strukture nalazišta na radioaktivnost podzemnih voda Srbije, koje se koriste u vodosnabbevanju naselja i u balneološke svrhe.

## 2 Opšti deo

### 2.1 Radioaktivnost podzemnih voda

#### 2.1.1 Prirodna radiaktivnost

Radioaktivnost je spontani proces u kome se atomsko jezgro, emitujući jednu ili više čestica ili kvanata elektromagnetskog zračenja, preobražava u hemijsko ili energetske drugačije jezgro. Raspadom početnog jezgra atoma, koje se naziva roditelj, nastaje novo jezgro, potomak, koji može da ima redni ili maseni broj različit od roditelja. Radioaktivni raspad se karakteriše vrstom i energijom emitovane radijacije i vremenom poluraspada. U prirodi se javljaju: alfa-raspad, beta-raspad, gama-raspad i spontana fisija. Pri alfa raspadu se emituju jezgra helijuma ( $\text{He}^{2+}$ ), pri beta raspadu se emituju elektroni i antineutrino, a pri gama raspadu se emituju elektromagnetska zračenja (fotoni) velike energije. U prirodi postoje tri radioaktivna niza: uranijuma ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) i torijuma ( $^{232}\text{Th}$ ) [3]. Svi članovi istog niza su genetski vezani i nastaju sukcesivnim raspadima od prvog člana niza. Ova tri niza se završavaju stabilnim izotopima olova:  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  i  $^{208}\text{Pb}$  [3].

Izotop  $^{238}\text{U}$  je prvi član uranijumovog ili  $(4n+1)$  niza. Od tri prirodna niza ovaj je najduži. Ima specifičnu aktivnost od 0,747 rasp/ $\mu\text{g}$ . Energija glavne grupe alfa čestica je 4,195 MeV (77%), zatim 4,147 MeV (23%) i 4,038 MeV (0,23%). Član niza  $^{226}\text{Ra}$  i njegovi kratkoživeći potomci su od najvećeg značaja u proceni zagađenja. Zbog velike rastvorljivosti  $^{226}\text{Ra}$  u vodi on može biti izvor unutrašnje kontaminacije pijaćih voda, posebno ako se radi o vodama koje potiču sa većih dubina i koje sadrže veće koncentracije U i Ra od prosečnih.  $^{226}\text{Ra}$ , potomak  $^{230}\text{Th}$  se uglavnom nalazi u višku u odnosu na svog roditelja, zbog veće rastvorljivosti Ra u odnosu na Th kao i zbog migracije iz sedimenata u vodu.

Niz uranijuma  $^{235}\text{U}$  ili  $(4n+3)$  počinje nuklidom od kojeg nastaju svi drugi nuklidi ove serije,  $^{235}\text{U}$ , čije je vreme poluraspada  $7,1 \times 10^8$  godina i kraće je oko šest puta od vremena poluraspada  $^{238}\text{U}$ . Tokom geološkog vremena, odnos koncentracija  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  se smanjio na račun bržeraspadajućeg  $^{235}\text{U}$  na vrednost 0,0073. Jedan gram prirodnog uranijuma odgovara aktivnosti: 12 kBq  $^{238}\text{U}$ , 0,55 kBq  $^{235}\text{U}$  i 1 kBq  $^{234}\text{U}$ , koji je član niza  $^{238}\text{U}$  [4].

Poslednji od tri prirodna radioaktivna niza je niz  $^{232}\text{Th}$  ili  $(4n)$  niz, koji se završava stabilnim nuklidom  $^{208}\text{Pb}$ . Ostali članovi ovog niza su relativno kratkoživeći radionuklidi. U mineralima i stenama niske permeabilnosti, očekuje se ravnoteža radionuklida ovog niza. Međutim u tlu, prirodnim vodama i atmosferi različiti fizički i hemijski procesi mogu biti uzročnici neravnoteže. Direktan potomak  $^{232}\text{Th}$  je  $^{228}\text{Ra}$  koji je beta-emiter sa energijom raspada od 55 keV, tako da je zračenje koje potiče od ovoga radionuklida jako teško detektovati. Teškoće u merenju ovog radionuklida su uslovljene prisustvom njegovog kratkoživećeg potomka  $^{228}\text{Ac}$  koji ima maksimalnu beta energiju od 2110 keV i raspada praćene emisijom elektrona i gama zračenja.

Uranijum, torijum i kalijum su glavni nosioci radioaktivnosti u prirodi i glavni radionuklidi u kori Zemlje [5]. Pošto je starost Zemlje približno reda vremena poluraspada  $^{238}\text{U}$ , i drugi radionuklidi iz serije  $^{238}\text{U}$  se nalaze u Zemljinoj kori.

Prirodni radionuklidi se nalaze u svim delovima životne sredine. Oni se u različitim koncentracijama nalaze u vazduhu, vodi, biljkama, životinjama, tlu i stenama. U životnoj sredini se nalaze i kosmogeni radionuklidi (npr.  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$  i  $^{14}\text{C}$ ) koji se stvaraju u gornjim slojevima atmosfere, i radioaktivni  $^{40}\text{K}$ , čija koncentracija je proporcionalna koncentraciji stabilnog kalijuma. Prirodni izvori radioaktivnosti potiču od dugoživećih radionuklida iz zemljine kore, od kosmičkog zračenja ili od nestabilnih radionuklida koji nastaju u interakciji atmosfere sa kosmičkim zračenjem.

## 2.1.2 Veštačka radiaktivnost

Veštački radioaktivni materijali, koji su emitovani u atmosferu zbog testiranja nuklearnog oružja, doveli su do kontaminacije životne sredine. Radioaktivni materijal je prvobitno emitovan u atmosferu, odakle se polako vraćao na zemlju sa padavinama. Pored nuklearnih testova dogodilo se i više nesreća na reaktorima ili reaktorskim postrojenjima (27 nesreća za period 1945-1987. god.), a najozbiljniji akcident u istoriji nuklearne energije dogodio se na nuklearnoj elektrani u Černobilju u bivšem Sovjetskom Savezu, 26. aprila 1986. god. Specifičan način na koji je radioaktivnost oslobođena dovela je do širokog rasprostiranja radioaktivnosti preko severne hemisfere, uglavnom preko Evrope. Biološki najtoksičniji veštački radionuklidi su:  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ , i  $^{90}\text{Sr}$ . U radovima koji opisuju prisustvo radionuklida u ostacima morskih životinja i naročito pacifičkoj tuni, oslobođenih iz oštećenog nuklearnog reaktora u Fukušimi u Japanu posle zemljotresa i cunamija u martu 2011. godine, izazvali su strepnju i pažnju svetske javnosti [6, 7]. Mada rezultati ispitivanja aktivnosti ulovljene tune u Kaliforniji pokazuju da su koncentracija radioaktivnih izotopa ispod prirodnih koncentracija odgovarajućih izotopa [8], ova tema i dalje okupira pažnju svetske javnosti.

*Cezijum (Cs)* je alkalni metal, koji se u prirodi nalazi u malim količinama, kao stabilni izotop  $^{133}\text{Cs}$ . Osnovni izvor stabilnog cezijuma su stene i zemljište [9]. Radioaktivni izotopi  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}=30,7$  god) i  $^{134}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}=2,06$  god) su dospeli u životnu sredinu putem padavina, nakon nuklearnih proba šezdesetih godina i posle nesreće u Černobilju 1986. godine. Ovi radionuklidi su beta-gama emiteri. Hemijske karakteristike radioaktivnih izotopa i stabilnog cezijuma su iste, tako da je i njihovo metaboličko ponašanje prilikom interne kontaminacije u živim organizmima identično.

### 2.1.3 Kruženje vode u prirodi

Od kada je čovek postao svestan sebe i sveta koji ga okružuje, nikad nije bio indiferentan prema vodi. Ona čini 70 % njegovog fizičkog tela i bez nje nema života na Zemlji [10]. Voda ispunjava okeane, jezera, podzemne vode, led, oblake i obnavlja se neprekidnim tokovima putem kiše, snega, isparenja, transpiracije i oticanjem po površini Zemlje. Neophodna je skoro svakom procesu u ekosistemima Zemlje. Oblikuje zemlju topografski, transportuje velike količine materijala kretanjem moćnih lednika, sabija zemljište ispod gromada leda, rečnim tokovima prenosi zemljišne čestice do udaljenih jezera i mora, gde se odlažu na dno i vremenom, eventualno pretvaraju u sedimentne stene. Voda takođe erodira stene delujući kao rastvarač, ili ih mehanički drobi prodirući kroz pukotine. Neprekidnim kretanjem po površini i ispod površine zemlje, voda povezuje i održava ekosisteme Zemlje. Može se reći da je voda nesumljivo osnovni elemenat koji povezuje sve organe unutar jednog organizma, sve organizme unutar nekog ekosistema i ekosisteme sa širom okolinom. Ovo omogućava hidrografska mreža koju treba shvatiti u najširem smislu, počev od površinskih tokova raznih dimenzija, stajaćih i podzemnih voda, kanala, cevi i mikrocevi koje nastaju u zemljištu, do uspostavljanja sistema ćelija koje omogućavaju kretanje vode kroz biljni organizam.

Treba imati u vidu da voda u ekosistemu nije „destilovana“, već zasićena mnogim mikro i makro biogenim elementima i drugim materijama koje prima počev od atmosferskih slojeva do geološke podloge. Ona dospeva do svake biljke i drugih organizama u ekosistemima. Kada ispuni ulogu dostavljanja potrebnih elemenata za dalje sinteze, deo ostaje u biljnim tkivima, a veći deo vraća se u atmosferu da se uključi u ciklus stalnog kruženja. Ovaj krajnje pojednostavljen prikaz vode kao vezivnog elementa ekosistema, u prirodi je izvanredno složen proces, postepeno razvijan stotinama miliona godina.

Hidrološko kruženje je način na koji voda cirkuliše kroz Zemljine sisteme i odvija se u prostoru visine od oko 15 km iznad površine zemljišta do oko 5 km

dubine ispod površine. To su samoregulišući dinamički hemijski, fizički i biološki procesi, kojima se obavlja transfer vode iz jednog „rezervoara“ u drugi, neprekidnim kompleksnim krugovima. Ovi rezervoari uključuju atmosfersku vlagu (oblake, kišu, sneg), okeane, reke, jezera, podzemne vode, tundre, močvare, ledene kape polova, biljni i životinjski svet.

#### **2.1.4 Radioaktivnost podzemnih voda**

Sve veća primena nuklearnih tehnologija, i mogućnost nuklearnih akcidenata, može imati uticaj i na ukupnu radioaktivnost podzemnih voda. Potencijalna opasnost po zdravlje ljudi pri upotrebi voda za piće usled radioaktivnosti regulisana je prihvatanjem preporuka Svetske zdravstvene organizacije [11]. U našem zakonodavstvu su takođe prihvaćene međunarodne preporuke za radioaktivnost voda [12,13].

Podzemne vode su uglavnom padavinskog porekla. Radioaktivnost u vodama je uglavnom posledica prisutnosti radioaktivnih elemenata u Zemljinoj kori koji se rastvaraju u podzemnim vodama, kada se ona kreće kroz pukotine u stenovitom tlu. Kao rezultat ovoga, radionuklidi kroz sisteme za navodnjavanje ulaze u lanac ishrane, a time dolaze u tela ljudi i životinja, što predstavlja zdravstveni rizik. Nivo zdravstvenog rizika još uvek nije jasno definisan zbog toga što još uvek ne postoje epidemiološke studije koje jasno kvantifikuju zdravstvene rizike za sve radionuklide u pijaćoj vodi. Poznato je da unosom  $^{222}\text{Rn}$  preko hrane isti dolazi do želudca na koga negativno utiče, a udisanje  $^{222}\text{Rn}$  koji se kao gas oslobađa iz vode u vazduh dovodi do izlaganja pluća ovom radionuklidu. Dugoživeći radionuklidi  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Po}$  negativno deluju na bubrege, jetru, krv i površinu kosti i koštanu srž [14,15].

Praćenje radioaktivnosti podzemnih voda predstavlja aktuelnu problematiku u svetu i veliki broj radova u naučnim i stručnim časopisima je posvećen ovoj temi. U okviru postizanja kontrole radioaktivnosti voda u svim segmentima njene upotrebe, merenje ukupne alfa i beta aktivnosti i



gamasppektrometrijska analiza zauzima značajno mesto. Posebno mesto zauzimaju istraživanja u oblasti banjskih voda. Sve veća primena nuklearnih tehnologija, i mogućnost nuklearnih akcidenata, mogu da utiču na ukupnu radioaktivnost podzemnih voda.

Dugoživeći uranijumovi i radijumovi izotopi su odgovorni za prirodnu radioaktivnost podzemnih voda. U toku procesa raspada nastaje alfa i beta zračenje. Radijum ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $t_{1/2}=1620$  god,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $t_{1/2}=5,75$  god) je prirodni radioaktivni element iz  $^{238}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$  radioaktivnog niza raspada [16].

Ako se radijum unese u organizam, veći deo radijuma brzo napušta organizam, ali deo ulazi u krvotok i u koštano tkivo. Ovo kao posledica može da dovede do kancera kostiju [17]. U radioaktivnom nizu  $^{238}\text{U}$  serije, prisutan je  $^{222}\text{Rn}$  izotop ( $t_{1/2}=91,8$  h) koji uzrokuje dodatne rizike po zdravlje i životnu sredinu [16]. Udisanje radona i njegovih potomaka može da dovede do raka pluća [18]. Prirodni uranijum se sastoji od tri izotopa  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  i  $^{235}\text{U}$ , koji se razlikuju po masenom udelu u ukupnom uranijumu i vremenu poluraspada ( $^{238}\text{U}$  (99,3%,  $t_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$  y),  $^{234}\text{U}$  (0,0055%,  $t_{1/2} = 2,44 \cdot 10^5$  god,  $^{235}\text{U}$  (0,72%,  $t_{1/2} = 7,04 \cdot 10^8$  god) [19]. Uranijum je široko rasprostranjen u životnoj sredini. Veći deo uranijuma u vodama potiče od uranijuma iz stena i tla. Unošenje uranijuma u organizam preko vode i hrane i udisanje može da dovede do kancera i oštećenja bubrega [20].

*Uranijum (U)* se u prirodi nalazi u maloj količini i to u obliku raznih ruda od kojih su najvažnije uraninit (smolenac, pehblend)  $\text{U}_3\text{O}_8$  odnosno uranijum (IV) -uranat (VI)  $\text{U}(\text{UO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  i kazolit  $\text{PbO} \cdot \text{UO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  [21]. Svi uranovi minerali su važni kao izvor radijuma i uranijumovih izotopa  $^{238}\text{U}$  i  $^{235}\text{U}$ . Prirodni sadržaj uranijuma u vulkanskim stenama se kreće od 0,5-5 mg/kg, u sedimentnim stenama od 0,5-4 mg/kg, a u fosfatnim stenama od 30-300 mg/kg. Mobilizacija i transport uranijuma jedino su mogući u interakciji čvrste i tečne faze u kojoj se nalazi uranijum, odnosno ciklus uranijuma u prirodi obuhvata litosferu i hidrosferu. Osnovni faktori koji utiču na kretanje

uranijuma u prirodi kroz litosferu su redoks potencijal i pH sredine. Ciklus kretanja uranijuma u prirodi započinje oksidacijom četverovalentnog uranijuma. Sve dok su kompleksi u vodenoj fazi stabilni teče proces transporta uranijuma kroz prirodu. Proces kontaminacije zemljišnog rastvora uranijumom se prekida kada se on redukuje ili fiksira. Međutim, sa izmenom uslova u prirodi, fiksiran uranijum se može ponovo pokrenuti i tako ciklus uranijuma ponovo otpočinje. Može se zaključiti da se uranijum slobodno kreće kroz prirodu od momenta oksidacije i rastvaranja u vodi. Uranijum je, po svojim geohemijskim svojstvima i fizičko-hemijskim osobinama, specifičan hemijski elemenat, visoke upotrebne vrednosti, pre svega kao najvažnija energetska sirovina, a i zbog njegove primene u medicini i kosmonautici. Nažalost, prva njegova primena je bila u ratne svrhe (nuklearne bombe), a i danas se koristi tzv. „osiromašeni“ uranijum, koji je nastao kao nus-produkt tokom procesa obogaćivanja  $^{235}\text{U}$ . On je obogaćen  $^{238}\text{U}$ , koji se relativno lako može transformisati u  $^{239}\text{Pu}$ . Teritorija Srbije je 1999. godine, od strane NATO-a bombardovana municijom proizvedenom od osiromašenog uranijuma, koji se na ovaj način našao u životnoj sredini i stvorio mogućnost dalje migracije [22]. Kada su u pitanju radioaktivni elementi, poznato je da uranijum spada u grupu elemenata u prirodi, koji se u kiselinama, bazama, pa čak i u običnim vodama lako rastvara, stvarajući pri tome jedinjenja koja u rastvoru mogu ostati stabilna veoma dugo, i pri tome će se tako transportovati i na velika rastojanja. To je i put i način da ovaj opasan elemenat dođe u kontakt sa čovekom, direktno ili preko brojnih posrednika u lancu ishrane. Radium (*Ra*) i uranijum u normalnim uslovima morali bi se nalaziti u radiaktivnoj ravnoteži ili pak u nekoj približnoj ravnoteži. U praksi je prisutno narušavanje radioaktivne ravnoteže zbog ispiranja uranijuma u stenama.

Aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  je obično manja od aktivnosti uranijuma, ali ipak je njegovo određivanje značajno zbog njegove veće radiotoksičnosti. Pretkoncentracija je ista kao i za alfa-beta merenja, što pri merenjima

omogućava značajnu uštedu vremena. Radijum se indirektno meri preko  $^{222}\text{Rn}$  posle perioda od 20 dana „urastanja“ [23, 24].

*Radon (Rn)* je inertni gas koji je nekoliko puta lakši od vazduha, u pluća se unosi udisanjem. Sam po sebi on nije opasan, ali jesu njegovi potomci. Radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) je gasni radioaktivni potomak  $^{226}\text{Ra}$  koji je prisutan u zemljinoj kori. Ova dva radionuklida pripadaju uranovom ( $^{238}\text{U}$ ) radiaktivnom nizu. Jedan od izvora opasnog i štetnog radona, može biti voda iz koje se oslobađa.

Za prirodne radionuklide koji ne pripadaju radioaktivnim porodicama, jedna od zajedničkih karakteristika je da se direktno raspadaju na stabilne radionuklide. Četvrti prirodni radioaktivni elemenat čija se distribucija prati i proučava intenzivno u geologiji je *kalijum*. Izotop  $^{40}\text{K}$  je  $\beta^-$  i  $\gamma$ -emiter koji je u prirodnom kalijumu prisutan u koncentraciji 0,0118 %. Sadržaj  $^{40}\text{K}$  nuklida prati geohemiju kalijuma, koji je jedan od glavnih elemenata magme. Kalijum je rastvorni katjon koji lako migrira ali može biti i adsorbovan na česticama gline. Vreme poluraspada mu je  $1,25 \times 10^9$  godina. On je jedan od najvažnijih prirodnih radionuklida, čiji je doprinos ukupnom radijacionom opterećenju u normalnim uslovima značajan. On se ne akumulira u ljudskom organizmu već se održava na konstantnom nivou nezavisno od unosa.

I podzemne i pijaće vode obično sadrže različite koncentracije radionuklida. Dok su sveže vode izložene veštačkim radionuklidima nastalim radioaktivnim raspadima, u podzemnim vodama samo prirodna radioaktivnost može da bude detektovana. Prirodni izotopi, kao što je  $^{40}\text{K}$ , i oni koji pripadaju prirodnoj seriji radioaktivnog raspada  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{232}\text{Th}$ , prenose se do vode iz stena akvifera mehanizmima erozije i rastvaranja. Dalje, uzmak koji slede alfa raspade unutar stena, mogu da olakšaju rastvaranje nekih radionuklida. Ovi mehanizmi su donekle proučavani u literaturi [25-27] ali ipak broj uključenih pojava i kompleksnost strukture akvifera čini ovo vrlo kompleksnom temom. Nasuprot tome, prisustvo  $^{222}\text{Rn}$  nije posledica erozije stena ali uglavnom zavisi

od propustljivosti spoljnih slojeva tla. Aktivnost  $^{222}\text{Rn}$  u podzemnim vodama obično prelazi 2-3 nivoa drugih radionuklida.

Vodonika se u prirodi javlja u vidu tri izotopa: protijum,  $^1\text{H}$ , 99,985 %, deuterijum,  $^2\text{H}$  (ili D), 0,015 % i tritijum  $^3\text{H}$  (ili T),  $10^{-16}\%$ . Izotopi protijum i deuterijum su stabilni, a tritijum je radioaktivan. Fizičko-hemijske karakteristike tritijuma su: tip raspada  $\beta^-$  (100%),  $t_{1/2}=12,32$  god., energija zračenja max 18 i srednja 5,7 keV. Tritijum je kosmogeni radionuklid, a može dospeti u životnu sredinu i kao proizvod ljudske delatnosti. Relativno velika razlika u masama između izotopa  $^1\text{H}$  i  $^3\text{H}$  čini izotopske efekte značajnim. Tritijum se u prirodi nalazi u sastavu vode, metana, organskih jedinjenja biljnog i životinjskog porekla. S obzirom na rasprostranjenost vode u prirodi i na njen značaj u metabolizmu živih bića, najznačajnije jedinjenje tritijuma je voda, tj. molekul HTO.

Poslednjih godina, postoji veliko interesovanje za prirodnu radioaktivnost pijaćih voda. Uredba Evropske Komisije 98/83/EC nalaže javnim institucijama da organizuju istraživanja pijaćih voda [28]. Vrednosti parametara su utvrđene za sadržaj tritijuma (100 Bq/l) i za ukupnu efektivnu dozu (0,1 mSv/god): Uredba ukazuje da ukupna efektivna doza mora da se proceni isključujući tritijum,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ , radon i njihove produkte raspada, ali uključujući sve druge radionuklide prirodnih radioaktivnih nizova. Maksimalne vrednosti koncentracija za radon su posebno predložene preporukama Evropske Komisije [29].

Pošto proračun ukupne doze zahteva merenje svih rastvorenih radionuklida, Direktiva Svetske zdravstvene organizacije za pijaću vodu predlaže da se izvede indirektna procena predate doze merenjem ukupne alfa i beta aktivnosti, i proveravanjem saglasnosti sa izvedenim graničnim vrednostima [30-32]. Predložena granica je 0,5 Bq/l za ukupnu alfa i 1 Bq/l za ukupnu beta aktivnost, mada se prethodna vrednost koja je iznosila 0,1 Bq/l za ukupnu alfa aktivnost razmatra od strane EU kao propis EU. Ipak, poželjno je

da se identifikuju pojedinačni radionuklidi koji imaju udeo u ukupnoj alfa i beta aktivnosti da bi se izvela tačnija procena predate doze.

Alfa aktivnost je uglavnom posledica raspada uranijumovih izotopa ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ ) i  $^{226}\text{Ra}$ . Beta aktivnost je u velikoj meri posledica raspada  $^{40}\text{K}$  i kratkoživećih potomaka  $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$  i  $^{234}\text{Pa}$ .

Ukupna alfa i beta aktivnost su vrlo korisni parametri za preliminarno ispitivanje vode. Ukupna alfa aktivnost je osetljiv i naposredan indikator koncentracije uranijumovih izotopa i  $^{226}\text{Ra}$ .

Veći deo alfa aktivnosti je zbog uranijuma, tj izotopa  $^{234}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$ . Uran  $^{235}\text{U}$  je takođe prirodni izotop, koji pripada drugoj seriji radioaktivnih raspada, ali je njegova aktivnost oko 1/40 ukupne alfa aktivnosti. Ako se dostigne ravnoteža, aktivnosti  $^{234}\text{U}$  i  $^{238}\text{U}$  su jednake, iako zbog uzmaka pri alfa raspadu i mehanizma rastvaranja radionuklida, aktivnost  $^{234}\text{U}$  je često veća nego aktivnost  $^{238}\text{U}$  [25-27]. Određivanje elementarnog uranijuma spektroskopskim metodama (fluorimetrijski, atomsko adsorpcionim, atomskim emisionim) daje koncentraciju  $^{238}\text{U}$  izotopa koji je bogatiji maseno, tako da, obezbeđuje obmanjivu informaciju sa radiohemijskog gledišta. Tradicionalne radiometrijske procedure (radiohemijsko razdvajanje praćeno alfa spektrometrijom) dozvoljavaju merenja individualne aktivnosti  $^{235}\text{U}$ .

### **2.1.5 Osnovni uslovi pojavljivanja podzemnih voda Srbije**

Složena geološka građa i povoljni hidrogeološki odnosi usloveli su na teritoriji Srbije značajno bogatstvo u podzemnim vodama, veoma raznovrsnih po svom mineraloškom-hemijskom sastavu, prisustvu gasova, izdašnosti. Po gustini pojava mineralnih i termalnih voda na površini terena, teritorija Srbije spada među najbogatije prostore na evropskom kontinentu, pa i u svetu [33]. Zbog izrazite vulkanske i plutonske aktivnosti iz nedavne geološke prošlosti, praktično nema većeg regiona u kome se bušenjem ne može, na većoj ili manjoj dubini, otkriti akumulacija podzemnih voda.

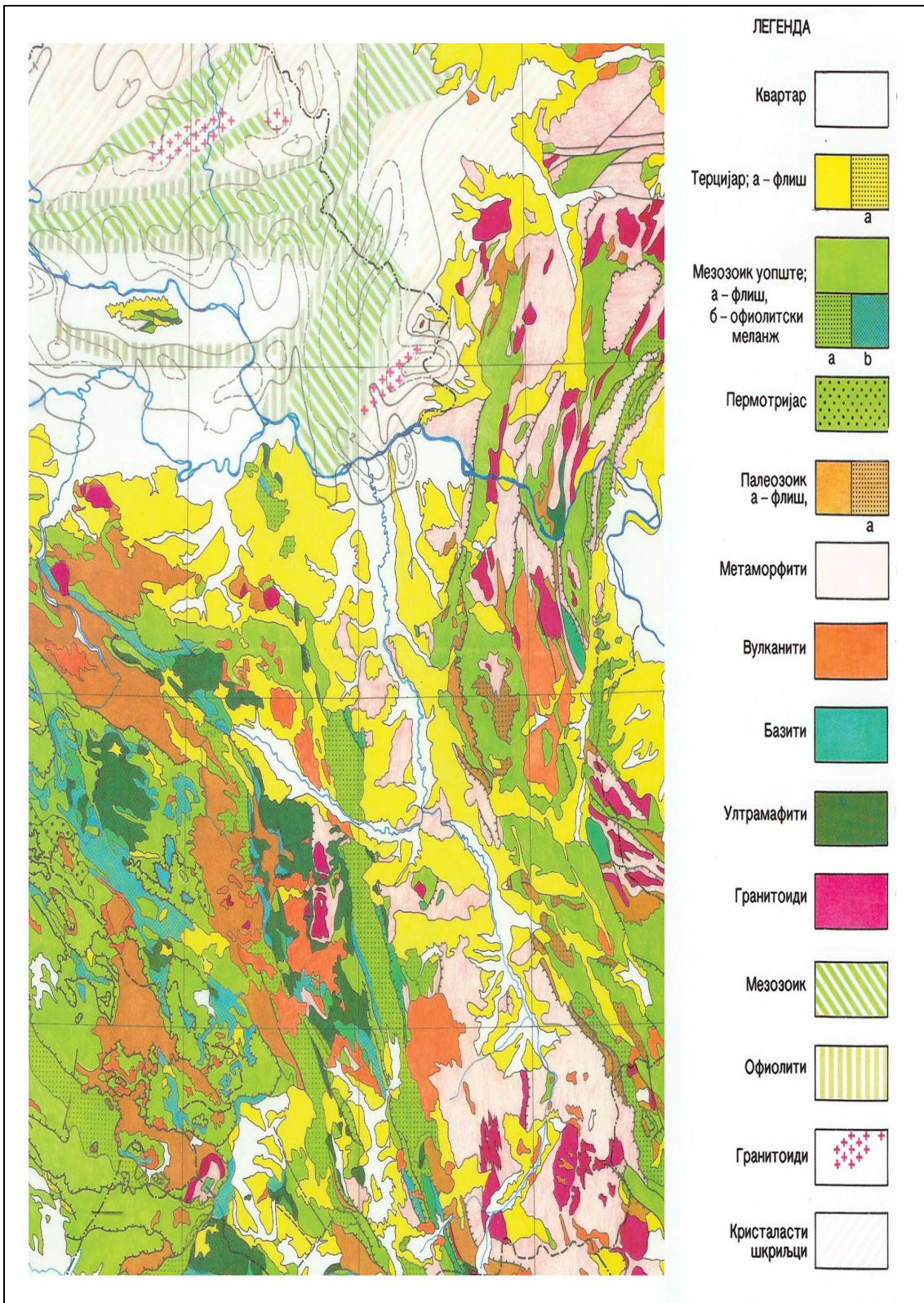
## 2.1.6 Geološka i hidrogeološka podela teritorije Srbije

Teritoriju Srbije odlikuju raznovrsni litološki sastav i složeni strukturni sklop geoloških formacija, čija je starost u rasponu od prekambrije do kvartara (slika 2.1) [34,27]. Neke od važnih formacija su: kristalasti škriljci, crvene permske pešcare, mezozojske flišne tvorevine, jurska dijabaz-rožnačka formacija, prostrane mase mezozojskih krečnjaka, neogene tvorevine brojnih međuplaninskih basena, brojni masivi magmatskih stena, itd. Sve te tvorevine se međusobno razlikuju po svom mineraloškom i hemijskom sastavu, a uz to su tektonski više ili manje razlomljene [35-37].

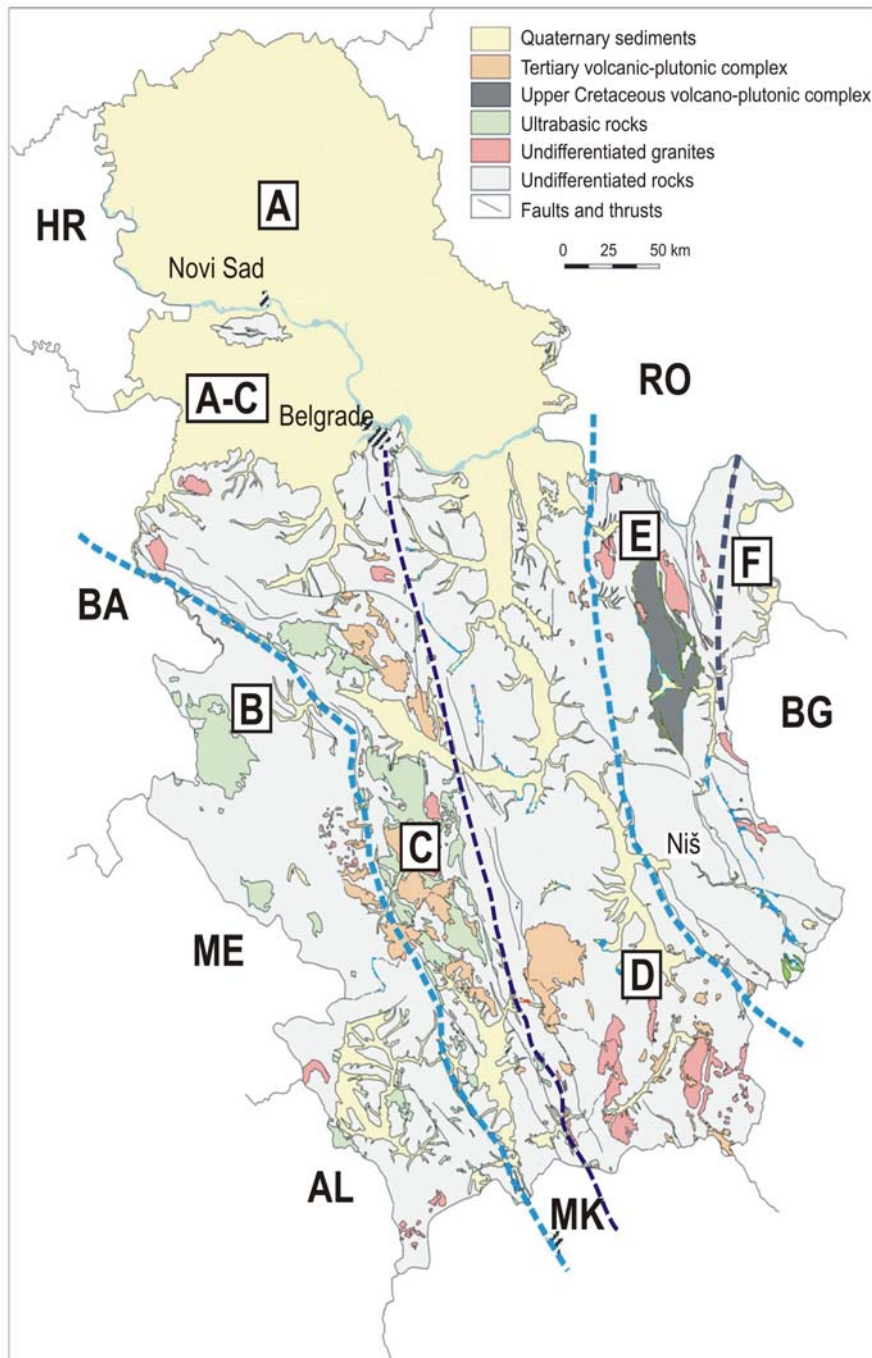
Unutar teritorije Srbije izdvaja se nekoliko *geotektonskih jedinica* (celina) markiranih određenim specifičnostima u geološkom sastavu, geomorfološkom sklopu i hidrogeološkim uslovima [38,39]. U tom smislu razlikuje se više geotektonskih (geomorfoloških i hidrogeoloških) jedinica (slika 2.2). Podela na geotektonske hidrogeološke jedinice izvršena je na osnovu nastanka, sastava i tektonskog sklopa tektonskih struktura [40].

*Panonski basen (A)* predstavlja mladu depresiju, zapunjenu tercijarnim i kvartarnim tvorevinama debljine do 4500 m. Tako je stvorena geološki, geomorfološki i hidrogeološki jasno izražena celina na severu Srbije. Unutar kompleksa kvartarnih sedimenata sa stanovišta vodosnabdevanja najvažniji je tzv. *osnovni vodonosni kompleks*, koji zaleže do dubine reda 200 m, ali su vrlo perspektivna i okolna *aluvijalna izvorišta*.

*Dinaridi i Karpatobalkanidi (B,E)* zahvataju planinske prostore na jugozapadu i istoku Srbije izgrađene pretežno od jako karstifikovanih krečnjaka. U propusnoj krečnjačkoj sredini formirane su razbijeni izdanci, koji se prazne preko snažnih karstnih izvora nastalih na kontaktima krečnjaka sa okolnim nepropusnim stenama.



Slika 2.1: Pregledna geološka karta teritorije Srbije [34]



**Slika 2.2: Mapa geotektonskih zona na teritoriji Srbije** (A - *Panonski basen* -područje Bačke i Banata; B - *Dinaridi* - jugozapadna Srbija, C - *Vardarska zona* - pretežan deo zapadne Srbije, D- *Srpsko-makedonska masa* - središnja Srbija, E- *Karpatobalkanidi* - istočna Srbija i F - *Dakijski basen* - područje Negotinske nizije).



*Vardarska zona (C)* zahvata značajan deo zapadne polovine teritorije Srbije. Odlikuje se skoro isključivo stenama sa pukotinskom poroznošću (fliševi, laporci, gline, magmatske stene, kristalasti škriljci). Iako veoma raznovrsne, stene ovog izuzetno složenog geotektonskog pojasa pretežno pripadaju slabo propusnim do praktično nepropusnim sredinama markiranim izvorima niske izdašnosti.

*Srpsko-makedonska masa (D)* ima relativno jednostavan geološki sklop. Na severnoj polovini, podinu jezerskih sedimenata neogene starosti čine kristalasti škriljci, na glavnini terena južne polovine kristalasti škriljci izbijaju na površinu. Na severu, vodeću vodonosnu sredinu predstavljaju rečni nanosi Velike i Južne Morave i peskoviti slojevi kompleksa neogena, dok su tereni južne polovine veoma siromašni pitkim podzemnim vodama.

*Dakijska (Vlaško-pontijska) (F)* depresija je samo zapadnim obodom na teritoriji istočne Srbije. Depresija je zapunjena neogenskim sedimentima, debljine naslage oko 2000 m.

Kao baza za geomorfološku i hidrogeološku regionalizaciju Srbije usvojena je prikazana geotektonska podela. Naime, izdvojene celine odlikuju se određenim tipom reljefa odnosno markirane su određenim tipom (ili tipovima) vodonosnih sredina. Tako su u morfološki raščlanjenim regionima (Dinaridi, Karpatobalkanidi) glavne vodonosne sredine predstavljene masama karstifikovanih krečnjaka, Vardarska zona skoro isključivo stenama sa pukotinskom poroznošću, a mlade depresije (Panonski i Dakijski baseni, depresije unutar Srpsko-makedonske mase) predstavljene aluvijalnim tvorevinama i neogenim jezerskim sedimentima tj., vodonosnim horizontima sa intergranularnom poroznošću.

### **2.1.7 Hidrogeološki i geohemijski uslovi formiranja ležišta mineralnih voda**

Formiranja ležišta mineralnih voda bitno zavisi od geološke građe terena, strukturnog položaja i petrološke vrste hidrogeoloških kolektora u sklopu terena. Zbog toga se u praksi uveo pojam hidrogeološka struktura, pod kojom se podrazumeva geološko telo sa vodom, unutar čijih granica je nepromenljiv karakter raspodele podzemnih voda u stenama, uslova formiranja resursa mineralne vode i njenog fizičko-hemijskog sastava [33]. Za formiranje ležišta mineralnih i termalnih voda posebno povoljan uslov je postojanje poluotvorene hidrogeološke strukture, odnosno vodonosna sredina treba da je određenim barijerama zaštićena od brze vodozamenje, jer bi u suprotnom bio onemogućen duži kontakt vode i stene i stoga mineralizacija vode i zadržavanje njene toplote. Tako su mnoga naša ležišta mineralne vode, prema sadržaju izotopa  $^{14}\text{C}$  sa apsolutnom starošću tog resursa reda 1600-30000 godina (na primer, Pribojska Banja 28000 godina, Vrnjačka Banja 30000 godina) [41].

Samo formiranje određenog tipa mineralne vode vrši se uglavnom kroz složene geohemijske procese. Ipak, krajnji hemijski sastav vode u izvoru je najvećim delom posledica interakcije vode i stena u vodonosnoj sredini (akviferu) u kojoj je formirano ležište date vode. Drugim rečima, u datoj hidrogeološkoj strukturi obično preovlađuje petrološki jedna vrsta vodonosne sredine, na koju sa većom ili manjom sigurnošću može ukazati fizičko-hemijska analiza uzeta sa izvora ili iz bušotine.

Na osnovu takvog polaza za minerealne i termalne vode izdvajaju se oblasti sa određenim hidrogeološkim strukturama odnosno vodonosnim sredinama [33]. Na osnovu litološkog sastava akvifera izdvajaju se 4 hidrogeološke grupacije.

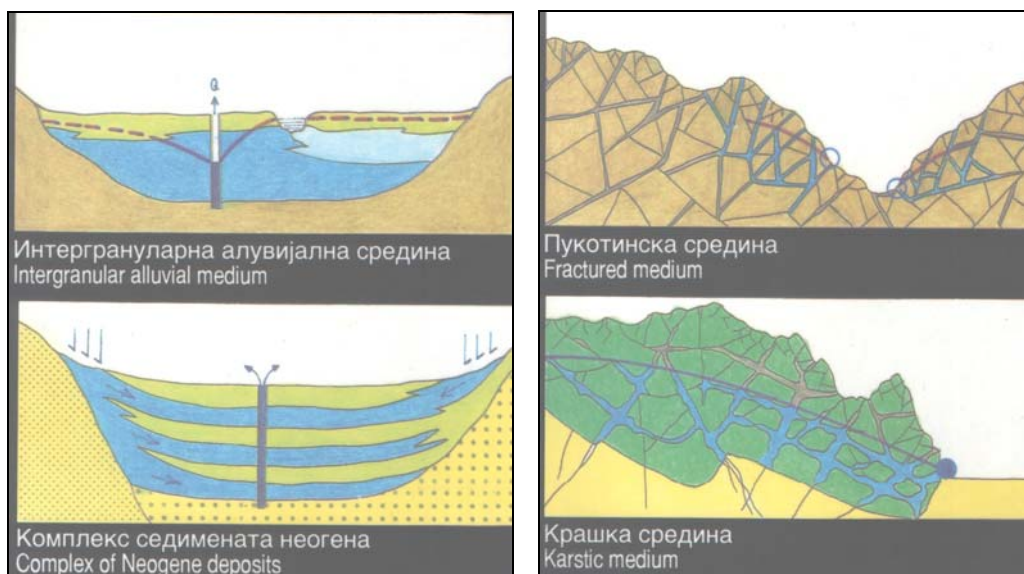
1. Mineralne i termalne vode vulkanogenih (magmatskih) masiva
2. Mineralne i termalne vode karstnih područja

3. Mineralne i termalne vode oblasti metamorfita (kristalastih škriljaca)
4. Mineralne i termalne vode hidrogeoloških basena (neogen)

Mineralne vode potiču sa područja složene geološke građe, zbog toga ih klasifikujemo po hidrogeološkim sredinama. Težimo da definišemo tip vodeće vodonosne sredine unutar te strukture, kao i vodeću litološku sredinu (sastav stena).

### 2.1.8 Tipovi vodonosnih sredina

Sa stanovišta nastanka i akumuliranja podzemnih voda uopšte, interesantna su sledeća četiri tipa vodonosnih sredina (slika 2.3) [34].



**Slika 2.3. Sheme tipskih vodonosnih sredina [34]**

1. *Intergranularna aluvijalna vodonosna sredina* sastoji se iz dva člana-peskovito-šljunkovitog horizonta i slabije propusne povlate predstavljene sedimentima sitnije granulacije. Ona je sa stanovišta vodosnabdevanja izuzetno interesantna.

2. *Arteski baseni* formirani su u tektonskim (međuplaninskim) depresijama, pa se predstavljaju u vidu jedne sinklinalne strukture, sa oblastima prihranjivanja po obodima basena. Zapunjeni su slojevima peskovito-

šljunkovitog sastava i slabopropusnim glinovitim horizontima, a na većoj dubini čvrstim stenama (krečnjaci, laporci i sl.). Među arteskima Srbije svojim dimenzijama se izdvaja Panonski basen. Mineralne i termalne odlike vode ove hidrogeološke celine razlikuju se zavisno od toga sa koje dubine i iz kojih slojeva vode poreklo. Po pravilu, sa dubinom rastu i mineralizacija (2-50 g/l) i temperatura (od 20 do 100 °C).

3. *Pukotinska vodonosna sredina* interesantna je zbog velikog rasprostranjenja magmatskih, metamorfnih i čvrstih sedimentnih stena, koje se odlikuju pukotinskom poroznošću. Na teritoriji Srbije, dati tip vodonosne sredine najbolje je razvijen unutar vardarske šumadijsko-kopaoničko-kosovske) geotektonske jedinice. Raspodela podzemnih voda unutar te diskontinualne sredine najčešće je vrlo složena, a izdašnost izvora i bušenih bunara često ograničena (od 0,5 do 2,5 l/s). Izuzetno, kapacitet kaptažnih objekata može biti daleko veći ako kolektore sprovodnike vode predstavljaju rasedi i rasedne zone.

4. *Karstna vodonosna sredina* karakteristična je za zone Dinarida i Karpatobalkanida, izgrađene pretežno od karbonatnih karstifikovanih tvorevina. Vodeće vodonosne sredine su svakako trijaski krečnjaci (u Dinaridima) odnosno jursko-kredni krečnjaci (u Karpatobalkanidima). Mineralne vode u tim sredinama su češće niže mineralizacije (ispod 1 g/l), a posebno se odlikuju visokom izdašnošću izvora i bušenih bunara.

## *Pregled literature*

U literaturi ima relativno malo radova u kojima se proučava zavisnost koncentracija (tj. aktivnosti) radiaktivnih izotopa u vodi od geohemijskih karakteristika akvifera, mada postoji veći broj radova ispitivanja radioaktivnosti vode u cilju monitoringa i ispitivanja pogodnosti voda za piće. Labidi i drugi [42] su merili radiaktivnost nekih Tuniskih termo mineralnih izvora (11 toplih mineralnih izvora i jedan hladni izvor) korišćenjem procedura radiohemijske separacije. Dobijeni rezultati su pokazali da aktivnost  $^{238}\text{U}$  varira u opsegu od 1.5 do oko 43 mBq/l. Merene aktivnosti  $^{234}\text{U}$  i  $^{226}\text{Ra}$  se nalaze u opsegu 1,1 do oko 82,2 mBq/l i 34–3900 mBq/l, respektivno. Radioaktivna neravnoteža u ovim vodama je u povećanim aktivnostima  $^{234}\text{U}$  u poređenju sa koncentracijom  $^{238}\text{U}$ . Odnos  $^{226}\text{Ra}/^{234}\text{U}$  je bio veliki i u opsegu od 9,0–691,0.

Walencik i drugi [43] su ispitivali prirodne izotope u podzemnim mineralnim i izvorskim vodama Spoljnih Karpata. Uzorci oko 40 izvora voda su prikupljeni 3-4 puta u periodu od 10 godina (1997 – 2007). Aktivnosti  $^{222}\text{Rn}$  ispitivanih uzoraka je bila u opsegu od ispod 1 Bq/l do 50 Bq/l. Za radijumove izotope koncentracija je bila ispod 10 mBq/l do 490 mBq/l za  $^{226}\text{Ra}$  i od 29 mBq/l to 397 mBq/l za  $^{228}\text{Ra}$ . Najveća koncentracija za oba radijumova izotopa je dobijena za medicinsku vodu Zuber III iz Krynica banje. Aktivnost za uranijumove izotope je iznosila od ispod 0,5 mBq/l do 16 mBq/l za  $^{238}\text{U}$  i ispod 0,5 mBq/l do 162 mBq/l za  $^{234}\text{U}$  sa najvećim vrednostima dobijenim za vodu Zuber IV. Najveća godišnja efektivna doza koja potiče uglavnom od radijumovih izotopa je dobijena za Zuber III vodu i bila je 75  $\mu\text{Sv}/\text{god}$ . Takođe je procenjena godišnja efektivna doza  $^{222}\text{Rn}$ . Autori su odredili odnos izotopa koji potiču od istog radioaktivnog niza ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ ) i različitih radioaktivnih nizova raspada ( $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$ ) i prikazali korelaciju između različitih izotopa.

Radon je meren u podzemnim vodama u Ekstramanduri u Španiji i analizirano je 350 uzoraka iz javnih i privatnih izvora, bunara i banja tečnom scintilacionom metodom i gama spektrometrijom [44]. Aktivnost  $^{222}\text{Rn}$  je bila u opsegu 0,24 do 1168 Bq/l. Statistička analiza je pokazala log-normalnu distribuciju sa srednjom vrednošću  $117\pm 7$  Bq/l i medijanom  $36\pm 3$  Bq/l. Hidrogeološka proučavanja su pokazala korelaciju između aktivnosti i karakteristika materijala akvifera. Autori zaključuju da su najveće koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  (do 1168Bq/l) nađene kod eruptivnih stena. Visoke vrednosti koncentracija do 500 Bq/l su nađene kod metamorfnih i kvarcitnih stena. Srednje vrednosti su nađene kod škriljaca i sedimentnih stena. Kod aluvijalnih akvifera su koncentracije bile manje od 100 Bq/l.

Stvaranje radona  $^{222}\text{Rn}$  i njegov transport u zemljinoj kori uključuje procese emanacije (stvaranja), difuzije, dolaska i adsorpcije [45]. Koncentracija  $^{222}\text{Rn}$  u tlu uglavnom zavisi od količine radijuma, faktora emanacije i od gustine i poroznosti tla. Na migraciju  $^{222}\text{Rn}$  iz pora tla do vode utiče relativna zapremina vode u tlu i temperatura (rastvorljivost  $^{222}\text{Rn}$  opada sa povećanjem temperature). Visoke koncentracije  $^{222}\text{Rn}$  u vazduhu zavise od geoloških karakteristika tla, sa najvećim vrednostima koje su u vezi sa granitom, srednje vrednosti sa sedimentarnim i metamorfnim stenama, a najniže vrednosti sa krečnjakom [46]. Ove studije su sprovedene da bi se uspostavile zone rizika od radona.

Belin i drugi su merili alfa i beta aktivnosti, sadržaj jona Pb, Cr, Ni, Cu, Fe, Zn, Cd, Mn i Co pre i posle pomeranja zemljišta u severnoj Anadoliji prouzrokovanog zemljotresima unutar 87-dnevnog perioda [47]. Povećanje ukupne alfa i beta aktivnosti, sadržaja Pb, Cr, Ni, Cu i smanjenje sadržaja Fe, Zn, Cd, Mn i Co je bilo značajno.

Karamanlis i drugi su određivali radioaktivnost u otpadnim vodama termoelektrane "Agios Dimitrios" u kojoj se spaljuje lignit u Grčkoj [48]. Koncentracija  $^{226}\text{Ra}$  u otpadnoj vodi je za bar jedan red veličine veća nego kod

prirodnih voda, a koncentracija  $^{226}\text{Ra}$  sedimenata na dnu je bila veća od nivoa nađenog kod prirodnih voda. Međutim, koncentracija radionuklida u uzorcima tla koje se ispira vodom povećane radioaktivnosti, je bila slična radioaktivnosti tla koje se nije ispiralo ovom vodom. Statističkom analizom je dobijeno da su ukupna alfa aktivnost i aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  u korelaciji sa temperaturom vode i provodljivošću. Ukupna beta aktivnost je u korelaciji sa temperaturom i provodljivošću jer je  $^{40}\text{K}$  bila glavna komponenta u ukupnoj beta aktivnosti. Hijerarhijska klaster analiza je korišćena za ispitivanje veza između tragova elemenata, radioaktivnosti i fizičko-hemijskih parametara. Personov korelacioni koeficijent se koristio za početnu meru sličnosti (ili razlika) između promenljivih i klastera. Razlikovala su se 4 klastera: prvi klaster je primarno sastavljen od radioaktivnosti i fizičko-hemijskih parametara; drugi klaster se sastoji od Cu, Ni i Zn; treći od Mn, Fe, Mo i Pb; a četvrti od V i Cr. Ovakva organizacija klastera se slaže sa elementima u većini uglja ili sa Goldšmitovom klasifikacijom, koja grupiše hemijske elemente na osnovu njihovih preferiranih faza [49].

Procena kvaliteta površinskih i podzemnih voda i ekološka istraživanja primenom multivarijacionih metoda su dobro opisani u literaturi [50]. Multivarijacione statističke metode se koriste za karakterizaciju i evaluaciju kvaliteta vode vodnih tela i predstavljaju koristan alat za utvrđivanje vremenskih i sezonskih varijacija usled prirodnih i antropogenih pritisaka. Faktorska analiza se koristi za objašnjenje korelacije između posmatranja preko osnovnih faktora koji nisu direktno uočljivi. Visoka korelisanost podataka u faktorskoj analizi (pozitivno ili negativno) pretpostavlja i veliku verovatnoću da su podaci pod uticajem istih faktora, dok su relativno nekorelisani podaci pod uticajem različitih faktora, što je i aksiom faktorske analize [51-53]. Vujović i drugi su primenom faktorske analize 13 parametara kvaliteta voda grupisali četiri faktora (F1 - fizičko-hemijski faktor, F2 - faktor eutrofikacije, F3 - faktor tačkastih izvora zagađenja, F4 - ekološki faktor) na osnovu kojih je definisan najveći uticaj na variranje kvaliteta vode [50].

Taiwo je analizirao glavne faktore fizičko-hemijskih parametara podzemnih voda u gradovima Nigerije [54]. Vrednost faktora dobivenih analizom glavnih komponenti kreću se u rasponu od četiri do osam. Identifikovani izvori zagađenja su: dekompozicija stena (pod utjecajem morske vode ili u kombinaciji s morskom vodom), nutrienti, čvrste materije, industrija, tvrdoća (rastvoreni minerali), fekalno zagađenje, ispiranje tla, prodor slane vode.

P. Papić i J. Stojković su primenili metodu analizu glavnih komponenti (PCA) na skup fizičko-hemijskih podataka koji čini 15 parametara hemijskog sastava merenih na 40 uzoraka podzemnih voda sa teritorije Srbije [55]. Analizirane su koncentracije u [mg/l] sledećih elemenata: Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>2</sub>, F, B, Li, Sr i CO<sub>2</sub>, kao i temperatura i pH. 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 marinskog porekla, katjonsku izmenu i rastvaranje karbonatnih i silikatnih minerala.

Guggenmos i drugi su primenili klaster analizu i analizu glavnih komponentata za ispitivanje uticaja interakcije površinskih i podzemnih voda i mehanizme interakcije u Wairarapa dolini u Novom Zelandu [56]. Merene veličine su bile koncentracije [mg/l] Ca, Mg, Na, K, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub> i električna provodljivost površinskih i podzemnih voda. Površinske vode (24) i podzemne vode (246) su grupisane zajedno u tri od sedam klastera identifikovanih hijerarhijskom klaster analizom, što ukazuje na postojanje interakcije površinskih i podzemnih voda za ova tri klastera.

Raste zainteresovanost za radioaktivnu kontaminaciju podzemnih voda, kao posledica podzemnih nuklearnih proba. Proučavanje migracije pojedinih radionuklida kroz podzemne vode uslovljeno je fizičkim i termičkim poremećajima geoloških okruženja tla. Tompson i drugi su ispitivali hemijsko



ponašanje i obim migracije radionuklida u podzemnim vodama, kao posledica podzemne nuklearne probe u Nevada poligonu ( the Nevada Test Site-NTS) Formirani su matematički modeli koji predstavljaju uticaj geološke okoline tla na osobine radionuklida [57]. Gordeev i drugi su određivali mogućnost izbora bunara i terena za uspešno proučavanje migracije radionuklida sa podzemnim vodama, kao posledica eksplozije kratera na poligonu (the Semipalatinsk Test Site). Uočena je zavisnost migracije radionuklida ( $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  i  $^{241}\text{Am}$ ) od geološke strukture zemljišta [58].

## ***2.2 Statističke metode analiza koje su korišćene u radu***

### **2.2.1 Definicije korišćenih pojmova**

*Deskriptivna statistička analiza* predstavlja skup metoda kojima se izračunavaju, prikazuju i opisuju osnovne karakteristike statističkih veličina. Cilj deskriptivna statističke analize je grupisanje, sređivanje i prikazivanje statističkih podataka kao i da odredi osnovne pokazatelje statističkih serija. Grupisanje podataka se vrši prema vrednostima ili modalitetima posmatranih obeležja. Kao rezultat grupisanja se javlja statistička serija, koja predstavlja uređeni skup varijacija obeležja statističke mase. Statistička serija se prikazuje u obliku tabele u kojoj je u prvoj koloni prikazana kvalitativna strana statističke mase, a u drugoj kvantitativna strana.

*Srednja vrednost* ( $\mu$ ) predstavlja aritmetičku sredinu članova populacije i/ili uzoraka.

*Medijana* ( $m$ ) je broj koji razdvaja gornju polovinu uzorka, populacije ili raspodele verovatnoće od donje polovine. Medijana konačnog broja je srednji član niza poređanog po veličini ukoliko je broj članova niza neparan. Ukoliko je broj članova niza paran, medijana nije jedinstvena pa se najčešće uzima aritmetička sredina dve vrednosti koje su kandidati za medijanu.

Standardna devijacija ( $\sigma$ ) predstavlja meru odstupanja podataka od srednje vrednosti promenljive. Standardna devijacija je data izrazom:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (1.1)$$

gde je  $n$  - broj elementa u skupu

$\mu$  - aritmetička sredina skupa

$x$  - član skupa (promenljiva koja se posmatra).

Varijansa ( $\sigma^2$ ) je druga mera odstupanja podataka od srednje vrednosti i izračunava se iz jednačine i jednaka je kvadratu standardne devijacije.

Varijansa i standardna devijacija su načešće korišćene mere odstupanja.

Normalna ili Gausova distribucija predstavlja očekivanu raspodelu odstupanja od srednje vrednosti promenljive izvedena iz teorije verovatnoće.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1.2)$$

gde je  $\mu$  - srednja ili očekivana vrednost a  $\sigma$  - standardna devijacija,  $x$  - promenljiva koja se posmatra

Normalna distribucija se često koristi u prirodnim i društvenim naukama za slučajne promenljive čija raspodela nije poznata [59]. Normalna distribucija je simetrična oko svoje srednje vrednosti.

Kovarijansa ( $cov$ ) predstavlja zajedničku meru varijabilnosti dve promenljive, može da se predstavi kao zbir varijansi jedne i druge promenljive:

$$cov_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2} + \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{sr})^2} \quad (1.3)$$

odavde je:

$$\text{COV}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{n-1} - x_{sr} y_{sr} \quad (1.4)$$

gde su  $x_{sr}$  i  $y_{sr}$  aritmetičke sredine promenljivih  $x$  i  $y$ .

*Koeficijent proste linearne korelacije ili Pearson-ov koeficijent* predstavlja kovarijansu izraženu u jedinicama standardnih devijacija obe promenljive:

$$r_{xy} = \frac{\text{COV}_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1.5)$$

gde su  $r_{xy}$  koeficijenti linearne korelacije, a  $\sigma_x$  i  $\sigma_y$  standardne devijacije promenljivih  $x$  i  $y$ .

Koeficijent proste linearne korelacije pokazuje stepen zavisnosti između promenljivih  $x$  i  $y$  i određuje veličinu disperzije podataka oko regresione linije.

## 2.2.2 Analiza glavnih komponenta

Često se, u praksi, sreću procesi opisani velikim brojem promenljivih, odakle se stiče utisak da je problem multidimenzionalan. Na primer, model koji opisuje neku pojavu može biti sasvim smislen i primenljiv, ali skup promenljivih koje se mere i koriste u tom modelovanju može biti izuzetno velik i sadržavati veliki broj promenljivih. Ovo je relativno čest slučaj, jer se model prvobitno konstruiše tako da promenljive u njemu imaju fizički smisao, ili šire govoreći, neku interpretaciju (ne moraju se modelovati samo fizički procesi, npr. izvorni podaci mogu predstavljati neku digitalizovanu sliku). Takav model, iako može da se koristi da opiše datu pojavu, može biti suviše složen i time nepogodan za analizu i dalju obradu, pošto veliki broj promenljivih neizbežno, ponovljenim merenjima, dovodi do izuzetno velikog broja podataka koje treba obrađivati. Zato se često pribegava tehnikama koje imaju cilj da smanje broj promenljivih i time pojednostave model smanjujući njegovu dimenzionalnost, a da pri tome, on ostane dovoljno adekvatan da se i dalje

može koristiti za opis posmatranog procesa. Jedna od takvih tehnika je i *analiza glavnih komponenta* (engl. *Principal Component Analysis- PCA*).

Analiza glavnih komponenta (PCA) bavi se tumačenjem strukture matrice promenljivih i kovarijansi skupa izvornih promenljivih pomoću malog broja njihovih linearnih kombinacija. Često je veliki deo varijabiliteta  $n$  ulaznih promenljivih opisan malim brojem  $k$  glavnih komponenta ( $k < n$ ). Ako je ovo ispunjeno onda,  $k$  glavnih komponenta sadrži jednaku količinu informacija kao  $n$  ulaznih promenljivih. Zbog toga početni skup podataka koji se sastoji od  $n$  promenljivih i  $m$  merenja može da se redukuje na skup od  $p$  merenja na  $k$  glavnih komponenta. Analiza glavnih komponenta otkriva povezanost između promenljivih i omogućava interpretacije do kojih se bez ovakve analize ne bi došlo. Glavne komponente su linearne kombinacije koordinatne ose novog koordinatnog sistema dobijenog rotacijom oko starog sa glavnim komponentama kao koordinatnim osama.

Ulazni podaci za analizu glavnih komponenta čine  $p$  promenljivih i  $n$  merenja i imaju oblik matrice  $p \times n$  [60].

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ & \ddots & & \\ & & \ddots & \\ x_{k1} & x_{k2} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Cilj analize je kreiranje  $p$  linearnih kombinacija izvornih promenljivih koje se nazivaju glavne komponente [61].

$$\xi_1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1p}X_p \quad (1.7)$$

$$\xi_2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2p}X_p \quad (1.8)$$

...

$$\xi_p = w_{p1}X_1 + w_{p2}X_2 + \dots + w_{pp}X_p \quad (1.9)$$

gde su  $\xi_1, \xi_2, \xi_p$ , glavne komponente, a  $w_{ij}$  su koeficijenti odnosno konstante koje čine koeficijente  $j$ -te promenljive za  $i$ -tu glavnu komponentu.

Konstante  $w_{ij}$  su procenjene tako da su ispunjeni sledeći uslovi:

1. prva glavna komponenta  $\xi_1$  objašnjava maksimum varijanse iz podataka, druga glavna komponenta  $\xi_2$  objašnjava maksimum varijanse koja je ostala neobjašnjena prvom i tako dalje.
2.  $w_{i1}^2 + w_{i2}^2 + \dots + w_{ip}^2 = 1 \quad i = 1 \dots p$
3.  $w_{i1}w_{j1} + w_{i2}w_{j2} + \dots + w_{ip}w_{jp} = 0$  za sve  $i \neq j$

Uslov da zbir kvadrata konstanti iznosi 1 iz uslova 2 je zadat zbog fiksiranja skale novih promenljivih. U suprotnom bi bilo moguće povećati varijansu linearne kombinacije jednostavnom promenom skale. Uslov 3 osigurava da nove promenljive nisu međusobno korelisane, tj da su nove ose međusobno ortogonalne.

Konstante  $w_{ip}$  se nazivaju svojstveni ili latentni vektori  $i$  u geometrijskom smislu predstavljaju sinuse i kosinuse uglova novih osa, tj. glavnih komponenta. Transformisane vrednosti izvornih promenljivih ( $X_1, X_2, \dots, X_p$ ) predstavljaju intenzitete (skorove) glavnih komponenta.

Deo ukupne varijanse (zbira varijansi svih izvornih promenljivih) objašnjen jednom glavnom komponentom naziva se svojstvena vrednost. Svojstvena vrednost je najveća kod prve glavne komponente i u svakoj sledećoj je sve manja. Cilj je iteracijom izdvojiti što veći deo ukupne varijanse prvih nekoliko glavnih komponenta i time redukovati broj izvornih promenljivih. Svojstvena vrednost je varijansa izračunata iz seta skorova glavne komponente što može da se prikaže setom jednačina:

$$w_{11}x_1 + w_{12}x_2 + \dots + w_{1p}x_p \quad (1.10)$$

$$w_{21}x_1 + w_{22}x_2 + \dots + w_{2p}x_p \quad (1.11)$$

...

$$w_{p1}x_1 + w_{p2}x_2 + \dots + w_{pp}x_p \quad (1.12)$$

ili u obliku matrice:

$$Wx = \lambda x \text{ ili } (W - \lambda I) = 0 \quad (1.13)$$

gde je I jedinična matrica dimenzija  $p \times p$  sa vrednošću 1 u dijagonali, 0 je  $p \times 1$  vektor, a vrednost skalara  $\lambda$  su svojstvene vrednosti matrice W. Ako se za i-tu svojstvenu vrednost  $\lambda_i$  postavi  $x_i = 1$ , onda se rezultujući vektor sa x vrednosti zove svojstveni vektor matrice A.

$$x_i = \begin{bmatrix} 1 \\ x_{2i} \\ x_{3i} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{ni} \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

Problem dobijanja svojstvenih vektora se rešava rastavljanjem svojstvenih vrednosti koje se u matričnom obliku predstavlja kao:

$$X = PDQ' \quad (1.15)$$

gde je X matrica tipa  $n \times m$  ranga kolone r, P je  $n \times r$  matrica, D je dijagonalna matrica  $r \times r$ , a Q' je matrica  $r \times p$ . Matrice P i Q su ortogonalne tako da je

$$P'P = 1 \quad (1.16)$$

i:

$$Q'Q = 1 \quad (1.17)$$

Kolona p matrice Q' sadrži svojstvene vektore matrice  $XX'$  a dijagonala matrice D sadrži vrednosti korena odgovarajućih svojstvenih vrednosti matrice  $X'X$ .

Matrica kovarijansi C je simetrična:

$$C = \begin{bmatrix} \text{COV}_{11} & \text{COV}_{12} & \cdots & \text{COV}_{1p} \\ \text{COV}_{21} & \text{COV}_{22} & \cdots & \text{COV}_{2p} \\ . & \ddots & \cdots & . \\ . & . & \ddots & . \\ \text{COV}_{p1} & \text{COV}_{p2} & \cdots & \text{COV}_{pp} \end{bmatrix} \quad (1.18)$$

a kovarijanse  $\text{cov}_{ii}$  su varijanse  $s_i^2$ .

Matrica korelacija  $R$  mora da bude simetrična:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ . & \ddots & \cdots & . \\ . & . & \ddots & . \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & r_{pp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2p} \\ . & \ddots & \cdots & . \\ . & . & \ddots & . \\ r_{p1} & r_{p2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

Analiza glavnih komponenti je matematička procedura koja koristi ortogonalnu transformaciju za konverziju seta vrednosti međusobno korelisanih promenljivih u set vrednosti linearno nekorelisanih varijabli nazvanih glavnim komponentama. Broj glavnih komponenti je manji ili jednak broju originalnih promenljivih. Ova transformacija je definisana na takav način da se prva glavna komponenta ima najveću moguću varijansu (što znači da obuhvata najveći mogući broj promenljivih podataka).

Analiza glavnih komponentata ima cilj da skup posmatranih promenljivih  $a_1, a_2, \dots, a_n$  izvornog modela  $f(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , transformiše u nove promenljive  $b_1, b_2, \dots, b_k$  koje ne moraju da imaju fizički smisao (interpretaciju) ali je njihov broj značajno manji od početnog broja promenljivih ( $k \ll n$ ). Ove nove promenljive se tada nazivaju "glavnim komponentama". Novi, konstruisani, redukovani skup promenljivih neizbežno gubi deo informacija sadržan u izvornom skupu  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , ali se, najopštije govoreći, primenjuje određeni

kriterijum da se definiše koliko se promenljivih, a samim time i količine informacija, želi "sačuvati".

Prvo što treba primetiti je to da je u originalnom skupu promenljivih  $a_1, a_2, \dots, a_n$  verovatno prisutna neka vrsta interferencije (redundanse), odnosno da se iste informacije sadrže u više različitih promenljivih (drugim rečima, da između njih postoji korelacija). Drugo, neke od ovih promenljivih u mnogo manjoj meri "utiču" na model  $f$ . Konstruisanje novog modela  $f_{PC}(b_1, b_2, \dots, b_k)$ , sačinjenog samo od glavnih komponentata, vrši se na takav način da i pored toga što je  $k \ll n$ , mora da se sačuva maksimalna varijansa kako bi se sačuvalo što više informacija. Takođe, da bi se izbegla interferencija (redundansa), nove konstruisane promenljive  $b_1, b_2, \dots, b_k$  moraju biti međusobno nekorelisane.

Analiza glavnih komponentata je vrlo slična faktorskoj analizi (FA), tako da se, u praksi, često greši pa se npr. tvrdi da se radi o faktorskoj analizi iako je reč o PCA. Faktorska analiza takođe ima za cilj smanjenje broja promenljivih koje učestvuju u modelu. Međutim, za razliku od PCA, faktorska analiza polazi od pretpostavke da zaista postoji manji skup skrivenih (tzv. "latentnih") promenljivih  $b_1, b_2, \dots, b_k$  kojima se mogu opisati veze između promenljivih  $a_1, a_2, \dots, a_n$  u polaznom skupu. Ovakva pretpostavka o strukturi kovarijanse u PCA ne postoji. U PCA se, dakle, ne čine pretpostavke o formi matrice kovarijanse odakle podaci slede. U svakom slučaju, primena bilo koje od ove dve tehnike nema smisla ako nema određenog stepena korelacije između promenljivih, jer tada nije moguće redukovati broj promenljivih primenom PCA, a nema ni "skrivenih struktura" koju bi faktorska analiza opisala.

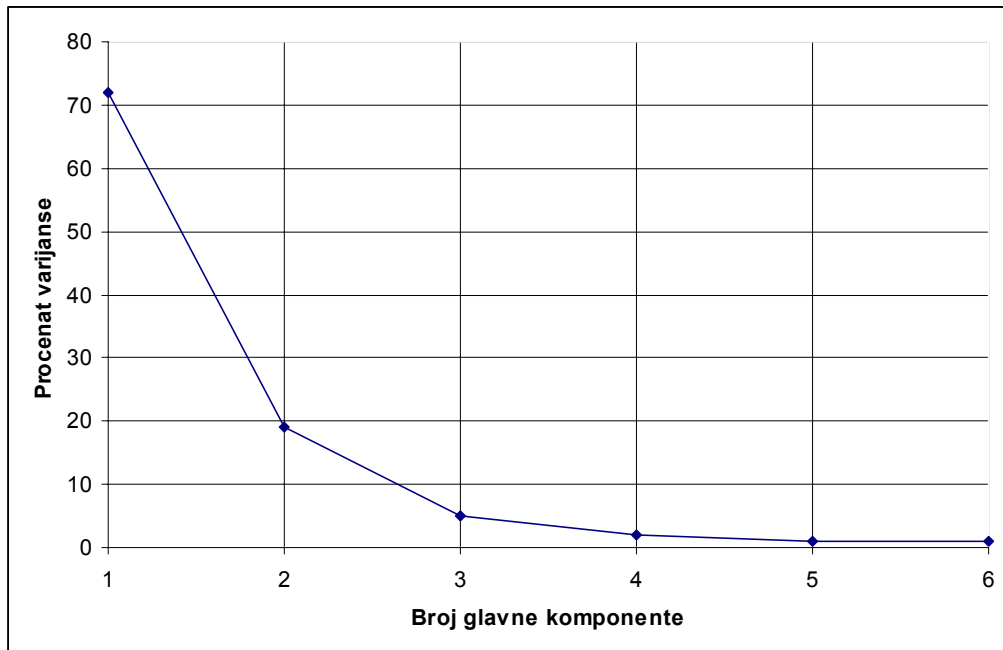
PCA metoda bira elemente matrice, odnosno koeficijente tako da se zadovolje uslovi maksimalne varijanse i nekorelisanosti konstruisanih promenljivih. Time se dobija skup novih, nekorelisanih promenljivih od kojih prva sledi pravac gradijenta (najveća varijansa); sledeća pravac najveće preostale varijanse itd. Drugim rečima, prva komponenta se bira tako da od svih mogućih linearnih kombinacija odabrana ima najveću moguću varijansu



posmatranih podataka. Sledeća komponenta bira se tako da ima najveću moguću varijansu ali da, uz to, još bude i ortogonalna u odnosu na već odabranu  $b_1$  (odnosno da sa njom bude nekorelisana) itd. Sami koeficijenti koji definišu glavne komponente izračunavaju se kao svojstveni vektori matrice kovarijanse uzorka ili korelacione matrice [62].

Ukoliko se dobije da prvih nekoliko konstruisanih promenljivih opisuje preko 90% ukupne varijanse posmatranih podataka, onda se s pravom može tvrditi da su ovo "glavne komponente" (u praksi, naravno, ovo ne mora biti 90% već neki drugi procenat – nekada npr. 84 % može biti sasvim dovoljno da model bude adekvatan). Kako je rečeno, koeficijenti koji figurišu u glavnim komponentama dobijaju se rešavanjem serija jednačina koje uključuju elemente posmatrane matrice kovarijanse. Postoje, međutim, različiti kriterijumi na osnovu kojih može da se odabere broj promenljivih koje će biti proglašene za "glavne komponente". Ukoliko prva opisuje npr. 72 % varijabiliteta, druga 19 % a treća 5 %, dok prva sledeća opisuje ispod 3 % jasno je da je se prve tri mogu proglasiti "glavnim komponentama" (ili, čak, samo prve dve). Da bi se ovo lakše sagledalo i načinio pravilan izbor, često se koristi tzv. *dijagram osipanja* (engl. Scree Plot) (slika 2.4)

Na dijagramu se može sagledati procenat ukupne varijanse opserviranih promenljivih koji je „objašnjen“ glavnim komponentama (zapravo, samo skaliranim svojstvenim vektorima). Dijagram osipanja omogućava da se vizuelno sagleda raspodela varijanse po komponentama i da se identifikuje dovoljan broj komponentata koji će činiti novi bazis.



Slika 2.4: Dijagram osipanja varijanse

### 2.2.3 Analiza grupisanja (CA)

Analiza grupisanja (engl: *Cluster Analysis*- CA) je još jedna metoda smanjenja dimenzije podataka. Cilj ove metode je grupisanje uzoraka u relativno homogene grupe - klasterne, na taj način da su uzorci koji pripadaju nekoj grupi sličniji jedan drugom u odnosu na promenljive, nego što su to uzorci koji pripadaju drugim grupama [60]. Pri analizi grupisanja se svaki uzorak prikazuje kao tačka u p-dimenzionalnom prostoru, pri čemu je p broj promenljivih koje opisuju uzorke. Pri tome je grupisanje i promenljivih, a tada se u jednom klasteru nalaze grupe sličnih promenljivih. Pri analizi grupisanja prvi korak je izbor mera sličnosti. U dvodimenzionalnom prostoru mera sličnosti predstavlja udaljenost između dve tačke. Postoje dve vrste analize grupisanja: hijerarhijske i nehijerarhijske. Ova metoda se najčešće prikazuje grafički u obliku dendograma.

Primarni cilj ove analize je klasifikovanje opažaja (merenja) u grupe tako da je [61]:

1. svaka grupa ili klaster homogena (kompaktna) u odnosu na određene promenljive, tj da su svi opažaji (merenja) u jednoj grupi slični jedni drugima;
2. svaka grupa različita od druge grupe u odnosu na iste promenljive, tj. da se opažaji (merenja) u jednoj grupi moraju razlikovati od opažaja u drugoj grupi.

Pri ovoj analizi moguće je na sličan način grupisati promenljive. Tada su promenljive u grupi odnosno klasteru slične u odnosu na određene opažaje.

Geometrijski svaki opažaj (merenje) može da se prikaže kao tačka u p-dimenzionalnom prostoru gde je p broj opažaja ili broj promenljivih. Prvi korak u analizi je izbor merila sličnosti. Merilo sličnosti je u dvodimenzionalnom prostoru udaljenost između dve tačke. Sledeći korak je izbor između dve osnovne metode klaster analize.

Kod **hijerarhijske klaster analize** se formiraju klasteri po hijerarhiji tako da je u svakom sledećem nivou broj klastera za jedan manji. Ova metoda se prikazuje grafički u obliku **dendograma**. Postoje dva osnovna tipa ove metode: **aglomerativna** ili rastuća i **divizionna** ili opadajuća. Metode za razvoj klastera su:

1. *metoda centroida* - svaku grupu predstavlja prosečni subjekt tj. centroid, a udaljenost između klastera je euklidovo rastojanje ili kvadrat euklidovog rastojanja između njihovih centroida.

2. *pojedinačna povezanost ili metoda najbližeg suseda* (Single Linkage or the Nearest Neighbor Method) - minimalna udaljenost između svih mogućih parova opažaja u dva klastera.

3. *potpuna vezanost ili metoda najdaljeg suseda* (Complete Linkage or Farthest Neighbor Method) - maksimalna udaljenost između svih mogućih parova opažaja u dva klastera.

4. *prosečna povezanost* (Average Linkage) - prosečna udaljenost između svih mogućih parova opažaja u dva klastera.

5. *Wardova metoda* - jedina ne računa udaljenost između klastera, nego maksimizuje homogenost unutar klastera. Mera te homogenosti je suma kvadrata unutar klastera (error sum of squares -ESS). U početku je svaki opažaj predstavljen jednim klasterom i u svim klasterima ESS iznosi nula. U sledećem koraku se dva opažaja, iz svih mogućih kombinacija, stapaju u jedan klaster, sa najmanjom ESS, pa je broj klastera za jedan manji od broja opažaja.

## 3 Eksperimentalni deo

### 3.1 Uzorkovanje voda

Uzorkovanje voda je vršeno neposredno sa izvorišta (bušenih bunara-bušotina) i iz distributivne mreže vodovodnog sistema, a u skladu sa zakonskom regulativom [63,64]. Zbog složene geološke strukture Srbije, uzorci mineralnih voda su birani sa različitih geoloških jedinica. Uzorci banjskih mineralnih voda na teritoriju Srbije uzorkovani su direktno u banjskim centrima za lečenje koje se aktivno koriste, u periodu 2007-2008. god.

### 3.2 Metode merenja radioaktivnosti i fizičko-hemijskih karakteristika ispitivanih voda

U ovom radu za merenje radioaktivnosti voda korišćena je gamaspektrometrijska analiza i metoda merenja ukupne alfa i beta aktivnosti [65,66]. Aktivnosti ukupne alfa i beta aktivnosti uzoraka vode i gama spektrometrijska merenja radionuklida ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  i  $^{137}\text{Cs}$ ) su rađeni u Institutu za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“ kao i izlazna temperatura (T), pH, i električna provodljivost (EP) koji su rađeni odmah po uzorkovanju.

Glavni joni ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{SiO}_2$ ), koji uglavnom potiču od rastvaranja, analizirani su u laboratorijama Instituta za javno zdravlje Srbije „Dr Milan Jovanović Batut“ u Beogradu i Gradskom zavodu za javno zdravlje Beograda. Za merenje alkaliteta,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  su primenjene titracione metode. Koncentracije  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  su određene atomskom apsorpcionom spektrometrijom. Za određivanje hloridnih i sulfatnih jona je korišćena jonska hromatografija.

### 3.3 *Merenje ukupne alfa i beta aktivnosti*

Ukupna alfa i beta aktivnost u uzorcima voda merena je na niskofonskom  $\alpha\beta$ - proporcionalnom gasnom brojaču PIC-WPC-9550 proizvođača Protean Instrument Corporation. U toku rada, brojač koristi smešu gasova 10% metana i 90% argona. Nivo osnovnog alfa zračenja je 0,1 imp/min, a beta zračenja 0,4 imp/min. Prečnik planšete je 5 cm. Efikasnost brojača za beta zračenje iznosi 45%, i određena je pomoću sertifikovanog referentnog materijala  $^{90}\text{Sr}$ . Efikasnost brojača za alfa zračenje iznosi 31% i određena je pomoću sertifikovanog referentnog materijala  $^{241}\text{Am}$ . Sertifikovani referentni materijali su nabavljeni iz Instituta za metrologiju (Czech Metrological Institute, Praha). U procesu merenja je korišćen softver „VISTA 2000“, koji je nabavljen od proizvođača uređaja.

### 3.4 *Izračunavanje ukupne alfa i beta aktivnost*

Izračunavanje specifične ukupne alfa i beta aktivnosti u uzorku vrši se po sledećoj jednačini [67]:

$$A_{\alpha\beta} = \frac{(Net_{\alpha\beta})}{60 \cdot Eff \cdot O_k}, \quad (2.1)$$

gde su:

$A_{\alpha\beta}$  - alfa ili beta specifična aktivnost uzorka [Bq/l]

$Net_{\alpha\beta}$  - broj impulsa u minuti merenog uzorka (*imp/min*) za alfa ili beta zračenje

$Eff$  - efikasnost mernog uređaja

$O_k$  - zapremina uzorka, koja odgovara masi čvrstog ostatka na planšeti [l].

### 3.5 Merna nesigurnost

Standardna devijacija merenja izražava se jednačinom:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum \text{counts}}}{t} \quad (2.2)$$

$\sigma$  - standardna devijacija merenja

$t$  - vreme merenja u minutima

counts - ukupan broj odbroja u vremenu  $t$

Za izračunavanje merne nesigurnosti koristi se jednačina iz originalnog uputstvo WPC-9550 Operations manual.

$$\Delta AB = k \cdot A \alpha \beta \cdot \frac{AB - DPM - SD}{AB - DPM} \quad (2.3)$$

$\Delta AB$  - merna nesigurnost alfa ili beta aktivnosti

$AB-DPM-SD$  - standardna devijacija alfa ili beta raspada u minuti

$AB-DPM$  - alfa ili beta raspada u minuti laboratorijskog uzorka

$k$  - multiplikacioni faktor kojim je određen interval poverenja

### 3.6 Minimalna detektovana aktivnost

Ako je rezultat merenja ukupne alfa i beta aktivnosti uzorka ispod granice detekcije, tada se kao rezultat merenja daje minimalna detektovana aktivnost, koja se izračunava po formuli:

$$LLD_{\alpha\beta} = \frac{4.65 \cdot \sqrt{\frac{Rb}{t}}}{E} \quad (2.4)$$

$LLD_{\alpha\beta}$  - granica detekcije za alfa ili beta zračenje [dpm]

$Rb$  - broj impulsa u minuti prazne planšete [imp/min]

$t$  - vreme merenja uzorka i fona  $t=t_u=t_f$  [min]

E – efikasnost brojača za alfa i beta zračenje

$$MDA_{\alpha\beta} = \frac{LLD_{\alpha\beta}}{V \cdot F_{\alpha\beta} \cdot 60} \quad (2.5)$$

Gde su:

$MDA_{\alpha\beta}$  – minimalna detektovana aktivnost za alfa ili beta zračenje [Bq/l];

V – zapremina laboratorijskog uzorka koja odgovara masi čvrstog ostatka na planšeti [l]

$F_{\alpha\beta}$  – faktor alfa i beta zračenja ( $F_{\alpha}=1, F_{\beta}=0.5$ )

### 3.7 Spektrometrija gama zračenja

Interakcija gama kvantata sa materijom odvija se preko tri osnovna efekta: fotoelektrični efekat, Compton-ov efekat i efekat proizvodnje parova. Verovatnoća da dođe do ovih interakcija zavisi od atomskog broja sredine kroz koju prolaze gama kvanti, kao i od energije gama kvantata [68].

Fotoelektrični efekat je dominantan efekat interakcije gama kvantata sa materijom posebno na niskim energijama. Gama kvanti potpuno predaju svoju energiju vezanim elektronima u omotaču, koja se raspodeljuje na energiju fotoelektrona i na energiju veze elektrona, koja zavisi od ljuske iz koje je izbačen elektron. Efikasni presek, odnosno verovatnoća da dođe do ove interakcije direktno je proporcionalan sa  $Z^5$ .

Drugi tip interakcije gama kvantata sa materijom je Compton-ov efekat koji predstavlja elastičan sudar fotona sa slabo vezanim spoljašnjim atomskim elektronom. Energija fotona se raspoređuje između kinetičke energije elektrona i energije rasejanog fotona. Zavisno od dobijene energije rasejani foton i elektron mogu da nastave dalju interakciju. Verovatnoća da dođe do ove



interakcije obrnuto je proporcionalna energiji fotona, a direktno je proporcionalna atomskom broju sredine u kojoj se odvija interakcija. Energija Compton-ovski rasejanih elektrona je u intervalu od 0 do maksimalne energije na Compton-ovoj granici, koja iznosi:

$$E_c = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{mc^2}{2E_\gamma}} \quad (2.6)$$

gde je  $E_\gamma$  energija fotona, a  $mc^2 = 511$  keV.

Da bi došlo do trećeg tipa interakcije, stvaranje para, potrebno je da foton ima minimum energije od 1,02 MeV. Energija fotona se raspodeljuje na energiju stvaranja para i na kinetičku energiju stvorenog para. U interakciji nastaju pozitron i elektron. Pozitron nastavlja interakciju sa materijom i po gubitku kinetičke energije se anihilira. Pri anihilaciji nastaju dva gama kvanta od 511 keV. Nastali elektron dalje interaguje zavisno od dobijene energije. Efikasni presek ove interakcije može se opisati relacijom  $\sigma \sim Z^2 \ln E_\gamma$ , gde je  $E_\gamma$  energija fotona.

U svakom od ova tri načina interakcije gama kvanata sa materijalnom sredinom, nastaju slobodni elektroni, koji pri svom kretanju vrše jonizaciju i ekscitaciju sredine kroz koju prolaze. Jonizacijom nastaju pozitivni joni i elektroni, koji i dalje mogu učestvovati u procesu jonizacije zavisno od dobijene energije. Spektrometrija gama zračenja zasniva se na analizi energetske raspodele elektrona nastalih pri interakciji gama kvanata sa materijalnom sredinom.

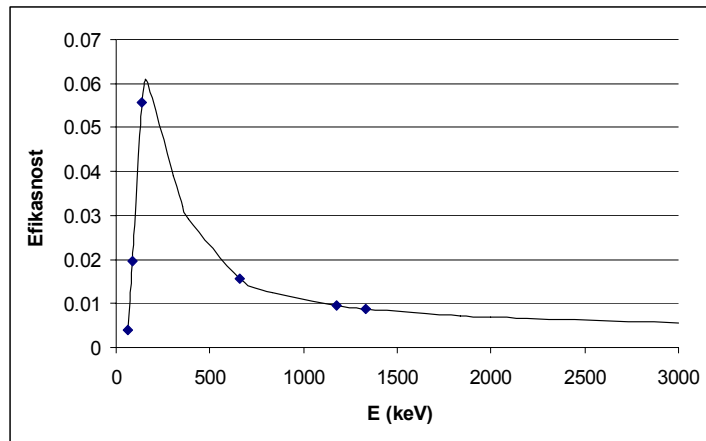
Za detekciju gama emitera najpogodniji su poluprovodnički detektori [69,70]. Nastali elektroni u procesu interakcije gama kvanata, gube svoju energiju na stvaranje parova elektron-šupljina u osetljivoj zapremini detektora i na taj način utiču na promenu provodljivosti kristala. Tako nastali slobodni nosioci naelektrisanja skupljaju se elektrostatičkim putem. Električni impuls

koji nastaje, proporcionalan je broju slobodnih nosilaca naelektrisanja. tj. energiji upadnih gama kvantata.

Pored poluprovodničkih detektora koriste se i scintilacioni detektori kod kojih je veća efikasnost detekcije, ali je energetska razlaganje znatno slabije. Oni se koriste u onim slučajevima kada je efikasnost detekcije važnija od rezolucije. Najčešće je u upotrebi NaI(Tl) detektor čija efikasnost zavisi od dimenzija kristala i menja se sa energijom u saglasnosti sa promenom koeficijenta linearnog slabljenja gama zračenja. Na primer, za NaI(Tl) detektor sa kristalom prečnika 40 mm, visine 25 cm, efikasnost je 50% na energiji od 500 keV.

Za poluprovodničke detektore najpovoljniji su Ge i Si, od kojih je Ge pogodniji od Si (atomski broj Ge je veći nego Si, energija koja je potrebna za stvaranje para nosioca naelektrisanja je manja kod Ge nego kod Si). Danas se koriste dva tipa Ge detektora: Ge(Li) germanijum litijumski (provodnost kristala se menja driftom Li jona) i detektor od čistog germanijuma HPGe. Najbitnije karakteristike detektora su relativna efikasnost, energija rezolucije i odnos Compton-ove ivice i odgovarajućeg fotovrha.

Da bi se postigla što manja greška merenja potrebno je propisno kalibrisati detektor tj. uraditi energetska kalibraciju i kalibraciju efikasnosti detektora. Energetska kalibracija detektora se dobija kada se svakoj amplitudi spektra koja se meri u voltima ili u kanalima pridoda spektar energije koji se meri u keV ili MeV. Određivanje kalibracionih krivih efikasnosti detektora zahteva poznavanje dimenzije i gustine izvora kao i položaj izvora u odnosu na detektor. Kalibracione krive efikasnosti se snimaju posebno za svaku geometriju merenja, kao i za svaku vrstu uzorka (slika 3.1).



Slika 3.1: Grafik efikasnosti gama detektora (HPGe)

Pored dobro određenih kalibracionih krivi detektora, veoma je važno da je spektar zračenja u okolini detektora koji ne potiče od mernog uzorka (za ovaj pojam u literaturi se koristi termin fon) bude dobro poznat i da je njegova vrednost konstantna. Ovaj spektar zračenja sastoji se od kosmičkog kao i od zračenja prirodnih ili indukovanih radionuklida, koji se nalaze u okolini detektora. Interakcijom neutrona sa materijalom od koga je napravljena zaštita kao i sa samim kristalom npr. Ge, nastaju radionuklidi, čiji se spektar može naći u spektru fona. Npr. pri nuklearnoj reakciji  $^{73}\text{Ge}(n, \gamma)^{74}\text{Ge}$ , nastaje gama kvant energije od 595,9 keV, koji pripada  $^{74}\text{Ge}$  i može se naći u spektru fona. Takođe pri interakciji sa Cd koji je sastavni element zaštite detektora, putem nuklearne reakcije  $^{113}\text{Cd}(n, \gamma)^{114}\text{Cd}$  pojavljuje se linija od 651 keV u spektru fona koja potiče od  $^{114}\text{Cd}$ . Stabilnost fona je naročito bitna pri merenju niskih aktivnosti, kao što je slučaj kod podzemnih voda. Ova merenja traju dugo (250000 s), tako da svaka varijacija broja impulsa, koji potiču od fona ispod pojedinih linija spektra na određenim energijama, utiče na povećanje ukupne greške merenja [71-74].

### 3.8 Metode merenja i gamaspektrometrijsko određivanje aktivnosti radionuklida

Gamaspektrometrijska merenja voda vršena su na čistim germanijumskim detektorima firme EG&G "ORTEC", čije su karakteristike date u tabeli 3.1. Detektori su povezani sa višekanalnim analizatorom (8192 kanala) istog proizvođača i sa odgovarajućom računskom opremom.

Tabela 3.1: Karakteristike detektora

	detektor 1	detektor 2	detektor 3
Proizvođač detektora	EG&G ORTEC		
Detektor	HP Ge p-tip		
Prečnik kristala	56,1 mm	55,8 mm	66,6 mm
Dužina kristala	45,9 mm	55,8 mm	52,3 mm
Prozor	Al 1,27 mm	Mg 1,5 mm	4 mm
Visoki napon	4000 V	3000 V	4800 V
Rezolucija na 1332 keV	1,95 keV	1,85 keV	1,85 keV
Odnos pik/kompton	52:1	55:1	64:1
Relativna efikasnost	25 %	25 %	40 %
Olovna zaštita	10 cm		
Dodatak zaštite	Cu, Cd, pleksiglas		
Integralna brzina brojanja merena u intervalu do 3 MeV	0,89 imp/s	0,96 imp/s	1,49 imp/s

Energetska kalibracija, kao i kalibracija efikasnosti detektora obavlja se pomoću sertifikovanog referentnog materijala, mešavine radionuklida u marineli geometriji, firme Amersham. Karakteristike mešavine radionuklida prisutnih u ovom referentnom materijalu gustine 0,98 g/cm<sup>3</sup> date su u tabeli

3.2. Vreme merenja jednog uzorka je 60000 s ili 250000 s, a osnovno zračenje je mereno 250000 s.

**Tabela 3.2: Karakteristike radionuklida koji se koriste za kalibraciju**

Radionuklid	E (keV)	Verovatnoća prelaza (%)	$t_{1/2}$
<sup>57</sup> Co	122,1	85,7	271,8 dana
<sup>139</sup> Ce	165,8	79,9	137,6 dana
<sup>203</sup> Hg	279,2	81,6	46,6 dana
<sup>113</sup> Sn	391,7	64,9	115,1 dana
<sup>85</sup> Sr	514,0	98,0	64,8 dana
<sup>137</sup> Cs	661,6	85,2	30,2 god.
<sup>60</sup> Co	1173,2	99,9	5,3 god.
	1332,5	99,9	
<sup>88</sup> Y	1836,1	99,4	106,6 dana

U tabeli 3.3 su prikazani izotopi koji su određivani u vodama i izotopi putem čije radioaktivnosti su određivani, sa svojim odgovarajućim gama-linijama i intenzitetima prelaza.

**Tabela 3.3: Određivani i mereni izotopi sa svojim karakteristikama**

Određivani nuklid	Mereni nuklid	$E_{\gamma}$ (keV)	$P_{\gamma}$ (%)
<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Pb	295,2	19,2
		351,9	37,2
	<sup>214</sup> Bi	609,3	46,0
		1120,2	15,0
<sup>238</sup> U	<sup>234m</sup> Pa	1764,5	15,9
		<sup>234</sup> Th	63,28
<sup>228</sup> Ra	<sup>228</sup> Ac	1001,03	0,8
		338,4	12,4
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	911,2	29,0
<sup>137</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	1460,8	10,3
		661,6	85,2

### 3.9 Efikasnost detektora

Efikasnost se određuje pomoću referentnog materijala koji je po svom fizičko-hemijskom sastavu i karakteristikama najbliži uzorku vode koji se ispituju.

Izračunavanje efikasnosti detektora ( $\varepsilon$ ) vrši se prema formuli:

$$\varepsilon = \frac{\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0}}{A \cdot \gamma \cdot m} \quad (2.7)$$

gde su:

$N$  - površina ispod fotovrha odgovarajuće gama linije u spektru uzorka;

$N_0$  - površina ispod fotovrha odgovarajuće gama linije u spektru osnovnog zračenja;

$t$  - vreme merenja uzorka [s]

$t_0$  - vreme merenja osnovnog zračenja [s]

$A$  - aktivnost [Bq]

$\gamma$  - intenzitet gama prelaza u radioaktivnom raspadu datog radionuklida;

$m$  - masa [kg]

Za kalibraciju efikasnosti detektora najčešće se koristi kalibracioni izvor zatopljen u smoli, smešten u marineli posudu, slične gustine mernog uzorka, tačno poznatih radionuklida i njihovih nivoa aktivnosti. U procesu rada i kalibracije detektora korišćen je softver *Gamma Vision* [75].

Odnos između efikasnosti ( $\varepsilon$ ) i energije ( $E$ ) opisan je polinomnom funkcijom šestog reda, prema formuli:

$$\ln \varepsilon = \sum_{i=1}^6 a_i E^{2-i} \quad (2.8)$$

gde su  $a_i$  – koeficijenti fitovanja, a energija je data u MeV.

### 3.10 Specifična aktivnost uzorka

Specifična aktivnost radioizotopa ( $A$ ) iz merenog uzorka određuje se pomoću formule:

$$A = \frac{\frac{N}{t} - \frac{N_0}{t_0}}{\varepsilon \cdot \gamma \cdot m} \quad (2.9)$$

Oznake su iste kao u jednačini 2.7.

Ukoliko radionuklid ima više gama prelaza, tada se računa otežinjena aktivnost:

$$A = \frac{\sum A_i \cdot \frac{1}{\sigma_i^2}}{\sum \frac{1}{\sigma_i^2}} \quad (2.10)$$

gde su:

$A_i$  - aktivnost datog radionuklida računata na osnovu jedne gama linije,

$\sigma_i$  - neodređenost te aktivnosti

### 3.11 Granica detekcije

Određivanje minimuma detektovane aktivnosti (MDA) vrši se po formuli:

$$MDA = \frac{\frac{100}{S} \cdot \sqrt{2 \cdot B + \frac{2500}{S^2} + \frac{50}{S}}}{t \cdot \varepsilon \cdot \gamma} \quad (2.11)$$

gde su:

$B$  - površina osnove na kojoj leži gama linija,

$t$  - vreme merenja uzorka,

S - osetljivost u procentima (50 %)

$\varepsilon$  - efikasnost detekcije za odgovarajuću gama liniju,

$\gamma$  - intenzitet gama prelaza u radioaktivnom raspadu datog radionuklida.

### 3.12 Merna nesigurnost

Neodređenost rezultata merenja se sastoji iz više komponenata, koje se mogu grupisati u dve kategorije prema metodama koje se koriste za procenu njihovih numeričkih vrednosti:

A - koje se određuju statističkim metodama,

B - koje se određuju na drugi način.

Izvori merne nesigurnosti pri određivanju nivoa aktivnosti u uzorcima iz životne sredine gamaspektrometrijskom metodom su dati u tabeli 2.3.

**Tabela 3.4. Izvori merne nesigurnosti gamaspektrometrijskom metodom.**

Red. broj	Izvor nesigurnosti	Tip nesigurnosti
1	Kalibracija gamaspektrometra	A
2	Merenje aktivnosti na gamaspektrometru	B
3	Referentni materijal	B

### 3.13 Merna nesigurnost tipa A

Merna nesigurnost tipa A se izražava preko standardne devijacije dobijene određivanjem datog parametra korišćenjem statističkih metoda. Na primer: računanjem srednje vrednosti serije nezavisnih merenja, korišćenjem metode najmanjih kvadrata za fitovanje krive na osnovu mernih podataka, za određivanja parametara krive i njihovu standardnu devijaciju.



### **3.14 Merna nesigurnost tipa B**

Merna nesigurnost tipa B je uobičajeno bazirana na naučnoj proceni svih dostupnih informacija o mogućim varijacijama datog parametra, koji mogu da uključuju:

- rezultate predhodnih merenja,
- iskustvo ili znanje o osobinama materijala i instrumenata,
- specifikacija proizvođača,
- rezultate dobijene u kalibracijama ili drugim izveštajima,
- neodređenosti parametara uzetih iz literature.

### **3.15 Postupci pripreme uzoraka za merenje**

U postupku pripreme uzoraka voda za merenje ukupne alfa i beta aktivnosti korišćene su metode ISO 9696 i ISO 9697 [76, 77].

Ukupnom uzorku se dodaje 20 ml azotne kiseline ( 50 % V/V konc. HNO<sub>3</sub>) po litri uzorka, u posudu u kojoj je uzorak donet na analizu. Odgovarajuća zapremin vode, koja zavisi od elektroprovodljivosti uzorka, upari se u kristalizatoru na grejnoj ploči. Uparavanje se vrši dok se zapremina vode ne smanji na oko 50 ml. Koncentrovani rastvor se kvantitativno prenese u predhodno izžareni porcelanski tigl. Zatim se u porcelanski tigl doda 1 ml sumporne kiseline ( ova zapremina H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> koristi se za vode čiji sadržaj ukupnog čvrstog ostatka ne prelazi 1 g) ili 2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ako ukupna masa čvrstog ostatka prelazi 1 g). Dobijeni rastvor se upari ispod infracrvene lampe, a zatim žari na 350 °C, sat vremena. Deo izžarenog čvrstog ostatka se kao mineralni ostatak (MO) nanosi na planšetu i meri na alfa beta brojaču [78].

U postupku pripreme uzoraka voda za gamaspektrometrijsko merenje korišćena je metoda ISO 10703 [79]. Uzorak vode (10-15 l) se zakiseli do pH < 2 azotnom kiselinom, u posudu u kojoj je uzorkovan. Voda se uparava do

zapremine 800 ml na grejnoj ploči. Zatim se prenosi iz kristalizatora kvantitativno u marineli posudu od 1l. Marineli posuda se zatvori i ostavi da stoji 30 dana, do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže. Uzorak se meri na gamaspektrometru.

### ***3.16 Određivanje osnovnih fizičko-hemijskih parametara kvaliteta voda***

#### **3.16.1 Određivanje temperature vode**

Temperatura vode meri se termometrijski, npr. živinim termometrom (sa podelom od 0,1 °C), direktnim uranjanjem termometra u vodu na mestu uzimanja uzoraka vode. Uzorkovanje voda je vršeno neposredno sa izvorišta i iz distributivne mreže vodovodnog sistema.

#### **3.16.2 Određivanje pH vrednosti vode**

pH vrednost je definisana kao negativan dekadni logaritam aktivnosti vodoničnog jona koja je izražena u mol/l. Koncentracija, odnosno, aktivnost vodoničnih jona u prirodnoj vodi uglavnom je uslovljena ravnotežom između rastvorenog ugljendioksida i bikarbonata, tako da pH vrednost ovih voda iznosi 4,5-8,3. Preporučena metoda određivanja pH vrednosti je elektrometrijska metoda (sistem staklene indikatorske elektrode i neke referentne elektrode). Merenje pH vrednosti se zasniva na kalibraciji pH-metra sa dva standardna pufera rastvora (pH=4,01;7,00;10,01/25 °C, WTW D-82362 Weilheim), a potom se izvrši merenje pH vrednosti uzoraka vode. Instrument meri elektromotornu silu (napon) datih rastvora, koje se u ovakvim uređajima preračunavaju u jedinice pH vrednosti. Korišćen je pehametar Lab pH 720, WTW, mernog opsega i rezolucije -2,00... +19,99 uz korišćenje standardnih puferskih rastvora.

### 3.16.3 Određivanje specifične provodljivosti vode

Elektrolitička provodljivost vode predstavlja meru sposobnosti vode da provodi električnu struju i direktno zavisi od koncentracije jonskih vrsta u vodi. Specifična električna provodljivost je određivana konduktometrom CON 5/TDS 5, opseg od 0 do 199,9, 1999  $\mu\text{S}$ , 19,99 mS, rezolucija 0,1, 1  $\mu\text{S}$ ; 0,01 mS, uz korišćenje standardnih rastvora poznate provodljivosti (1413  $\mu\text{S}/25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Eutech Instruments).

### 3.16.4 Određivanje koncentracije jona $\text{Na}^+$ i $\text{K}^+$ u vodi

Atomska apsorpciona spektrometrija (AAS) je tehnika koja koncentraciju analita određuje na osnovu merenja apsorpcije monohromatskog zračenja određene talasne dužine, od strane slobodnih atoma određenog elementa, korišćenjem kalibracione krive. Danas se oko 70 elemenata određuje AAS tehnikom, kao što su alkalni, zemnoalkalni, prelazni metali i nemetali. Elementi koji se određuju ovom tehnikom imaju rezonantne talasne dužine od 190 do 850 nm. Osetljivost određivanja je od mg/l i sve do koncentracije ispod 1  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Koncentracija jona  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$  određivana je atomskom apsorpcionom spektrometrijom, korišćenjem uređaja GBC-Avanta [80].

### 3.16.5 Određivanje koncentracije jona $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ i $\text{HCO}_3^-$ u vodi

Koncentracija jona  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$  određivana je volumetrijskom metodom [81,82]. Titracija je uobičajen laboratorijski metod za kvantitativnu hemijsku analizu koji se koristi za određivanje nepoznate koncentracije poznatog analita. Pošto je merenje zapremine ključno u titraciji, ona je takođe poznata kao volumetrijska analiza. Reagens, koji se naziva *titrant* je pripremljen kao standardni rastvor. Poznata koncentracija i zapremina titranta reaguje sa reastvorom analita ili titranda da bi se odredila koncentracija.

Tipična titracija se izvodi u čaši ili erlenmajeru koji sadrži poznatu zapreminu analiziranog rastvora i malu količinu indikatora, stavljene ispod

kalibrisane birete ili pipete koja sadrži titrant. Male zapremine indikatora, a zatim titranta se dodaju u titrand dok se boja indikatora ne promeni, označavajući dolazak na krajnju tačku titracije. U zavisnosti od željene krajnje tačke, jedna kap ili manje titranta može da napravi razliku između permanentne i privremene promene boje indikatora. Kad se krajnja tačka reakcije dosegne, meri se zapremina potrošenog reaktanta i koristi se za računanje koncentracije analita putem jednačine:

$$C_a = \frac{C_t \times V_t \times M}{V_a} \quad (2.15)$$

gde su:

$C_a$ - koncentracija analita u molarnim jedinicama

$C_t$ - koncentracija titranta, u molovima po jedinici zapremine

$V_t$  -zapremina korišćenog titranta u  $\text{dm}^3$

$M$  - molski odnos analita i reaktanta iz balansirane hemijske jednačine

$V_a$ - zapremina korišćenog analita u  $\text{dm}^3$ .

### 3.16.6 Određivanje koncentracije jona $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ u vodi

Koncentracija jona  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  određivane su jonskom hromatografijom na aparatu ALTECH. Hromatografija koja se primenjuje za razdvajanje jedinjenja u jonskom obliku, (jedinjenja koja se mogu jonizovati ili reagovati sa jonskim grupama) naziva se jonoizmenjivačka hromatografija. Zasniva se na različitom afinitetu aktivnih grupa stacionarne faze ka izmeni pojedinih jonskih vrsta u rastvoru. Kao stacionarna faza koriste se jonoizmenjivačke smole koje mogu biti neorganskog i organskog porekla, sintetičke i prirodne. Prema tome da li izmenjuju katjone, anjone ili jedne i druge postoji podela na katjonske, anjonske i amfoterne izmenjivače, respektivno. Joni uzorka se vezuju za jonoizmenjivačke smole, a zatim eluiranjem selektivno razdvajaju. Afinitet smole ka odgovarajućim jonima izražava se koeficijentima raspodele, pri čemu

dolazi do njihovog razdvajanja. Katjoni i anjoni formiraju slabe jonske veze sa stacionarnom fazom.

### 3.16.7 Određivanje koncentracije SiO<sub>2</sub> u vodi

UV-VIS Spektrometrija zasniva se na merenju intenziteta propuštene svetlosti, koja se prikazuje kao apsorpcija (A) ili transparentija (T), uz predhodno eksperimentalno definisanu funkcionalnu vezu ovih veličina sa koncentracijom analita koji se određuje.

Po Lamber-Berovom zakonu je:

$$A = a b c \quad (2.16)$$

gde su:

A - apsorpcija, negativni dekadni logaritam odnosa intenziteta upadnog i propuštenog zračenja;

a - apsorptivnost, molarni apsorpcioni koeficijent;

b - debljina sloja kroz koji zračenje prolazi u cm i

c - koncentracija supstance koja apsorbuje monohromatsko zračenje.

UV-VIS spektrometrija se primenjuje za određivanje onih molekulskih vrsta, koje interaguju sa energijom elektromagnetnog zračenja bliskom UV delu spektra 190-370 nm i vidljivog dela spektra 370-800 nm. Koncentracija SiO<sub>2</sub> je određena spektrofotometrijski na talasnoj dužini 410 nm. Korišćen je uređaj UV-1601 Shimadzu i standardna metoda za ispitivanje voda i otpadnih voda [83].

### 3.16.8 Vrste uzoraka i njihova klasifikacija

Uzorci ispitivanih voda su podeljeni u tri grupe: banjske vode Srbije, ostale mineralne vode i pijaće vode Srbije. Ispitivane vode su podeljene prema svojoj pripadnosti po geološkim strukturama, geotektonskim jedinicama i tipu

vodonosne sredine. Rezultati radioloških i fizičko-hemijskih karakteristika su obrađivani statističkim metodama.

## **4 REZULTATI I DISKUSIJA**

### ***4.1 Banjske vode (BV) Srbije***

#### **4.1.1 Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka banjskih voda Srbije**

Uzorci banjskih voda su podeljeni prema geološkoj strukturi tla i stena na kome se nalaze izvorišta, na 4 grupe po geotektonskim jedinicama [33].

Prema geotektonskim jedinicama banjske vode su podeljene na vode iz:

P: Panonskog basena

V: Vardarske zone

K: Karpatobalkanida

S: Srpsko-Makedonskog masiva

U tabeli 4.1 su prikazane fizičko-hemijske karakteristike mineralnih i termalnih banjskih voda sa teritorije Republike Srbije. Banjske vode su podeljene i po hidrogeološkim strukturama koje su u tabeli 4.1 kao i u daljem testu rada obeležene sa:

H - hidrogeološki basen

K - karstna područja

V - vulkanogeni (magmatski) masiv

M - oblast metamorfita.

**Tabela 4.1: Fizičko-hemijskim i radiološki podaci proučavanih banjskih voda sa teritorije Republike Srbije**

R. broj	Poreklo (banja)	HS	GJ	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl- [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
1	KANJIŽA	H	P	4,173	<60	316	0,320	0,020	0,020	0,05	45,0	7,7	3770	56,8	2,0	2903,6	36,7	5,6	3,8	1157,0	7,9
2	JUNAKOVIĆ	H	P	6,200	<290	1131	1,030	0,220	0,020	0,12	25,0	7,3	5100	369,0	2,0	829,0	25,0	24,0	24,0	476,0	4,0
3	KOVIJJAČA	H	V	0,641	18	363	0,310	0,150	0,030	0,08	25,0	6,6	677	89,0	55,0	890,0	18,0	120,0	36,6	200,0	22,2
4	SELTERS	H	S	2,119	170	1160	1,130	0,300	0,220	0,10	48,0	7,0	2219	1560,0	2,0	3360,0	20,0	60,0	18,0	2280,0	30,0
5	VIŠNJIČKA	H	P	1,100	<50	242	0,200	0,010	0,020	0,07	14,4	7,5	1100	198,8	82,0	573,4	22,0	56,0	48,8	226,0	3,5
6	VRDNIK	K	P	0,538	<20	302	0,260	0,020	0,020	0,12	33,0	7,4	722	28,0	90,0	555,0	10,0	60,0	67,0	69,0	7,1
7	BOGUTOVAČKA	K	V	0,377	101	457	0,410	0,220	0,020	0,12	25,0	7,2	440	10,0	15,0	440,0	20,0	50,0	61,0	28,0	1,5
8	NIŠKA	K	K	0,313	425	702	0,390	0,530	0,040	0,12	39,1	7,6	265	28,0	40,0	220,0	18,0	62,0	14,0	22,7	1,2
9	SOKO PARK	K	K	0,200	186	283	0,220	0,210	0,030	0,13	43,0	7,5	248	14,0	20,0	295,0	18,0	74,0	17,0	7,0	8,0
10	OVČAR	K	V	0,322	<20	312	0,290	0,020	0,020	0,14	35,0	7,0	324	14,0	18,0	456,0	25,0	102,0	32,0	13,0	2,5
11	GAMZIGRADSKA	V	K	0,460	75	357	0,240	0,100	0,030	0,13	34,0	7,9	531	86,0	28,0	270,0	35,0	60,0	23,0	149,0	3,2
12	JOŠANICA	V	V	0,322	<10	258	0,190	0,050	0,030	0,13	26,1	7,3	350	7,0	30,0	256,0	22,0	50,0	25,0	6,4	3,4
13	RIBARSKA	V	S	0,489	<20	119	0,100	0,020	0,010	0,04	38,0	9,0	413	7,0	53,0	122,0	60,0	4,0	0,2	92,0	1,7
14	PROLOM	V	S	0,228	<10	108	0,070	0,020	0,020	0,11	26,4	9,0	211	7,0	2,0	79,3	60,0	4,0	0,1	48,4	0,2
15	SIJERINSKA	V	S	1,900	263	1681	1,780	0,240	0,300	0,08	45,0	7,5	2040	92,0	96,0	3233,0	40,0	50,0	30,5	1150,0	46,8
16	VRANJSKA	V	S	0,665	<30	327	0,450	0,020	0,020	0,12	95,0	6,9	1256	57,0	365,0	384,3	90,0	30,0	2,4	326,0	8,6
17	BANJSKA	V	V	0,630	20	420	0,500	0,030	0,020	0,10	40,0	6,7	640	75,0	65,0	770,0	52,0	31,0	28,5	300,0	14,4
18	LJIG	V	V	1,180	<50	258	0,200	0,020	0,030	0,13	30,0	7,2	917	35,5	5,0	902,8	19,3	40,0	18,3	276,4	13,2
19	KURŠUMLISKA	V	S	3,168	<200	916	1,170	0,020	0,030	0,10	53,0	7,1	2550	28,0	14,0	2135,0	120,0	26,0	33,0	713,0	34,0
20	MATARUŠKA	V	V	1,422	<50	695	0,670	0,010	0,010	0,06	30,0	6,9	1263	63,0	27,0	915,0	40,0	50,0	58,0	230,0	9,7
21	GORNJA TREPČA	V	V	0,362	<20	120	0,100	0,020	0,010	0,05	31,0	7,5	395	10,0	8,0	385,0	18,0	26,0	61,0	10,0	1,3
22	VUČA	V	V	0,100	<10	148	0,200	0,030	0,020	0,11	30,0	8,4	110	17,0	0,9	164,0	2,0	48,0	0,5	15,6	0,6
23	TULARSKA BANJA	V	S	2,336	<10	2206	1,290	0,100	0,680	0,38	21,7	7,4	3703	147,0	486,0	2684,0	36,0	178,0	74,0	1090,0	31,0
24	NOVOPAZARSKA	V	V	1,600	<10	441	0,440	0,010	0,010	0,06	40,0	6,8	1700	42,0	16,0	1170,0	45,0	35,0	27,0	378,0	10,5
25	VRNJAČKA	M	S	3,120	266	1605	1,260	0,130	0,420	0,12	25,5	6,7	2658	31,0	6,0	2040,0	45,0	120,0	97,0	447,0	43,0

R. broj	Poreklo (banja)	HS	GJ	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]	
	JEZERO																					
26	VRNJAČKA SNEŽNIK SŽNIKSNEŽNIK	M	S	1,496	<70	1076	1,320	0,020	0,040	0,16	17,0	6,7	1380	31,0	6,0	2040,0	45,0	122,0	95,0	447,0	43,0	
27	VRNJAČKA TOPLA	M	S	2,758	<260	2037	1,930	0,020	0,020	0,14	36,0	6,5	2480	31,0	6,0	2040,0	45,0	123,0	100,0	447,0	43,0	
28	BUKOVIČKA	M	S	0,990	470	1410	1,600	0,400	0,270	0,07	20,0	7,5	1100	21,0	2,0	3538,0	110,0	100,0	24,0	1170,0	43,0	
29	VELUCE	M	S	1,750	<90	334	0,310	0,060	0,080	0,05	21,0	6,5	1800	39,0	4,0	2171,0	35,0	80,0	293,0	195,0	12,0	
30	BUJANOVAČKA	M	S	2,300	<10	1940	1,990	0,020	0,100	0,09	30,0	6,8	2650	67,0	180,0	3086,0	30,0	40,0	21,0	1443,0	47,0	

HS - hidrogeološka struktura, GJ- geotektonska jedinica; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost;

UB – ukupna beta aktivnost; EP – elektroprovodljivost;



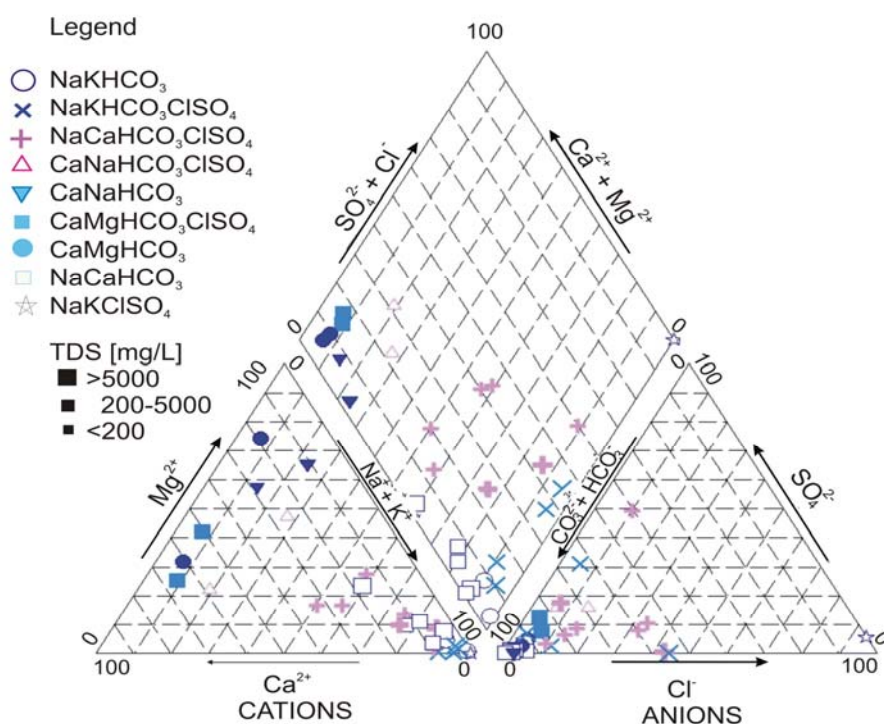
Podaci iz tabele 4.1 su analizirani pomoću statističkog softverskog paketa Statistica ver. 8.0. U tabeli 4.2 su dati karakteristični podaci deskriptivne statistike za skup rezultata iz tabele 4.1.

**Tabela 4.2: Parametri deskriptivne statistike karakteristika banjskih voda sa teritorije Republike Srbije**

Promenljiva	Deskriptivna statistika (BV)				
	n	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Std.dev.
MO [g/l]	30	1,442	0,100	6,200	1,388
UA [mBq/l]	30	109	10	470	128
UB [mBq/l]	30	724	108	2206	635
<sup>40</sup> K [Bq/l]	30	0,679	0,070	1,990	0,600
<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	30	0,101	0,010	0,530	0,130
<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	30	0,086	0,010	0,680	0,150
<sup>238</sup> U [Bq/l]	30	0,109	0,040	0,380	0,060
T [°C]	30	34,1	14,4	95,0	14,9
pH	30	7,3	6,5	9,0	0,6
EP [µS/cm]	30	1434	110	5100	1248
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	30	108,7	7,0	1560,0	283,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	30	57,5	0,9	486,0	108,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	30	1296,9	79,3	3538,0	1136,6
SiO <sub>2</sub> [mg/l]	30	38,7	2,0	120,0	27,3
Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	30	61,0	4,0	178,0	41,3
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	30	44,4	0,100	293,0	55,1
Na <sup>+</sup> [mg/l]	30	447,1	6,4	2280,0	540,6
K <sup>+</sup> [mg/l]	30	16,6	0,2	47,0	16,7

Banjske vode koje potiču sa teritorije republike Srbije imaju širok opseg temperatura od hladnih (14,4 °C) do vrlo toplih izvora ( 95,0 °C), velike razlike pH vrednosti (6,5-9,0), električne provodljivosti (110 - 5100 µS/cm), ukupan sadržaj čvrstih materija (100-6200 mg/l) i stoga odražavaju veliku kompozicijsku raznolikost. Uočava se visoka vrednost standardnih devijacija merenih karakteristika, što je posledica složenih geoloških struktura nalazišta voda. Na osnovu sadržaja ukupnog čvrstog ostatka ove vode su kategorisane u

klasu niskomineralnih (čvrst ostatak do 500 mg/l), umereno mineralizovanih (čvrst ostatak od 500 do 1500 mg/l) i visoko mineralizovanih (čvrst ostatak preko 1500 mg/l). Banjske vode se eksploatišu kao pijaće vode (br. 14, 25- 30) i kao vode za lekovite balneološke svrhe (ostali uzorci). Hemijski sadržaj analiziranih uzoraka banjskih voda predstavljen je Piper-ovim dijagramom [84] na slici 4.1.

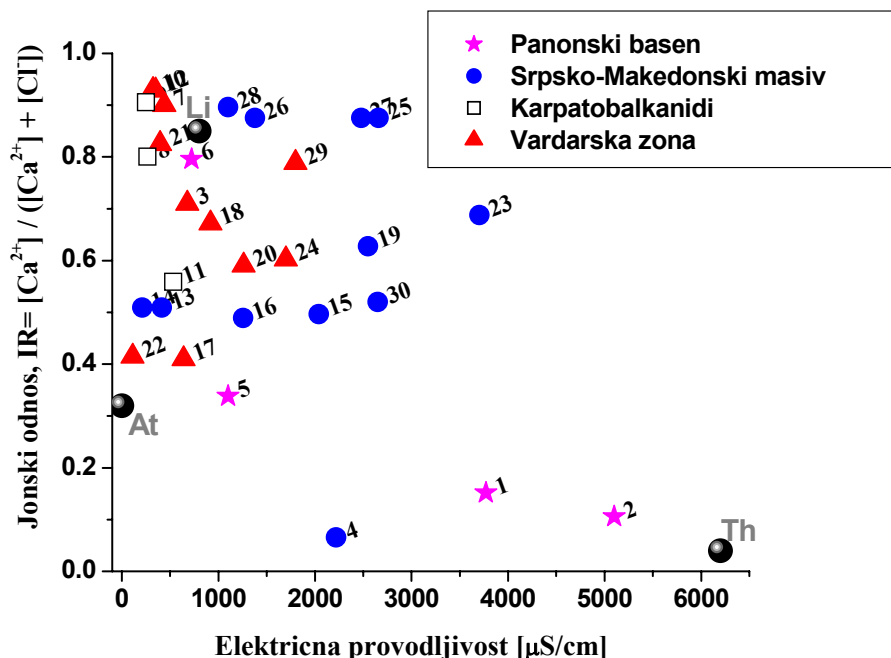


**Slika 4.1: Piper-ov trilinearni dijagram srpskih banjskih voda zasnovan na vrsti voda**

Da bi se predstavio sastav vode što je moguće preciznije, katjoni i anjoni su prikazani po opadajućem redu sa početkom od preovlađujućeg katjona. Prema ovakvoj proceduri, većina analiziranih voda spadaju u Na-HCO<sub>3</sub> (br. 1, 14-15, 17-19, 23-24, 28,30), Na-Mg-HCO<sub>3</sub> (br. 20, 25-27), Na-HCO<sub>3</sub>-Cl (br. 2 i 4)

Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> (br. 13 i 16), Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (br. 8-10) tipove. Ovakvo grupisanje se takođe dobro slaže sa grupisanjem u klastere kod Piper-ovog dijagrama. Ostale vode su definisane kao Na-Ca-HCO<sub>3</sub> (br. 3), Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl (br.11), Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl (br. 5), Ca-HCO<sub>3</sub> (br. 12), Mg-HCO<sub>3</sub> (br. 21) Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> (br. 7), Mg-Na-HCO<sub>3</sub> (br. 29), Mg-Ca-Na-HCO<sub>3</sub> (br. 6) prema 143 različita tipa evropskih mineralnih voda [85]. Vode u kojima su dominantni HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i Na<sup>+</sup> normalno ukazuju na jonski izmenjene vode, mada je stvaranje CO<sub>2</sub> u dubini može da prouzrokuje stvaranje HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> gde je Na<sup>+</sup> dominantan pod izvesnim uslovima [86]. U podzemnim vodama u krečnjaku, peščaru, i mnogim drugim nalazištima su dominantni HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i Ca<sup>2+</sup>.

Za dalju klasifikaciju analiziranih voda, na slici 4.2 je dat Van Wirdum-ov dijagram [87], tj. jonski odnos (IR) u funkciji električne provodljivosti (EP) gde je  $IR = [Ca^{2+}] / ([Ca^{2+}] + [Cl^-])$  gde su koncentracije izražene u meq/l.



Slika 4.2: Van Wirdum-ov dijagram za banjske vode Srbije

Električna provodljivost može da se posmatra kao mera saliniteta, jonski odnos  $[Ca^{2+}]/([Ca^{2+}]+[Cl^-])$  kao mera preovlađivanja kalcijuma među katjonima i hlorida među anjonima. Preovlađivanje je rezultat geohemijskih procesa koji se dešavaju unutar rezervoara (akvifera). Zasnovano na poziciji u Van Wirdumovom dijagramu, podzemna voda može da se klasifikuje kao atmosferska, At, (kišnica), litotrofna, Li, (sveža voda bogata kalcijumom), talasotrofna, Th, (morska voda) ili bilo koja između ovih. Analizirani uzorci su raspoređeni među ova tri referentna tipa voda hidrološkog ciklusa. Izgleda da je većina uzoraka pretežno u zoni litotrofne vode. Međutim, nekoliko uzoraka (br. 1 i 2) iz Panonskog basena sa većim sadržajem hlorida ima sastav sličan morskoj vodi kao posledicu nekadašnjeg postojanja Panonskog mora.

Ukupna alfa aktivnost UA merene u 30 banjskih voda kretala se u rasponu vrednosti dva reda veličine od  $<10$  mBq/l do 470 mBq/l, dok je ukupna beta aktivnost UB u opsegu 108 do 2206 mBq/l.

Koncentracija aktivnosti radijuma je u opštem slučaju mala (10-530 mBq/l za  $^{226}Ra$  i 10 do 680 mBq/l za  $^{228}Ra$ ). Najveće koncentracije  $^{226}Ra$  (br. 4, 8 i 28) i  $^{228}Ra$  (br. 15, 23 i 25) su izmerene u banjskim vodama koje se pojavljuju iz krečnjaka i mermera, respektivno, kao dominantne geološke strukture. Vode koje se pojavljuju iz mermera se nalaze u zoni izvora gaziranih voda gde različiti tipovi potiču od mešanja podzemnih voda i visokomineralnih fluida u kojima je visok sadržaj ugljendioksida iz dubine veće od 2000 m [88].  $^{226}Ra$  se nalazi u stenama i zemljištu u različitim količinama i potiče od radioaktivne serije  $^{238}U$ , a njegove visoke vrednosti se povezuju sa dubokim peščarnim nalazištima [89].

Uprkos odnosu koncentracija aktivnosti  $^{226}Ra/^{228}Ra$  koji nije konstantan, izgleda da je moguće zaključiti da je podzemna voda sa visokim sadržajem  $^{226}Ra$  sadrži manje  $^{228}Ra$ . Najveći odnos aktivnosti  $^{226}Ra$  i  $^{228}Ra$  koji dostiže 13,2 u Niškoj Banji (br. 8) može da se poveže sa specifičnim tipovima krečnjačkih sistema načinjenih od izlomljenih krečnjaka iz doba Jure i Krede otvorenih sa

dve strane za napajanje meteorskom vodom i prema hidrogeološkoj klasifikaciji označena je kao „termo-krševit izvor“ [90]. Visok sadržaj radijuma u zemljištu (preko 800 Bq/kg  $^{226}\text{Ra}$ ) i podzemnoj vodi u ovoj oblasti može da bude zbog mineralizacije uranijuma [91]. Koncentracija aktivnosti  $^{238}\text{U}$  je u opsegu 40-380 mBq/l, sa srednjom vrednošću  $110\pm 60$  mBq/l, a najuočljiviji u Tularskoj Banji (br. 23). Iz izmerene koncentracije aktivnosti  $^{238}\text{U}$ , izračunat je prirodni U nivo, pretpostavljajući radioaktivnu ravnotežu uranijumovih izotopa i aktivnosti 25,28 mBq iz 1  $\mu\text{g}$  prirodnog uranijuma (tj. 1  $\mu\text{g}$  izotopa  $^{238}\text{U}$  daje 12 mBq) [92]. Zbog toga je masena koncentracija ukupnog uranijuma u analiziranoj vodi u opsegu 3 $\mu\text{g}/\text{l}$  (br. 13, Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tip) do 32  $\mu\text{g}/\text{l}$  (br. 13, Na-HCO<sub>3</sub> tip) što je u saglasnosti sa objavljenim vrednostima u Srbiji koje su bile do 41  $\mu\text{g}/\text{l}$  na istoku Srbije [93] i 2700  $\mu\text{g}/\text{l}$  u vodama u rudnicima [94].

Svi podaci su ispitivani korišćenjem Shapiro-Wilk-ovog testa [95] i testa Kolmogorov-Smirnov [96] za normalnu raspodelu korišćenjem  $p < 0,05$ . Podaci nisu prošli Shapiro-Wilk-ov i Kolmogorov-Smirnov testove, što ukazuje na značajno odstupanje od normalnosti zbog čega je sprovedena Box-Cox-ova transformacija [97] za dobijanje podataka standardne normalne raspodele. Box-Cox-ovi transformisani podaci koji su prošli test normalnosti ( $p < 0,05$ ), zajedno sa netransformisanim podacima su korišćeni za hemiometrijske analize (korelacione analize, klaster analize i PCA)

#### **4.1.2 Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika banjskih voda Srbije**

Na individualne aktivnosti u vodi mogu da utiču mnogi faktori, kao što su (1) geološki sastav tla i stena, (2) sadržaj minerala u vodi, (3) hemijsko ponašanje nuklida ili elemenata [98]. Personovi korelacioni koeficijenti između fizičko-hemijskih i radioloških parametara merenih u banjskim vodama su izračunati i prikazani u obliku korelacione matrice u tabeli 4.3.

Termini jak, umeren i slab su primenjeni na korelacione koeficijente, u odnosu na apsolutne vrednosti koeficijenata za vrednosti >0,75, 0,75-0,50 i 0,50-0,36 respektivno. Alfa nivo za testiranje značajnosti korelacije je održavan na  $p < 0,05$  (broj uzoraka:  $n=30$ ).

Iz tabele 4.3 zapaža se jaka pozitivna korelacija bikarbonata sa elektroprovodljivošću ( $r=0,83$ ), ukupnom beta aktivnošću ( $r= 0,79$ ),  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,78$ ), mineralnim ostatkom ( $r=0,81$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r=0,85$ ) i  $\text{K}^+$  ( $r=0,88$ ). Većina ovih asocijacija može da se objasni fizičko-hemijskim karakteristikama izvorišta. EP je jako povezana sa  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  i MO ( $r=0,83$ ;  $0,85$  i  $0,98$  respektivno) zbog toga što MO uključuje i rastvorene i suspendovane čvrste materije, koje se detektuju tokom pripreme svakog uzorka za merenja UA i UB [92]. Najveća moguća korelacija ( $r=0,92$ ) se pojavljuje između UB aktivnosti i aktivnosti  $^{40}\text{K}$  (50-100%). Ovaj rezultat je u skladu sa otkrićem da se ukupna radioaktivnost povećava sa ukupnim sadržajem minerala, jer je veća prirodna radioaktivnost uglavnom povezana sa većom količinom minerala u vodama podzemnog porekla [99].

Aktivnost  $^{226}\text{Ra}$  je vrlo slabo povezana sa aktivnošću  $^{228}\text{Ra}$  ( $r= 0,30$ ) zbog toga što je njegovo poreklo iz različitih serija raspada, u kojima precizno  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  imaju različita hemijska ponašanja u vodenim nalazištima. Udeo svakog radionuklida u ukupnoj radioaktivnosti značajno varira od mesta uzorkovanja. Štaviše, odnos  $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{U}$  na raznim mestima se kreće u opsegu od 0,13 do 5,7, a samo 7% mesta daje vrednost oko 1 (0,8-1,2). Ovo ukazuje da koncentracija  $^{226}\text{Ra}$  u podzemnim vodama nije povezana sa rastvorenim uranijumom.

**Tabela 4.3 Person-ova korelaciona matrica za fizičkohemijske parametre i prirodne aktivnosti merene u banjskim vodama Srbije sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	pH	T	EP	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	MO	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SiO <sub>2</sub>
pH	1																	
T	-0,01	1																
EP	-0,49	0,01	1															
UA	-0,20	0,06	0,32	1														
UB	-0,55	-0,05	0,72	0,50	1													
<sup>40</sup> K	-0,42	-0,04	0,67	0,41	<b>0,92</b>	1												
<sup>226</sup> Ra	0,05	-0,01	-0,04	0,63	0,38	0,23	1											
<sup>228</sup> Ra	-0,09	-0,19	0,43	0,13	0,59	0,53	0,30	1										
<sup>238</sup> U	-0,05	-0,15	0,14	-0,13	0,37	0,24	0,05	0,60	1									
MO	-0,47	-0,03	<b>0,98</b>	0,38	0,69	0,65	-0,04	0,36	0,05	1								
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,59	-0,08	<b>0,83</b>	0,37	<b>0,79</b>	<b>0,78</b>	0,12	0,53	0,09	<b>0,81</b>	1							
Cl <sup>-</sup>	-0,42	0,04	0,67	0,25	0,54	0,40	0,17	0,31	0,14	0,63	0,57	1						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0,11	0,20	0,01	-0,32	0,10	0,02	-0,10	0,16	0,28	-0,1	-0,09	0,14	1					
Na <sup>+</sup>	-0,33	0,07	<b>0,85</b>	0,28	0,70	0,73	0,08	0,49	0,07	<b>0,83</b>	<b>0,85</b>	0,71	0,00	1				
K <sup>+</sup>	-0,63	0,01	0,69	0,32	<b>0,79</b>	<b>0,81</b>	0,06	0,52	0,18	0,67	<b>0,88</b>	0,48	0,10	<b>0,78</b>	1			
Ca <sup>2+</sup>	-0,54	-0,39	0,15	0,21	0,55	0,40	0,25	0,53	0,55	0,1	0,39	0,24	0,14	0,10	0,49	1		
Mg <sup>2+</sup>	-0,70	-0,47	0,36	0,25	0,43	0,31	-0,04	0,26	0,17	0,36	0,47	0,20	0,05	0,11	0,43	0,64	1	
SiO <sub>2</sub>	-0,11	0,22	0,39	0,24	0,30	0,38	-0,05	0,16	-0,07	0,39	0,32	-0,01	0,08	0,47	0,41	-0,14	-0,01	1

Korelacioni koeficijenti su rangirani prema vrednosti na:

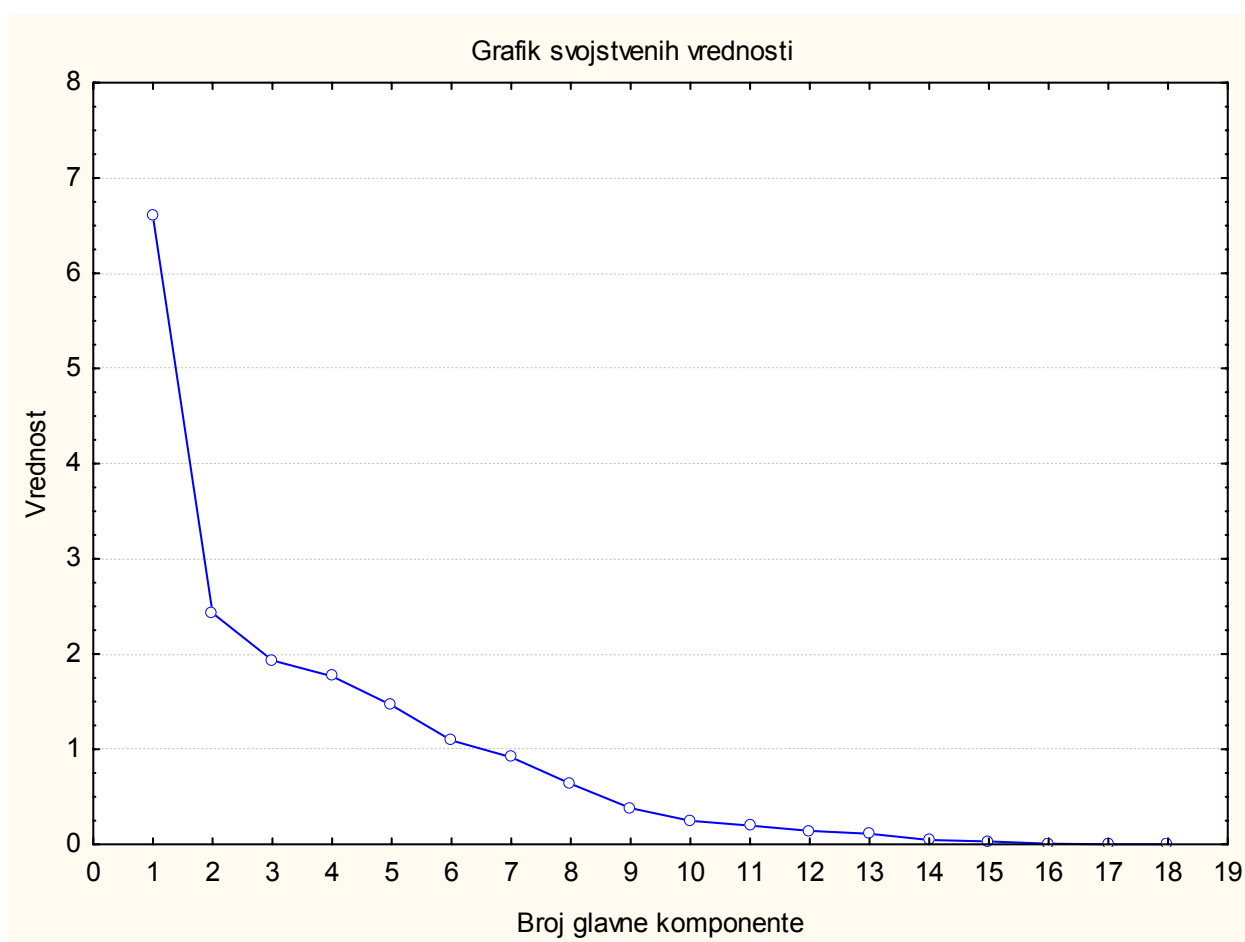
„Jak“ koeficijent korelacije  $\geq 0,75$  (masno štampano, statistička značajost na nivou 0,05)

„Umereni“ koeficijent korelacije 0,5-0,74

„Slab“ koeficijent korelacije 0 -0,5

### 4.1.3 Analiza glavnih komponenata karakteristika banjskih voda Srbije

PCA- analiza glavnih komponenata sprovedena je za identifikaciju i prepoznavanje strukture parametara hidrohemije i radioaktivnosti kao i za pomoć u interpretaciji podataka. Ulazni skup podataka se sastojao od matrice dimenzija 30x18, u kojoj su redove predstavljale analizirane banjske vode (30 objekata), a kolone specifični analizirani parametri (promenljive): MO, pH, T, EP, glavni joni ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\text{SiO}_2$  i radionuklidi (UA, UB,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ).



Slika 4.3: Grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka banjskih voda Srbije



Na slici 4.3 je prikazan grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka banjskih voda. Prema Caiser-ovom pravilu broj glavnih komponenata koji treba da uđe u razmatranje se određuje tako što se uzimaju komponente čija su svojsvene vrednost veće od 1. Iskustveno pravilo pri određivanju broja glavnih komponenata nalaže da se uzmu u obzir komponente koje su većih vrednosti od komponente gde se pojavljuje značajniji prevoj (tj značajniji skok gledajući sdesna na levo) na grafiku osipanja. Pošto ne postoji jasno pravilo po kome se određuje broj glavnih komponenata koje se uzimaju za dalju obradu, često se primenjuje pravilo kumulativne varijanse koje propisuje da procenat kumulativne varijanse treba da bude veći od 70%. U ovom slučaju je za broj glavnih komponenti određena vrednost 4, jer je sa 4 komponente objašnjeno preko 75% varijanse kao što može da se vidi iz tabele 4.4.

**Tabela 4.4 Svojstvene vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka banjskih voda Srbije**

Broj glavne komponente	Svojstvena vrednost	% Ukupne varijanse	Svojstvena vrednost kumulativno	Kumulativni %
1	7,806335	43,36853	7,80633	43,36853
2	2,544562	14,13646	10,35090	57,50498
3	1,769700	9,83167	12,12060	67,33665
4	1,460308	8,11282	13,58090	75,44947

U tabeli 4.5 su prikazane strukture faktora 18 fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na četiri značajne glavne komponente za banjske vode Srbije.

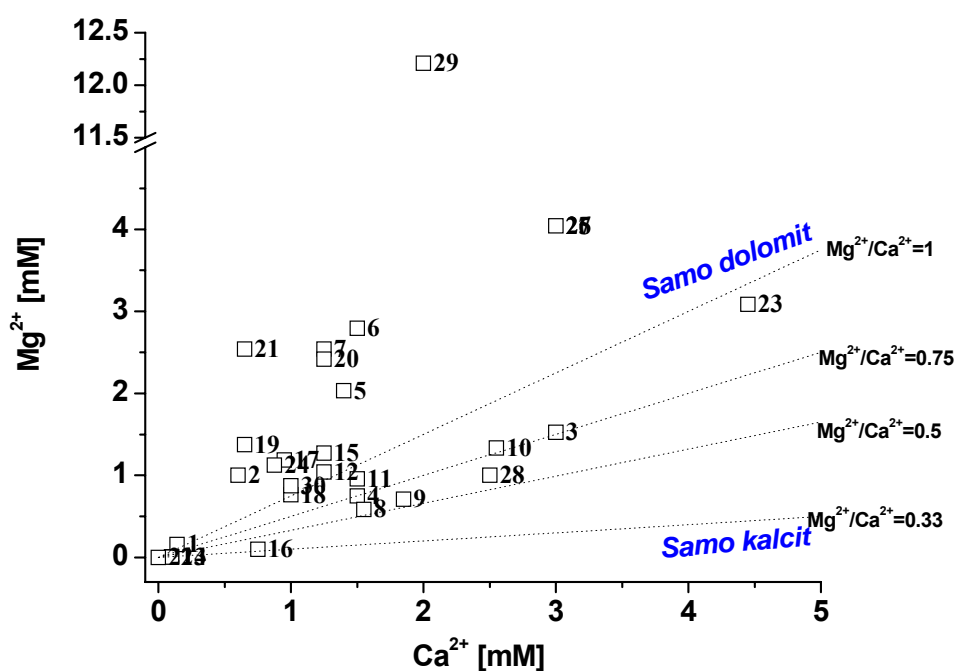
**Tabela 4.5 Struktura faktora 18 fizičko-hemijskih i radioloških promjenljivih na četiri značajne glavne komponente za banjske vode Srbije**

Struktura faktora (Varimax normalizovana) Ekstrakcija: Glavne komponente (Masnim slovima su označena opterećenja >0,700000)					
		Strukturalni faktori			
Parameteri	Skraćenice	PC1 (43,4%)	PC2 (14,1%)	PC3 (9,8 %)	PC4 (8,1 %)
pH	pH	-0,51572	-0,595449	0,069622	-0,228425
Temperatura	T	0,135143	<b>-0,702988</b>	-0,037883	0,241836
Elk. provodljivost	EP	<b>0,926620</b>	0,107884	-0,016798	-0,059717
Ukupna alfa	UA	0,368822	0,011239	0,46985	-0,532449
Ukupna beta	UB	<b>0,770990</b>	0,212299	0,498946	0,100244
<sup>40</sup> K	K4	<b>0,815920</b>	0,172875	0,409003	0,083382
<sup>226</sup> Ra	R6	-0,008664	-0,033000	<b>0,861934</b>	-0,257860
<sup>228</sup> Ra	R8	0,400153	0,151310	<b>0,760025</b>	-0,014932
<sup>238</sup> U	U8	-0,058791	0,138433	0,643328	0,470042
Ukupne rastvorene materije	MO	<b>0,915651</b>	0,122646	-0,062469	-0,168668
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HC	<b>0,883136</b>	0,271977	0,162187	-0,104470
Cl <sup>-</sup>	Cl	0,657565	0,070349	0,168503	0,072921
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO	0,077912	-0,054996	-0,004079	<b>0,840961</b>
Na <sup>+</sup>	Na	<b>0,931240</b>	-0,097621	0,089405	-0,050116
K <sup>+</sup>	K	<b>0,832456</b>	0,253224	0,249497	0,152123
Ca <sup>2+</sup>	Ca	0,142271	<b>0,702450</b>	0,548220	0,264109
Mg <sup>2+</sup>	Mg	0,308551	<b>0,852471</b>	0,066574	0,015075
SiO <sub>2</sub>	Si	0,546495	-0,301891	-0,132950	0,019045
Objašnjena varijablansa		6,733825	2,460540	2,836262	1,550278
Učešće u ukupnoj varijaciji		0,374101	0,136697	0,157570	0,086127

PCA redukuje broj parametara na 4 skrivena faktora objašnjavajući 75,4% varijanse uzoraka odgovorne za formiranje strukture podataka. Rotirana struktura faktora za svaki parametar je predstavljena u tabeli 4.5. Strukture faktora predstavljaju učešće posmatranih promjenljivih za pojedine faktore (tj. korelacione koeficijente >0,7) i označene su masnim slovima. Prvi faktor (PC1)

je pozitivno korelisan sa EP ( $r=0,93$ ), MO ( $r=0,92$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r=0,93$ ),  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,88$ ),  $\text{K}^+$  ( $r=0,83$ ),  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,82$ ) i UB ( $r=0,77$ ), računato na oko 43,4% ukupne varijanse skupa podataka i može uslovno da se nazove „mineralizacioni“ faktor ili faktor „vremena zadržavanja“, jer ove interakcije potiču iz geoloških komponenata nalazišta [100].

PC2 (14,1%) je karakterisana visoko pozitivnim vrednostima  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r=0,85$ ) i  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,70$ ) u strukturi faktora. Ove dve komponente strukture faktora mogu uslovno da se nazovu komponente „tvrdoće“ jer ova dva jona se često koriste za izračunavanje tvrdoće i tipično je da su povezane sa rastvaranjem karbonatnih stena u ovim vodenim nalazištima (slika 4.4) [101].

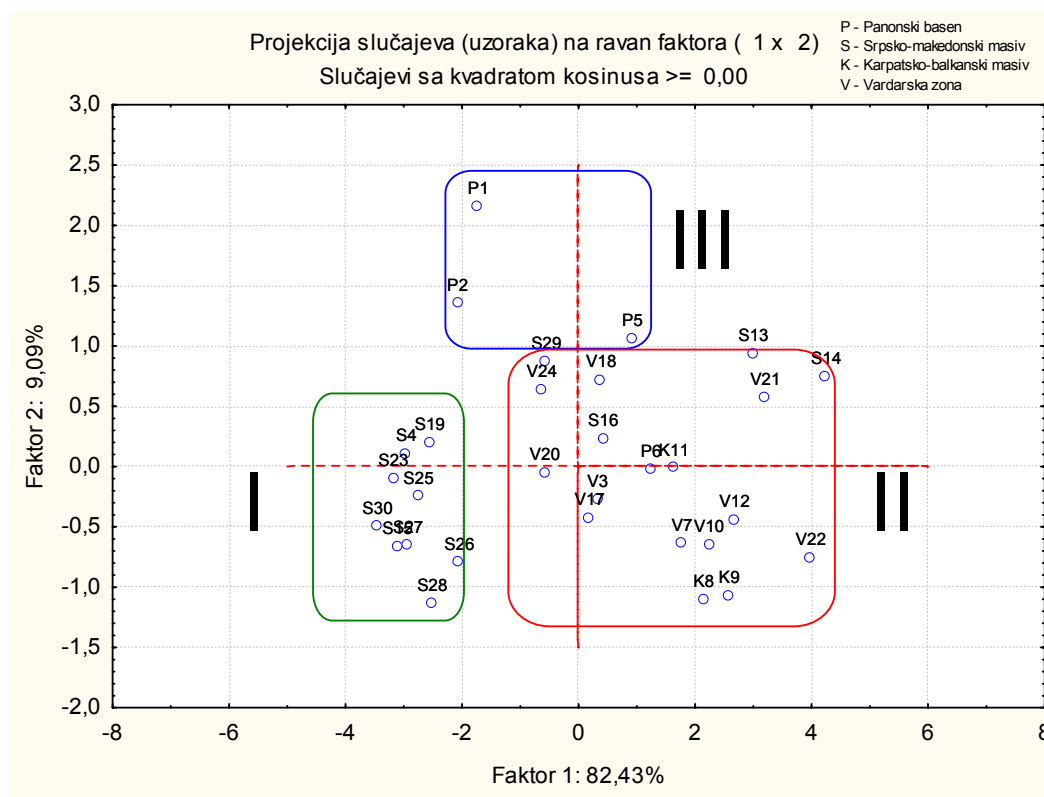


Slika 4.4 Odnos koncentracija  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$  ukazuje na dominantnost rastvorenog dolomita u podzemnim vodama akvifera.

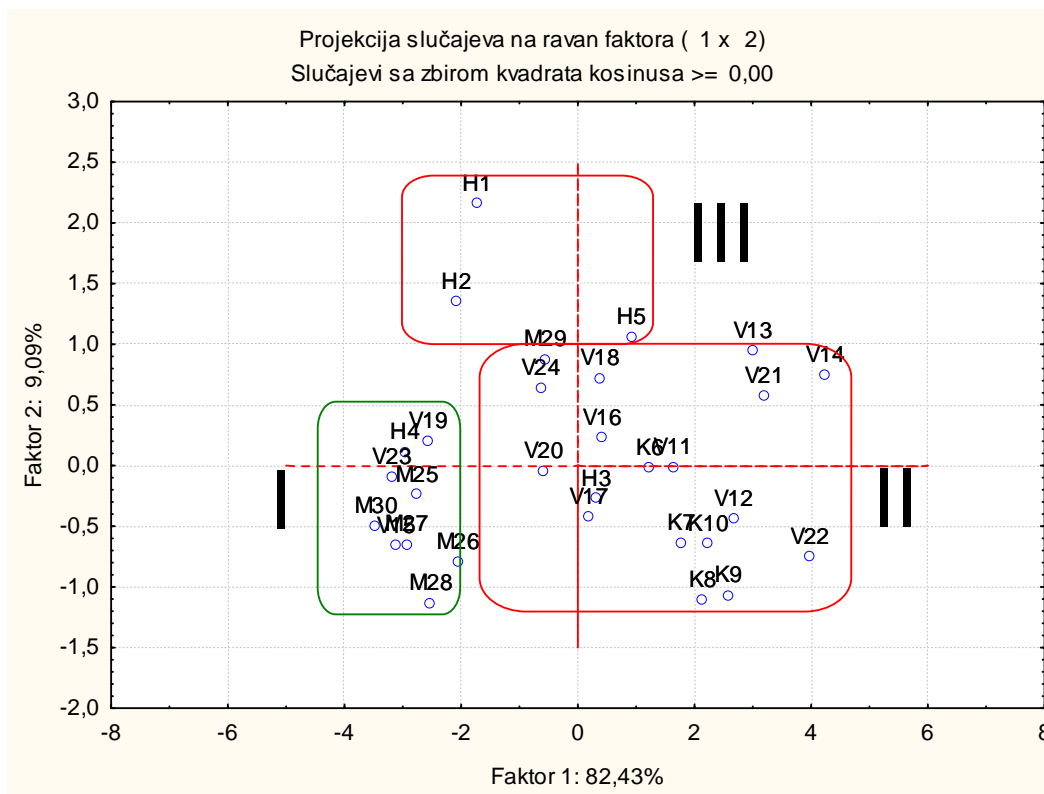
PC3 pokriva 9,8% ukupne varijanse i jasno se karakteriše visoko pozitivnim vrednostima  $^{226}\text{Ra}$  ( $r=0,86$ ) i  $^{228}\text{Ra}$  ( $r=0,76$ ) u strukturi faktora. UA

aktivnost u podzemnim vodama potiče od  $^{238}\text{U}$ , i njegovog potomka  $^{226}\text{Ra}$  jer procedura isparavanja koja se koristi u merenjima isključuje kratkoživeće potomke  $^{222}\text{Rn}$  [92]. Poslednja glavna komponenta PC4, koja utiče sa 8,1% ukupne varijacije skupa podataka, u kojoj se izdvajaju sulfati  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r=0,84$ ).

Izvorne stene (metamorfne, magmatske i sedimentarne) različite geološke starosti iz Proterozoika i Mezozoika sadrže Th/U odnos koncentracija između 2,8 i 4,8 na teritoriji Srbije [41].



Slika 4.5 Faktor PC1 prema PC2 (PC3 i PC4) koji ilustruje razlike banjskih voda za sve slučajeve (1 - 30) korišćenih u ovim ispitivanjima prema: njihovom geotektonskim jedinicama, brojevi na slici odgovaraju mestima uzorkovanja datim u tabeli 4.1.



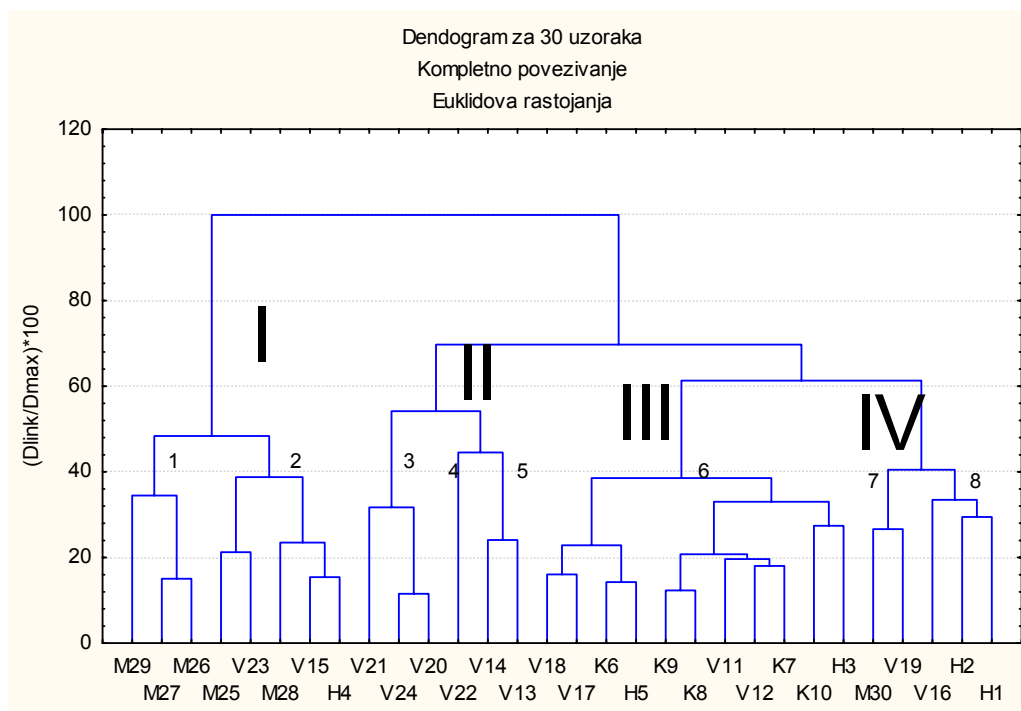
Slika 4.6 Faktor PC1 prema PC2 (PC3 i PC4) koji ilustruje razlike banjskih voda za sve slučajeve (1 – 30) korišćenih u ovim ispitivanjima prema: njihovoj hidrogeološkoj strukturi. Brojevi na slici odgovaraju mestima uzorkovanja datim u tabeli 4.1

Na slici 4.5 PC1 u funkciji PC2 (PC3 i PC4), mesta uzorkovanja podzemnih voda su podeljena na tri različita klastera. U klasteru I nalaze se vode srpsko-makedonskog masiva, u klasteru II vode srpsko-makedonskog masiva i vardarske zone, a u klasteru III vode panonaskog basena. Na slici 4.6 su vode obeležene prema hidrogeološkim strukturama akvifera i prikazana je ista podela na klastera. U klasteru I nalaze se vode vulkanogenih masiva i oblasti metamorfita, u klasteru II uglavnom vode iz vulkanogenih masiva i karstnih područja, a u klasteru III uglavnom vode iz hidrogeoloških basena. Zapažanja u klasteru I u donjem levom uglu grafika sadrže vode sa najvećim vremenom zadržavanja u odnosu na starost 20000-40000 godina [41] na bazi merenja radioaktivnosti ugljenika. One pripadaju Srpsko-Makedonskom masivu (br. 4, 19, 15, 23, 26-28, 30), a poreklom su iz vulkanske (br. 19, 23) i metamorfne

oblasti (br. 25-28, 30) kao i hidrološkog basena (4). Uzorci iz klastera obeleženog rimskim brojem II na desnoj donjoj strani uključuju uglavnom vode Vardarske zone (br. 3, 7, 10, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 24), Srpsko-makedonskog masiva (br. 13, 14, 16, 29) i Panonskog basena (6). Ovaj klaster sadrže i vode koje su se pojavile iz karstnih oblasti i magmarskih masiva u geotektonskoj jedinici Karpatobalkanida (br. 8, 9, 11). Vreme zadržavanja ovih voda je kraće, manje od 20000 god. starosti, jer najverovatnije voda teče brže kroz drenažni sistem nastao od karstnih ili napuklih stena. Uzorci (br. 1, 2, 5) u klasteru III, između klastera I i klastera II, pripadaju panonskom basenu poreklom iz hidrogeoloških basena. Bez sumnje, voda iz Vrdničke banje (br. 6) je van oblasti gde se nalaze ostale vode Panonskog basena. Prema dostupnim podacima, njihova starost nije poznata. Ipak, činjenica da je najveća aktivnost  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  i  $^{238}\text{U}$  detektovana u vodama koje pripadaju klasteru I sa najvećim vremenom zadržavanja implicira da se ove vode zadržavaju dovoljno dugo da omogućavaju produženi kontakt sa relevantnim stenama i rastvaranje radioaktivnih elemenata. Izračunati indeksi zasićenja ( $SI_{\text{calcite}}$ ) koji za sve analizirane vode prelazi vrednost +0,05 ukazuju na njihovo superzasićenje u odnosu na kalcit. Ova vrednost naglo opada sa vidljivom starošću vode i za klaster I iznosi između 0,74 i 1,88 dok za klaster II iznosi između 0,3 i 1,04. Kvantitativna procena efikasnosti klasifikacije može da se dobije iz matrice klasifikacije koja prikazuje predviđeni broj uzoraka u svakoj klasi na osnovu geotektonskih osobina.

#### 4.1.4 Klaster analiza karakteristika banjskih voda

Klaster analiza se koristi za klasifikaciju voda u grupe objekata. Subjektivna procena je urađena izborom horizontalne linije preko dendograma na Euklidovom rastojanju od oko 60% (slika 4.7) na osnovu vizuelne procene kako bi se dobila 4 klastera (glavne grupe) što je rezultovalo iz PCA [102].



**Slika 4.7: Dendrogram dobijen klaster analizom uzorkovanih mesta sa fizičko-hemijskim i parametrima prirodne radioaktivnosti za 30 banjskih voda.**

Analizirane vode na slici 4.7 su označene slovom koje predstavlja hidrogeološku strukturu, a broj redni broj uzorka iz tabele 4.1. Dobijeni dendrogram pokazuje 4 glavne grupe (I-IV) kao i veći broj podgrupa. Izborom podele na podgrupe korišćenjem 40%-ne različitosti, što daje jasnu razliku u pogledu hidrogeoloških i fizičko-hemijskih promenljivih, dobijeno je 8 podgupa sa 30 uzoraka vode sličnih fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika. Uzorci su podeljeni po klasterima za svaku podgrupu i srednje vrednosti za svaki parametar su prikazani u tabeli 4.6. Ove vrednosti za svaki sastav podgupa dobijen HCA analizom otkriva trendove između njih i one su osnova za pravljenje razlika između podgrupa. U grupi IV svi uzorci imaju značajno veći MO od grupa I, II i III koje se takođe međusobno razlikuju na osnovu MO. Izabrali smo podelu podgupe korišćenjem 40%-ne različitosti, što daje jasnu razliku u pogledu hidrogeoloških i fizičko-hemijskih promenljivih.

Tabela 4.6 Srednje vrednosti za fizičko-hemijske i parametre prirodne radioaktivnosti podgrupa banjskih voda izvedenih iz HCA

Grupa	Podgr.	n	pH	T	EP	MO	HCO <sub>3</sub>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>228</sup> U
				[°C]	[μS/cm]	[g/l]	[mg/l]							[mBq/l]		[Bq/l]				
I	1	3 (M26,M27,M29)	6,6	24,7	1887	2,001	2083,7	363,0	32,7	108,3	162,7	33,7	5,3	41,7	140	1149	1,187	0,033	0,047	0,117
	2	5 (V23, M25, M28, V15, H4)	7,2	32,0	2344	2,093	2971,0	1227,4	38,8	101,6	48,7	370,2	118,4	50,2	236	1612	1,412	0,234	0,378	0,150
II	3	3 (V21, V20, V24)	7,1	33,7	1119	1,128	823,3	206,0	7,2	37,0	48,7	38,2	17,0	34,3	26,7	418,7	0,403	0,013	0,010	0,057
	4	1 (V22)	8,4	30,0	110	0,100	164,0	15,6	0,6	48,0	0,5	17,0	0,9	2,0	10,0	148,0	0,200	0,020	0,020	0,110
	5	2 (V13, V14)	9,0	32,2	312	0,359	100,6	70,2	1,0	4,0	0,2	7,0	27,5	60,0	15,0	113,5	0,085	0,020	0,015	0,075
III	6	11 (H5, V6, V17, V18, K9, K8, V11, V12, K7, K10, H3)	7,3	31,3	565	0,553	511,7	118,0	7,3	64,1	33,7	23,6	40,7	23,5	88,6	359,5	0,292	0,124	0,026	0,012
IV	7	2 (M30, V19)	7,0	41,5	2600	2,734	2610,5	1078,0	40,5	33,0	27,0	47,5	97,0	75,0	105,0	1428,0	1,580	0,020	0,065	0,095
	8	3 (H1, H2, V16)	7,3	55,0	3375	3,679	1372,3	653,0	6,8	19,9	10,1	160,9	123,0	50,6	126,7	591,3	0,600	0,087	0,020	0,097

n- broj uzoraka unutar podgrupe



Uzorci koji pripadaju istoj podgrupi se nalaze na bliskom rastojanju jedan do drugog, što ukazuje na manje-više iste geohemijske procese (evoluciju) i puteve toka. Većina podgrupa je ograničena posebnim geotektonskim jedinicama (npr. podgrupa 3 – vardarska zona). Podela između podgupa nije uvek tako vidljiva. Podgrupe 3, 4 i 5 se pojavljuju u istoj geotektonskoj jedinici (vardarska zona), ali se razlikuju po hidrogeološkim parametrima.

Statistički definisani klasteri nemaju tako izražen fizički smisao kao PCA, jer HCA koristi manje informacija (samo rastojanje) od PCA. Dobra statistička povezanost srednjih vrednosti podgrupa ne može jasno da se objasni fizičko-hemijskim promenljivama i promenljivama radioaktivnosti za karakterizaciju cirkulacija podzemnih voda i njihovu interakciju sa površinskim vodama.

## 4.2 *Uzorci mineralnih voda (MV) Srbije*

### 4.2.1 Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka mineralnih voda Srbije

Uzorci mineralnih voda Srbije (n=125) su podeljeni u 6 grupa prema vodonosnim sredinama (VS) na:

P-pukotinska vodonosna sredina ;

K- karstna (krečnjačka) vodonosna sredina – karstna poroznost ;

L - kompleks jezerskih sedimenata neogene starosti (peskovi i gline) - intergranularna poroznost ;

M - aluvijalna sredina (rečni nanosi) - intergranularna poroznost (voda se nalazi u porama peska i šljunka);

PK - tip vodonosne sredine koji pripada i tipu P i tipu K

PL - tip vodonosne sredine koji pripada i tipu P i tipu L,

Uzorci se mogu grupisati i prema hidrogeološkim grupacijama strukture (HS) akvifera u:

1 – Vulkanogeni (magmatski masivi)

2 – Karstna područja

3 – Područja metamorfita (kristalnih škriljaca)

4 – Hidrogeološki baseni (neogen)

U tabeli 4.7 su prikazani rezultati ispitivanja mineralnih voda Srbije.

Tabela 4.7: Fizičko-hemijski i radiološki podaci proučavanih mineralnih voda sa teritorije Republike Srbije (uzorkovane u periodu 2000-2008. god.)

R.broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
1	FLAŠIRANA ZLATIBOR GOSTILJE	K	3	0,057	10	20	0,090	0,006	0,003	0,060	0,020	0,090	9,0	7,6	180	7,7	7,6	128,0	10,8	32,0	2,4	3,0	0,5
2	LJUBA RDEVİK	K	2	0,090	10	20	0,059	0,005	0,002	0,008	0,013	0,007	12,0	7,8	350	1,9	2,5	293,0	9,5	16,8	52,0	1,4	0,1
3	KOVILJ-IVANJICA	K	2	0,090	10	37	0,100	0,007	0,003	0,080	0,020	0,100	10,0	7,6	283	0,9	4,6	207,0	4,9	67,3	5,6	1,7	0,2
4	VALJEVO	K	2	0,134	12	30	0,070	0,004	0,002	0,090	0,020	0,080	16,7	7,4	295	2,8	5	397,0	14,6	70,5	29,5	1,7	1,3
5	MIONICA	K	2	0,142	16	86	0,100	0,006	0,003	0,100	0,020	0,100	28,0	7,7	488	0,9	15,7	421,0	14,4	34,4	17	74,9	4,1
6	NOVI SAD PIJACE	K	2	0,177	14	50	0,120	0,004	0,002	0,090	0,010	0,070	16,7	7,2	365	4,2	27,9	400,0	14,6	72,0	45,0	6,1	2,8
7	KNJAŽEVAC	K	2	0,186	10	20	0,050	0,005	0,003	0,080	0,020	0,100	9,0	7,3	460	1,2	13,0	360,0	14,6	110,0	7,0	1,8	0,4
8	VUJIC VALJEVO	K	2	0,212	22	35	0,040	0,006	0,003	0,080	0,020	0,100	20,3	7,5	470	2,8	4,6	415,0	11,3	93,3	23,6	3,2	0,8
9	VUJIC VALJEVO	K	2	0,238	12	39	0,060	0,005	0,002	0,070	0,020	0,070	23	7,5	451	2,4	5,8	384,0	11,5	95,7	11,9	3,4	0,8
10	STARO HOPOVO, IRIG MV SUMPORNA	K	2	0,276	20	49	0,070	0,003	0,001	0,071	0,025	0,110	14,5	7,6	680	54,2	5,5	402,7	26,5	27,9	33,6	82,4	3,4
11	SOKOLAC	K	2	0,335	10	36	0,040	0,002	0,002	0,040	0,020	0,030	8,3	7,3	348	2,6	4,5	281,0	4,2	90,1	4,9	2,1	0,6
12	FLAŠIRANA ZLATIBOR GOSTILJE	K	2	0,338	20	34	0,049	0,001	0,001	0,005	0,005	0,100	14,5	7,9	470	1,4	17,6	353,2	10,1	62,7	30,5	4,5	0,9
13	ZLATIBOR GOSTILJE	K	2	0,338	20	34	0,049	0,001	0,001	0,005	0,005	0,100	14,5	7,9	470	1,4	17,6	353,2	10,1	62,7	30,5	4,5	0,9
14	LJUBA RDEVİK	K	2	0,381	70	182	0,130	0,002	0,001	0,010	0,010	0,080	18,6	7,1	760	16,2	21,6	509,7	12,6	97,4	44,6	23,4	2,4
15	BEOGRAD	K	2	0,387	10	94	0,110	0,006	0,001	0,030	0,020	0,100	16,7	7,3	1165	110,6	155,1	525,0	32,4	126,1	84,1	50,4	4,5
16	ZLATIBOR HOTEL OLIMP	K	2	0,390	20	10	0,025	0,002	0,001	0,004	0,005	0,045	10,2	8,2	460	27,1	10,5	271,3	36,0	13,3	59,5	1,4	0,2
17	BEOGRAD	K	2	0,399	10	82	0,070	0,003	0,002	0,013	0,020	0,070	14,9	7,4	970	53,0	116	561,0	18,4	87,0	66,0	38,2	1,1
18	BEOGRAD	K	4	0,399	10	82	0,070	0,003	0,002	0,013	0,020	0,070	14,9	7,4	970	53,0	116	561,0	18,4	87,0	66,0	38,2	1,1
19	BEOGRAD	K	2	0,418	37	624	0,100	0,002	0,001	0,030	0,010	0,030	20,4	7,3	490	0,9	14,1	378,0	13,4	56,0	32,0	16,0	1,6
20	GORNJI BANJANI, RAJAC LJIG	K	2	0,421	26	54	0,067	0,002	0,001	0,029	0,034	0,050	16,7	7,5	520	12,0	21,4	360,0	14,6	83,0	18,0	3,3	1,7
21	IZVOR PARAĆIN	K	2	0,426	20	45	0,058	0,001	0,001	0,005	0,009	0,087	15,1	7,3	490	2,8	4,9	369,7	7,42	85,4	22,6	2,3	0,9
22	BISTRICA GRADAC	K	2	0,430	20	53	0,045	0,003	0,001	0,046	0,012	0,120	14,6	7,4	490	2,1	20,6	348,4	14,7	55,5	34,9	6,4	1,2

R.broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
23	VALJEVO	K	2	0,431	40	83	0,050	0,003	0,002	0,015	0,013	0,100	24	7,6	530	8,5	21,4	427,0	14,6	91,0	17,0	2,8	1,0
24	BISTRICA GRADAC	K	2	0,447	37	87	0,031	0,007	0,003	0,050	0,020	0,085	17,7	7,5	480	2,1	21,1	343,5	14,5	55,4	35,2	5,8	1,2
25	KNJAŽEVAC	K	2	0,449	15	316	0,060	0,004	0,003	0,010	0,020	0,090	27,7	7,1	510	5,1	15,0	415,0	14,6	99,0	20,0	4,5	0,7
26	VALJEVO	K	2	0,463	20	11	0,060	0,003	0,002	0,006	0,012	0,130	21	7,4	550	10,0	21,4	397,0	14,6	92,0	13,0	2,7	1,0
27	GORNJI BANJANI, RAJAC LIIG	K	2	0,486	10	52	0,070	0,002	0,003	0,010	0,010	0,090	12	7,3	550	1,9	18,0	354,0	14,6	93,0	19,0	3,9	1,4
28	GOSTILJE ZLATIBOR	K	2	0,696	60	141	0,050	0,008	0,002	0,006	0,011	0,100	16,7	7,4	400	0,7	3,9	278,5	3,4	89,4	3,5	0,6	0,5
29	SELO DAROSAV	K	3	1,073	30	341	0,4	0,003	0,001	0,01	0,02	0,05	25,6	7,1	1852	39,9	48,9	1558,3	49,8	79,5	63,7	463,1	83,6
30	HEBA-BUJANOVAC	L	3	0,107	10	27	0,900	0,005	0,002	0,080	0,020	0,100	11,7	8,2	367	16,7	35,5	183,0	32,2	46,8	20,2	21,4	3,0
31	PETROVO SELO	L	4	0,110	10	30	0,024	0,004	0,002	0,090	0,020	0,070	9,0	7,4	390	2,7	5,0	287,0	6,4	88,5	4,4	1,9	0,4
32	HEBA-BUJANOVAC	L	3	0,113	10	26	0,100	0,007	0,004	0,100	0,020	0,080	12,0	7,1	386	21,7	32,4	183,0	43,2	44,8	12,9	27,7	2,8
33	SREMSKA MITROVICA	L	4	0,143	10	72	0,150	0,005	0,003	0,020	0,020	0,110	38,8	7,1	450	3,7	4,5	350,0	22,1	16,3	7,4	105,1	0,7
34	BIVODA BUJANOVAC	L	3	0,159	10	41	0,130	0,009	0,003	0,110	0,030	0,110	13,0	7,1	296	14,9	21,0	165,0	47,3	37,2	8,8	23,0	2,0
35	VRŠAC	L	4	0,163	18	100	0,150	0,005	0,003	0,080	0,010	0,090	14,7	7,9	253	11,8	22,9	134,0	31,5	37,6	14,1	12,1	1,9
36	JAGODINA	L	4	0,185	22	35	0,160	0,005	0,003	0,090	0,020	0,090	15,0	6,9	670	29,0	88,0	445,0	24,8	105,0	33,0	28,8	3,7
37	JAGODINA	L	4	0,211	10	53	0,100	0,005	0,004	0,080	0,010	0,080	14,8	7,3	544	7,2	24,1	439,0	25,9	78,9	42,1	29,8	6,1
38	KULA	L	2	0,215	16	299	0,050	0,005	0,003	0,070	0,010	0,060	16,7	7,9	583	5,6	5,3	488,0	18,3	26,8	34,8	103,0	0,7
39	KULA	L	2	0,231	10	521	0,040	0,004	0,003	0,090	0,010	0,080	16,7	8,0	566	5,2	5,4	494,0	18,3	19,6	29,6	115,1	0,7
40	JAGODINA	L	4	0,240	10	73	0,100	0,004	0,002	0,090	0,010	0,070	18,5	7,2	660	16,0	21,0	451,0	12,1	118,0	19,0	22,9	1,5
41	BUJANOVAC	L	3	0,250	10	118	0,130	0,006	0,005	0,020	0,900	0,080	13,5	7,2	338	18,6	26,5	172,0	41,3	37,6	14,0	25,2	3,0
42	JAGODINA	L	4	0,270	15	65	0,090	0,005	0,003	0,090	0,020	0,110	14,2	7,5	530	4,4	11,0	457,0	24,8	66,0	41,0	17,3	1,5
43	KULA	L	4	0,315	10	24	0,030	0,009	0,003	0,140	0,030	0,510	16,6	7,7	601	5,5	1,3	518,0	18,6	28,1	41,4	91,0	2,6
44	KULPIN OPŠ. BAČKI PETROVAC	L	4	0,468	10	66	0,100	0,005	0,002	0,090	0,020	0,100	12,0	7,7	1061	85,4	88,4	671,0	19,9	144,0	59,3	60,7	2,9
45	MIHAILOVAC	L	4	0,510	30	111	0,050	0,007	0,002	0,005	0,010	0,110	16,0	8,0	730	14,0		500,0	24,8	73,0	47,0	37,1	1,2
46	POŽAREVAC	L	4	0,525	10	142	0,160	0,004	0,002	0,008	0,008	0,010	18,6	6,4	580	13,2	9,2	844,9	24,8	101,0	42,6	182,6	6,3
47	KULE	L	4	0,571	10	183	0,030	0,002	0,001	0,010	0,010	0,070	18,3	7,6	640	3,3	0,5	530,0	18,4	30,0	31,0	110,0	0,7
48	MIHAILOVAC	L	4	0,772	30	59	0,060	0,003	0,003	0,025	0,035	0,160	15,7	7,3	740	9,7	7,6	573,0	24,8	83,0	48,0	29,4	1,2
49	PRAHOVO	L	4	1,520	171	1191	2,000	0,003	0,002	0,070	0,280	0,050	42,0	7,3	4114	66,5	300,7	3385,0	84,1	50,5	19,7	1190,0	55,9
50	BUJANOVAC	L	3	1,684	369	12	1,730	0,004	0,003	0,06	0,14	0,14	42,0	7,0	3797	81,4	145,7	2950,0	85,8	72,5	10,9	1074,0	69,3
51	S.CEROVC KOD SPALANKE	L	3	2,240	1454	2711	2,330	0,008	0,002	0,330	0,590	0,140	8,0	6,9	3600	88,4	2,8	3450,0	55,4	308,0	158,0	737,0	81,0
52	BUJANOVAC	L	3	2,697	108	1994	1,350	0,003	0,001	0,060	0,020	0,060	25,6	7,3	3322	72,4	166,5	2670,0	102,7	52,1	7,5	1018,5	63,9

R.broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl- [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
53	LEŠTANE	L	4	2,997	71	61	0,170	0,009	0,005	0,020	0,020	0,100	18,6	8,5	3702	896,3	22,1	1130,0	12,2	3,6	3,1	1004,0	4,7
54	BUJANOVAC	M	3	1,076	43	539	0,610	0,005	0,002	0,01	0,1	0,07	15,2	6,8	1800	38,0	135,0	1600,0	42,0	48,0	30,0	601,0	24,6
55	BUJANOVAC	M	3	1,562	11	809	0,820	0,005	0,002	0,010	0,060	0,090	13,0	8,1	1800	22,0	110,0	1600,0	46,0	46,0	12,0	608,0	29,8
56	S.PALANKA	M	4	2,457	157	1781	0,440	0,004	0,002	0,100	0,220	0,110	18,0	7,7	3323	21,7	33,0	3087,0	28,3	606,6	205,7	143,0	14,1
57	BUJANOVAC	M	3	2,488	19	969	1,100	0,005	0,002	0,030	0,100	0,100	31,0	6,9	3700	80,0	210,0	3000,0	87,0	92,0	24,0	1109,0	46,8
58	BUJANOVAC	M	3	3,094	16	1642	1,540	0,006	0,003	0,060	0,100	0,080	19,5	8,4	2900	61,0	235,0	2800,0	70,0	10,0	17,0	1237,0	60,2
59	GOLIJA NOVOPAZARSKA STRANA	P	3	0,007	10	20	0,100	0,004	0,002	0,080	0,020	0,060	7,3	7,0	47	2,8	0,5	26,7	9,5	5,2	1,5	1,7	1,1
60	MV VLASINKA IZVOR 7, SURDULICA	P	1	0,014	10	20	0,040	0,004	0,003	0,090	0,010	0,070	7,0	7,3	73	1,0	5,9	43,0	13,6	10,0	1,9	3,0	1,0
61	VLASINSKA ROSA	P	1	0,016	10	20	0,070	0,005	0,003	0,090	0,010	0,080	8,0	7,2	70	1,0	5,9	43,0	13,4	9,6	1,2	3,0	1,0
62	VLASINSKA ROSA, IZVOR 10	P	1	0,031	10	20	0,070	0,004	0,002	0,090	0,010	0,050	7,0	7,5	94	1,0	4,2	61,0	10,2	16,0	1,5	2,0	1,0
63	BOJNIK	P	3	0,044	10	97	0,050	0,003	0,002	0,020	0,020	0,080	18,5	6,2	200	1,2	12,0	29,6	49,8	8,2	1,5	4,7	2,4
64	VLASINSKA ROSA, IZVOR 7.	P	1	0,052	10	48	0,030	0,006	0,002	0,070	0,010	0,080	16,0	7,9	56	1,3	4,9	37,0	13,8	11,6	1,0	2,9	0,6
65	VLASINSKA ROSA, IZVOR 6.	P	1	0,052	11	47	0,030	0,004	0,001	0,070	0,040	0,080	16,0	7,7	49	1,3	4,0	30,0	14,5	7,6	1,2	2,8	0,7
66	VLASINSKA ROSA, IZVOR 1.	P	1	0,055	11	42	0,060	0,005	0,001	0,060	0,010	0,060	16,0	7,9	56	1,3	2,5	30,0	15,7	8,0	0,7	3,3	0,6
67	GORNJI STATOVAC	P	3	0,063	10	54	0,250	0,006	0,003	0,100	0,020	0,080	14,1	7,3	151	1,5	1,8	100,0	53,3	16,8	10,0	8,0	3,7
68	BATOTE, BRUS	P	3	0,095	10	30	0,06	0,004	0,003	0,07	0,01	0,06	11,0	8,4	340	2,5	16,7	268,0	11,2	72,9	9,2	4,8	0,6
69	NOVO SELO	P	3	0,100	10	73	0,190	0,008	0,003	0,140	0,030	0,300	17,5	7,8	284	2,9	2,6	274,5	37,6	12,0	32,9	30,0	2,0
70	KRIVA REKA	P	3	0,114	10	30	0,060	0,004	0,003	0,060	0,010	0,070	11,0	7,0	497	3,2	8,9	403,0	6,2	118,0	4,4	2,9	0,4
71	KOMIRIĆ, VALJEVO	P	3	0,125	10	30	0,100	0,005	0,003	0,08	0,02	0,07	14,0	7,2	408	4,8	20,3	287,0	12,5	85,7	9,5	5,5	1,1
72	KRALJEVO-	P	3	0,125	10	20	0,100	0,003	0,001	0,050	0,010	0,040	16,1	7,5	488	2,3	4,4	415,0	23,0	39,6	47,6	19,7	1,7
73	GORNJA TREPČA	P	1	0,130	10	20	0,280	0,009	0,005	0,180	0,020	0,180	32,0	8,0	474	7,4	23,8	372,0	15,4	37,2	54,0	7,2	1,8
74	HEBA-BUJANOVAC	P	3	0,130	17	36	0,030	0,006	0,004	0,100	0,020	0,080	13,2	6,7	386	21,6	32,2	171,0	44,6	44,8	11,9	27,8	2,8
75	ARANĐELOVAC	P	3	0,319	10	34	0,070	0,005	0,003	0,010	0,010	0,070	21,0	7,5	680	4,1	24,0	550,0	13,2	130,0	43,0	14,2	1,5
76	LOZNICA	P	3	0,332	10	30	0,100	0,002	0,001	0,040	0,010	0,040	12,3	7,6	533	2,0	29,3	403,0	6,6	76,5	39,6	2,7	0,5
77	ALEKSANDROVAC	P	3	0,405	40	46	0,069	0,003	0,001	0,007	0,013	0,090	14,3	7,1	1140	74,2	93,2	414,0	13,3	136,0	64,8	15,9	1,4
78	JOŠANIČKA BANJA	P	3	0,417	20	64	0,023	0,002	0,001	0,014	0,010	0,071	76,9	9,6	300	13,3	38,9	15,9	95,0	1,6	0,0	69,3	1,8
79	LJIG	P	3	0,649	60	274	0,440	0,002	0,001	0,08	0,08	0,09	22,1	7,3	1250	51,1	4,1	891,0	24,8	31,9	13,2	283,0	13,6

R.broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl- [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
80	PROLOM BANJA	P	1	0,732	70	71	0,053	0,002	0,001	0,004	0,010	0,090	17,5	7,8	660	8,4	139,9	287,3	17,5	33,1	0,8	133,0	0,5
81	LJIG	P	3	0,761	80	275	0,300	0,002	0,001	0,090	0,059	0,100	13,0	7,3	1260	57,6	1,1	908,3	27,0	30,6	13,5	281,0	13,8
82	VRANJE	P	1	0,768	10	302	1,700	0,006	0,003	0,100	0,120	0,100	16,0	8,5	4098	52,5	165,0	3050,0	106,0	74,1	15,9	1170,0	68,2
83	KRUŠEVICA	P	3	0,787	289	998	0,380	0,005	0,001	0,460	0,890	0,240	20,5	6,2	1800	11,5	5,5	1400,0	76,8	323,0	46,7	68,4	6,0
84	LAZAREVAC	P	3	0,925	415	1664	2,390	0,005	0,001	0,130	0,630	0,080	20,5	6,2	2250	20,0	6,6	1960,0	62,2	83,3	56,0	503,0	67,2
85	VRANJE	P	1	0,936	10	227	1,700	0,006	0,004	0,100	0,130	0,100	16,0	8,3	4272	54,6	176,0	3230,0	97,0	84,1	17,2	1170,0	68,9
86	SO ALEKSANDROVAC	P	3	0,966	50	66	0,065	0,003	0,001	0,006	0,014	0,100	13,8	7,0	1170	56,2	73,1	422,7	14,7	146,0	69,9	15,5	1,4
87	FLAŠIRANA TRSTENIK NOVA SLOGA	P	3	1,052	90	235	0,210	0,002	0,001	0,06	0,037	0,1	15,5	6,4	2230	14,7	0,5	249,2	65,2	25,2	32,9	120,0	10,2
88	KRALJEVO	P	3	1,244	60	179	0,180	0,002	0,001	0,016	0,021	0,13	23,0	8,1	1180	113,7	5,4	653,3	18,8	7,5	3,3	294,0	4,1
89	LJIG	P	3	1,627	80	474	0,280	0,002	0,001	0,090	0,090	0,100	28,1	7,2	1263	47,9	2,8	917,4	23,6	40,3	15,2	260,0	15,7
90	BUJANOVAC	P	3	1,725	139	537	0,8	0,005	0,003	0,03	0,07	0,08	26,0	7,3	2800	68,0	165,0	2900,0	49,8	124,0	26,0	950,0	38,5
91	VELUĆE TRSTENIK	P	3	1,835	90	334	0,310	0,003	0,002	0,060	0,080	0,030	25,6	6,2	2260	13,0	0,5	2040,0	64,0	20,0	302,0	71,0	9,3
92	ARANĐELOVAC	P	3	1,896	850	2690	1,73	0,008	0,005	0,55	0,29	0,23	34,5	6,9	2500	15,0	1,5	2900,0	51,0	61,0	10,0	1026,0	55,5
93	VELUĆE TRSTENIK	P	3	2,029	77	319	0,290	0,004	0,002	0,040	0,040	0,110	25,6	6,3	2260	14,0	0,5	2010,0	60,0	22,0	310,0	68,0	9,6
94	TRSTENIK	P	3	2,105	90	235	0,037	0,002	0,002	0,060	0,037	0,100	15,5	6,4	2230	14,7	0,5	2049,0	65,2	25,2	327,0	120,0	10,2
95	HEBA- BUJANOVAC	P	3	2,259	90	979	1,500	0,003	0,002	0,060	0,110	0,030	20,0	7,8	3679	52,8	187,0	2900,0	93,8	99,7	36,1	1200,0	33,2
96	BUJANOVAC	P	3	2,285	10	61	0,320	0,007	0,005	0,140	0,010	0,140	21,0	6,8	3164	49,2	126,8	2580,0	75,3	105,3	58,3	820,0	27,9
97	TULARA BANJA, PROKUPLJE	P	3	2,336	10	2206	1,290	0,007	0,003	0,100	0,680	0,380	21,7	7,4	3703	147,0	3,0	2684,0	35,9	22,0	8,8	1090,0	31,0
98	BIVODA BUJANOVAC RAOVAC	P	3	3,115	15	98	1,700	0,007	0,003	0,020	0,070	0,040	28,5	7,4	3481	46,6	173,0	3233,0	92,6	87,7	20,7	1160,0	54,0
99	RUDOVC	P	3	3,130	583	1966	2,100	0,005	0,001	0,270	0,190	0,130	22,5	6,4	5400	265,0	5,0	3940,0	144,0	122,0	60,5	1380,0	72,5
100	BUJANOVAC	P	3	3,468	10	250	1,58	0,004	0,003	0,06	0,04	0,1	47,0	7,1	3718	56,0	129,9	2900,0	98,8	51,6	10,0	1072,3	67,8
101	S. PALANKA	P	3	3,948	318	2690	3,000	0,008	0,003	0,34	0,24	0,11	50,0	7,3	4760	490,0	17,0	4950,0	49,8	32,7	8,2	1970,0	93,0
102	ARANĐELOVAC	PK	3	0,107	10	35	0,100	0,003	0,001	0,04	0,04	0,03	14,1	6,8	400	21,8	42,1	189,0	29,2	48,0	15,1	26,6	2,9
103	BUJANOVAC	PK	3	0,130	10	37	0,190	0,007	0,005	0,170	0,020	0,13	14,2	7,1	342	18,8	24,3	220,0	39,8	46,9	14,8	32,4	3,5
104	ARANĐELOVAC	PK	3	0,198	26	60	0,040	0,006	0,005	0,020	0,020	0,10	15,5	7,9	460	11,0	24,0	300,0	40,0	88,0	17,0	108,0	1,5
105	ARANĐELOVAC	PK	3	0,334	16	80	0,030	0,003	0,001	0,010	0,006	0,02	15,6	7,2	780	11,0	48,9	580,0	17,9	105,0	46,0	22,7	2,5
106	ARANĐELOVAC	PK	3	0,402	14	87	0,030	0,003	0,002	0,020	0,020	0,04	23,5	6,8	700	5,1	18,1	500,0	17,0	76,0	43,0	16,0	2,8
107	ARANĐELOVAC	PK	3	0,430	28	100	0,04	0,004	0,002	0,01	0,05	0,07	23,0	7,0	750	4,3	19,0	700,0	18,8	158,0	51,0	23,2	2,9
108	ARANĐELOVAC	PK	3	0,442	22	250	0,350	0,004	0,002	0,020	0,010	0,08	38,8	7,4	1100	10,0	5,1	980,0	55,0	61,0	86,0	156,7	12,0
109	RIMSKI BUNAR-	PK	3	0,495	273	840	0,800	0,010	0,007	0,170	0,010	0,500	25,6	7,0	2025	32,5	28,2	1897,0	49,8	72,1	64,6	505,0	69,8

R.broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
	BUŠOTINA																						
110	ARANĐELOVAC	PK	3	0,573	10	316	0,110	0,003	0,001	0,010	0,050	0,010	20,0	6,6	940	3,9	14,0	740,0	17,9	160,0	45,0	13,0	2,8
111	ARANĐELOVAC	PK	3	0,628	38	159	0,120	0,004	0,005	0,002	0,010	0,030	15,7	6,9	871	7,5	8,2	600,0	18,1	95,0	52,0	15,4	2,4
112	ARANĐELOVAC	PK	3	0,827	21	98	0,130	0,006	0,001	0,005	0,010	0,060	23,4	6,6	1053	4,1	17,1	720,0	18,1	154,0	40,0	13,2	2,6
113	BUKOVIČKA BANJA	PK	3	1,230	470	1410	1,700	0,005	0,003	0,440	0,280	0,070	38,0	6,2	2730	14,0	1,3	2537,0	49,8	51,9	7,8	840,0	46,8
114	BUKOVIČKA BANJA	PK	3	1,400	370	1110	1,500	0,005	0,003	0,570	0,290	0,080	36,0	6,4	3380	15,0	2,5	3550,0	49,8	88,9	9,1	1200,0	76,0
115	BUKOVIČKA BANJA	PK	3	1,678	1473	1548	1,570	0,003	0,002	0,580	0,140	0,030	20,0	6,2	2790	19,0	5,0	2800,0	49,8	110,0	19,0	990,0	59,0
116	ARANĐELOVAC	PK	3	2,005	540	2330	2,500	0,010	0,003	0,600	0,250	0,260	35,5	7,1	3900	17,0	0,5	3800,0	80,0	100,0	14,0	1242,0	89,3
117	ARANĐELOVAC	PK	3	2,175	203	684	1,000	0,005	0,003	0,090	0,100	0,080	22,7	6,7	3303	49,4	178,0	2751,0	95,4	53,3	39,6	1036,0	39,5
118	ARANĐELOVAC AC	PK	3	2,201	1396	3007	1,600	0,008	0,005	0,03	0,018	0,13	20,0	6,4	3500	16,0	0,2	2785,0	80,3	112,4	20,3	870,0	60,6
119	ARANĐELOVAC	PK	3	2,691	352	1470	1,910	0,006	0,002	0,100	0,260	0,100	44,3	7,0	3826	45,8	179,0	3245,0	75,7	74,1	9,7	1315,0	65,2
120	ARANĐELOVAC	PK	3	2,919	360	2940	2,600	0,007	0,004	0,26	0,07	0,1	37,8	7,2	3800	25,0	0,5	3950,0	25,2	127,0	39,0	1269,0	85,0
121	ARANĐELOVAC	PK	3	3,135	287	1568	1,590	0,006	0,003	0,1	0,1	0,1	45,7	7,0	3652	46,5	178,0	3135,0	117,0	50,9	7,5	1336,0	62,8
122	BUJANOVAC	PL	3	0,125	19	92	0,120	0,006	0,004	0,050	0,020	0,080	25,6	7,1	316	26,8	24,3	207,0	42,6	43,5	10,9	26,2	4,0
123	BUJANOVAC	PL	3	0,184	10	30	0,090	0,004	0,003	0,080	0,020	0,070	25,6	7,2	111	27,4	50,2	201,0	49,8	79,5	63,7	27,7	83,6
124	S.CEROVC, S.PALANKA	PL	3	1,998	340	645	0,470	0,006	0,004	0,120	0,220	0,100	19,0	6,7	3130	11,4	5,1	3290,0	92,4	490,0	267,0	193,0	27,7
125	BUJANOVAC	PL	3	2,607	10	1200	1,500	0,007	0,003	0,020	0,020	0,100	25,6	7,6	3600	49,0	181,0	3100,0	76,0	4,6	11,6	1230,0	52,8

TVS- tip vodonosne sredine, HS- hidrogeološka struktura , MO – mineralni ostatak, UA – ukupna alfa aktivnost, UB – ukupna beta aktivnost, T – temperatura, EP – elektroprovodljivost,

U tabeli 4.8 su prikazani parametri deskriptivne statistike ispitivanih katarakteristika mineralnih voda Srbije.

**Tabela 4.8: Parametri deskriptivne statistike karakteristika mineralnih voda sa teritorije Republike Srbije**

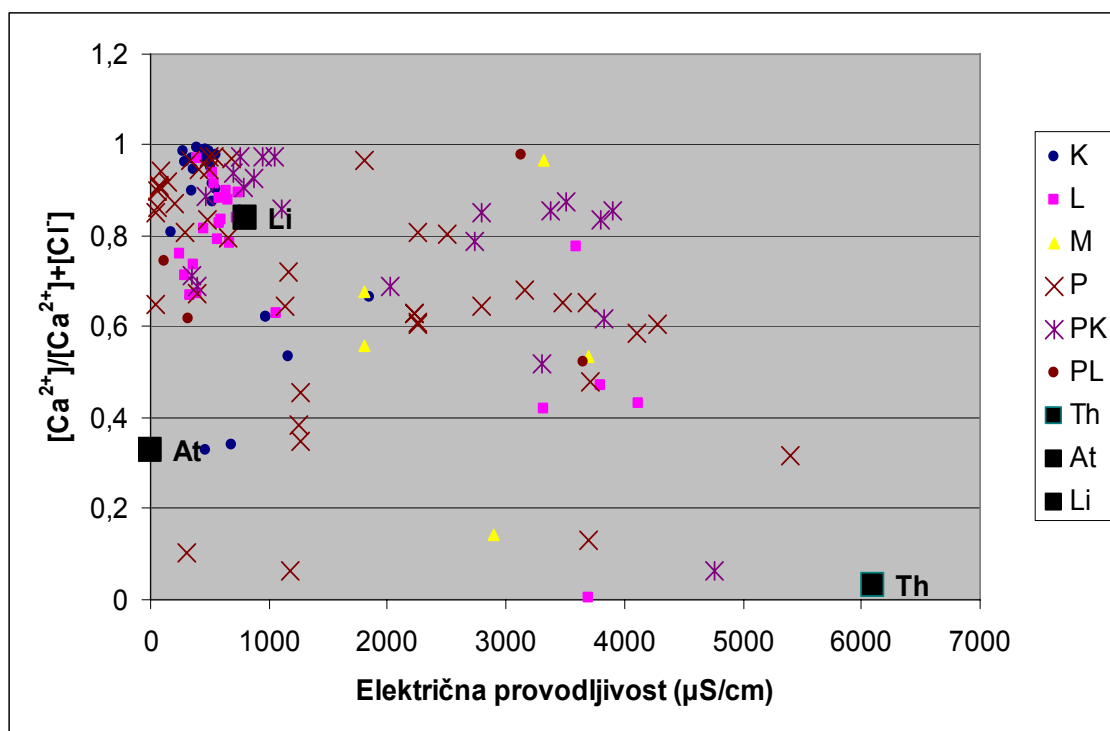
Promenljiva	Deskriptivna statistika (MV)							
	n	Srednja vrednost	Zbir	Minimum	Maksimum	Varijansa	Standardna devijacija	Standardna greška
MO[g/l]	125	0,879	109,8	0,007	3,948	1	0,958	0,086
UA[mBq/l]	125	1071	13343,9	10	1473	62680	250	22
UB[mBq/l]	125	436	54507,4	10	3007	514286	717	64
<sup>40</sup> K[Bq/l]	125	0,489	61,2	0,023	3,000	1	0,714	0,063
<sup>137</sup> Cs[Bq/l]	125	0,005	0,6	0,001	0,010	0	0,002	0,001
<sup>134</sup> Cs[Bq/l]	125	0,002	0,3	0,001	0,007	0	0,001	0,0001
<sup>226</sup> Ra[Bq/l]	125	0,087	10,9	0,002	0,600	0	0,118	0,011
<sup>228</sup> Ra[Bq/l]	125	0,077	9,6	0,005	0,900	0	0,154	0,014
<sup>238</sup> U[Bq/l]	125	0,097	12,2	0,007	0,510	0	0,073	0,006
T[°C]	125	21,8	2724,8	7,0	76,9	379	19,5	1,7
pH	125	7,3	913,2	6,2	9,6	0	0,6	0,1
EP[μS/cm]	125	1393	174112	47	5400	1849629	1360	121
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	125	36,1	4509,1	0,7	896,2	8965	94,6	8,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	124	42,8	5312,5	0,2	300,7	3940	62,8	5,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	125	1131,3	141415,3	15,9	4950,0	1478867	1216,1	108,8
SiO <sub>2</sub> [mg/l]	125	37,1	4635,9	3,4	144,0	878	29,6	2,6
Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	125	76,4	9546,5	1,5	606,6	6192	78,7	7,0
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	125	48,8	6103,3	0,01	10,9	12684	112,6	10,1
Na <sup>+</sup> [mg/l]	125	308,7	38583,0	0,6	1970,0	221546	470,7	42,1
K <sup>+</sup> [mg/l]	125	18,2	2271,7	0,1	93,0	739	27,2	2,4

Mineralne vode sa teritorije Republike Srbije imaju širok opseg temperatura od hladnih (7,0 °C) do vrlo toplih (76,9 °C), velike razlike pH vrednosti (6,2-9,6), električne provodljivosti (47 - 5400 μS/cm), ukupan sadržaj čvrstih materija (MO: 7-3948 mg/l) i stoga odražavaju veliku kompozicijsku raznolikost. Uočava se visoka vrednost standardnih devijacija merenih karakteristika, što je posledica složenih geoloških struktura nalazišta voda.



Sadržaj pojedinih katjona se nalazi u veoma širokom opsegu ( $\text{Ca}^{2+}$ : od 1,5 do 606,6 mg/l;  $\text{Mg}^{2+}$ : 0,01 do 10,9 mg/l;  $\text{Na}^+$ : 0,6 do 1970,0;  $\text{K}^+$ : 0,1 do 93,0 mg/l), kao i sadržaj anjona ( $\text{Cl}^-$ : 0,7 do 896,2;  $\text{SO}_4^{2-}$ : 0,2 do 300,7;  $\text{HCO}_3^-$ : od 15,9 do 4950,0 mg/l). Na osnovu sadržaja ukupnog čvrstog ostatka ove vode su kategorisane u klase: niskomineralnih (čvrst ostatak do 500 mg/l), umereno mineralizovanih (čvrst ostatak od 500 do 1500 mg/l) i visoko mineralizovanih (čvrst ostatak preko 1500 mg/l).

Za klasifikaciju analiziranih mineralnih voda korišćen je Van Wirdum-ov dijagram koji je prikazan na slici 4.8.



Slika 4.8: Van Wirdum-ov dijagram za mineralne vode Srbije

Analizirani uzorci mineralnih voda su raspoređeni između tri referentna tipa voda hidrološkog ciklusa (kišnice- At, sveže vode bogate kalcijumom – Li i morske vode- Th). Izgleda da je većina uzoraka pretežno u zoni litotrofne vode. Uzorci 83 i 99 imaju sastav sličan morskoj vodi. Oba ova uzorka pripadaju pukotinskoj vodonosnoj sredini P, a njihovi rezervoari pripadaju području

metamorfita. Uzorak 78 iz pukotinske vodonosne sredine pripada atmosferskom tipu voda, a ostali uzorci iz pukotinskih vodonosnih sredina pripadaju litotrofnim tipovima ili tipovima između sva tri tipa.

Vode karstne (krečnjačke) vodonosne sredine (**K**) pripadaju litotrofnim tipovima voda (uzorci 1-9, 11-14), između litotrofnih i atmosferskih (uzorci 16-18) i atmosferskim (uzorci 10 i 16). Uzorci koji nisu iz karstne vodonosne sredine ne pripadaju atmosferskom tipu voda. Vode kompleksa jezerskih sedimenata neogene starosti (**L**) pripadaju litotrofnim tipovima voda (uzorci 30-48). Uzorci 49-53 pripadaju mešavini sva tri tipa voda. Vode aluvijalnih vodonosnih sredina pripadaju mešavini sva tri tipa voda. Vode koje pripadaju pukotinskim i karstnim vodonosnim sredinama pripadaju tipu litotrofnih voda (uzorci 102-108, 110-112) i mešavini sva tri tipa vode (uzorci 109, 113-121).

Ukupna alfa aktivnost uzoraka mineralnih voda se kretala u opsegu 10 do 1473 mBq/l, a ukupna beta aktivnost u opsegu 10 do 3007 mBq/l. Aktivnost radijuma je u opštem slučaju mala, 0,002 do 0,6 Bq/l za  $^{226}\text{Ra}$  i 0,005 do 0,9 Bq/l za  $^{228}\text{Ra}$ . Najveće koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  su izmerene kod uzoraka br. 113-116 koji su u grupi **PK** (pukotinska i karstna vodonosna sredina); i br 83,92 i 101 koji su u grupi **P** (pukotinska vodonosna sredina), a najveće vrednosti  $^{228}\text{Ra}$  su izmerene kod uzoraka br. 41, 49 i 51 iz grupe **L** (kompleks jezerskih sedimenata neogene starosti-peskovi i gline-interglanuralna poroznost); i uzoraka br. 83, 84 i 97 kod uzoraka iz grupe **P** (pukotinska vodonosna sredina).

U tabeli 4.9 su date parametri deskriptivne statistike (broj uzoraka, minimalna i maksimalna vrednost i standardna devijacija) karakteristika mineralnih voda Srbije po vodonosnim sredinama. Iz tabele 4.9 uočava se da grupa **PK** ima najveću srednju ukupnu alfa aktivnost (296 mBq/l), a grupa **M** najveću srednju vrednost ukupne beta aktivnosti (1148 mBq/l). Najveću srednju vrednost aktivnosti  $^{40}\text{K}$  ima grupa **M** (0,9 Bq/l), a najmanju grupa **K** (0,079 Bq/l). Srednje vrednosti aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  su u opsegu od 0,004 do 0,006,

$^{134}\text{Cs}$ : 0,002 do 0,004,  $^{226}\text{Ra}$ : 0,04 (tipovi K i M) do 0,162 (tip PK),  $^{228}\text{Ra}$ : 0,016 (tip K) do 0,116 (tip M), i  $^{238}\text{U}$ : 0,081 (tip K) do 0,110 Bq/l (tip L).

U tabeli 4.10 prikazani su parametri deskriptivne statistike mineralnih voda po hidrogeološkim strukturama akvifera. Uočava se da najveću srednju vrednost ukupne alfa aktivnosti ima grupa voda iz područja metamorfita (3) 171 mBq/l, a najmanju grupa voda iz vulkanogenih magmatskih masiva (1) 16 mBq/l. Najveću srednju vrednost ukupne beta aktivnosti ima grupa voda iz područja metamorfita (3) 663 mBq/l, a najmanju grupa voda iz vulkanogenih magmatskih masiva (1) 82 mBq/l. Najveću srednju vrednost aktivnosti  $^{40}\text{K}$  ima grupa voda iz područja metamorfita (3) 0,735 Bq/l, a najmanju grupa voda iz hidrogeoloških neogenih basena (4) 0,228 Bq/l. Srednje vrednosti aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  su u opsegu od 0,0038 (karstna područja-2) do 0,0051 (magmaški masivi-1),  $^{134}\text{Cs}$ : 0,002 (karstna područja-2) do 0,003 (područja metamorfita-3 i neogenih basena-4),  $^{226}\text{Ra}$ : 0,04 (karstna područja-2) do 0,113 (područja metamorfita-3),  $^{228}\text{Ra}$ : 0,015 (karstna područja-2) do 0,115 (područja metamorfita-3), i  $^{238}\text{U}$ : 0,08 (karstna područja-2) do 0,110 Bq/l (neogeni baseni-4).

**Tabela 4.9: Parametri deskriptivne statistike karakteristika mineralnih voda Srbije po vodonosnim sredinama**

	Karstna sredina (K)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.Dev.
MO	29	0,356	0,058	1,073	0,201
UA	29	21	10	70	15
UB	29	95	10	624	129
<sup>40</sup> K	29	0,079	0,025	0,400	0,067
<sup>137</sup> Cs	29	0,004	0,001	0,008	0,002
<sup>134</sup> Cs	29	0,002	0,001	0,003	0,001
<sup>226</sup> Ra	29	0,036	0,004	0,100	0,033
<sup>228</sup> Ra	29	0,016	0,005	0,034	0,007
<sup>238</sup> U	29	0,081	0,007	0,130	0,028
T	29	16,6655	8,3000	28,000	5,4084
pH	29	7,4	7,1	8,2	0,2
EP	29	568	180	1851	324
Cl <sup>-</sup>	29	14,8	0,7	110,6	24,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	29	26,2	2,5	155,1	37,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29	415,6	128,0	1558,3	239,1
SiO <sub>2</sub>	29	15,5	3,4	49,8	9,7
Ca <sup>2+</sup>	29	73,3	13,3	126,1	27,9
Mg <sup>2+</sup>	29	30,8	2,4	84,1	21,6
Na <sup>+</sup>	29	29,4	0,5	463,1	86,2
K <sup>+</sup>	29	4,2	0,1	83,5	15,3

	Jezerski neogeni sedimenti (L)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	24	0,696	0,107	2,997	0,86
UA	24	101	10	1454	299
UB	24	334	12	2711	677
<sup>40</sup> K	24	0,420	0,024	2,330	0,691
<sup>137</sup> Cs	24	0,005	0,002	0,009	0,002
<sup>134</sup> Cs	24	0,003	0,001	0,005	0,001
<sup>226</sup> Ra	24	0,076	0,005	0,330	0,065
<sup>228</sup> Ra	24	0,094	0,008	0,900	0,214
<sup>238</sup> U	24	0,110	0,010	0,510	0,091
T	24	18,4	8,0	42,0	9,4
pH	24	7,4	6,4	8,5	0,5
EP	24	1205	253	4114	1328
Cl <sup>-</sup>	24	62,2	2,7	896,2	180,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	23	45,5	0,5	300,7	71,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	24	894	134	3450	1046
SiO <sub>2</sub>	24	34,2	6,4	102,7	24,9
Ca <sup>2+</sup>	24	69,5	3,6	308,0	61,6
Mg <sup>2+</sup>	24	31,2	3,2	158,0	31,4
Na <sup>+</sup>	24	252,8	1,9	1190	402,4
K <sup>+</sup>	24	13,2	0,4	81,0	25,1

Variable	Aluvijalna sredina (M)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	5	2,1	1,1	3,1	0,8
UA	5	49	11	157	62
UB	5	1148	539	1781	539
<sup>40</sup> K	5	0,900	0,440	1,540	0,430
<sup>137</sup> Cs	5	0,005	0,004	0,006	0,001
<sup>134</sup> Cs	5	0,002	0,002	0,003	0,001
<sup>226</sup> Ra	5	0,042	0,010	0,100	0,038
<sup>228</sup> Ra	5	0,116	0,060	0,220	0,061
<sup>238</sup> U	5	0,09	0,070	0,110	0,016
T	5	19,3	13,0	31,0	7,0
pH	5	7,6	6,8	8,4	0,8
EP	5	2704	1800	3700	873
Cl <sup>-</sup>	5	44,5	21,7	80,0	25,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5	144,6	33,0	235,0	80,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5	2417	1600	3087	753
SiO <sub>2</sub>	5	54,7	28,3	87,0	23,5
Ca <sup>2+</sup>	5	160,5	10,0	606,6	251,1
Mg <sup>2+</sup>	5	57,7	12,0	205,7	83,0
Na <sup>+</sup>	5	739,6	143	1237	440,5
K <sup>+</sup>	5	35,1	14,1	60,2	18,4

Nastavak tabele 4.9

	Pukotinska sredina (P)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	43	1,010	0,001	3,950	1,080
UA	43	87	10	850	168
UB	43	416	20	2690	720
<sup>40</sup> K	43	0,560	0,023	3,000	0,780
<sup>137</sup> Cs	43	0,004	0,002	0,009	0,002
<sup>134</sup> Cs	43	0,002	0,001	0,005	0,001
<sup>226</sup> Ra	43	0,100	0,004	0,550	0,110
<sup>228</sup> Ra	43	0,100	0,010	0,890	0,190
<sup>238</sup> U	43	0,103	0,030	0,380	0,069
T	43	25,1	7,0	43,0	10,81
pH	43	7,3	6,2	9,6	0,7
EP	43	1574	47	5400	1522
Cl <sup>-</sup>	43	43,5	1,0	490	85,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	43	40,1	0,50	187	60,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	43	1233	16	4950	1337
SiO <sub>2</sub>	43	43,8	6,2	144	34,3
Ca <sup>2+</sup>	43	58,1	1,6	323	59,3
Mg <sup>2+</sup>	43	48,7	0,01	329	89,4
Na <sup>+</sup>	43	359,5	1,7	1970	519,9
K <sup>+</sup>	43	18,6	0,4	93	26,3

	Pukotinska i karstna sredina (PK)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	20	1,200	0,107	3,135	1,000
UA	20	296	10	1473	428
UB	20	906	35	3007	982
<sup>40</sup> K	20	0,900	0,030	2,600	0,890
<sup>137</sup> Cs	20	0,005	0,003	0,010	0,002
<sup>134</sup> Cs	20	0,003	0,001	0,007	0,002
<sup>226</sup> Ra	20	0,162	0,002	0,600	0,210
<sup>228</sup> Ra	20	0,088	0,006	0,290	0,100
<sup>238</sup> U	20	0,101	0,010	0,500	0,110
T	20	26,5	14,1	45,7	10,5
pH	20	6,9	6,2	7,9	0,4
EP	20	2015	342	3900	1385
Cl <sup>-</sup>	20	18,9	3,9	49,4	14,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	20	39,7	0,2	179,0	61,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	20	1799	189	3950	1359
SiO <sub>2</sub>	20	47,2	17	117	29,3
Ca <sup>2+</sup>	20	91,6	46,8	160	36,8
Mg <sup>2+</sup>	20	32,0	7,5	86	21,8
Na <sup>+</sup>	20	551,5	13	1336	554,1
K <sup>+</sup>	20	34,5	1,5	89,3	33,5

	Pukotinska sredina i jezerska neogeni sedimenti (PL)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	4	1,230	0,125	2,607	1,265
UA	4	95	10	340	163
UB	4	492	30	1200	547
<sup>40</sup> K	4	0,550	0,090	1,500	0,660
<sup>137</sup> Cs	4	0,006	0,004	0,007	0,001
<sup>134</sup> Cs	4	0,004	0,003	0,004	0,001
<sup>226</sup> Ra	4	0,067	0,020	0,120	0,043
<sup>228</sup> Ra	4	0,070	0,020	0,220	0,100
<sup>238</sup> U	4	0,088	0,070	0,100	0,015
T	4	23,9	19,0	25,6	3,3
pH	4	7,2	6,7	7,6	0,4
EP	4	1789	111	3600	1832
Cl <sup>-</sup>	4	28,6	11,4	49,0	15,4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4	65,1	5,1	181	79,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4	1699,5	201	3290	1728,5
SiO <sub>2</sub>	4	65,2	42,6	92,4	23,1
Ca <sup>2+</sup>	4	154,4	4,6	490,0	225,8
Mg <sup>2+</sup>	4	359,1	11,6	1094	502,2
Na <sup>+</sup>	4	369,2	26,2	1230	579,2
K <sup>+</sup>	4	42,0	3,9	83,6	34,1

**Tabela 4.10: : Parametri deskriptivne statistike karakteristika mineralnih voda Srbije po hidrogeološkim strukturama akvifera**

	Vulkanogeni masivi (1)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	10	0,280	0,014	0,936	0,373
UA	10	16	10	70	19
UB	10	82	20	302	99
<sup>40</sup> K	10	0,403	0,030	1,700	0,690
<sup>137</sup> Cs	10	0,005	0,002	0,009	0,002
<sup>134</sup> Cs	10	0,002	0,001	0,005	0,001
<sup>226</sup> Ra	10	0,085	0,004	0,180	0,044
<sup>228</sup> Ra	10	0,037	0,010	0,130	0,047
<sup>238</sup> U	10	0,089	0,050	0,180	0,036
T	10	15,1	7,0	32,0	7,3
pH	10	7,8	7,2	8,5	0,4
EP	10	990	49	4272	1697
Cl <sup>-</sup>	10	13,0	1,0	54,6	21,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10	53,2	2,5	176,0	74,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10	718,3	30,0	3230	1282
SiO <sub>2</sub>	10	31,70	10,2	106,0	36,9
Ca <sup>2+</sup>	10	29,1	7,6	84,1	28,4
Mg <sup>2+</sup>	10	9,5	0,7	53,9	16,9
Na <sup>+</sup>	10	249,7	2,0	1170	487
K <sup>+</sup>	10	14,4	0,4	68,8	28,5

Variabl e	Karstna područja (2)				
	n	Srednja vrednos t	Min	Max	Std.Dev.
MO	28	0,330	0,09	0,700	0,142
UA	28	21	10	70	15
UB	28	111	10	624	151
<sup>40</sup> K	28	0,065	0,025	0,130	0,027
<sup>137</sup> Cs	28	0,004	0,001	0,008	0,002
<sup>134</sup> Cs	28	0,002	0,001	0,003	0,001
<sup>226</sup> Ra	28	0,041	0,004	0,100	0,034
<sup>228</sup> Ra	28	0,015	0,005	0,034	0,007
<sup>238</sup> U	28	0,081	0,007	0,130	0,029
T	28	16,7	8,3	28,0	5,0
pH	28	7,5	7,1	8,2	0,3
EP	28	523	283	1165	186
Cl <sup>-</sup>	28	12,2	0,7	110,6	23,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	28	21,4	2,5	155,10	33,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28	385,3	207,0	561,0	81,0
SiO <sub>2</sub>	28	14,6	3,4	36,0	7,3
Ca <sup>2+</sup>	28	70,5	13,3	126,1	30,2
Mg <sup>2+</sup>	28	29,5	3,5	84,1	19,2
Na <sup>+</sup>	28	20,3	0,6	115,1	33,2
K <sup>+</sup>	28	1,3	0,1	4,5	1,1

	Područja metamorfita (3)				
	n	Srednja vrednos t	Min	Max	St.dev.
MO	70	1,228	0,007	3,950	1,075
UA	70	171	10	1473	320
UB	70	663	12	3007	859
<sup>40</sup> K	70	0,735	0,023	3,00	0,810
<sup>137</sup> Cs	70	0,005	0,002	0,010	0,002
<sup>134</sup> Cs	70	0,003	0,001	0,007	0,001
<sup>226</sup> Ra	70	0,113	0,003	0,600	0,148
<sup>228</sup> Ra	70	0,115	0,006	0,900	0,193
<sup>238</sup> U	70	0,101	0,010	0,500	0,078
T	70	25,6	7,3	205,0	24,8
pH	70	7,1	6,2	9,6	0,6
EP	70	1852	47	5400	1423
Cl <sup>-</sup>	70	39,9	1,2	490	67,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	70	48,9	0,2	235	65,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	70	1558	15,9	4950	1336,1
SiO <sub>2</sub>	70	49,8	6,2	144	30,1
Ca <sup>2+</sup>	70	79,5	1,5	490	76,8
Mg <sup>2+</sup>	70	63,7	0,008	1094	146,7
Na <sup>+</sup>	70	463,1	1,7	1970	525,5
K <sup>+</sup>	70	28,3	0,4	93	30,4

	Hidrogeološki baseni (4)				
	n	Srednja vrednost	Min	Max	St.dev.
MO	17	0,700	0,110	3,00	0,840
UA	17	35	10	171	51
UB	17	243	24	1781	481
<sup>40</sup> K	17	0,228	0,024	2,000	0,47
<sup>137</sup> Cs	17	0,005	0,002	0,009	0,002
<sup>134</sup> Cs	17	0,003	0,001	0,005	0,001
<sup>226</sup> Ra	17	0,060	0,005	0,140	0,040
<sup>228</sup> Ra	17	0,045	0,008	0,280	0,08
<sup>238</sup> U	17	0,110	0,010	0,510	0,110
T	17	18,6	9,0	42,0	8,6
pH	17	7,4	6,4	8,5	0,5
EP	17	1174	253	4114	1234
Cl <sup>-</sup>	17	73,1	2,7	896,2	213,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	16	47,2	0,5	300,7	76,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	17	844,9	134,0	3385	927,4
SiO <sub>2</sub>	17	24,8	6,4	84,1	16,6
Ca <sup>2+</sup>	17	101,0	3,6	606,6	135,7
Mg <sup>2+</sup>	17	42,6	3,2	205,7	46,0
Na <sup>+</sup>	17	182,6	1,9	1190	349,4
K <sup>+</sup>	17	6,3	0,4	55,9	13,2

#### 4.2.2 Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika mineralnih voda Srbije

Personovi korelacioni koeficijenti između fizičko-hemijskih i radioloških parametara merenih u mineralnim vodama Srbije su izračunati i dati u obliku korelacione matrice u tabeli 4.11. Iz tabele 4.11 se zapaža jaka pozitivna korelacija mineralnog ostatka sa  $^{40}\text{K}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i električnom provodljivošću ( $r=0,76; 0,85; 0,88; 0,90$ ), ukupne beta aktivnosti sa  $^{40}\text{K}$  i  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,83$  i  $0,79$ );  $^{40}\text{K}$  sa električnom provodljivošću,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  i  $\text{Na}^+$  ( $r=0,86; 0,90; 0,90$  i  $0,91$ ), električne provodljivosti sa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,77; 0,83; 0,92$  i  $0,96$ );  $\text{Na}^+$  sa  $\text{K}^+$  ( $r=0,87$ ). Većina ovih asocijacija može da se objasni fizičko-hemijskim karakteristikama izvorišta. EP je jako povezana sa  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}^+$ , EC,  $\text{Na}^+$  i  $\text{HCO}_3^-$  zbog toga što MO uključuje i rastvorene i suspendovane čvrste materije, koje se detektuju tokom pripreme svakog uzorka za UA merenja [92]. Jaka korelacija ( $r=0,83$ ) postoji između UB aktivnosti i aktivnosti  $^{40}\text{K}$  (50-100%) i proizvoda raspada uranijuma. Ovi rezultati su u skladu sa otkrićem da se ukupna radioaktivnost povećava sa ukupnim sadržajem minerala [99] jer je veća prirodna radioaktivnost uglavnom povezana sa većom količinom minerala u vodama podzemnog porekla.

**Tabela 4.11. Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	n=125																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,43	1,00																		
UB	0,71	0,72	1,00																	
<sup>40</sup> K	<b>0,76</b>	0,61	<b>0,83</b>	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,23	0,25	0,34	0,36	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,11	0,14	0,14	0,16	0,69	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,28	0,63	0,58	0,55	0,39	0,22	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,31	0,39	0,51	0,47	0,22	0,06	0,47	1,00												
<sup>238</sup> U	0,11	0,15	0,24	0,16	0,52	0,36	0,32	0,26	1,00											
T	0,25	0,15	0,26	0,25	0,07	-0,05	0,37	0,48	0,21	1,00										
pH	-0,19	-0,38	-0,26	-0,18	-0,00	-0,01	-0,31	-0,27	0,02	-0,16	1,00									
EP	<b>0,90</b>	0,50	0,73	<b>0,86</b>	0,28	0,16	0,39	0,40	0,17	0,27	-0,22	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,48	0,10	0,22	0,27	0,25	0,13	0,07	0,11	0,07	0,06	0,13	0,44	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,44	-0,07	0,14	0,40	0,03	0,02	-0,17	0,02	-0,11	0,09	0,13	0,51	0,11	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,88</b>	0,55	<b>0,79</b>	<b>0,90</b>	0,31	0,19	0,49	0,42	0,17	0,28	-0,25	<b>0,96</b>	0,31	0,46	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,67	0,36	0,49	0,68	0,22	0,15	0,28	0,33	0,12	0,36	-0,20	<b>0,77</b>	0,15	0,53	0,74	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,19	0,29	0,25	0,10	0,04	-0,01	0,17	0,30	0,02	0,21	-0,23	0,24	-0,06	-0,01	0,29	0,09	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,06	0,03	-0,01	-0,07	-0,02	0,05	-0,04	0,01	-0,01	0,00	-0,22	0,04	-0,04	-0,09	0,04	0,12	0,16	1,00		
Na <sup>+</sup>	<b>0,85</b>	0,46	0,73	<b>0,91</b>	0,34	0,21	0,44	0,34	0,15	0,24	-0,09	<b>0,92</b>	0,44	0,55	<b>0,92</b>	0,72	-0,00	-0,11	1,00	
K <sup>+</sup>	0,72	0,56	0,74	<b>0,90</b>	0,33	0,20	0,50	0,37	0,18	0,23	-0,22	<b>0,83</b>	0,24	0,41	<b>0,87</b>	0,70	0,11	-0,04	<b>0,87</b>	1,00

Korelacioni koeficijenti su rangirani prema vrednosti na:

“Jak” koeficijent korelacije  $\geq 0,75$  (masno štampano, statistička značajost na nivou 0,05)

„Umereni” koeficijent korelacije 0,5-0,74

„Slab” koeficijent korelacije 0 -0,5

U tabelama od 4.12 do 4.17 su dati korelacioni koeficijenti karakteristika mineralnih voda po tipovima vodonosnih sredina. Masnim slovima su obeleženi koeficijenti čija je apsolutna vrednost jednaka ili veća od 0,75 (jaka korelacija), a kurzivom su obeleženi koeficijenti apsolutnih vrednosti od 0,50 do 0,75 (umerena korelacija)



**Tabela 4.12: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine K verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Karstna sredina (K)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,45	1,00																			
UB	0,46	0,39	1,00																		
<sup>40</sup> K	0,55	0,14	0,45	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	-0,24	0,00	-0,11	-0,03	1,00																
<sup>134</sup> Cs	-0,38	-0,29	-0,20	-0,21	0,63	1,00															
<sup>226</sup> Ra	-0,60	-0,31	-0,21	-0,05	0,50	0,45	1,00														
<sup>228</sup> Ra	-0,10	-0,25	-0,05	0,14	0,36	0,28	0,45	1,00													
<sup>238</sup> U	-0,04	0,05	-0,31	-0,20	0,20	0,19	0,19	-0,06	1,00												
T	0,36	0,31	0,48	0,35	0,08	0,02	0,00	0,12	0,15	1,00											
pH	-0,35	-0,18	-0,44	-0,41	-0,05	-0,10	-0,05	-0,27	-0,03	-0,29	1,00										
EP	0,70	0,11	0,35	<b>0,76</b>	-0,16	-0,37	-0,33	0,17	-0,08	0,34	-0,36	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,23	-0,14	0,03	0,28	0,00	-0,35	-0,17	0,27	0,03	-0,00	-0,12	0,69	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,23	-0,19	0,07	0,22	0,01	-0,19	-0,23	0,18	0,02	0,05	-0,23	0,66	<b>0,85</b>	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,71	0,14	0,40	<b>0,88</b>	-0,16	-0,28	-0,20	0,15	-0,15	0,47	-0,40	0,91	0,39	0,37	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,51	-0,05	0,23	0,64	-0,14	-0,37	-0,14	0,13	-0,13	0,22	-0,03	0,78	0,65	0,44	0,73	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,30	0,10	0,08	0,08	0,01	0,09	-0,12	0,16	0,26	0,21	-0,67	0,31	0,21	0,39	0,23	-0,07	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	0,26	-0,05	0,15	0,34	-0,19	-0,47	-0,30	-0,09	-0,29	0,05	-0,01	0,67	0,74	0,74	0,50	0,67	-0,04	1,00			
Na <sup>+</sup>	0,65	0,09	0,38	<b>0,93</b>	-0,06	-0,24	-0,10	0,19	-0,16	0,36	-0,26	<b>0,83</b>	0,34	0,23	0,94	0,74	0,00	0,38	1,00		
K <sup>+</sup>	0,68	0,11	0,37	0,94	-0,07	-0,23	-0,14	0,13	-0,20	0,34	-0,29	<b>0,78</b>	0,23	0,15	<b>0,93</b>	0,70	0,05	0,32	<b>0,98</b>	1,00	

**Tabela 4.13: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine L verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Jezerski neogeni sedimenti (L)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,51	1,00																		
UB	0,63	<b>0,77</b>	1,00																	
<sup>40</sup> K	0,64	0,74	<b>0,76</b>	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,10	0,25	-0,01	-0,07	1,00															
<sup>134</sup> Cs	-0,07	-0,17	-0,41	-0,33	0,54	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,15	<b>0,80</b>	0,61	0,47	0,45	-0,16	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,20	0,51	0,40	0,41	0,18	0,27	0,28	1,00												
<sup>238</sup> U	-0,04	0,07	-0,09	-0,05	0,49	0,12	0,30	-0,02	1,00											
T	0,32	-0,04	0,07	0,43	-0,35	-0,11	-0,36	-0,03	-0,05	1,00										
pH	0,09	-0,26	-0,18	-0,21	0,13	0,17	-0,12	-0,25	0,16	-0,16	1,00									
EP	<b>0,92</b>	0,57	0,63	<b>0,82</b>	0,02	-0,11	0,22	0,26	-0,04	0,52	0,00	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,66	0,07	0,01	0,04	0,41	0,41	-0,13	-0,02	-0,03	0,05	0,46	0,52	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,43	0,05	0,34	0,64	-0,33	-0,25	-0,08	0,11	-0,18	0,65	-0,12	0,66	0,03	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,78</b>	0,69	<b>0,77</b>	<b>0,93</b>	-0,12	-0,32	0,37	0,33	-0,04	0,52	-0,23	<b>0,92</b>	0,17	0,68	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,55	0,36	0,59	<b>0,79</b>	-0,14	-0,22	0,14	0,31	-0,11	0,53	-0,31	0,68	-0,08	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,22	<b>0,80</b>	0,57	0,48	0,07	-0,32	0,74	0,34	-0,04	-0,29	-0,45	0,26	-0,14	-0,02	0,44	0,11	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,18	<b>0,80</b>	0,58	0,39	0,18	-0,22	<b>0,76</b>	0,35	0,17	-0,35	-0,22	0,19	-0,12	-0,19	0,37	-0,01	<b>0,85</b>	1,00		
Na <sup>+</sup>	<b>0,90</b>	0,45	0,58	<b>0,79</b>	-0,03	-0,11	0,09	0,21	-0,07	0,61	0,01	<b>0,98</b>	0,50	0,70	<b>0,90</b>	<b>0,72</b>	0,10	0,04	1,00	
K <sup>+</sup>	0,72	0,74	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>	-0,08	-0,32	0,45	0,38	-0,03	0,45	-0,30	<b>0,85</b>	0,06	0,61	<b>0,97</b>	<b>0,84</b>	0,48	0,38	<b>0,83</b>	1,00

**Tabela 4.14: . Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine M verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Aluvijalna sredina (M)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,10	1,00																		
UB	<b>0,84</b>	0,56	1,00																	
<sup>40</sup> K	0,64	-0,68	0,21	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,28	<b>-0,81</b>	-0,09	<b>0,90</b>	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,67	-0,30	0,51	<b>0,82</b>	<b>0,79</b>	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,68	<b>0,79</b>	<b>0,94</b>	-0,09	-0,37	0,26	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,31	<b>0,97</b>	0,68	-0,50	-0,70	-0,15	<b>0,89</b>	1,00												
<sup>238</sup> U	0,42	0,59	0,53	-0,28	-0,67	-0,35	0,62	0,63	1,00											
T	0,53	-0,14	0,12	0,39	0,08	0,01	0,11	0,05	0,39	1,00										
pH	0,48	-0,07	0,58	0,43	0,36	0,65	0,33	-0,06	0,05	-0,40	1,00									
EP	<b>0,79</b>	0,33	0,62	0,25	-0,17	0,13	0,64	0,52	0,70	<b>0,83</b>	-0,09	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,50	-0,51	-0,02	0,72	0,55	0,36	-0,13	-0,30	-0,08	<b>0,87</b>	-0,27	0,57	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,40	<b>-0,78</b>	-0,12	<b>0,91</b>	<b>0,88</b>	0,62	-0,34	-0,61	-0,45	0,52	0,04	0,19	<b>0,87</b>	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,87</b>	0,42	<b>0,79</b>	0,27	-0,13	0,28	<b>0,79</b>	0,62	0,67	0,69	0,09	<b>0,97</b>	0,46	0,14	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,47	-0,68	-0,08	<b>0,80</b>	0,63	0,36	-0,27	-0,49	-0,07	<b>0,79</b>	-0,10	0,46	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	0,35	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,20	<b>0,98</b>	0,61	-0,63	<b>-0,84</b>	-0,34	<b>0,81</b>	<b>0,95</b>	<b>0,76</b>	-0,03	-0,01	0,44	-0,46	<b>-0,77</b>	0,51	-0,59	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,20	<b>0,99</b>	0,63	-0,62	<b>-0,80</b>	-0,27	<b>0,83</b>	<b>0,97</b>	0,68	-0,08	0,00	0,40	-0,48	<b>-0,77</b>	0,50	-0,62	<b>0,99</b>	1,00		
Na <sup>+</sup>	0,45	<b>-0,79</b>	-0,07	<b>0,94</b>	<b>0,88</b>	0,63	-0,32	-0,62	-0,37	0,54	0,11	0,22	<b>0,86</b>	<b>0,99</b>	0,17	<b>0,92</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,76</b>	1,00	
K <sup>+</sup>	0,60	-0,71	0,13	<b>0,99</b>	<b>0,89</b>	<b>0,76</b>	-0,14	-0,52	-0,30	0,48	0,31	0,28	<b>0,80</b>	<b>0,95</b>	0,28	<b>0,87</b>	-0,66	-0,66	<b>0,97</b>	1,00

**Tabela 4.15: . Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine P verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Pukotinska sredina (P)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,42	1,00																			
UB	0,61	<b>0,81</b>	1,00																		
<sup>40</sup> K	0,71	0,58	<b>0,77</b>	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	0,17	0,24	0,37	0,44	1,00																
<sup>134</sup> Cs	0,13	0,05	0,11	0,21	<b>0,76</b>	1,00															
<sup>226</sup> Ra	0,27	<b>0,79</b>	0,71	0,46	0,52	0,31	1,00														
<sup>228</sup> Ra	0,27	0,49	0,67	0,48	0,27	-0,06	0,59	1,00													
<sup>238</sup> U	0,19	0,28	0,48	0,18	0,49	0,27	0,51	0,58	1,00												
T	0,48	0,25	0,34	0,37	0,11	0,06	0,19	0,11	0,13	1,00											
pH	-0,27	-0,36	-0,25	-0,07	0,05	0,06	-0,25	-0,29	-0,06	0,28	1,00										
EP	<b>0,86</b>	0,43	0,63	<b>0,84</b>	0,26	0,19	0,32	0,39	0,23	0,32	-0,18	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,66	0,37	0,66	0,66	0,25	0,01	0,34	0,24	0,19	0,37	-0,05	0,64	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,34	-0,16	-0,10	0,35	0,10	0,24	-0,22	-0,11	-0,18	0,13	0,28	0,49	0,05	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,88</b>	0,50	0,69	<b>0,87</b>	0,37	0,29	0,41	0,39	0,21	0,38	-0,17	<b>0,96</b>	0,66	0,46	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,62	0,35	0,35	0,62	0,15	0,10	0,25	0,28	0,09	0,44	-0,11	<b>0,77</b>	0,29	0,44	0,70	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,14	0,27	0,17	0,17	0,09	-0,01	0,35	0,49	0,13	-0,07	-0,26	0,29	0,06	0,30	0,26	0,24	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	0,26	0,05	-0,03	-0,11	-0,26	-0,15	-0,10	-0,04	-0,05	-0,02	-0,50	0,20	-0,09	-0,16	0,13	0,23	-0,05	1,00			
Na <sup>+</sup>	<b>0,81</b>	0,44	0,69	<b>0,91</b>	0,41	0,30	0,38	0,32	0,21	0,39	0,03	<b>0,91</b>	0,72	0,52	<b>0,93</b>	0,65	0,16	-0,14	1,00		
K <sup>+</sup>	0,74	0,53	0,68	<b>0,97</b>	0,40	0,26	0,41	0,37	0,14	0,38	-0,07	<b>0,88</b>	0,64	0,43	<b>0,90</b>	0,68	0,16	-0,07	<b>0,93</b>	1,00	

**Tabela 4.16: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine PK verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Pukotinska i karstna sredina (PK)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,51	1,00																			
UB	<b>0,82</b>	0,74	1,00																		
<sup>40</sup> K	<b>0,86</b>	0,61	<b>0,92</b>	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	0,35	0,24	0,54	0,52	1,00																
<sup>134</sup> Cs	0,06	0,17	0,26	0,18	0,67	1,00															
<sup>226</sup> Ra	0,34	0,53	0,51	0,69	0,27	0,08	1,00														
<sup>228</sup> Ra	0,50	0,32	0,44	0,69	0,15	-0,14	<b>0,76</b>	1,00													
<sup>238</sup> U	0,07	0,11	0,26	0,27	0,83	0,67	0,22	0,03	1,00												
T	0,67	0,11	0,51	0,69	0,28	-0,07	0,36	0,63	0,18	1,00											
pH	-0,21	-0,52	-0,25	-0,24	0,20	0,24	-0,40	-0,39	0,19	-0,03	1,00										
EP	<b>0,93</b>	0,61	<b>0,87</b>	<b>0,94</b>	0,48	0,15	0,57	0,67	0,26	0,70	-0,31	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,67	0,16	0,36	0,49	0,33	0,21	0,10	0,30	0,32	0,44	0,02	0,62	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,50	-0,13	0,00	0,14	-0,01	-0,12	-0,24	0,17	-0,03	0,33	0,10	0,34	<b>0,84</b>	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,89</b>	0,60	<b>0,87</b>	<b>0,96</b>	0,47	0,15	0,67	0,71	0,27	0,71	-0,30	<b>0,99</b>	0,56	0,25	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,70	0,41	0,52	0,59	0,44	0,21	0,26	0,41	0,30	0,53	-0,06	0,72	<b>0,76</b>	0,63	0,65	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	-0,04	0,08	0,07	-0,09	-0,09	-0,27	-0,10	-0,18	-0,18	-0,20	-0,11	-0,10	-0,54	-0,40	-0,06	-0,49	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	-0,41	-0,37	-0,37	-0,46	-0,16	0,01	-0,47	-0,61	0,13	-0,15	0,28	-0,42	-0,30	-0,23	-0,40	-0,39	0,25	1,00			
Na <sup>+</sup>	<b>0,91</b>	0,57	<b>0,82</b>	<b>0,94</b>	0,43	0,15	0,63	0,72	0,23	0,71	-0,25	0,98	0,67	0,39	<b>0,98</b>	0,74	-0,20	-0,50	1,00		
K <sup>+</sup>	<b>0,79</b>	0,61	<b>0,87</b>	<b>0,94</b>	0,61	0,31	0,69	0,64	0,49	0,65	-0,24	<b>0,93</b>	0,55	0,15	<b>0,96</b>	0,61	-0,11	-0,36	<b>0,93</b>	1,00	

Tabela 4.17: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama vodonosne sredine PL verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja

	Pukotinska sredina i jezerski neogeni sedimenti (PL)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,39	1,0																			
UB	0,97	0,17	1,00																		
<sup>40</sup> K	0,88	-0,09	0,97	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	0,73	0,14	0,79	0,75	1,00																
<sup>134</sup> Cs	-0,15	0,60	-0,26	-0,44	0,23	1,00															
<sup>226</sup> Ra	-0,12	0,82	-0,35	-0,56	-0,45	0,47	1,00														
<sup>228</sup> Ra	0,41	1,00	0,19	-0,08	0,13	0,58	0,82	1,0													
<sup>238</sup> U	0,94	0,55	0,89	0,75	0,84	0,19	-0,01	0,56	1,00												
T	-0,41	-1,00	-0,19	0,08	-0,13	-0,58	-0,82	-1,00	-0,56	1,0											
pH	0,21	-0,81	0,42	0,64	0,25	-0,79	-0,91	-0,80	-0,02	0,8	1,00										
EP	0,99	0,48	0,95	0,83	0,75	-0,04	-0,05	0,49	-0,97	-0,5	0,11	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,31	-0,75	0,52	0,72	0,39	-0,77	-0,94	-0,74	0,11	0,7	0,99	0,22	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,58	-0,52	0,74	0,89	0,49	-0,73	-0,80	-0,50	0,35	0,5	0,92	0,49	0,95	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,97	0,60	0,89	0,74	0,67	0,03	0,11	0,61	0,96	-0,6	-0,03	0,99	0,07	0,36	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,88	0,77	0,74	0,54	0,48	0,11	0,38	0,78	0,88	-0,8	-0,26	0,91	-0,18	0,14	0,96	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,29	0,99	0,07	-0,19	-0,00	0,57	0,89	0,99	0,44	-1,0	-0,85	0,38	-0,82	-0,59	0,51	0,71	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	-0,55	-0,10	-0,57	-0,51	0,13	0,74	-0,08	-0,12	-0,26	0,1	-0,32	-0,49	-0,28	-0,50	-0,49	-0,53	-0,11	1,00			
Na <sup>+</sup>	0,81	-0,22	0,92	0,99	0,71	-0,52	-0,65	-0,20	0,66	0,2	0,74	0,75	0,81	0,94	0,65	0,44	-0,32	-0,50	1,00		
K <sup>+</sup>	0,02	-0,30	0,03	0,13	-0,56	-0,89	-0,02	-0,28	-0,32	0,3	0,42	-0,07	0,31	0,37	-0,07	-0,02	-0,23	-0,83	0,18	1,00	

Iz vrednosti korelacionih koeficijenata može da se zapazi da ukupna alfa i ukupna beta aktivnost uzoraka vodonosne sredine K nije u jakoj niti umerenoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom voda. Vode iz vodonosne sredine L pokazuju jaku korelaciju između ukupne alfa aktivnosti i ukupne beta aktivnosti ( $r=0,77$ ), <sup>226</sup>Ra ( $r=0,80$ ), Ca<sup>2+</sup> ( $0,80$ ) i Mg<sup>2+</sup> ( $0,80$ ) a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa <sup>40</sup>K ( $r=0,76$ ), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $r=0,77$ ) i K<sup>+</sup> ( $0,80$ ). Ukupna alfa aktivnost voda vodonosne sredine M pokazuje jaku korelaciju sa <sup>137</sup>Cs ( $r=-0,81$ ), <sup>226</sup>Ra ( $r=0,79$ ), <sup>228</sup>Ra ( $r=0,97$ ), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ( $r=-0,78$ ), Ca<sup>2+</sup> ( $r=0,98$ ), Mg<sup>2+</sup> ( $r=0,99$ ) i Na<sup>+</sup> ( $r=-0,79$ ). Ukupna beta aktivnost ove vodonosne sredine pokazuje jaku korelaciju sa <sup>226</sup>Ra ( $r=0,94$ ) i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $r=0,79$ ). Vode vodonosne sredine P pokazuju jaku korelaciju ukupne alfa aktivnosti sa

ukupnom beta aktivnošću ( $r=0,81$ ) i  $^{226}\text{Ra}$  ( $0,79$ ), a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa  $^{40}\text{K}$  ( $0,77$ ). Vode vodonosne sredine PK nemaju jaku korelaciju ukupne alfa aktivnosti ni sa jednom merenom karakteristikom, a jaku korelaciju pokazuje ukupna beta aktivnost sa  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,92$ ), elektroprovodljivošću ( $r=0,87$ ), koncentracijom bikarbonata ( $r=0,87$ ), koncentracijom  $\text{Na}^+$  ( $r=0,82$ ) i  $\text{K}^+$  ( $r=0,87$ ). Ukupna alfa aktivnost uzoraka vode vodonosne sredine PL je u jakoj korelaciji sa  $^{226}\text{Ra}$  ( $r=0,82$ ), pH ( $r=-0,81$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r=-0,75$ ),  $\text{SiO}_2$  ( $r=0,77$ ) i  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,99$ ), a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,97$ ),  $^{137}\text{Cs}$  ( $r=0,79$ ),  $^{238}\text{U}$  ( $r=0,89$ ), elektroprovodljivošću ( $r=0,95$ ), i  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,89$ ) i  $\text{Na}^+$  ( $r=0,92$ ). Prikazane korelacije ukazuju na razlike između grupa voda različitih vodonosnih sredina.

U tabelama od 4.18 do 4.21 dati su korelacioni koeficijenti karakteristika mineralnih voda po hidrogeološkim strukturama akviera.

**Tabela 4.18: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama iz hidrogeološke strukture akvifera 1 sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Magmatski masivi (1)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,42	1,00																			
UB	<b>0,84</b>	-0,04	1,00																		
<sup>40</sup> K	<b>0,81</b>	-0,19	<b>0,96</b>	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	-0,05	-0,59	0,17	0,34	1,00																
<sup>134</sup> Cs	0,18	-0,40	0,24	0,46	<b>0,78</b>	1,00															
<sup>226</sup> Ra	-0,17	-0,66	0,04	0,26	<b>0,88</b>	<b>0,86</b>	1,00														
<sup>228</sup> Ra	<b>0,78</b>	-0,20	<b>0,94</b>	<b>0,98</b>	0,27	0,37	0,21	1,00													
<sup>238</sup> U	0,23	0,00	0,13	0,26	0,74	0,72	0,68	0,21	1,00												
T	0,20	0,12	0,09	0,14	0,65	0,38	0,44	0,13	<b>0,88</b>	1,00											
pH	<b>0,72</b>	-0,01	<b>0,80</b>	<b>0,78</b>	0,45	0,24	0,19	<b>0,77</b>	0,44	0,59	1,00										
EP	<b>0,87</b>	-0,07	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	0,25	0,41	0,17	<b>0,97</b>	0,23	0,13	<b>0,78</b>	1,00									
Cl <sup>-</sup>	<b>0,86</b>	-0,08	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	0,27	0,42	0,18	<b>0,97</b>	0,25	0,15	<b>0,79</b>	1,00	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,00	0,40	<b>0,86</b>	<b>0,82</b>	-0,04	0,21	-0,15	<b>0,79</b>	0,23	0,19	0,71	<b>0,88</b>	<b>0,88</b>	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,84</b>	-0,12	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>	0,28	0,43	0,20	<b>0,98</b>	0,24	0,13	<b>0,78</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,86</b>	1,00						
SiO <sub>2</sub>	<b>0,82</b>	-0,14	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	0,25	0,37	0,16	<b>0,97</b>	0,18	0,09	<b>0,78</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,84</b>	<b>0,99</b>	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,90</b>	0,04	<b>0,89</b>	<b>0,95</b>	0,33	0,52	0,25	<b>0,91</b>	0,42	0,31	0,81	<b>0,96</b>	<b>0,97</b>	<b>0,91</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	0,17	-0,19	0,15	0,32	<b>0,83</b>	<b>0,80</b>	<b>0,83</b>	0,25	<b>0,95</b>	<b>0,82</b>	0,46	0,27	0,29	0,18	0,29	0,23	0,46	1,00			
Na <sup>+</sup>	<b>0,85</b>	-0,09	<b>0,98</b>	<b>0,99</b>	0,21	0,36	0,12	<b>0,97</b>	0,17	0,07	<b>0,77</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,87</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,94</b>	0,21	1,00		
K <sup>+</sup>	<b>0,81</b>	-0,18	<b>0,97</b>	<b>1,00</b>	0,27	0,40	0,19	<b>0,98</b>	0,17	0,07	<b>0,76</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	<b>0,83</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>0,93</b>	0,23	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	

U uzorcima voda hidrogeološke strukture akvifera magmatski masivi ukupna alfa aktivnost nije u jakoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom, a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa aktivnostima <sup>40</sup>K (r=0,96) i <sup>228</sup>Ra (r=0,94), pH vrednošću (r=0,80), elektroprovodljivošću (r=0,97), koncentracijom Cl<sup>-</sup> (r=0,97), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (r=0,86), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (r=0,96), SiO<sub>2</sub> (r=0,98), Ca<sup>2+</sup> (r=0,89), Na<sup>+</sup> (r=0,98) i K<sup>+</sup> (r=0,97).

U uzorcima voda hidrogeološke strukture akvifera Karstna područja ni ukupna alfa aktivnost ni ukupna beta aktivnost nisu u jakoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom.



U uzorcima voda hidrogeološke strukture područje metamorfita ukupna alfa aktivnost nije u jakoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom, a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,85$ ), koncentracijom  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,77$ ) i  $\text{Na}^+$  ( $r=0,75$ ).

U uzorcima voda hidrogeološke strukture područje hidrogeološki baseni ukupna alfa aktivnost je u jakoj korelaciji sa ukupnom beta aktivnošću ( $r=0,91$ ), aktivnošću  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,80$ ),  $^{228}\text{Ra}$  ( $r=0,96$ ), elektroprovodljivošću ( $r=0,91$ ), koncentracijom  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,97$ ) i  $\text{K}^+$  ( $r=0,82$ ), a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{228}\text{Ra}$  ( $r=0,93$ ), koncentracijom  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,93$ ) i  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,77$ ). Samo uzorci iz akvifera hidrogeološki baseni pokazuju jaku korelaciju ukupne alfa aktivnosti sa nekim drugim ispitivanim karakteristikama voda, što nije slučaj kod ostalih hidrogeoloških struktura akvifera.

**Tabela 4.19: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama iz hidrogeološke strukture akvifera 2 sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Karstna područja (2)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,54	1,00																			
UB	0,12	0,20	1,00																		
<sup>40</sup> K	-0,20	0,16	0,14	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	-0,21	0,02	-0,01	0,05	1,00																
<sup>134</sup> Cs	-0,32	-0,28	0,11	-0,16	0,60	1,00															
<sup>226</sup> Ra	-0,70	-0,35	0,08	0,16	0,48	0,49	1,00														
<sup>228</sup> Ra	-0,18	-0,19	-0,19	0,10	0,33	0,19	0,38	1,00													
<sup>238</sup> U	0,20	0,08	-0,25	0,01	0,16	0,10	0,10	-0,01	1,00												
T	0,12	0,26	0,32	0,21	0,18	0,17	0,09	0,13	0,25	1,00											
pH	-0,28	-0,21	-0,01	-0,48	-0,05	-0,01	0,04	-0,32	-0,14	-0,19	1,00										
EP	0,28	0,05	0,12	0,30	-0,07	-0,26	-0,23	0,12	0,19	0,12	-0,17	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,12	-0,12	-0,08	0,29	0,05	-0,35	-0,12	0,25	0,11	-0,07	-0,08	<b>0,86</b>	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,19	-0,15	-0,06	0,35	0,06	-0,22	-0,19	0,17	0,11	0,02	-0,23	<b>0,85</b>	<b>0,84</b>	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,03	0,34	0,30	-0,08	0,01	0,10	0,06	0,16	0,44	-0,18	<b>0,76</b>	0,48	0,56	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,01	-0,19	0,05	0,02	-0,09	-0,23	0,03	0,03	0,02	-0,01	0,28	0,58	0,70	0,47	0,39	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,35	0,13	-0,22	0,24	0,03	-0,00	-0,21	0,26	0,32	0,13	<b>-0,75</b>	0,29	0,20	0,40	0,18	-0,23	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	-0,04	-0,09	0,04	0,24	-0,10	-0,39	-0,19	-0,16	-0,23	-0,11	0,13	0,65	0,71	0,69	0,48	0,68	-0,18	1,00			
Na <sup>+</sup>	-0,25	-0,15	0,47	0,11	0,14	0,19	0,42	0,04	0,05	0,16	0,35	0,43	0,33	0,15	0,58	0,41	-0,46	0,25	1,00		
K <sup>+</sup>	-0,04	0,05	0,00	0,66	0,06	-0,25	0,25	0,27	0,23	0,32	-0,26	0,55	0,59	0,50	0,47	0,43	0,10	0,39	0,40	1,00	

**Tabela 4.20: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama iz hidrogeološke strukture akvifera 3 sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Područja metamorfita (3)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,36	1,00																		
UB	0,68	0,71	1,00																	
<sup>40</sup> K	<b>0,77</b>	0,60	<b>0,85</b>	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,22	0,30	0,45	0,44	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,03	0,14	0,14	0,11	0,69	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,25	0,63	0,58	0,55	0,38	0,16	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,19	0,33	0,43	0,38	0,24	0,02	0,44	1,00												
<sup>238</sup> U	0,11	0,17	0,32	0,22	0,57	0,40	0,33	0,32	1,00											
T	0,46	0,11	0,31	0,44	0,05	0,00	0,22	0,04	0,09	1,00										
pH	-0,12	-0,35	-0,17	-0,12	-0,03	-0,01	-0,32	-0,24	0,01	0,16	1,00									
EP	<b>0,93</b>	0,49	0,74	<b>0,85</b>	0,28	0,06	0,39	0,29	0,22	0,44	-0,25	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,55	0,14	0,43	0,50	0,15	-0,07	0,17	0,18	0,15	0,28	0,04	0,53	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,49	-0,17	0,06	0,27	0,04	0,00	-0,28	-0,12	-0,14	0,22	0,22	0,42	0,12	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,91</b>	0,53	<b>0,77</b>	<b>0,88</b>	0,36	0,14	0,49	0,30	0,21	0,46	-0,23	<b>0,97</b>	0,51	0,38	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,67	0,29	0,40	0,53	0,21	0,07	0,19	0,19	0,14	0,48	-0,13	0,70	0,26	0,47	0,64	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,09	0,35	0,17	0,09	0,13	0,01	0,22	0,32	0,03	-0,12	-0,27	0,20	-0,05	-0,09	0,24	0,10	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	-0,04	-0,02	-0,11	-0,16	-0,05	0,05	-0,09	-0,05	-0,04	-0,04	-0,20	-0,05	-0,07	-0,15	-0,06	0,06	0,08	1,00		
Na <sup>+</sup>	<b>0,88</b>	0,43	<b>0,75</b>	<b>0,89</b>	0,36	0,14	0,43	0,23	0,20	0,51	-0,05	<b>0,91</b>	0,57	0,52	<b>0,92</b>	0,61	-0,02	-0,20	1,00	
K <sup>+</sup>	0,72	0,54	0,74	<b>0,86</b>	0,38	0,16	0,48	0,25	0,24	0,47	-0,16	<b>0,79</b>	0,43	0,31	<b>0,83</b>	0,56	0,11	-0,13	<b>0,84</b>	1,00

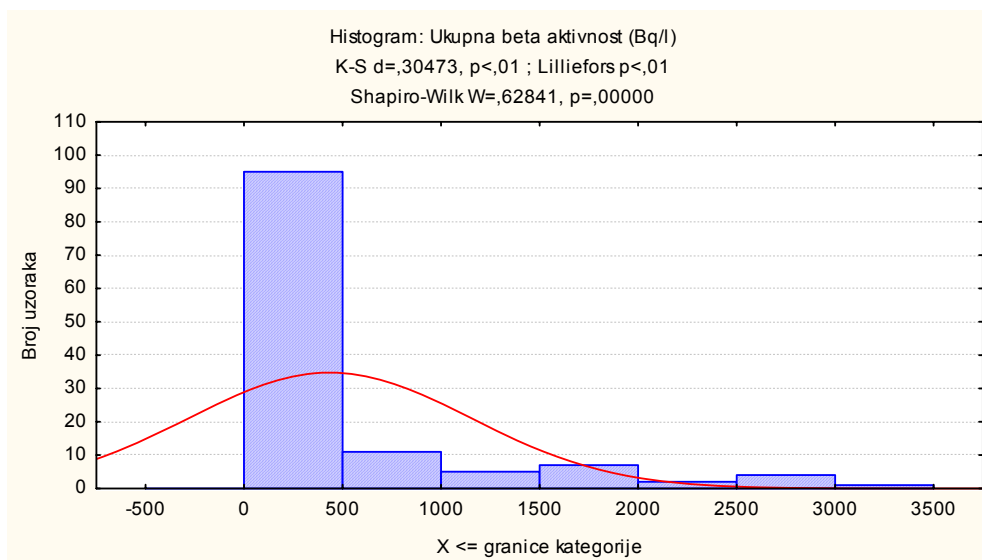
**Tabela 4.21: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u mineralnim vodama iz hidrogeološke strukture akvifera 4 sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

Variable	Hidrogeološki baseni (4)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,76	1,00																		
UB	0,61	<b>0,91</b>	1,00																	
<sup>40</sup> K	0,37	<b>0,80</b>	0,65	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,26	-0,09	-0,25	-0,22	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,29	-0,04	-0,29	-0,16	0,73	1,00														
<sup>226</sup> Ra	-0,16	0,11	0,18	0,06	0,36	0,03	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,55	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	<b>0,87</b>	-0,23	-0,23	0,20	1,00												
<sup>238</sup> U	-0,08	-0,12	-0,13	-0,19	0,62	0,21	0,51	-0,07	1,00											
T	0,20	0,50	0,39	0,72	-0,12	-0,04	-0,25	0,55	-0,10	1,00										
pH	0,53	0,22	0,08	-0,04	0,49	0,39	0,17	0,07	0,29	-0,17	1,00									
EP	<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	0,72	0,71	0,13	0,15	-0,04	<b>0,79</b>	-0,13	0,44	0,42	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,72	0,22	-0,07	0,02	0,58	0,63	-0,28	-0,05	-0,05	0,01	0,63	0,57	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,20	0,61	0,45	<b>0,88</b>	-0,27	-0,20	0,04	0,69	-0,23	0,53	-0,06	0,58	-0,00	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,70	<b>0,97</b>	<b>0,93</b>	<b>0,81</b>	-0,16	-0,18	0,09	<b>0,97</b>	-0,13	0,51	0,10	<b>0,88</b>	0,12	0,64	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,21	0,70	0,57	<b>0,94</b>	-0,27	-0,13	0,05	<b>0,78</b>	-0,15	0,68	-0,13	0,54	-0,15	<b>0,83</b>	0,71	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,42	0,53	<b>0,77</b>	0,07	-0,20	-0,28	0,29	0,52	-0,09	-0,14	0,00	0,35	-0,17	-0,01	0,57	0,02	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,39	0,48	0,72	0,03	-0,18	-0,26	0,21	0,48	0,05	-0,16	0,04	0,31	-0,20	-0,01	0,53	0,04	<b>0,94</b>	1,00		
Na <sup>+</sup>	0,71	0,69	0,39	<b>0,76</b>	0,21	0,26	-0,20	0,58	-0,13	0,59	0,33	<b>0,86</b>	0,64	0,63	0,66	0,61	-0,15	-0,18	1,00	
K <sup>+</sup>	0,39	<b>0,82</b>	0,67	<b>0,99</b>	-0,20	-0,15	0,09	<b>0,88</b>	-0,16	0,67	-0,04	0,72	0,02	<b>0,86</b>	<b>0,84</b>	<b>0,93</b>	0,11	0,08	<b>0,76</b>	1,00

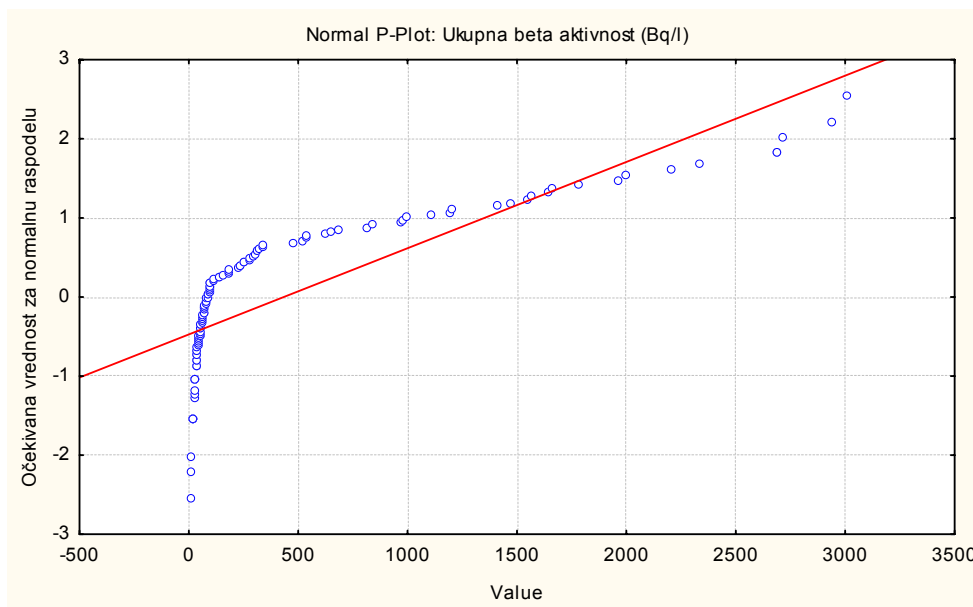
#### 4.2.2.1 Analiza glavnih komponenata

Svi podaci karakteristika mineralnih voda Srbije su ispitivani korišćenjem Shapiro-Wilk-ovog testa [95] i testa Kolmogorov-Smirnov [96] za normalnu raspodelu korišćenjem  $p < 0,05$ . Na slici 4.9 je, kao primer, dat hisogram raspodele ukupne beta aktivnosti, a na slici 4.10 rezultato testa normalne raspodele ukupne beta aktivnosti. Iz vrednosti  $d$  i  $p$  Kolmogorov-Smirnov-ovih testova, vrednosti  $p$  Lilliefors-ovog poboljšanja navedenog testa, kao i iz  $W$  i  $p$  vrednosti Shapiro-Wilk testova, podaci nisu prošli Shapiro-Wilk-ov i Kolmogorov-Smirnov testove, što ukazuje na značajno odstupanje od

normalnosti zbog čega su uzorci ispitivanih mineralnih voda podeljeni na dve grupe od kojih se je jedna grupa sastojala od uzoraka čiji je bilo koji mereni rezultat bio veći od 5 medijana za ispitivanu karakteristiku [103]. U drugoj grupi su svrstani ostali uzorci čije merene vrednosti bilo koje karakteristike nije prelazila vrednost 5 medijana. Prva grupa je obeležena kao 5M, a druga kao M



**Slika 4.9: Histogram raspodele ukupne beta aktivnosti**



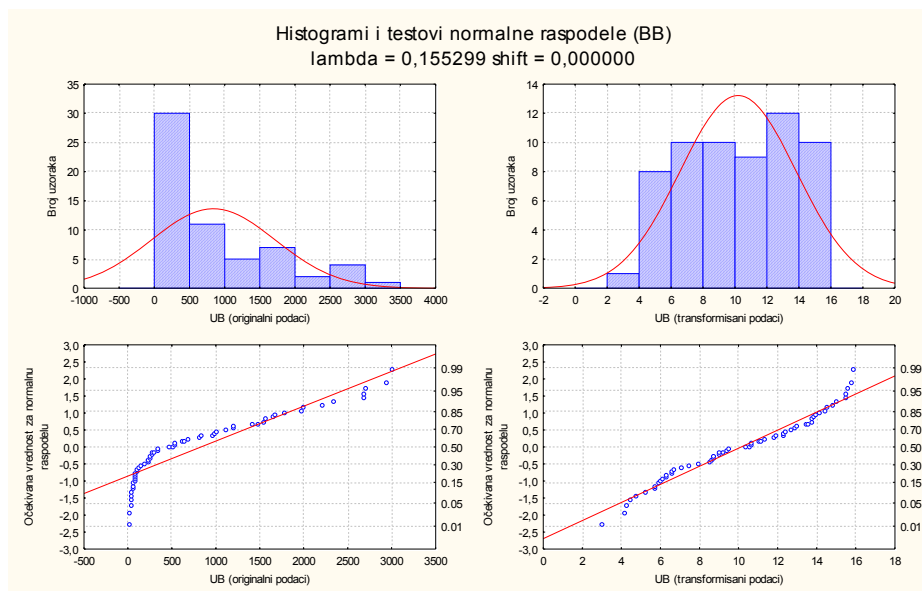
**Slika 4.10: Test normalne raspodele ukupne beta aktivnosti**

## 4.2.2.2 Grupa mineralnih voda 5M

### 4.2.2.2.1 Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka grupe 5M mineralnih voda Srbije

U tabeli 4.22 su prikazani rezultati ispitivanja karakteristika mineralnih voda grupe 5M po vrstama vodonosnih sredina i po hidrogeološkom strukturama akvifera. Testovi normalnosti raspodele originalnih podataka merenih karakteristika mineralnih voda grupe 5M Srbije nisu prošli Liliefors-a i Shapiro-Wilk-ov test pa je urađena Box-Cox [97] transformacija originalnih podataka, a transformisani podaci su dati u tabeli 4.23.

Na slici 4.11 su, kao primeri, dati histogrami i testovi normalne raspodele uporedo za originalne vrednosti i za transformisane vrednosti ukupne beta aktivnosti. Iz ovog kao i testova normalnosti ostalih merenih veličina može da se zaključi da je raspodela transformisanih podataka znatno bliža normalnoj raspodeli od netransformisanih (originalnih) podataka.



Slika 4.11: Histogrami i testovi normalne raspodele za originalne i Box-Cox transformacijom transformisane podatke ukupne beta aktivnosti

Tabela 4.22: Karakteristike voda grupe 5M mineralnih voda

R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
15	Beograd	K	2	0,387	10	94	0,11	0,006	0,001	0,03	0,02	0,1	16,7	7,3	1165	110,6	155,1	525	32,37	126,1	84,1	50,5	4,5
17	Beograd	K	2	0,399	10	82	0,07	0,003	0,002	0,013	0,02	0,07	14,9	7,4	970	53,0	116	561	18,4	87	66,0	38,2	1,1
18	Beograd	K	4	0,399	10	82	0,07	0,003	0,002	0,013	0,02	0,07	14,9	7,4	970	53,0	116	561	18,4	87	66,0	38,2	1,1
19	Beograd	K	2	0,418	37	624	0,1	0,002	0,001	0,03	0,01	0,03	20,4	7,3	490	0,9	14,1	378	13,4	56	32,0	16,0	1,6
29	Selo Darosav	K	3	1,073	30	341	0,4	0,003	0,001	0,01	0,02	0,05	25,6	7,1	1851	39,9	48,9	1558	49,8	79,5	63,7	463,1	83,5
30	Heba-Bujanovac	L	3	0,107	10	27	0,9	0,005	0,002	0,08	0,02	0,1	11,7	8,2	367	16,7	35,5	183	32,2	46,8	20,2	21,4	3,0
36	Jagodina	L	4	0,185	22	35	0,16	0,005	0,003	0,09	0,02	0,09	15,0	6,9	670	29,0	88	445	24,8	105	33,0	28,8	3,7
39	Kula-Stork	L	2	0,231	10	521	0,04	0,004	0,003	0,09	0,01	0,08	16,7	8	566	5,2	5,4	494	18,3	19,6	29,6	115,1	0,7
40	Jagodina	L	4	0,240	10	73	0,1	0,004	0,002	0,09	0,01	0,07	18,5	7,2	660	16,0	21,0	451	12,1	118	19,0	22,9	1,5
41	Bujanovac	L	3	0,250	10	118	0,13	0,006	0,005	0,02	0,9	0,08	13,5	7,18	338	18,6	26,5	172	41,26	37,63	14,0	25,1	3,0
43	Kula	L	4	0,315	10	24,2	0,03	0,009	0,003	0,14	0,03	0,51	16,6	7,72	601	5,5	1,28	518	18,59	28,05	41,4	91,0	2,6
44	Kulpin opš. Bački Petrovac	L	4	0,468	10	66	0,1	0,005	0,002	0,09	0,02	0,1	12,0	7,7	1061	85,4	88,4	671	19,9	144	59,3	60,7	2,9
46	Požarevac	L	4	0,525	10	142	0,16	0,004	0,002	0,008	0,008	0,01	18,6	6,4	580	13,2	9,2	845	24,8	101	42,6	182,6	6,3
49	P.P"Vrelo"Prahovo	L	4	1,520	171	1191	2	0,003	0,002	0,07	0,28	0,05	42,0	7,34	4114	66,5	300,7	3385	84,09	50,45	19,6	1190	55,9
50	Bujanovac	L	3	1,684	369	12,1	1,73	0,004	0,003	0,06	0,14	0,14	42,0	7,03	3797	81,4	145,73	2950	85,83	72,47	10,9	1074	69,3
51	S.Cerovc kod S.Palanke	L	3	2,240	1454	2711	2,33	0,008	0,002	0,33	0,59	0,14	8,0	6,9	3600	88,4	2,8	3450	55,4	308	158,0	737,0	81,0
52	Bunar A2, Aqua Heba, Bujanovac	L	3	2,697	108	1994	1,35	0,003	0,001	0,06	0,02	0,06	25,6	7,31	3322	72,3	166,49	2670	102,7	52,05	7,5	1018,5	63,8
53	Leštane	L	4	2,997	71	61	0,17	0,009	0,005	0,02	0,02	0,1	18,6	8,48	3702	896,2	22,08	1130	12,22	3,6	3,2	1004	4,7
54	Bujanovac	M	3	1,076	43	539	0,61	0,005	0,002	0,01	0,1	0,07	15,2	6,8	1800	38,0	135	1600	42	48	30,0	601	24,6
55	Bujanovac	M	3	1,562	11	809	0,82	0,005	0,002	0,01	0,06	0,09	13,0	8,1	1800	22,0	110	1600	46	46	12,0	608	29,8
56	Smederevska Palanka	M	4	2,457	157	1781	0,44	0,004	0,002	0,1	0,22	0,11	18,0	7,67	3323	21,6	33	3087	28,28	606,6	205,7	143	14,1
57	Bujanovac	M	3	2,488	19	969	1,1	0,005	0,002	0,03	0,1	0,1	31,0	6,9	3700	80,0	210	3000	87	92	24,0	1109	46,8

R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
58	Bujanovac C	M	3	3,094	16	1642	1,54	0,006	0,003	0,06	0,10	0,08	19,5	8,4	2900	61,0	235,0	2800	70,0	10,0	17	1237	60,2
77	Aleksandrovac	P	3	0,404	40	46	0,07	0,003	0,001	0,01	0,02	0,09	14,3	7,1	1140	74,2	93,2	414	13,3	136,0	64,8	15,9	1,39
79	Ljig	P	3	0,649	60	274	0,44	0,002	0,001	0,08	0,08	0,09	22,1	7,3	1250	51,1	4,1	891	24,8	31,9	13,2	283	13,6
80	Prolom banja	P	1	0,732	70	71	0,05	0,002	0,001	0,01	0,01	0,09	17,5	7,8	660	8,4	139,9	287	17,5	33,1	0,793	133	0,457
81	Ljig	P	3	0,761	80	275	0,30	0,002	0,001	0,09	0,06	0,10	13,0	7,3	1260	57,6	1,1	908	27,0	30,6	13,5	281	13,8
82	Vranje	P	1	0,767	10	302	1,70	0,006	0,003	0,10	0,12	0,10	16,0	8,4	4098	52,5	165,0	3050	106,0	74,1	15,93	1170	68,16
83	Kruševac	P	3	0,786	289	998	0,38	0,005	0,001	0,46	0,89	0,24	20,5	6,2	1800	11,5	5,5	1400	76,8	323,0	46,7	68,4	6
84	Lazarevac	P	3	0,925	415	1664	2,39	0,005	0,001	0,13	0,63	0,08	20,5	6,2	2250	20,0	6,6	1960	62,2	83,3	56	503	67,2
85	Vranje	P	1	0,936	10	227	1,70	0,006	0,004	0,10	0,13	0,10	16,0	8,3	4272	54,6	176,0	3230	97,0	84,1	17,17	1170	68,85
87	Trstenik	P	3	1,052	90	235	0,21	0,002	0,001	0,06	0,03	0,10	15,5	6,4	2230	14,7	0,5	249	65,2	25,2	329	120	10,2
88	Kraljevo	P	3	1,243	60	179	0,18	0,002	0,001	0,02	0,02	0,13	23,0	8,1	1180	113,7	5,4	653	18,8	7,5	3,27	294	4,08
89	Ljig	P	3	1,627	80	474	0,28	0,002	0,001	0,09	0,09	0,10	28,1	7,2	1263	47,9	2,8	917	23,6	40,3	15,2	260	15,7
90	Bujanovac	P	3	1,725	139	537	0,80	0,005	0,003	0,03	0,07	0,08	26,0	7,3	2800	68,0	165,0	2900	49,8	124,9	26	950	38,5
91	Velučje Trstenik	P	3	1,835	90	334	0,31	0,003	0,002	0,06	0,08	0,03	25,6	6,2	2260	13,0	0,5	2040	64,0	20,9	302	71	9,3
92	Arandjelovac	P	3	1,896	850	2690	1,73	0,008	0,005	0,55	0,29	0,23	34,5	6,9	2500	15,0	1,5	2900	51,0	61,9	10	1026	55,5
94	Trstenik	P	3	2,104	90	235	0,04	0,002	0,002	0,06	0,04	0,10	15,5	6,4	2230	14,7	0,5	2049	65,2	25,2	327	120	10,2
95	Heba-Bujanovac	P	3	2,259	90	979	1,50	0,003	0,002	0,06	0,11	0,03	20,0	7,8	3679	52,8	187,0	2900	93,8	99,7	36,1	1200	33,2
96	Bujanovac	P	3	2,285	10	60,5	0,32	0,007	0,005	0,14	0,01	0,14	21,0	6,7	3164	49,2	126,7	2580	75,3	105,3	58,31	820	27,93
97	Tulara banja, Prokuplje	P	3	2,336	10	2206	1,29	0,007	0,003	0,10	0,68	0,38	21,7	7,4	3703	147,0	3,0	2684	35,9	22,0	8,75	1090	31
98	Bujanovac Raovac	P	3	3,114	15	98	1,70	0,007	0,003	0,02	0,07	0,04	28,5	7,4	3481	46,6	173,0	3233	92,6	87,7	20,66	1160	54
99	Rudovci	P	3	3,130	583	1966	2,10	0,005	0,001	0,27	0,19	0,13	22,5	6,4	5400	265,0	5,0	3940	144,0	122,0	60,5	1380	72,5
100	Bujanovac	P	3	3,467	10	250	1,58	0,004	0,003	0,06	0,04	0,10	47,0	7,1	3718	55,9	129,9	2900	98,8	51,6	9,96	1072,3	67,84
101	Smederevska Palanka	P	3	3,948	318	2690	3,00	0,008	0,003	0,34	0,24	0,11	50,0	7,3	4760	490,0	17,0	4950	49,8	32,7	8,2	1970	93
108	Arandjelovac	PK	3	0,442	22	250	0,35	0,004	0,002	0,02	0,01	0,08	38,8	7,4	1100	10,0	5,1	980	55,0	61,0	86	156,7	12
109	Rimski bunar	PK	3	0,494	273	840	0,80	0,01	0,007	0,17	0,01	0,50	25,6	7,0	2025	32,5	28,2	1897	49,83	72,1	64,56	505	69,8



R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
113	Bukovička banja	PK	3	1,230	470	1410	1,70	0,005	0,003	0,44	0,28	0,07	38,0	6,2	2730	14,0	1,3	2537	49,83	51,9	7,8	840	46,8
114	Bukovička banja	PK	3	1,400	370	1110	1,50	0,005	0,003	0,57	0,29	0,08	36,0	6,4	3380	15,0	2,5	3550	49,83	88,9	9,1	1200	76
115	Bukovička banja	PK	3	1,678	1473	1548	1,57	0,003	0,002	0,58	0,14	0,03	20,0	6,2	2790	19,0	5,0	2800	49,83	110,0	19	990	59
116	Arandjelovac	PK	3	2,004	540	2330	2,50	0,01	0,003	0,60	0,25	0,26	35,5	7,1	3900	17,0	0,5	3800	80	100,0	14	1242	89,3
117	Arandjelovac	PK	3	2,175	203	684	1,00	0,005	0,003	0,09	0,10	0,08	22,7	6,7	3303	49,4	178,0	2751	95,4	53,3	39,6	1036	39,5
118	Arandjelovac	PK	3	2,201	1396	3007	1,60	0,008	0,005	0,03	0,02	0,13	20,0	6,4	3500	16,0	0,2	2785	80,25	112,4	20,3	870	60,6
119	Arandjelovac	PK	3	2,691	352	1470	1,91	0,006	0,002	0,10	0,26	0,10	44,3	7,0	3826	45,8	179,0	3245	75,7	74,1	9,7	1315	65,2
120	Arandjelovac	PK	3	2,919	360	2940	2,60	0,007	0,004	0,26	0,07	0,10	37,8	7,2	3800	25,0	0,5	3950	25,2	127,0	39	1269	85
121	Arandjelovac	PK	3	3,135	287	1568	1,59	0,006	0,003	0,10	0,10	0,10	45,7	7,0	3652	46,5	178,0	3135	117	50,9	7,5	1336	62,8
122	Bujanovac	PL	3	0,125	19	92	0,12	0,006	0,004	0,05	0,02	0,08	25,6	7,1	316	26,8	24,2	207	42,63	43,4	1094	26,24	3,955
123	Bujanovac	PL	3	0,184	10	30	0,09	0,004	0,003	0,08	0,02	0,07	25,6	7,2	111	27,4	50,2	201	49,83	79,5	63,69	27,7	83,56
124	S.Cerovac kod S. Palanke	PL	3	1,997	340	645	0,47	0,006	0,004	0,12	0,22	0,10	19,0	6,7	3130	11,4	5,1	3290	92,4	490,0	267	193	27,7
125	Banovac - izvorište heba	PL	3	2,606	10	1200	1,50	0,007	0,003	0,02	0,02	0,10	25,6	7,6	3600	49,0	181,0	3100	76	4,6	11,56	1230	52,8

TVS- tip vodonosne sredine; HS- hidrogeološka struktura; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost; UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;

**Tabela 4.23: Transformisane vrednosti karakteristika mineralnih voda grupe 5M Box-Cox transformacijom (TVS- tip vodonosne sredine; HS- hidrogeološka struktura; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost; UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;)**

R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	t	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
15	Beograd	K	2	-0,7770	1,9861	6,6002	-1,7058	-2,2107	-4,1386	-3,3119	-4,9429	-2,2369	2,1439	1,3775	182,8259	4,7481	7,7382	57,7716	6,8664	6,7196	3,9073	8,1694	1,9851
17	Beograd	K	2	-0,7564	1,9861	6,3265	-1,9552	-2,2927	-3,9014	-4,0469	-4,9429	-2,5719	2,0788	1,3837	161,0849	4,0003	7,1043	60,0248	5,1062	6,0422	3,7188	7,1715	0,0969
18	Beograd	K	4	-0,7564	1,9861	6,3265	-1,9552	-2,2927	-3,9014	-4,0469	-4,9429	-2,5719	2,0788	1,3837	161,0849	4,0003	7,1043	60,0248	5,1062	6,0422	3,7188	7,1715	0,0969
19	Beograd	K	2	-0,7257	2,8734	11,0561	-1,7607	-2,3313	-4,1386	-3,3119	-6,0756	-3,3557	2,2546	1,3775	100,3356	-0,1053	3,2902	47,7653	4,2623	5,2797	3,1392	4,5914	0,5102
29	Selo Darosav	K	3	0,0719	2,7413	9,4890	-0,8209	-2,2927	-4,1386	-4,2734	-4,9429	-2,8851	2,3748	1,3656	251,6925	3,7131	5,3862	107,7342	8,4699	5,8826	3,6908	20,5700	10,4206
30	Heba-Bujanovac	L	3	-1,4303	1,9861	4,3037	-0,1040	-2,2344	-3,9014	-2,4237	-4,9429	-2,2369	1,9357	1,4294	82,0432	2,8305	4,8054	31,2250	6,8483	4,9813	2,7579	5,3707	1,3351
36	Jagodina	L	4	-1,1968	2,5390	4,7455	-1,4771	-2,2344	-3,7497	-2,3151	-4,9429	-2,3361	2,0827	1,3515	124,6784	3,3888	6,5286	52,5059	5,9922	6,3811	3,1643	6,2497	1,6568
39	Kula-Stork	L	2	-1,0839	1,9861	10,5728	-2,2282	-2,2613	-3,7497	-2,3151	-6,0756	-2,4468	2,1439	1,4186	110,9081	1,6538	1,9343	55,7762	5,0908	3,6283	3,0753	11,7445	-0,3357
40	Jagodina	L	4	-1,0644	1,9861	6,0981	-1,7607	-2,2613	-3,9014	-2,3151	-6,0756	-2,5719	2,2011	1,3712	123,3851	2,7872	3,9167	52,9146	4,0103	6,5957	2,7064	5,5673	0,4428
41	Bujanovac	L	3	-1,0422	1,9861	7,0689	-1,6064	-2,2107	-3,5437	-3,6708	-0,1060	-2,4468	2,0213	1,3699	77,4631	2,9410	4,3013	30,0989	7,7379	4,6278	2,4467	5,8377	1,3449
43	Kula	L	4	-0,9079	1,9861	4,1226	-2,3547	-2,1513	-3,7497	-1,9039	-4,3211	-0,6676	2,1405	1,4028	115,6248	1,7157	0,2518	57,3256	5,1351	4,1672	3,3484	10,6244	1,1420
44	Kulpin opš.Bački Petrovac	L	4	-0,6461	1,9861	5,9034	-1,7607	-2,2344	-3,9014	-2,3151	-4,9429	-2,2369	1,9510	1,4016	171,3869	4,4850	6,5378	66,5427	5,3298	6,9693	3,6346	8,8868	1,2860
46	Požarevac	L	4	-0,5611	1,9861	7,4629	-1,4771	-2,2613	-3,9014	-4,4644	-6,4599	-4,3473	2,2041	1,3159	112,8055	2,5928	2,6614	75,9534	5,9922	6,3105	3,3712	14,2246	2,5688
49	P.P"Vrelo"Prahovo	L	4	0,4591	3,7348	12,9035	0,7553	-2,2927	-3,9014	-2,5463	-1,3711	-2,8851	2,6185	1,3800	436,0594	4,2308	9,2951	167,3095	10,7749	5,1053	2,7360	29,4032	8,6986
50	Bujanovac	L	3	0,5851	4,1063	3,0447	0,5865	-2,2613	-3,7497	-2,6872	-2,2067	-1,9181	2,6185	1,3602	412,6659	4,4362	7,5992	154,7753	10,8742	5,7206	2,2336	28,3015	9,5918
51	S.Cerovc kod Sm.Pal.	L	3	0,9653	4,6821	15,5391	0,9397	-2,1695	-3,9014	-1,0887	-0,5440	-1,9181	1,6959	1,3515	397,8183	4,5201	1,1187	169,1199	8,9025	8,4874	4,3861	24,5684	10,2785
52	Heba, Bujanovac	L	3	1,2395	3,4942	14,5152	0,3114	-2,2927	-4,1386	-2,6872	-4,9429	-2,7157	2,3748	1,3782	376,4223	4,3165	7,8966	146,2728	11,7752	5,1572	1,9050	27,7463	9,2433
53	Leštane	L	4	1,4055	3,2615	5,7533	-1,4380	-2,1513	-3,5437	-3,6708	-4,9429	-2,2369	2,2041	1,4439	405,5370	6,8864	3,9984	89,6976	4,0343	1,3930	1,1100	27,5980	2,0437
54	Bujanovac	M	3	0,0750	2,9659	10,6627	-0,4656	-2,2344	-3,9014	-4,2734	-2,6370	-2,5719	2,0903	1,3447	246,8409	3,6627	7,4313	109,3651	7,8048	5,0229	3,0863	22,7358	5,8429
55	Bujanovac	M	3	0,4924	2,0560	11,7760	-0,1937	-2,2344	-3,9014	-4,2734	-3,3231	-2,3361	1,9989	1,4240	246,8409	3,1092	6,9916	109,3651	8,1536	4,9530	2,3139	22,8365	6,4398
56	Sm. Palanka	M	4	1,0996	3,6912	14,1508	-0,7438	-2,2613	-3,9014	-2,2176	-1,6543	-2,1468	2,1859	1,3999	376,5003	3,0934	4,6773	158,8057	6,4128	9,9724	4,5812	12,8629	4,3179
57	Bujanovac	M	3	1,1178	2,4405	12,2937	0,0964	-2,2344	-3,9014	-3,3119	-2,6370	-2,2369	2,4720	1,3515	405,3863	4,4185	8,4302	156,2556	10,9402	6,1421	2,9020	28,6418	8,0103
58	Bujanovac	M	3	1,4574	2,3226	13,8926	0,4554	-2,2107	-3,7497	-2,6872	-2,6370	-2,4468	2,2300	1,4398	342,8284	4,1430	8,6958	150,2669	9,9178	2,6817	2,6124	29,8293	8,9984
77	Aleksandrovac	P	3	-0,7481	2,9216	5,2304	-1,9627	-2,2927	-4,1386	-4,5781	-5,6362	-2,3361	2,0550	1,3648	180,1066	4,3420	6,6462	50,3547	4,2435	6,8611	3,7044	4,5754	0,3487
79	Ljig	P	3	-0,3936	3,1644	8,9570	-0,7438	-2,3313	-4,1386	-2,4237	-2,9318	-2,3361	2,2976	1,3775	191,9378	3,9632	1,5819	78,3006	5,9922	4,3667	2,3962	16,9651	4,2287
80	Prolom banja	P	1	-0,2913	3,2534	6,0441	-2,0956	-2,3313	-4,1386	-5,0491	-6,0756	-2,3361	2,1702	1,4074	123,3851	2,1368	7,5094	40,7090	4,9663	4,4246	-0,2335	12,4802	-0,6864
81	Ljig	P	3	-0,2572	3,3290	8,9657	-1,0429	-2,3313	-4,1386	-2,3151	-3,3464	-2,2369	1,9989	1,3775	192,9968	4,0848	0,0960	79,1676	6,2622	4,3018	2,4155	16,9175	4,2646

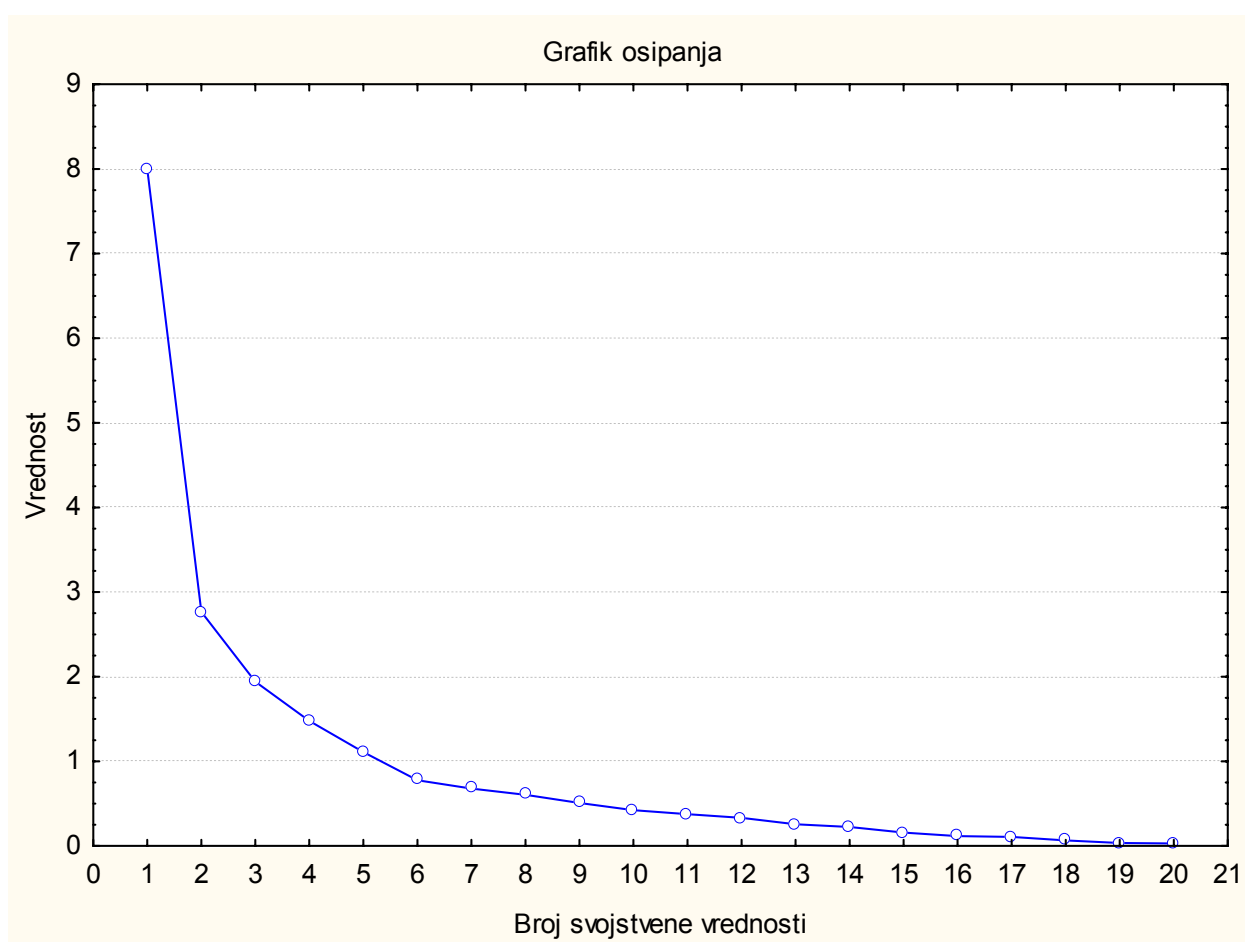
R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	t	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
82	Vranje	P	1	-0,2498	1,9861	9,1914	0,5666	-2,2107	-3,7497	-2,2176	-2,4018	-2,2369	2,1197	1,4434	434,8926	3,9906	7,8763	157,7251	11,9400	5,7587	2,5571	29,2185	9,5182
83	Kruševica	P	3	-0,2277	3,9924	12,3797	-0,8617	-2,2344	-4,1386	-0,7667	-0,1173	-1,4017	2,2572	1,3005	246,8409	2,4537	1,9583	101,3578	10,3441	8,5874	3,4449	9,3744	2,4776
84	Lazarevac	P	3	-0,0765	4,1598	13,9347	0,9711	-2,2344	-4,1386	-1,9733	-0,4746	-2,4468	2,2572	1,3045	287,8685	3,0128	2,2009	122,7407	9,3945	5,9650	3,5894	21,2367	9,4577
85	Vranje	P	1	-0,0651	1,9861	8,5135	0,5666	-2,2107	-3,6358	-2,2176	-2,3001	-2,2369	2,1197	1,4347	447,5062	4,0304	8,0224	162,9294	11,4822	5,9815	2,6208	29,2185	9,5613
87	flaširana Trstenik Nova Sloga	P	3	0,0516	3,3946	8,5942	-1,2974	-2,3313	-4,1386	-2,6872	-4,0107	-2,2369	2,1015	1,3159	286,1035	2,7016	-0,6563	37,4552	9,6005	4,0035	4,9212	11,9530	3,5562
88	Kraljevo	P	3	0,2288	3,1644	7,9719	-1,4007	-2,3313	-4,1386	-3,8663	-4,8665	-1,9885	2,3188	1,4240	184,4487	4,7762	1,9343	65,5276	5,1669	2,2997	1,1449	17,2234	1,8085
89	Ljig	P	3	0,5419	3,3290	10,3248	-1,0939	-2,3313	-4,1386	-2,3151	-2,7753	-2,2369	2,4226	1,3712	193,3140	3,8976	1,1187	79,6207	5,8384	4,7379	2,5171	16,4028	4,5901
90	Bujanovac	P	3	0,6150	3,6282	10,6529	-0,2172	-2,2344	-3,7497	-3,3119	-3,1118	-2,4468	2,3828	1,3775	334,6477	4,2534	7,8763	153,2840	8,4699	6,6879	2,9684	27,0327	7,3010
91	Veluće Trstenik	P	3	0,6943	3,3946	9,4378	-1,0184	-2,2927	-3,9014	-2,6872	-2,9318	-3,3557	2,3748	1,3005	288,7491	2,5774	-0,6563	125,5616	9,5189	3,6580	4,8599	9,5308	3,3540
92	Arandelovac	P	3	0,7373	4,4690	15,5126	0,5865	-2,1695	-3,5437	-0,5920	-1,3305	-1,4427	2,5246	1,3515	309,5319	2,7220	0,4188	153,2840	8,5631	5,4243	2,1552	27,8225	8,6700
94	Trstenik	P	3	0,8782	3,3946	8,5942	-2,2634	-2,3313	-3,9014	-2,6872	-4,0107	-2,2369	2,1015	1,3159	286,1035	2,7016	-0,6563	125,8758	9,6005	4,0035	4,9169	11,9530	3,5562
95	Heba-Bujanovac	P	3	0,9774	3,3946	12,3236	0,4262	-2,2927	-3,9014	-2,6872	-2,5134	-3,3557	2,2438	1,4074	403,8024	3,9964	8,1611	153,2840	11,3150	6,2870	3,2374	29,4948	6,7938
96	Bujanovac	P	3	0,9938	1,9861	5,7377	-0,9945	-2,1892	-3,5437	-1,9039	-6,0756	-1,9181	2,2703	1,3419	364,0114	3,9249	7,2949	143,4573	10,2535	6,3865	3,6213	25,5786	6,2336
97	Tulara banja, opština Prokuplje	P	3	1,0256	1,9861	14,8466	0,2627	-2,1892	-3,7497	-2,2176	-0,3944	-0,9558	2,2879	1,3862	405,6123	5,0378	1,2005	146,7070	7,2329	3,8006	2,0380	28,4580	6,5676
98	Bujanovac Raovac	P	3	1,4679	2,2776	6,6848	0,5666	-2,1892	-3,7497	-3,6708	-3,1118	-3,0914	2,4297	1,3849	388,7257	3,8696	7,9834	163,0151	11,2484	6,0563	2,7768	29,1253	8,5613
99	Rudovci	P	3	1,4759	4,3101	14,4693	0,8135	-2,2344	-4,1386	-1,2815	-1,8303	-1,9885	2,3072	1,3159	525,7118	5,6390	1,8342	182,3130	13,6365	6,6576	3,6504	31,0633	9,7849
100	Bujanovac	P	3	1,6476	1,9861	8,7393	0,4840	-2,2613	-3,7497	-2,6872	-3,8972	-2,2369	2,6705	1,3635	406,7416	4,0552	7,3479	153,2840	11,5775	5,1444	2,1517	28,2847	9,4981
101	Sm. Palanka	P	3	1,8765	4,0374	15,5126	1,2603	-2,1695	-3,7497	-1,0599	-1,5512	-2,1468	2,6987	1,3775	482,0511	6,2675	3,5794	207,4055	8,4699	4,4055	1,9806	35,4091	10,9204
108	Arandelovac	PK	3	-0,6877	2,5390	8,7393	-0,9259	-2,2613	-3,9014	-3,6708	-6,0756	-2,4468	2,5811	1,3837	175,7162	2,3126	1,8599	82,6857	8,8724	5,4243	3,9247	13,3594	3,9279
109	Rim.bunar-buš.	PK	3	-0,6066	3,9653	11,8827	-0,2172	-2,1343	-3,3983	-1,7213	-6,0756	-0,6871	2,3748	1,3582	267,7141	3,5055	4,4066	120,4835	8,4699	5,7127	3,7015	21,2691	9,6202
113	Bukovička banja	PK	3	0,2166	4,2156	13,4173	0,5666	-2,2344	-3,7497	-0,8100	-1,3711	-2,5719	2,5712	1,3005	328,8663	2,6523	0,2679	142,0969	8,4699	5,1524	1,9363	25,8118	8,0103
114	Bukovička banja	PK	3	0,3622	4,1076	12,6931	0,4262	-2,2344	-3,7497	-0,5570	-1,3305	-2,4468	2,5452	1,3159	380,9314	2,7220	0,9864	171,8762	8,4699	6,0807	2,0725	29,4948	9,9925
115	Bukovička banja	PK	3	0,5803	4,6871	13,7073	0,4769	-2,2927	-3,9014	-0,5399	-2,2067	-3,3557	2,2438	1,3005	333,8246	2,9609	1,8342	150,2669	8,4699	6,4663	2,7064	27,4534	8,9162
116	Arandelovac	PK	3	0,8118	4,2768	15,0282	1,0270	-2,1343	-3,7497	-0,5066	-1,5032	-1,3244	2,5385	1,3648	420,3321	2,8484	-0,6563	178,6211	10,5363	6,2924	2,4467	29,8740	10,7286
117	Arandelovac	PK	3	0,9238	3,8210	11,3073	0,0000	-2,2344	-3,7497	-2,3151	-2,6370	-2,4468	2,3119	1,3377	374,9399	3,9289	8,0482	148,7712	11,3980	5,1968	3,3123	27,9235	7,3915
118	Arandelovac	PK	3	0,9406	4,6665	15,8956	0,4981	-2,1695	-3,5437	-3,3119	-5,1093	-1,9885	2,2438	1,3196	390,1839	2,7872	-1,4199	149,8102	10,5511	6,5059	2,7621	26,1548	9,0255
119	Arandelovac	PK	3	1,2361	4,0846	13,5462	0,7011	-2,2107	-3,9014	-2,2176	-1,4573	-2,2369	2,6433	1,3582	414,8309	3,8521	8,0610	163,3573	10,2769	5,7594	2,1286	30,5135	9,3298
120	Arandelovac	PK	3	1,3635	4,0950	15,8176	1,0763	-2,1892	-3,6358	-1,3177	-3,1118	-2,2369	2,5687	1,3712	412,8901	3,2385	-0,6563	182,5745	6,0424	6,7325	3,3000	30,1134	10,4990
121	Arandelovac	PK	3	1,4786	3,9891	13,7475	0,4910	-2,2107	-3,7497	-2,2176	-2,6370	-2,2369	2,6577	1,3582	401,7618	3,8675	8,0482	160,1991	12,4667	5,1200	1,9015	30,6931	9,1729
122	Bujanovac	PL	3	-1,3703	2,4405	6,5567	-1,6545	-2,2107	-3,6358	-2,8529	-4,9429	-2,4468	2,3748	1,3635	73,9056	3,3089	4,1536	33,5832	7,8611	4,8602	5,7501	5,9646	1,7583
123	Bujanovac	PL	3	-1,1996	1,9861	4,4809	-1,8200	-2,2613	-3,7497	-2,4237	-4,9429	-2,5719	2,3748	1,3712	35,3359	3,3314	5,4339	33,0055	8,4699	5,8826	3,6908	6,1293	10,4206
124	S.Cerovc kod	PL	3	0,8070	4,0686	11,1463	-0,6894	-2,2107	-3,6358	-2,0480	-1,6543	-2,2369	2,2158	1,3377	361,3154	2,4448	1,8599	164,6357	11,2376	9,4906	4,7712	14,5491	6,2077

R. broj	Poreklo	TVS	HS	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	t	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
	S.Palanke																							
125	Bujanovac	PL	3	1,1876	1,9861	12,9262	0,4262	-2,1892	-3,7497	-3,6708	-4,9429	-2,2369	2,3748	1,3958	397,8183	3,9206	8,0863	159,1840	10,2953	1,6869	2,2815	29,7666	8,4730	

TVS- tip vodonosne sredine; HS- hidrogeološka struktura; MO - mineralni ostatak; UA - ukupna alfa aktivnost; UB - ukupna beta aktivnost; T - temperatura; EP - elektroprovodljivost;

#### 4.2.2.2 Analiza glavnih komponenata karakteristika grupe 5M mineralnih voda Srbije

PCA- analiza glavnih komponenata sprovedena je za identifikaciju i prepoznavanje strukture parametara hidrohemije i radioaktivnosti kao i za pomoć u interpretaciji podataka karakteristika grupe 5M mineralnih voda Srbije. Ulazni skup podataka se sastojao od matrice dimenzija 60x20, u kojoj su redove predstavljale analizirane mineralne vode (60 objekata), a kolone specifični analizirani parametri (promenljive): mineralni ostatak, pH, T, EP, glavni joni ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )  $\text{SiO}_2$  i radionuklidi (UA, UB,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ).



Slika 4.12: Grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe 5M mineralnih voda Srbije

Na slici 4.12 prikazan je grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe 5M mineralnih voda. U ovom slučaju je za broj glavnih komponenti određena vrednost 4, jer je sa 4 komponente objašnjeno preko 70,8% varijanse kao što može da se vidi iz tabele 4.24.

**Tabela 4.24: Svojstvene vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe 5M mineralnih voda Srbije**

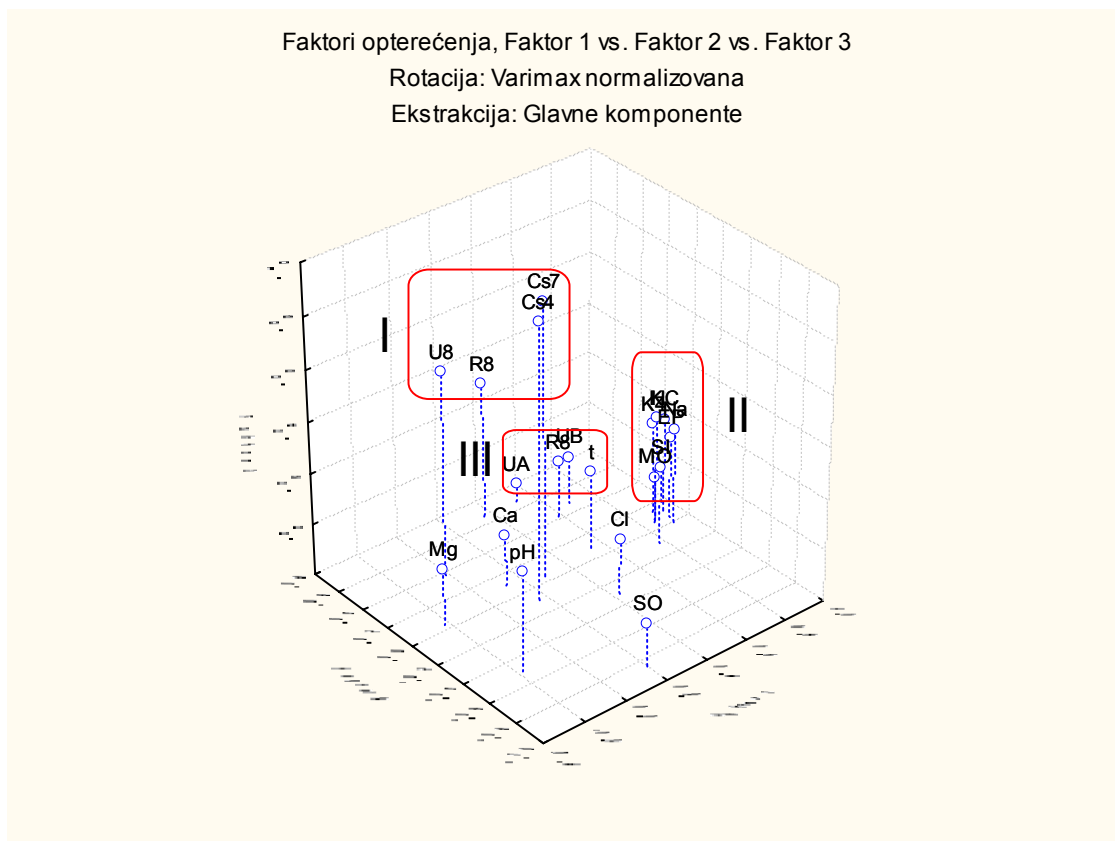
Broj glavne komponente	Svojstvena vrednost	% Ukupne varijanse	Svojstvena vrednost kumulativno	Kumulativni %
1	8,021605	40,00802	8,00160	40,00802
2	2,766767	13,83384	10,76837	53,84186
3	1,942225	9,71113	14,18913	63,55299
4	1,478530	7,39265	15,29910	70,94564

U tabeli 4.25 prikazane su strukture faktora 20 fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na četiri značajne glavne komponente za mineralne vode Srbije. PCA redukuje broj parametara na 4 skrivena faktora objašnjavajući 70,8% varijanse uzoraka odgovorne za formiranje strukture podataka. Rotirana struktura faktora za svaki parametar je predstavljena u tabeli 4.25. Strukture faktora predstavljaju učešće posmatranih promenljivih za pojedine faktore (tj. korelacione koeficijente  $>0,7$ ) i označene su masnim slovima u tabeli. Prvi faktor (PC1) je pozitivno korelisan sa EP ( $r=0,92$ ),  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,90$ ), MO ( $r=0,85$ ),  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,94$ ),  $\text{Na}^+$  ( $r=0,91$ ),  $\text{K}^+$  ( $r=0,87$ ), i  $\text{SiO}_2$  ( $r=0,77$ ), računato na oko 40,0% ukupne varijanse skupa podataka i može uslovno da se nazove „mineralizacioni“ faktor ili faktor „vremena zadržavanja“ [100] jer ove interakcije potiču iz geoloških komponenata nalazišta. PC2 (13,7%) je karakterisana negativnim vrednostima  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r=-0,85$ ) u strukturi faktora. PC3 pokriva 9,7% ukupne varijanse i jasno se karakteriše visoko pozitivnim vrednostima  $^{137}\text{Cs}$  ( $r=0,86$ ) i  $^{134}\text{Cs}$  ( $r=0,87$ ) u strukturi faktora.

**Tabela 4.25 . Struktura faktora 20 fizičko-hemijskih i radioloških promjenljivih na četiri značajne glavne komponente za grupu 5M mineralnih voda Srbije**

Struktura faktora (Varimax normalizovana) Ekstrakcija: Glavne komponente (Masnim slovima su označena opterećenja >0,700000)					
Parametri	Skraćenice	Strukturni faktori			
		PC1 (40,0%)	PC2 (13,7%)	PC3 (9,7 %)	PC4 (7,4 %)
pH	pH	-0,180484	-0,504293	0,187619	0,437743
Temperatura	T	0,543563	0,089544	0,103674	0,316643
Elk. provodljivost	EP	<b>0,925964</b>	0,043821	0,121478	0,007446
Ukupna alfa	UA	0,524520	0,661692	-0,129852	-0,084497
Ukupna beta	UB	0,682228	0,474346	-0,010612	0,003009
<sup>40</sup> K	K4	<b>0,897074</b>	0,137348	0,155671	0,028791
<sup>137</sup> Cs	C7	0,279289	0,044914	<b>0,864000</b>	-0,055796
<sup>134</sup> Cs	C4	0,160603	-0,097603	<b>0,869067</b>	0,025107
<sup>226</sup> Ra	R6	0,357289	0,660280	0,333754	-0,184903
<sup>228</sup> Ra	R8	0,585970	0,414902	0,021151	-0,169809
<sup>238</sup> U	U8	-0,013491	0,370320	0,595969	0,110019
Ukupne rastvorene materije	MO	<b>0,853649</b>	0,058416	-0,014729	0,171406
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HC	<b>0,935830</b>	0,111283	0,173215	-0,063324
Cl <sup>-</sup>	Cl	0,426293	-0,310899	0,017216	0,194293
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO	0,198881	<b>-0,856559</b>	-0,030352	-0,010949
Na <sup>+</sup>	Na	<b>0,912922</b>	-0,004237	0,174827	0,277180
K <sup>+</sup>	K	<b>0,867561</b>	0,078601	0,209704	-0,042513
Ca <sup>2+</sup>	Ca	0,123150	0,107243	-0,000708	<b>-0,817449</b>
Mg <sup>2+</sup>	Mg	-0,221719	0,038491	0,022095	<b>-0,795173</b>
SiO <sub>2</sub>	Si	<b>0,773635</b>	-0,100374	0,106216	-0,268397
Objašnjena varijablansa		7,380434	2,578150	2,188454	1,901241
Učešće u ukupnoj varijaciji		0,369022	0,128907	0,109423	0,095062

PC4 pokriva oko 7,4% ukupne varijanse i karakteriše se visoko negativnim vrednostima Ca<sup>2+</sup> (r=-0,82) i Mg<sup>2+</sup>. (r=-0,79) Ove dve komponente strukture faktora mogu uslovno da se nazovu komponente „tvrdoće“ jer ova dva jona se često koriste za izračunavanje tvrdoće [101], i tipično je da su povezane sa rastvaranjem karbonatnih stena u ovim vodenim nalazištima.



**Slika 4.13: Grafik zavisnost faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu 5M mineralnih voda**

Na slici 4.13 je prikazan dijagram faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu 5M mineralnih voda. Sa dijagrama može da se zapazi postojanje 3 klastera karakteristika grupe 5M mineralnih voda. U gornjem levom klasteru I na dijagramu su grupisane sledeće karakteristike:  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$  i  $^{228}\text{Ra}$ . U klasteru II sa desne strane su grupisani  $\text{MO}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SiO}_2$ , a u klasteru III sa donje leve strane su grupisani: UA, UB,  $^{226}\text{Ra}$  i temperatura.

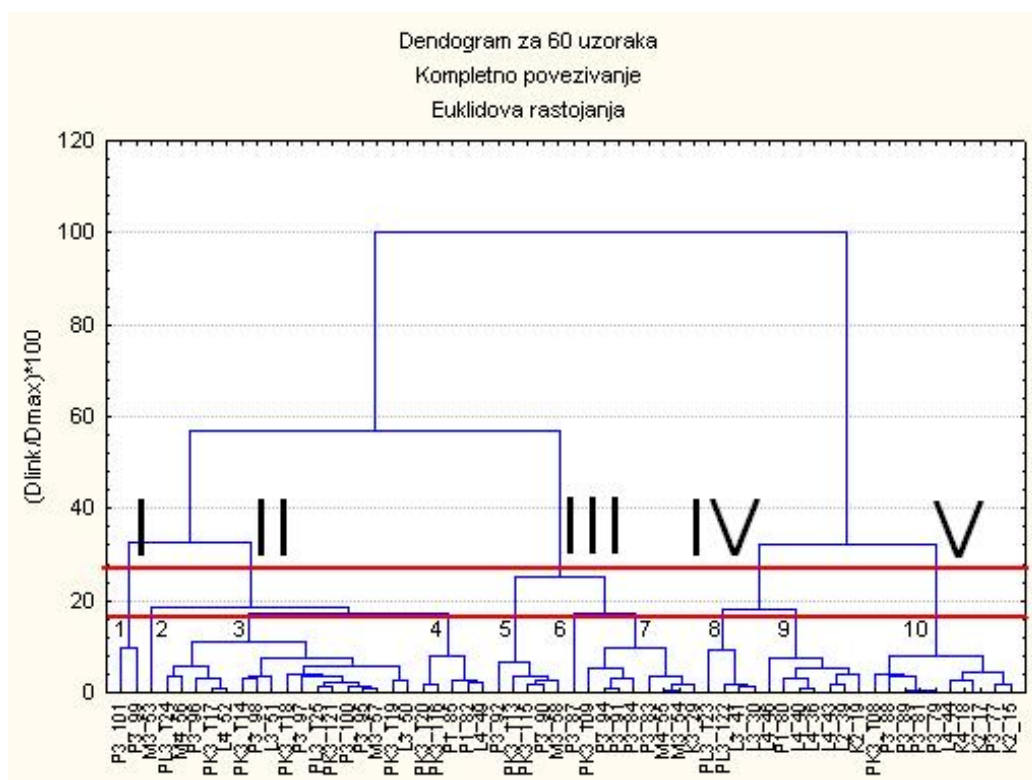




Na slikama 4.14 i 4.15, PC1 u funkciji PC2 i PC3 u funkciji PC4 se ne uočava grupisanje uzoraka u klastere ni po hidrogeološkoj strukturi akvifera ni po tipovima vodonosnih sredina.

#### 4.2.2.2.3 Klaster analiza rezultata ispitivanja karakteristika grupe 5M mineralnih voda

Klaster analiza se koristi za klasifikaciju voda u grupe objekata. Subjektivna procena je urađena izborom horizontalne linije [102] preko dendograma na Euklidovom rastojanju od oko 28% (slika 4.16) na osnovu vizuelne procene kako bi se dobila 5 klastera (glavne grupe) što je rezultovalo iz PCA.



Slika 4.16: Dendrogram dobijen klaster analizom uzorkovanih mesta sa fizičko-hemijskim i parametrima radioaktivnosti za 60 mineralnih voda.

Analizirane vode na slici 4.16 su označene na taj način što prvo slovo oznake označava tip vodonosne sredine, druga oznaka broj hidrogeološke strukture a jednocifreni ili dvocifreni broj redni broj uzorka iz tabele 4.22. Dobijeni dendogram pokazuje 5 glavnih grupa (I-V) kao i veći broj podgrupa. Izborom podele na podgrupe korišćenjem 15%-ne različitosti, što daje jasnu razliku u pogledu hidrogeoloških i fizičko-hemijskih promenljivih, dobijeno je 10 podgupa sličnih fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika. Uzorci su podeljeni po klasterima za svaku podgrupu i srednje vrednosti za svaki parametar su prikazani u tabeli 4.26. Ove vrednosti za svaki sastav podgupa dobijen HCA analizom otkriva trendove između njih i one su osnova za pravljenje razlika između podgrupa.

**Tabela 4.26: Srednje vrednosti za fizičkohemijske i parametre radioaktivnosti podgrupa 5M mineralnih voda izvedenih iz HCA**

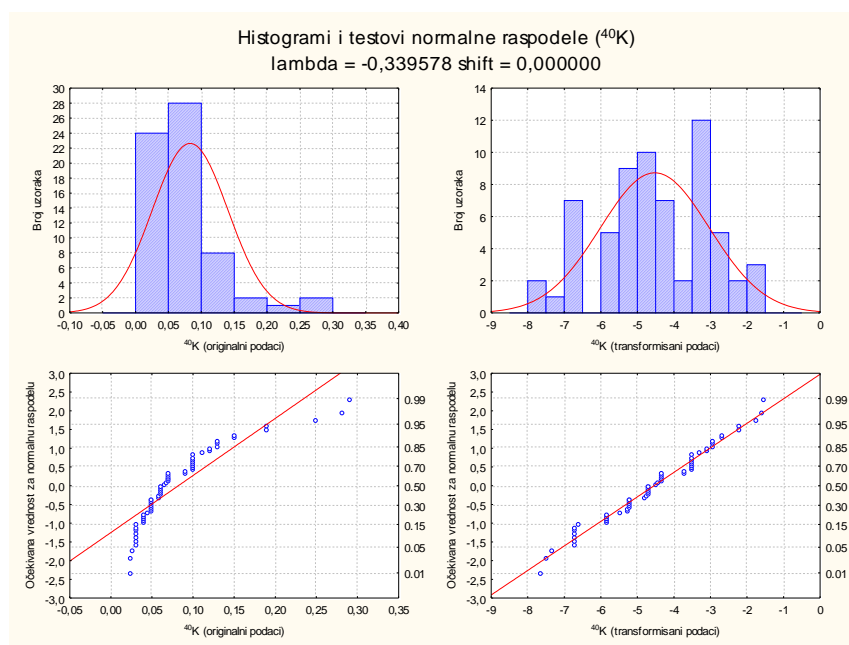
Grupa	Podgrupa	n	pH	T	EP	TS	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>228</sup> U	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs
				[°C]	[μS/cm]	[g/l]	[mg/l]							[mBq/l]		[Bq/l]						
I	1	2 (101,99)	6,8	36,2	5080	3,539	4445	1675	82,7	77,4	34,4	377,5	11,0	96,9	450	2328	2,550	0,305	0,215	0,120	0,007	0,002
II	2	5 (53)	8,5	18,6	3702	2,997	1130	1004	4,7	3,6	3,2	896,3	22,1	12,2	71	61	0,170	0,020	0,020	0,100	0,009	0,005
	3	17 (124, 56, 96, 117, 52, 114, 98, 51, 118, 97, 125, 121, 100, 95, 57, 119, 50)	7,1	28,0	3522	2,426	3018	977	51,4	139,5	53,2	54,6	111,9	79,0	306	1220	1,348	0,117	0,176	0,114	0,006	0,003
	4	5 (120, 116, 85, 82, 49)	7,7	29,5	4036	1,630	3483	1208	73,4	87,1	21,2	43,1	128,5	78,5	218	1398	2,100	0,226	0,170	0,122	0,006	0,003
III	5	5 (92, 113, 115, 90, 58)	7,0	27,6	2744	1,925	2787	1009	52,0	71,4	16,0	35,4	81,6	54,1	590	1665	1,468	0,332	0,176	0,098	0,005	0,003
	6	1 (87)	6,4	15,5	2230	1,052	249	120	10,2	25,2	329,0	17,7	0,5	65,2	90	235	0,210	0,060	0,037	0,100	0,002	0,001
	7	8 (109, 94, 91, 84, 83, 55, 54,29)	6,8	20,2	2002	1,232	1763	367	37,6	87,1	112,7	24,0	41,9	57,0	155	720	0,718	0,114	0,228	0,145	0,005	0,002
IV	8	4 (123, 122, 41,30)	7,4	19,1	283	0,167	191	25,1	23,4	51,8	298,0	22,4	34,1	41,5	12	67	0,310	0,058	0,240	0,083	0,005	0,004
	9	7 (46, 80, 40, 36, 43, 39, 19))	7,3	17,6	604	0,378	488	84,2	2,4	65,8	28,3	11,2	39,8	18,5	24	213	0,092	0,065	0,014	0,126	0,004	0,002

### 4.2.2.3 Grupa voda M mineralnih voda

#### 4.2.2.3.1 Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka grupe M mineralnih voda Srbije

U tabeli 4.27 prikazani su rezultati ispitivanja karakteristika mineralnih voda grupe M po vrstama vodonosnih sredina i po hidrogeološkoj strukturi akvifera. Testovi normalnosti raspodele originalnih podataka merenih karakteristika mineralnih voda grupe M Srbije nisu prošli Liliefors-a i Shapiro-Wilk-ov test zato je urađena Box-Cox [97] transformacija originalnih podataka, a transformisani podaci su prikazani u tabeli 4.28.

Na slici 4.17 su prikazani rezultati uporedo za originalne vrednosti i za transformisane vrednosti aktivnosti  $^{40}\text{K}$ . Raspodela transformisanih podataka svih merenih karakteristika je znatno bliža normalnoj raspodeli od netransformisanih (originalnih) podataka.



Slika 4.17: Histogrami i testovi normalne raspodele za originalne i Box-Cox transformacijom transformisane podatke aktivnosti  $^{40}\text{K}$

Tabela 4.27: Karakteristike voda grupe M mineralnih voda

R.br.	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
1	flaširana Zlatibor Gostilje	K	3	0,057	10	20	0,090	0,006	0,003	0,060	0,020	0,090	9	7,6	180	7,7	7,6	128	10,8	32	2,4	2,98	0,52
2	Ljuba Rdevik	K	2	0,090	10	20	0,059	0,005	0,002	0,008	0,013	0,007	12	7,8	350	1,9	2,5	293	9,5	16,8	52	1,42	0,1
3	Kovilj-Ivanjica	K	2	0,090	10	37	0,100	0,007	0,003	0,080	0,020	0,100	10	7,6	283	0,9	4,6	207	4,9	67,3	5,6	1,75	0,2
4	Valjevo	K	2	0,134	12	30	0,070	0,004	0,002	0,090	0,020	0,080	16,7	7,4	295	2,8	5	397	14,6	70,5	29,5	1,67	1,3
5	MionicA	K	2	0,142	16	86	0,100	0,006	0,003	0,100	0,020	0,100	28	7,7	488	0,9	15,7	421	14,4	34,4	17	74,9	4,05
6	Novi Sad	K	2	0,177	14	50	0,120	0,004	0,002	0,090	0,010	0,070	16,7	7,2	365	4,2	27,9	400	14,6	72	45	6,1	2,82
7	Knjaževac	K	2	0,186	10	20	0,050	0,005	0,003	0,080	0,020	0,100	9	7,3	460	1,2	13	360	14,6	110	7	1,78	0,38
8	Vujic Valjevo	K	2	0,212	22	35	0,040	0,006	0,003	0,080	0,020	0,100	20,3	7,5	470	2,8	4,6	415	11,3	93,3	23,6	3,23	0,78
9	Vujic Valjevo	K	2	0,238	12	39	0,060	0,005	0,002	0,070	0,020	0,070	23	7,5	451	2,4	5,8	384	11,5	95,7	11,9	3,39	0,77
10	Staro hopovo, Irig mv sumporna	K	2	0,276	20	49	0,070	0,003	0,001	0,071	0,025	0,110	14,5	7,6	680	54,2	5,5	402,7	26,5	27,9	33,6	82,4	3,41
11	Sokolac	K	2	0,335	10	36	0,040	0,002	0,002	0,040	0,020	0,030	8,3	7,3	348	2,6	4,5	281	4,2	90,1	4,9	2,1	0,6
12	flaširana Zlatibor Gostilje	K	2	0,338	20	34	0,049	0,001	0,001	0,005	0,005	0,100	14,5	7,9	470	1,4	17,6	353,2	10,1	62,7	30,5	4,51	0,871
13	Zlatibor Gostilje	K	2	0,338	20	34	0,049	0,001	0,001	0,005	0,005	0,100	14,5	7,9	470	1,4	17,6	353,2	10,1	62,7	30,5	4,51	0,871
14	Ljuba Rdevik	K	2	0,381	70	182	0,130	0,002	0,001	0,010	0,010	0,080	18,6	7,1	760	16,2	21,6	509,7	12,6	97,4	44,6	23,4	2,37
16	Zlatibor hotel Olimp	K	2	0,390	20	10	0,025	0,002	0,001	0,004	0,005	0,045	10,2	8,2	460	27,1	10,5	271,3	36	13,3	59,5	1,36	0,232
20	Gornji Banjani, Rajac Ljig	K	2	0,421	26	54	0,067	0,002	0,001	0,029	0,034	0,050	16,7	7,5	520	12	21,4	360	14,6	83	18	3,26	1,75
21	izvor Paraćin	K	2	0,426	20	45	0,058	0,001	0,001	0,005	0,009	0,087	15,1	7,3	490	2,8	4,9	369,7	7,42	85,4	22,6	2,28	0,859
22	Bistrica Gradac	K	2	0,430	20	53	0,045	0,003	0,001	0,046	0,012	0,120	14,6	7,4	490	2,1	20,6	348,4	14,7	55,5	34,9	6,36	1,25
23	Valjevo	K	2	0,431	40	83	0,050	0,003	0,002	0,015	0,013	0,100	24	7,6	530	8,5	21,4	427	14,6	91	17	2,8	0,9669
24	Bistrica Gradac	K	2	0,447	37	87	0,031	0,007	0,003	0,050	0,020	0,085	17,7	7,5	480	2,1	21,1	343,5	14,5	55,4	35,2	5,85	1,25
25	Rgošte Knjaževac	K	2	0,449	15	316	0,060	0,004	0,003	0,010	0,020	0,090	27,7	7,1	510	5,1	15	415	14,6	99	20	4,5	0,7
26	Valjevo	K	2	0,463	20	11	0,060	0,003	0,002	0,006	0,012	0,130	21	7,4	550	10	21,4	397	14,6	92	13	2,72	0,965
27	Gornji Banjani, Rajac Ljig	K	2	0,486	10	52	0,070	0,002	0,003	0,010	0,010	0,090	12	7,33	550	1,9	18	354	14,6	93	19	3,9	1,4
28	Gostilje Zlatibor	K	2	0,696	60	141	0,050	0,008	0,002	0,006	0,011	0,100	16,7	7,40	400	0,7	3,9	278,5	3,4	89,4	3,5	0,6	0,5
31	Petrovo selo	L	4	0,110	10	30	0,024	0,004	0,002	0,090	0,020	0,070	9,0	7,40	390	2,7	5,0	287,0	6,4	88,5	4,4	1,9	0,4
32	Bujanovac	L	3	0,113	10	26	0,100	0,007	0,004	0,100	0,020	0,080	12,0	7,10	386	21,7	32,4	183,0	43,2	44,8	12,9	27,7	2,8
33	S Mitrovica Salas Noćaski Mačva	L	4	0,143	10	72	0,150	0,005	0,003	0,020	0,020	0,110	38,8	7,10	450	3,7	4,5	350,0	22,1	16,3	7,4	105,1	0,7

R.br.	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
34	Arandelovac	L	3	0,159	10	41	0,130	0,009	0,003	0,110	0,030	0,110	13,0	7,06	296	14,9	21,0	165,0	47,3	37,2	8,8	23,0	2,0
35	Vršac	L	4	0,163	18	100	0,150	0,005	0,003	0,080	0,010	0,090	14,7	7,85	253	11,8	22,9	134,0	31,5	37,6	14,1	12,1	1,9
37	Jagodina	L	4	0,211	10	53	0,100	0,005	0,004	0,080	0,010	0,080	14,8	7,31	544	7,2	24,1	439,0	25,9	78,9	42,1	29,8	6,1
38	Kula	L	2	0,215	16	299	0,050	0,005	0,003	0,070	0,010	0,060	16,7	7,90	583	5,6	5,3	488,0	18,3	26,8	34,8	103,0	0,7
42	Bujanovac	L	4	0,270	15	65	0,090	0,005	0,003	0,090	0,020	0,110	14,2	7,50	530	4,4	11,0	457,0	24,8	66,0	41,0	17,3	1,5
45	Mihailovac	L	4	0,510	30	111	0,050	0,007	0,002	0,005	0,010	0,110	16,0	8,00	730	14,0		500,0	24,8	73,0	47,0	37,1	1,2
47	Kula	L	4	0,571	10	183	0,030	0,002	0,001	0,010	0,010	0,070	18,3	7,60	640	3,3	0,5	530,0	18,4	30,0	31,0	110,0	0,7
48	Mihailovac	L	4	0,772	30	59	0,060	0,003	0,003	0,025	0,035	0,160	15,7	7,30	740	9,7	7,6	573,0	24,8	83,0	48,0	29,4	1,2
59	Golija Novopazarska strana	P	3	0,006	10	20	0,100	0,004	0,002	0,080	0,020	0,060	7,3	7,04	47	2,8	0,5	26,7	9,5	5,2	1,5	1,7	1,1
60	Vlasinka izvor 7, Surdulica	P	1	0,014	10	20	0,040	0,004	0,003	0,090	0,010	0,070	7,0	7,28	73	1,0	5,9	43,0	13,6	10,0	1,9	3,0	1,0
61	Vlasinka izvor 8	P	1	0,016	10	20	0,070	0,005	0,003	0,090	0,010	0,080	8,0	7,22	70	1,0	5,9	43,0	13,4	9,6	1,2	3,0	1,0
62	Vlasinka izvor 10	P	1	0,031	10	20	0,070	0,004	0,002	0,090	0,010	0,050	7,0	7,51	94	1,0	4,2	61,0	10,2	16,0	1,5	2,0	1,0
63	Bojnik	P	3	0,044	10	97	0,050	0,003	0,002	0,020	0,020	0,080	18,5	6,20	200	1,2	12,0	29,6	49,8	8,2	1,5	4,7	2,4
64	Vlasinka izvor 7.	P	1	0,052	10	48	0,030	0,006	0,002	0,070	0,010	0,080	16,0	7,88	56	1,3	4,9	37,0	13,8	11,6	1,0	2,9	0,6
65	Vlasinka izvor 6.	P	1	0,052	11	47	0,030	0,004	0,001	0,070	0,040	0,080	16,0	7,73	49	1,3	4,0	30,0	14,5	7,6	1,2	2,8	0,7
66	Vlasinka izvor 1.	P	1	0,055	11	42	0,060	0,005	0,001	0,060	0,010	0,060	16,0	7,87	56	1,3	2,5	30,0	15,7	8,0	0,7	3,3	0,6
67	Gornji Statovac	P	3	0,063	10	54	0,250	0,006	0,003	0,100	0,020	0,080	14,1	7,30	151	1,5	1,8	100,0	53,3	16,8	10,0	8,0	3,7
68	Batote Brus	P	3	0,094	10	30	0,06	0,004	0,003	0,07	0,01	0,06	11,0	8,40	340	2,5	16,7	268,0	11,2	72,9	9,2	4,8	0,6
69	Novo Selo	P	3	0,100	10	73	0,190	0,008	0,003	0,140	0,030	0,300	17,5	7,82	284	2,9	2,6	274,5	37,6	12,0	32,9	30,0	2,0
70	Kriva reka	P	3	0,114	10	30	0,060	0,004	0,003	0,060	0,010	0,070	11,0	7,00	497	3,2	8,9	403,0	6,2	118,0	4,4	2,9	0,4
71	Komirić kod Valjeva	P	3	0,124	10	30	0,1	0,005	0,003	0,08	0,02	0,07	14,0	7,20	408	4,8	20,3	287,0	12,5	85,7	9,5	5,5	1,1
72	Kraljevo	P	3	0,125	10	20	0,100	0,003	0,001	0,050	0,010	0,040	16,1	7,50	488	2,3	4,4	415,0	23,0	39,6	47,6	19,7	1,7
73	Gornja Trepča	P	1	0,130	10	20	0,280	0,009	0,005	0,180	0,020	0,180	32,0	8,02	474	7,4	23,8	372,0	15,4	37,2	54,0	7,2	1,8
74	Heba-Bujanovac	P	3	0,130	17	36	0,030	0,006	0,004	0,100	0,020	0,080	13,2	6,70	386	21,6	32,2	171,0	44,6	44,8	11,9	27,8	2,8
75	Arandelovac	P	3	0,318	10	34	0,070	0,005	0,003	0,010	0,010	0,070	21,0	7,50	680	4,1	24,0	550,0	13,2	130,0	43,0	14,2	1,5
76	Loznica	P	3	0,332	10	30	0,100	0,002	0,001	0,040	0,010	0,040	12,3	7,60	533	2,0	29,3	403,0	6,6	76,5	39,6	2,7	0,5
78	Jošanička Banja	P	3	0,416	20	64	0,023	0,002	0,001	0,014	0,010	0,071	76,9	9,60	300	13,3	38,9	15,9	95,0	1,6	0,0	69,3	1,8
86	Aleksandrovac	P	3	0,966	50	66	0,065	0,003	0,001	0,006	0,014	0,100	13,8	7,00	1170	56,2	73,1	422,7	14,7	146,0	69,9	15,5	1,4
93	Veluće Trstenik	P	3	2,029	77	319	0,290	0,004	0,002	0,040	0,040	0,110	25,6	6,30	2260	14,0	0,5	2010,0	60,0	22,0	310,0	68,0	9,6
102	Arandelovac	PK	3	0,107	10	35	0,1	0,003	0,001	0,04	0,04	0,03	14,1	6,80	400	21,8	42,1	189,0	29,2	48,0	15,1	26,6	2,9
103	Arandelovac	PK	3	0,130	10	37	0,19	0,007	0,005	0,17	0,02	0,13	14,2	7,11	342	18,8	24,3	220,0	39,8	46,9	14,8	32,4	3,5

R.br.	Poreklo	TVS	HS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
104	Arandelovac	PK	3	0,197	26	60	0,040	0,006	0,005	0,020	0,020	0,100	15,5	7,90	460	11,0	24,0	300,0	40,0	88,0	17,0	108,0	1,5
105	Arandelovac	PK	3	0,334	16	80	0,030	0,003	0,001	0,010	0,006	0,014	15,6	7,20	780	11,0	48,9	580,0	17,9	105,0	46,0	22,7	2,5
106	Arandelovac	PK	3	0,402	14	87	0,030	0,003	0,002	0,020	0,020	0,040	23,5	6,80	700	5,1	18,1	500,0	17,0	76,0	43,0	16,0	2,8
107	Arandelovac	PK	3	0,430	28	100	0,04	0,004	0,002	0,01	0,05	0,07	23,0	7,00	750	4,3	19,0	700,0	18,8	158,0	51,0	23,2	2,9
110	Arandelovac	PK	3	0,573	10	316	0,110	0,003	0,001	0,010	0,050	0,010	20,0	6,60	940	3,9	14,0	740,0	17,9	160,0	45,0	13,0	2,8
111	Arandelovac	PK	3	0,627	38	159	0,120	0,004	0,005	0,002	0,010	0,030	15,7	6,90	871	7,5	8,2	600,0	18,1	95,0	52,0	15,4	2,4
112	Arandelovac	PK	3	0,826	21	98	0,130	0,006	0,001	0,005	0,010	0,060	23,4	6,60	1053	4,1	17,1	720,0	18,1	154,0	40,0	13,2	2,6

TVS- tip vodonosne sredine; HS- hidrogeološka struktura; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost; UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;



Tabela 4.28: Transformisane vrednosti karakteristika mineralnih voda grupe M Box-Cox transformacijom

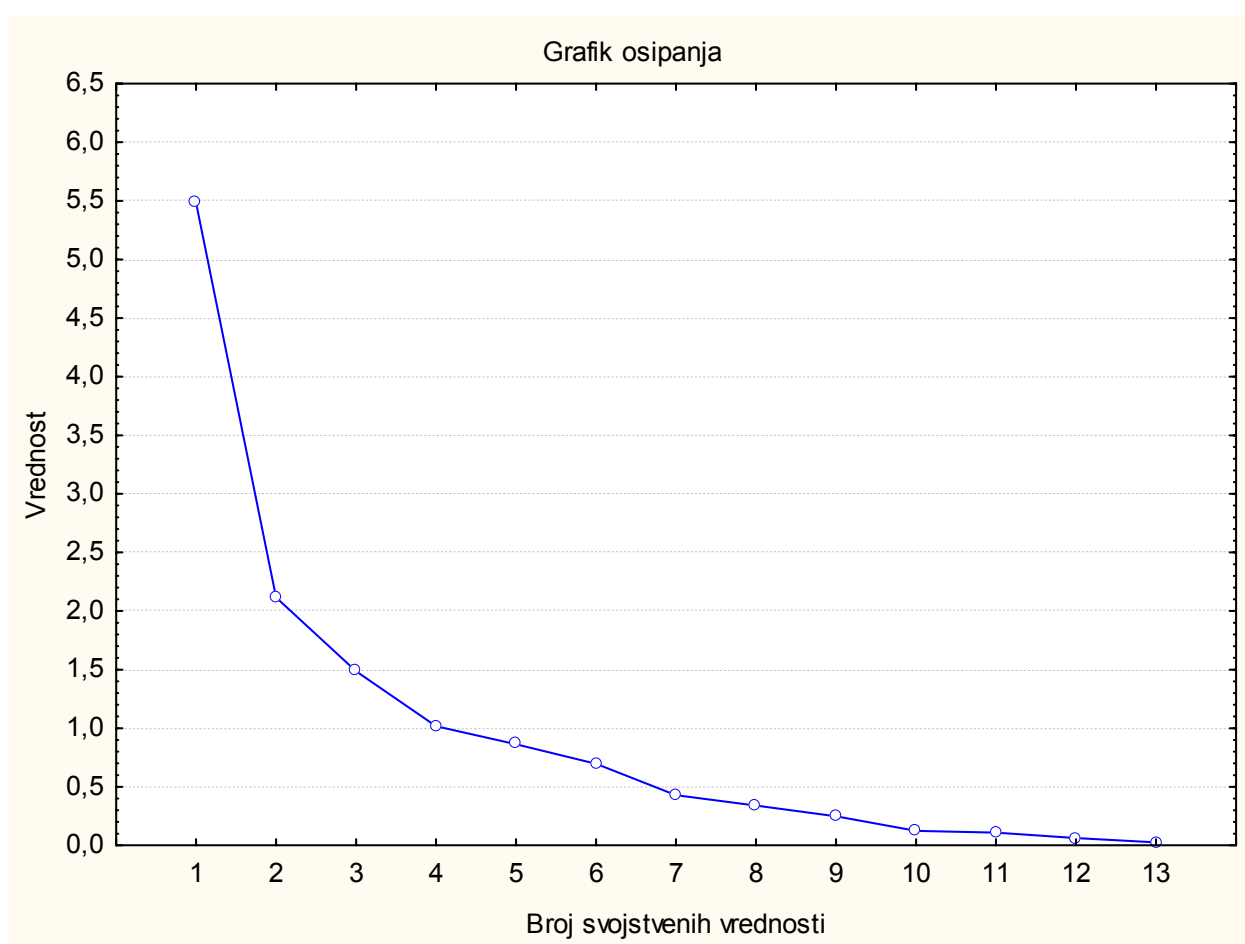
R. broj	Poreklo	VS	Hidrog. Poreklo	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
1	flaširana Zlatibor Gostilje	K	3	-2,1462	0,8458	2,3686	-3,7259	-2,4945	-10,6747	-1,9798	-7,1498	-1,4406	1,6524	8,7026	25,0498	1,7400	2,7975	20,0462	2,3579	12,3933	0,9920	1,0266	-0,6294
2	Ljuba Rdevik	K	2	-1,8902	0,8458	2,3686	-4,7545	-2,5281	-11,9598	-2,7167	-8,5332	-1,9190	1,8043	9,0051	35,7758	0,6098	1,0555	31,1355	2,2320	7,7482	7,2234	0,3437	-2,0165
3	Kovilje-Ivanjica	K	2	-1,8902	0,8458	2,7273	-3,4915	-2,4645	-10,6747	-1,8385	-7,1498	-1,4058	1,7095	8,7026	31,9518	-0,1063	1,9382	25,9293	1,5796	20,6878	2,2137	0,5421	-1,4659
4	Valjevo	K	2	-1,6383	0,8593	2,6090	-4,3202	-2,5667	-11,9598	-1,7774	-7,1498	-1,4775	1,9647	8,4016	32,6674	0,9489	2,0721	36,4753	2,6536	21,3456	5,6396	0,4981	0,2665
5	Mionica	K	2	-1,5992	0,8760	3,1639	-3,4915	-2,4945	-10,6747	-1,7211	-7,1498	-1,4058	2,1882	8,8537	42,6396	-0,1063	4,2933	37,6022	2,6401	13,0415	4,3228	3,4080	1,5207
6	Novi Sad pijace	K	2	-1,4498	0,8689	2,8901	-3,1051	-2,5667	-11,9598	-1,7774	-9,4621	-1,5169	1,9647	8,1023	36,5805	1,2815	5,7347	36,6180	2,6536	21,6501	6,7953	1,6339	1,1028
7	Knjaževac	K	2	-1,4153	0,8458	2,3686	-5,1996	-2,5281	-10,6747	-1,8385	-7,1498	-1,4058	1,6524	8,2517	41,3341	0,1797	3,8722	34,6678	2,6536	28,7160	2,5866	0,5580	-0,9144
8	Vujic Valjevo	K	2	-1,3236	0,8893	2,6963	-5,8407	-2,4945	-10,6747	-1,8385	-7,1498	-1,4058	2,0529	8,5519	41,8048	0,9489	1,9382	37,3236	2,4024	25,7461	5,0819	1,0974	-0,2449
9	Vujic Valjevo	K	2	-1,2369	0,8593	2,7563	-4,7107	-2,5281	-11,9598	-1,9054	-7,1498	-1,5169	2,1068	8,5519	40,9062	0,8166	2,3188	35,8504	2,4196	26,1845	3,5727	1,1396	-0,2574
10	Staro hopovo, Irig mv sumporna	K	2	-1,1281	0,8858	2,8794	-4,3202	-2,6124	-14,4021	-1,8984	-6,4967	-1,3729	1,8979	8,7026	50,7348	2,9462	2,2292	36,7460	3,2363	11,2422	5,9813	3,4660	1,3199
11	Sokolac	K	2	-0,9762	0,8458	2,7120	-5,8407	-2,6700	-11,9598	-2,1614	-7,1498	-1,7168	1,6075	8,2517	35,6672	0,8857	1,9035	30,4609	1,4272	25,1550	2,0014	0,7114	-0,4957
12	flaširana Zlatibor Gostilje	K	2	-0,9689	0,8858	2,6801	-5,2557	-2,7524	-14,4021	-2,8388	-12,2747	-1,4058	1,8979	9,1570	41,8048	0,3275	4,5601	34,3255	2,2921	19,7214	5,7260	1,3839	-0,1370
13	Zlatibor Gostilje	K	2	-0,9689	0,8858	2,6801	-5,2557	-2,7524	-14,4021	-2,8388	-12,2747	-1,4058	1,8979	9,1570	41,8048	0,3275	4,5601	34,3255	2,2921	19,7214	5,7260	1,3839	-0,1370
14	Ljuba Rdevik	K	2	-0,8722	0,9123	3,5045	-2,9429	-2,6700	-14,4021	-2,6532	-9,4621	-1,4775	2,0139	7,9532	53,7650	2,2449	5,0621	41,5065	2,5092	26,4925	6,7694	2,6478	0,9083
16	Zlatibor hotel Olimp	K	2	-0,8527	0,8858	1,9188	-7,3610	-2,6700	-14,4021	-2,8916	-12,2747	-1,6310	1,7200	9,6150	41,3341	2,5604	3,4236	29,9047	3,5347	6,4764	7,6382	0,3022	-1,3421
20	Gornji Banjani, Rajac Ljig	K	2	-0,7905	0,8946	2,9304	-4,4291	-2,6700	-14,4021	-2,2922	-5,6616	-1,6059	1,9647	8,5519	44,0867	2,0484	5,0386	34,6678	2,6536	23,8147	4,4501	1,1055	0,5785
21	izvor Paraćin	K	2	-0,7807	0,8858	2,8340	-4,7993	-2,7524	-14,4021	-2,8388	-9,8550	-1,4514	1,9174	8,2517	42,7314	0,9489	2,0393	35,1504	1,9888	24,2724	4,9777	0,7866	-0,1506
22	Bistrica Gradac	K	2	-0,7719	0,8858	2,9207	-5,4963	-2,6124	-14,4021	-2,1010	-8,8094	-1,3414	1,9012	8,4016	42,7314	0,6994	4,9431	34,0818	2,6603	18,1537	6,0834	1,6677	0,2261
23	VALJEVO	K	2	-0,7701	0,9047	3,1467	-5,1996	-2,6124	-11,9598	-2,5276	-8,5332	-1,4058	2,1248	8,7026	44,5297	1,8106	5,0386	37,8788	2,6536	25,3220	4,3228	0,9714	-0,0336
24	Bistrica Gradac	K	2	-0,7391	0,9032	3,1694	-6,6351	-2,4645	-10,6747	-2,0639	-7,1498	-1,4588	1,9915	8,5519	42,2705	0,6994	5,0031	33,8313	2,6469	18,1314	6,1065	1,5997	0,2261
25	Rgošte Knjaževac	K	2	-0,7356	0,8727	3,7298	-4,7107	-2,5667	-10,6747	-2,6532	-7,1498	-1,4406	2,1839	7,9532	43,6393	1,4333	4,1893	37,3236	2,6536	26,7806	4,6902	1,3820	-0,3493
26	Valjevo	K	2	-0,7105	0,8858	1,9838	-4,7107	-2,6124	-11,9598	-2,7933	-8,8094	-1,3114	2,0677	8,4016	45,4036	1,9244	5,0386	36,4753	2,6536	25,5069	3,7517	0,9456	-0,0356
27	Gornji Banjani, Rajac Ljig	K	2	-0,6683	0,8458	2,9107	-4,3202	-2,6700	-10,6747	-2,6532	-9,4621	-1,4406	1,8043	8,2966	45,4036	0,6098	4,6137	34,3659	2,6536	25,6910	4,5724	1,2605	0,3432
28	Gostilje Zlatibor	K	2	-0,3488	0,9107	3,3932	-5,1996	-2,4373	-11,9598	-2,7933	-9,1167	-1,4058	1,9647	8,4016	38,3963	-0,3671	1,6830	30,3185	1,2063	25,0247	1,5126	-0,5805	-0,6276
31	Petrovo Selo	L	4	-1,7665	0,8458	2,6090	-7,5049	-2,5667	-11,9598	-1,7774	-7,1498	-1,5169	1,6524	8,4016	37,8859	0,9180	2,0721	30,8000	1,8462	24,8565	1,8360	0,6189	-0,8685

R. broj	Poreklo	VS	Hidrog. Poreklo	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
32	Heba-Bujanovac	L	3	-1,7490	0,8458	2,5260	-3,4915	-2,4645	-9,8216	-1,7211	-7,1498	-1,4775	1,8043	7,9532	37,6799	2,4273	6,1523	24,2862	3,7119	15,6747	3,7359	2,7644	1,0947
33	MitrovicaSalas Noćaski Mačva	L	4	-1,5936	0,8458	3,0768	-2,6636	-2,5281	-10,6747	-2,4300	-7,1498	-1,3729	2,3139	7,9532	40,8583	1,1799	1,9035	34,1632	3,0591	7,5731	2,6878	3,6110	-0,3493
34	Bujanovac Rakovac	L	3	-1,5255	0,8458	2,7837	-2,9429	-2,4123	-10,6747	-1,6689	-5,9928	-1,3729	1,8445	7,8937	32,7264	2,1911	4,9912	22,9805	3,7992	13,7870	2,9835	2,6358	0,7223
35	Vršac	L	4	-1,5065	0,8815	3,2358	-2,6636	-2,5281	-10,6747	-1,8385	-9,4621	-1,4406	1,9045	9,0810	30,0937	2,0377	5,2123	20,5489	3,4047	13,8877	3,9186	2,1698	0,6724
37	Jagodina	L	4	-1,3263	0,8458	2,9207	-3,4915	-2,5281	-9,8216	-1,8385	-9,4621	-1,4775	1,9078	8,2667	45,1431	1,6884	5,3468	38,4261	3,2129	23,0173	6,6024	2,8142	2,0155
38	Kula	L	2	-1,3135	0,8760	3,7081	-5,1996	-2,5281	-10,6747	-1,9054	-9,4621	-1,5595	1,9647	9,1570	46,8115	1,5047	2,1676	40,5856	2,8747	10,9229	6,0756	3,5992	-0,3493
42	Jagodina	L	4	-1,1448	0,8727	3,0256	-3,7259	-2,5281	-10,6747	-1,7774	-7,1498	-1,3729	1,8878	8,5519	44,5297	1,3183	3,5189	39,2330	3,1716	20,4173	6,5286	2,4334	0,4430
47	Kula	L	4	-0,5280	0,8458	3,5068	-6,7423	-2,6700	-14,4021	-2,6532	-9,4621	-1,5169	2,0066	8,7026	49,1531	1,0863	-0,6255	42,3502	2,8800	11,8392	5,7684	3,6378	-0,2958
48	Mihailovac	L	4	-0,2509	0,8985	2,9762	-4,7107	-2,6124	-10,6747	-2,3489	-5,5865	-1,2279	1,9358	8,2517	53,0229	1,9033	2,7975	44,0846	3,1716	23,8147	6,9842	2,8050	0,1497
59	Golija Novopazarska strana	P	3	-3,1034	0,8458	2,3686	-3,4915	-2,5667	-11,9598	-1,8385	-7,1498	-1,5595	1,5342	7,8640	11,7823	0,9579	-0,6255	8,1871	2,2299	2,8923	0,3992	0,5149	0,0958
60	Vlasinka izvor 7, Surdulica	P	1	-2,8107	0,8458	2,3686	-5,8407	-2,5667	-10,6747	-1,7774	-9,4621	-1,5169	1,5096	8,2218	15,1923	-0,0000	2,3479	10,8842	2,5819	5,1603	0,7281	1,0325	0,0000
61	Vlasinska izvor 8	P	1	-2,7615	0,8458	2,3686	-4,3202	-2,5281	-10,6747	-1,7774	-9,4621	-1,4775	1,5867	8,1321	14,8338	-0,0000	2,3479	10,8842	2,5703	4,9899	0,2045	1,0325	0,0000
62	Vlasinska izvor 10	P	1	-2,4524	0,8458	2,3686	-4,3202	-2,5667	-11,9598	-1,7774	-9,4621	-1,6059	1,5096	8,5669	17,5196	-0,0000	1,7960	13,3061	2,3057	7,4741	0,3992	0,6664	0,0000
63	Bojnik	P	3	-2,2828	0,8458	3,2214	-5,1996	-2,6124	-11,9598	-2,4300	-7,1498	-1,4775	2,0115	6,6316	26,5197	0,1797	3,7007	8,7183	3,8506	4,3532	0,4294	1,4186	0,9130
64	Vlasinska izvor 7.	P	1	-2,2028	0,8449	2,8718	-6,7423	-2,4945	-11,9598	-1,9054	-9,4621	-1,4775	1,9447	9,1266	13,0496	0,2642	2,0294	9,9645	2,6012	5,8138	-0,0303	1,0083	-0,5739
65	Vlasinska izvor 6.	P	1	-2,1966	0,8552	2,8573	-6,7423	-2,5667	-14,4021	-1,9054	-5,2487	-1,4775	1,9447	8,8991	12,0737	0,2642	1,7365	8,7895	2,6449	4,0897	0,1958	0,9673	-0,4200
66	Vlasinska izvor 1.	P	1	-2,1705	0,8511	2,7929	-4,7107	-2,5281	-14,4021	-1,9798	-9,4621	-1,5595	1,9447	9,1114	13,0496	0,2420	1,0396	8,7895	2,7254	4,2754	-0,3139	1,1132	-0,4735
67	Gornji Statovci	P	3	-2,0975	0,8458	2,9304	-1,7704	-2,4945	-10,6747	-1,7211	-7,1498	-1,4775	1,8844	8,2517	22,7655	0,3925	0,6431	17,5238	3,9155	7,7482	3,2331	1,8511	1,4146
68	Atote, Brus	P	3	-1,8593	0,8458	2,6090	-4,7107	-2,5667	-10,6747	-1,9054	-9,4621	-1,5595	1,7596	9,9222	35,2298	0,8520	4,4364	29,7132	2,3937	21,8316	3,0822	1,4362	-0,4957
69	Novo Selo	P	3	-1,8259	0,8458	3,0809	-2,2310	-2,4373	-10,6747	-1,5305	-5,9928	-0,9191	1,9863	9,0355	32,0120	0,9756	1,0869	30,0893	3,5757	5,9807	5,9212	2,8187	0,7223
70	Kriva Reka	P	3	-1,7418	0,8458	2,6090	-4,7107	-2,5667	-10,6747	-1,9798	-9,4621	-1,5169	1,7596	7,8046	43,0512	1,0608	3,0957	36,7602	1,8070	30,0784	1,8360	1,0026	-0,8685
71	Komirić Valjevo	P	3	-1,6861	0,8458	2,6090	-3,4915	-2,5281	-10,6747	-1,8385	-7,1498	-1,5169	1,8809	8,1023	38,8001	1,3864	4,9067	30,8000	2,5006	24,3293	3,1361	1,5491	0,0958
72	Kraljevo	P	3	-1,6850	0,8458	2,3686	-3,4915	-2,6124	-14,4021	-2,0639	-9,4621	-1,6576	1,9477	8,5519	42,6396	0,7795	1,8683	37,3236	3,0981	14,3905	6,9595	2,5265	0,5476
73	Gornja Trepča	P	1	-1,6596	0,8458	2,3686	-1,5924	-2,4123	-9,1916	-1,3766	-7,1498	-1,1767	2,2410	9,3398	41,9916	1,7123	5,3120	35,2639	2,7059	13,7870	7,3352	1,7661	0,5882
74	Heba Bujanovac	P	3	-1,6596	0,8789	2,7120	-6,7423	-2,4945	-9,8216	-1,7211	-7,1498	-1,4775	1,8521	7,3614	37,6799	2,4245	6,1347	23,4235	3,7440	15,6747	3,5727	2,7669	1,0947
75	Arandjelovac	P	3	-1,0169	0,8458	2,6801	-4,3202	-2,5281	-10,6747	-2,6532	-9,4621	-1,5169	2,0677	8,5519	50,7348	1,2624	5,3327	43,1655	2,5548	32,0589	6,6642	2,2891	0,4153
76	Tronoša Loznica	P	3	-0,9843	0,8458	2,6090	-3,4915	-2,6700	-14,4021	-2,1614	-9,4621	-1,6576	1,8168	8,7026	44,6618	0,6559	5,8694	36,7602	1,8675	22,5496	6,4309	0,9390	-0,6656
78	Jošanička Banja	P	3	-0,7997	0,8858	3,0177	-7,6570	-2,6700	-14,4021	-2,5500	-9,4621	-1,5128	2,5438	11,7959	32,9613	2,1168	6,6893	5,8886	4,4752	0,5043	-2,6481	3,3603	0,6322
86	Arandjelovac	P	3	-0,0343	0,9083	3,0333	-4,5054	-2,6124	-14,4021	-2,7933	-8,2831	-1,4058	1,8739	7,8046	67,2603	2,9653	8,7870	37,6808	2,6603	34,5963	8,1552	2,3535	0,3283

R. broj	Poreklo	VS	Hidrog. Poreklo	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
93	Veluće Trstenik	P	3	0,7629	0,9132	3,7335	-1,5387	-2,5667	-11,9598	-2,1614	-5,2487	-1,3729	2,1517	6,7767	94,4089	2,1505	-0,6255	83,4144	4,0307	9,4674	14,2205	3,3486	2,5920
102	Arandjelovac	PK	3	-1,7839	0,8458	2,6963	-3,4915	-2,6124	-14,4021	-2,1614	-5,2487	-1,7168	1,8844	7,5087	38,3963	2,4301	6,9308	24,7068	3,3308	16,4372	4,0652	2,7366	1,1500
103	Bujanovac	PK	3	-1,6596	0,8458	2,7273	-2,2310	-2,4645	-9,1916	-1,4125	-7,1498	-1,3114	1,8878	7,9681	35,3396	2,3395	5,3609	26,7789	3,6330	16,1654	4,0253	2,8707	1,3500
104	Arandjelovac	PK	3	-1,3737	0,8946	2,9848	-5,8407	-2,4945	-9,1916	-2,4300	-7,1498	-1,4058	1,9298	9,1570	41,3341	1,9897	5,3327	31,5226	3,6371	24,7628	4,3228	3,6270	0,4153
105	Arandjelovac	PK	3	-0,9788	0,8760	3,1287	-6,7423	-2,6124	-14,4021	-2,6532	-11,4807	-1,8397	1,9328	8,1023	54,4974	1,9897	7,4063	44,3606	2,8531	27,8457	6,8592	2,6266	0,9676
106	Arandjelovac	PK	3	-0,8286	0,8689	3,1694	-6,7423	-2,6124	-11,9598	-2,4300	-7,1498	-1,6576	2,1159	7,5087	51,5083	1,4333	4,6270	41,0974	2,8026	22,4506	6,6642	2,3767	1,0947
107	Arandjelovac	PK	3	-0,7734	0,8967	3,2358	-5,8407	-2,5667	-11,9598	-2,6532	-4,7117	-1,5169	2,1068	7,8046	53,3952	1,3002	4,7441	48,8521	2,9011	36,4316	7,1649	2,6418	1,1344
110	Arandjelovac	PK	3	-0,5249	0,8458	3,7298	-3,2865	-2,6124	-14,4021	-2,6532	-4,7117	-1,8815	2,0463	7,2145	60,0488	1,2223	4,0347	50,2608	2,8531	36,7323	6,7953	2,2236	1,0947
111	Arandjelovac	PK	3	-0,4437	0,9037	3,4461	-3,1051	-2,5667	-9,1916	-3,0569	-9,4621	-1,7168	1,9358	7,6564	57,7175	1,7210	2,9392	45,1400	2,8640	26,0571	7,2234	2,3488	0,9222
112	Arandjelovac	PK	3	-0,1866	0,8876	3,2263	-2,9429	-2,4945	-14,4021	-2,8388	-9,4621	-1,5595	2,1141	7,2145	63,6899	1,2624	4,4919	49,5614	2,8640	35,8258	6,4591	2,2338	1,0114

#### 4.2.2.3.2 Analiza glavnih komponenata karakteristika grupe M mineralnih voda Srbije

PCA- analiza glavnih komponenata sprovedena je za identifikaciju i prepoznavanje strukture parametara hidrohemijske i radioaktivnosti kao i za pomoć u interpretaciji podataka karakteristika grupe M mineralnih voda Srbije. Ulazni skup podataka se sastojao od matrice dimenzija 65x20, u kojoj su redove predstavljale analizirane mineralne vode grupe M (65 objekata), a kolone specifični analizirani parametri (promenljive), kao u slučaju grupe 5M mineralnih voda Srbije.



Slika 4.18: Grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M mineralnih voda Srbije

Na slici 4.18 je prikazan grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M mineralnih voda. Prema Caiser-ovom pravilu broj glavnih komponenata je 6. Sa 6 glavnih komponenti je objašnjeno preko 77% varijanse kao što može da se vidi iz tabele 4.29.

Tabela 4.29: Svojstvene vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M mineralnih voda Srbije

Broj glavne komponente	Svojstvena vrednost	% Ukupne varijanse	Svojstvena vrednost kumulativno	Kumulativni %
1	6,064958	30,32479	6,06496	30,32479
2	3,554967	17,77484	9,61993	48,09963
3	2,088074	10,44037	11,70800	58,54000
4	1,408363	7,04182	13,11636	65,58181
5	1,322478	6,61239	14,43884	72,19420
6	1,042120	5,21060	15,48096	77,40480

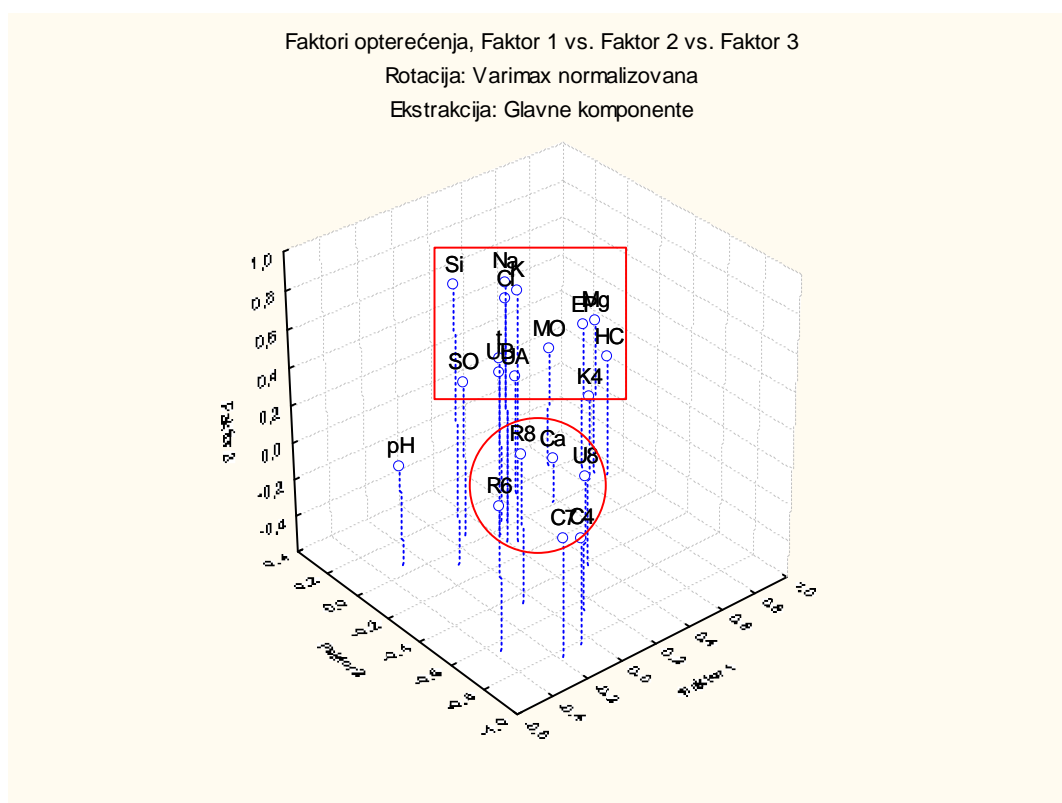
U tabeli 4.30 prikazane su strukture faktora 20 fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na šest značajnih glavnih komponenata za grupu M mineralnih voda Srbije.

Tabela 4.30 Struktura faktora 20 fizičko-hemijskih i radioloških promjenljivih na šest značajnih glavnih komponenata za grupu M mineralnih voda Srbije

Struktura faktora (Varimax normalizovana) Ekstrakcija: Glavne komponente (Masnim slovima su označena opterećenja >0,700000)							
Parametri	Skraćenice	PC1 (30,3 %)	PC2 (17,8 %)	PC3 (10,4 %)	PC4 (7,0 %)	PC5 (6,6 %)	PC6 (5,2 %)
pH	pH	-0,293486	0,051467	-0,055669	-0,816304	0,009363	0,096184
Temperatura	T	0,210469	-0,031127	0,367401	-0,143374	0,042313	0,711071
El. provodljivost	EP	0,869308	0,131771	0,200384	0,146824	0,178419	0,262001
Ukupna alfa	UA	0,484701	0,159373	0,051866	-0,228563	0,221182	0,530672
Ukupna beta	UB	0,282461	0,041179	0,224473	0,328196	-0,141259	0,731164
<sup>40</sup> K	K4	0,360990	-0,427958	0,317675	0,207236	-0,268583	-0,330405
<sup>137</sup> Cs	C7	-0,181959	-0,834728	0,039084	0,146524	-0,026712	0,011028
<sup>134</sup> Cs	C4	-0,059665	-0,816533	-0,023088	0,080965	0,089443	-0,091139
<sup>226</sup> Ra	R6	-0,364968	-0,650214	0,177236	0,055484	-0,172930	-0,358613
<sup>228</sup> Ra	R8	-0,060149	-0,461922	0,205784	0,545277	-0,058406	0,229082
<sup>238</sup> U	U8	0,119337	-0,653115	0,128891	-0,438654	-0,116581	0,152984
Ukupne rastvorene materije	MO	0,758614	0,235991	0,055220	-0,043162	0,203378	0,475661
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HC	0,922919	0,025506	0,058766	0,179146	0,009481	0,190093
Cl <sup>-</sup>	CI	0,306524	0,030217	0,610102	-0,040682	0,497655	-0,026969
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO	0,078145	0,054423	0,245939	-0,053541	0,883126	0,009214
Na <sup>+</sup>	Na	0,196017	-0,089159	0,800101	0,048868	0,050788	0,270100
K <sup>+</sup>	K	0,236512	-0,115754	0,755241	0,316210	0,075456	0,112015
Ca <sup>2+</sup>	Ca	0,570256	0,012899	-0,355171	0,312877	0,559174	0,142105
Mg <sup>2+</sup>	Mg	0,886443	0,069483	0,253560	0,052946	-0,008259	-0,006832
SiO <sub>2</sub>	Si	-0,094171	-0,090724	0,893533	-0,063660	0,043846	0,118995
Objašnjena varijablansa		4,260430	2,52223	3,063268	1,677816	1,622308	2,104914
Učešće u ukupnoj varijantnosti		0,213022	0,137611	0,153163	0,083891	0,081115	0,105246

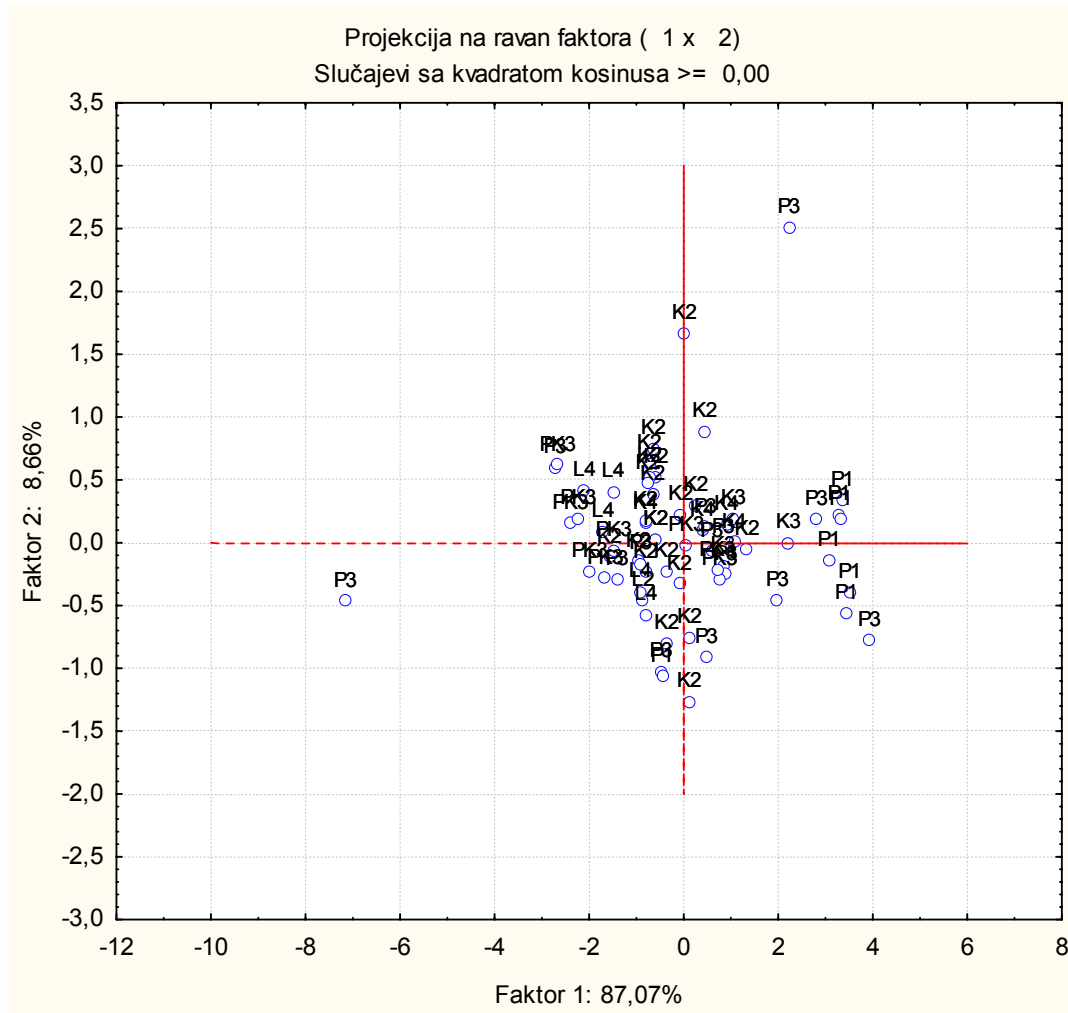
PCA redukuje broj parametara na 6 skrivenih faktora objašnjavajući 77,4% varijanse uzoraka odgovorne za formiranje strukture podataka. Rotirana struktura faktora za svaki parametar je predstavljena u tabeli 4.30. Strukture faktora predstavljaju učešće posmatranih promjenljivih za pojedine faktore (tj. korelacione koeficijente >0,7) i označene su masnim slovima. Prvi faktor (PC1) je pozitivno korelisan sa EP ( $r=0,87$ ), MO ( $r=0,76$ ), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $r=0,92$ ), i Mg<sup>2+</sup>

( $r=0,89$ ), računato na oko 30,3% ukupne varijanse skupa podataka i može uslovno da se nazove „mineralizacioni“ faktor ili faktor „vremena zadržavanja“ [100] jer ove interakcije potiču iz geoloških komponenata nalazišta. PC2 (17,8%) je karakterisana visoko negativnim korelacijama sa  $^{137}\text{Cs}$  ( $r=-0,83$ ) i  $^{134}\text{Cs}$  ( $r=-0,82$ ). PC3 pokriva 10,4% ukupne varijanse i jasno se karakteriše visoko pozitivnim vrednostima  $\text{Na}^+$  ( $r=0,80$ ),  $\text{K}^+$  ( $r=0,76$ ) i  $\text{SiO}_2$  ( $r=0,89$ ) u strukturi faktora. PC4 pokriva oko 7,0% ukupne varijanse i karakteriše se visoko negativnom vrednošću pH ( $r=-0,82$ ). PC5 pokriva oko 6,6% ukupne varijanse i karakteriše se visoko pozitivnom vrednošću  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $r=0,88$ ). PC6 pokriva oko 5,2% ukupne varijanse i karakteriše se visoko pozitivnim vrednostima temperature ( $r=0,71$ ) i ukupne beta aktivnosti ( $r=0,73$ ).



Slika 4.19 Grafik zavisnost faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu M mineralnih voda

Sa slike 4.19 se uočava izdvajanje pH vrednosti od ostalih karakteristika, kao i gruba podela ostalih karakteristika na dve grupe. U prvoj grupi su  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  i  $\text{Ca}^{2+}$ , a ostale u drugoj grupi.

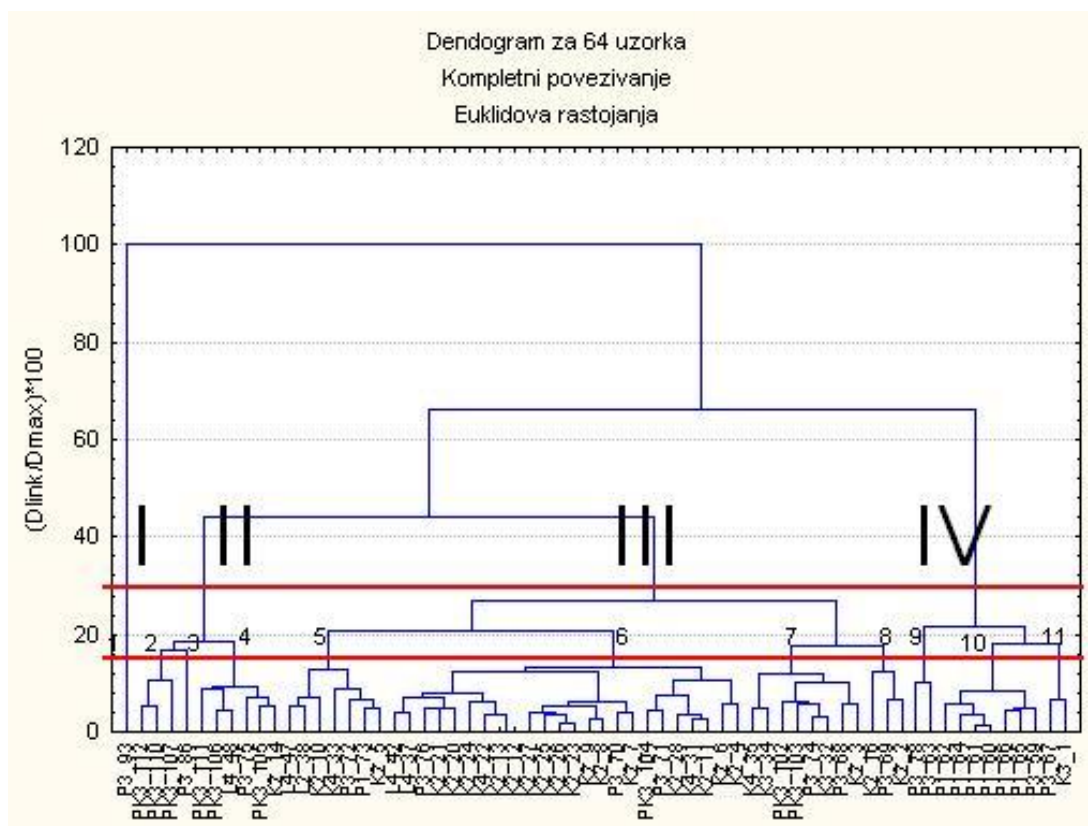


**Slika 4.20: Faktor PC1 prema PC2 koji ilustruje razlike mineralnih voda grupe M za sve slučajeve korišćenih u ovim ispitivanjima prema: njihovim hidrogeološkim strukturama (1,2,3 i 4) i tipu vodonosne sredine akvifera (P,K,L,M)**





dendograma na Euklidovom rastojanju od oko 30% (slika 4.22) na osnovu vizuelne procene, čime su dobijene 4 glavne grupe.



Slika 4.22: Dendrogram dobijen klaster analizom uzorkovanih mesta sa fizičko-hemijskim i parametrima radioaktivnosti za 65 mineralne vode.

Analizirane vode na slici 4.22 su označene na taj način što prvo slovo oznake označava tip vodonosne sredine, druga oznaka broj hidrogeološke strukture a jednocifreni ili dvocifreni broj redni broj uzorka iz tabele 4.27. Dobijeni dendrogram pokazuje 4 glavne grupe (I-IV) kao i veći broj podgrupa. Izborom podele na podgrupe korišćenjem 15%-ne različitosti, dobijeno je 11 podgupa sličnih fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika. Uzorci su podeljeni po klasterima za svaku podgrupu i srednje vrednosti za svaki parametar su prikazani u tabeli 4.31. Ove vrednosti za svaki sastav podgupa dobijen HCA analizom otkriva trendove između njih i one su osnova za pravljenje razlika između podgrupa.

Tabela 4.31: Srednje vrednosti za fizičkohemijske i parametre radioaktivnosti podgrupa M mineralnih voda izvedenih iz HCA

Grupa	Podgrupa	n	pH	T	EP	TS	HCO <sub>3</sub>	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>228</sup> U	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs
				[°C]	[μS/cm]	[g/l]	[mg/l]							[ mBq/l]		[ Bq/l]						
I	1	1 (93)	6,3	25,6	2260	2,029	2010	68	9,6	72,0	310,0	14,0	0,5	60,0	77	319	0,290	0,040	0,040	0,110	0,004	0,002
II	2	3 (112, 110, 107)	6,7	22,1	914	0,610	720	16,5	7,8	157,3	45,3	4,1	16,7	18,3	20	171	0,093	0,008	0,037	0,047	0,004	0,001
	3	1 (86)	7,0	13,8	1170	0,966	423	15,5	1,4	146,0	69,9	56,2	73,1	14,7	50	66	0,065	0,006	0,014	0,100	0,003	0,001
	4	6 (111, 106, 48, 75, 105, 14)	7,1	18,4	755	0,473	552	20,2	2,1	97,7	46,1	8,9	21,4	17,3	30	100	0,073	0,013	0,015	0,065 7	0,003	0,003
III	5	7 (47, 38, 10, 33, 72, 73, 5)	7,6	23,5	543	0,229	426	71,7	1,9	30,3	32,2	11,1	8,5	19,7	13	107	0,111	0,071	0,016	0,096	0,005	0,002
	6	24 (42, 37, 76, 21, 20, 24, 22, 13, 12, 27, 25, 26, 23, 9, 8, 70, 7, 104, 71, 28, 31, 11, 6, 4)	7,4	15,8	467	0,316	367	9,5	1,2	83,4	21,8	4,1	15,3	13,6	19	59	0,061	0,046	0,015	0,085	0,004	0,002
	7	8 (35, 34, 102, 103, 74, 32, 68, 3)	7,3	12,8	336	0,123	192	19,5	2,1	49,9	11,5	14,3	24,5	31,5	12	43	0,108	0,094	0,021	0,085	0,006	0,003
	8	3 (16, 69, 2)	7,9	13,2	365	0,194	280	10,9	0,8	14,0	48,1	10,6	5,2	27,7	13	34	0,091	0,051	0,016	0,117	0,005	0,002
IV	9	7 (78, 63)	7,9	47,7	250	0,231	23	37,0	2,1	4,9	0,8	7,3	25,5	72,4	15	81	0,037	0,017	0,015	0,076	0,003	0,002
	10	8 (62, 64, 61, 60, 66, 65, 59)	7,5	11,0	64	0,033	39	2,7	0,8	9,7	1,3	1,4	4,0	13,0	10	31	0,057	0,079	0,016	0,069	0,005	0,002

### 4.3 *Uzorci pijaćih voda (PV) Srbije*

#### 4.3.1 Fizičko-hemijske karakteristike pijaćih voda Srbije

Uzorci pijaćih voda (n= 42) su podeljeni prema geotektonskim jedinicama i prema tipovima vodonosnih sredina:

Prema geotektonskim jedinicama pijaće vode su podeljene na vode iz:

A: Panonskog basena

B: Zapadnosrbijanskih dinarida

C: Vardarske zone (šumadijsko-kopaoničko-kosovska jedinica)

D: Srpsko-Makedonskog masiva

E: Karpatobalkanida istočne Srbije

Tipovi vodonosnih sredina su obeleženi na sledeći način:

**p**-pukotinska vodonosna sredina ;

**k**- karstna (krečnjačka) vodonosna sredina – karstna poroznost ;

**l** - kompleks jezerskih sedimenata neogene starosti (peskovi i gline) - interglanuralna poroznost ;

**m** - aluvijalna sredina (rečni nanosi) - intergranularna poroznost (voda se nalazi u porama peska i šljunka);

U tabeli 4.32 su prikazane fizičko-hemijske karakteristike pijaćih voda sa teritorije Republike Srbije. U tabeli 4.33. su prikazani parametri deskriptivne statistike ispitivanih karakteristika pijaćih voda Srbije.

Tabela 4.32: Fizičko-hemijski i radiološki podaci proučavanih pijaćih voda sa teritorije Republike Srbije (uzorkovane u periodu 2000-2008. god.)

R. br.	Poreklo	GJ	TVS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
1	Novi Sad	A	m	0,316	31	97	0,070	0,006	0,002	0,050	0,020	0,080	15,0	8,3	630	22,6	15,0	470	20,8	84,1	31,8	47,4	1,76
2	Kula	A	l	0,264	10	91	0,110	0,004	0,002	0,070	0,010	0,060	20,0	7,8	645	9,5	8,0	506	14,8	28,0	31,0	104,7	0,8
3	Bezdan	A	m	0,667	30	282	0,370	0,003	0,002	0,011	0,018	0,160	17,5	7,6	946	22,7	8,0	637	1,0	87,5	31,5	101,1	12,7
4	Sombor	A	m	0,825	40	49	0,016	0,003	0,002	0,025	0,011	0,160	17,5	7,9	860	22,5	8,0	596	1,0	74,6	30,1	110,3	2,7
5	Sremska Mitrovica	A	l	0,490	20	71	0,29	0,003	0,001	0,029	0,042	0,660	17,5	8,1	858	24,1	16,0	560	24,5	81,8	46,7	66,2	0,5
6	Subotica	A	m	0,388	20	126	0,060	0,002	0,001	0,005	0,010	0,035	17,5	7,3	560	23,7	8,0	299	26,9	67,8	22,9	22,89	0,7
7	Sabac	B	m	0,485	52	68	0,200	0,003	0,002	0,040	0,010	0,040	12,3	7,1	633	28,6	60,0	433	17,4	151,7	14,2	18,58	0,95
8	Kosjerić	B	k	0,407	35	95	0,140	0,003	0,001	0,040	0,028	0,300	25,0	7,1	520	8,5	8,3	372	13,5	89,6	20,2	10,4	1,4
9	Vruci	B	k	0,425	20	84	0,096	0,002	0,001	0,029	0,025	0,100	29,5	7,7	550	6,8	10,7	354	15,4	74,1	14,4	38,4	3,23
10	Gradac	B	k	0,409	20	47	0,079	0,002	0,001	0,011	0,025	0,100	16,3	7,5	480	4,9	18,2	314	13,4	54,9	35,6	4,84	1,2
11	Gradac	B	k	0,320	30	69	0,110	0,002	0,001	0,001	0,018	0,088	8,2	7,7	370	3,5	7,2	269	13,2	54,5	19,6	2,92	0,827
12	Gradac	B	k	0,429	40	31	0,040	0,002	0,001	0,028	0,014	0,059	15,6	7,5	490	4,2	19,1	361	13,0	57,7	37,0	4,7	0,897
13	Tara	B	l	0,245	20	19	0,090	0,006	0,001	0,010	0,020	0,140	6,8	7,4	330	1,4	8,5	234	13,9	76,3	1,3	0,539	0,386
14	Donja Jablanica Zlatibor	B	k	0,374	20	50	0,030	0,003	0,002	0,010	0,010	0,050	9,7	8,9	390	0,7	2,6	221	11,6	2,0	58,7	0,625	0,162
15	Rajkovački izvori Mionica	C	k	0,258	40	40	0,090	0,007	0,004	0,060	0,030	0,120	13,5	7,8	522	16,4	6,9	347	8,0	88,1	53,4	1,984	0,1
16	CEROVAC Palanka Sme.	C	l	0,111	10	20	0,050	0,005	0,002	0,070	0,020	0,070	13,0	7,6	590	5,8	26,0	530	15,0	86,0	41,0	33,3	2,1
17	Ljig	C	k	0,150	10	20	0,080	0,008	0,002	0,020	0,020	0,060	17,4	7,2	350	4,2	15,0	260	17,0	7,2	1,2	96,2	0,55
18	Kaona kod Čačka	C	p	0,093	10	20	0,010	0,006	0,004	0,010	0,020	0,110	14,0	7,8	280	1,8	6,0	260	6,5	66,0	10,0	7,9	1
19	Slavkovića kod Ljiga	C	k	0,518	20	67	0,080	0,003	0,002	0,012	0,018	0,100	17,0	8,4	410	12,0	23,0	293	15,0	4,1	5,0	106	0,5
20	Kraljevo	C	m	0,422	20	74	0,069	0,003	0,001	0,004	0,003	0,051	14,3	7,7	606	21,0	32,0	307	26,5	63,8	34,8	20,5	1,5
21	Zubin Potok	C	p	0,436	10	336	0,010	0,004	0,002	0,018	0,030	0,050	11,8	7,2	280	2,4	11,0	207	6,5	50,0	6,0	2,716	0,335
22	Darosava kod Arandjelovca	C	p	0,960	20	310	0,570	0,001	0,002	0,012	0,018	0,086	13,2	6,4	850	31,3	68,2	512,4	18,8	72,2	16,2	112	14,3
23	Prekadin	C	p	0,578	33	78	0,056	0,005	0,001	0,020	0,050	0,100	14,3	7,3	680	13,3	18,9	493	21,5	70,2	33,6	49,3	2,99

R. br.	Poreklo	GJ	TVS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
24	Sm. Palanka	D	m	0,243	10	108	0,140	0,002	0,001	0,009	0,020	0,110	14,0	7,0	649	8,0	20,1	464	18,1	98,1	25,5	31,8	2,7
25	Tulara banja, Prokuplje	D	p	0,202	11	20	0,030	0,006	0,004	0,020	0,020	0,100	18,9	8,8	942	26,7	85,3	427	15,4	1,6	1,0	201	1
26	Surdulica	D	m	0,010	10	20	0,005	0,003	0,002	0,040	0,010	0,080	16,0	7,2	45	1,1	3,9	24	15,3	4,4	1,0	3,3	0,5
27	Surdulica	D	m	0,014	10	20	0,040	0,004	0,002	0,040	0,020	0,070	16,0	7,1	40	0,8	4,0	24	15,8	4,2	1,0	3,3	0,5
28	Surdulica	D	m	0,010	10	20	0,060	0,005	0,002	0,030	0,020	0,070	16,0	7,2	60	3,0	4,7	31	14,8	8,4	1,3	3	0,5
29	Surdulica	D	m	0,011	10	20	0,040	0,005	0,003	0,030	0,010	0,070	16,0	7,4	70	0,8	6,0	43	13,5	10,0	1,2	3	0,5
30	Surdulica	D	m	0,014	10	20	0,020	0,006	0,004	0,050	0,032	0,040	16,0	7,4	70	3,1	5,7	37	13,7	10,0	2,9	3	0,5
31	Mladenovac	D	l	0,340	33	99	0,070	0,009	0,006	0,160	0,030	0,090	14,0	7,9	670	20,0	140,0	430	24,2	115,0	52,0	22	1,3
32	Mladenovac	D	l	0,250	10	59	0,170	0,007	0,003	0,017	0,030	0,100	22,0	8,5	620	17,0	50,0	460	21,2	22,0	24,0	165	2,7
33	Crna Trava	D	p	0,100	10	20	0,010	0,008	0,003	0,170	0,020	0,120	8,0	6,5	60	4,4	1,1	12	8,4	6,5	1,0	2,7	0,7
34	Selo Bresnica, Vranje	D	p	0,722	30	65	0,045	0,002	0,001	0,011	0,032	0,078	16,0	7,0	924	10,3	105,0	332	12,1	91,3	33,4	61,6	3,7
35	Vranje	D	p	0,101	10	33	0,060	0,002	0,001	0,004	0,014	0,062	16,0	7,8	147	5,4	18,0	66	13,8	20,8	7,5	1	1,8
36	Nis	D	k	0,716	40	10	0,202	0,03	0,02	0,260	0,14	0,100	18,8	8,1	590	12,1	47,8	500	41,9	39,0	10,6	103	10,6
37	Jablanica	D	p	0,184	10	17	0,066	0,004	0,001	0,010	0,017	0,100	16,0	11,4	320	23,7	0,5	260	9,0	54,0	14,5	5,43	0,876
38	Pirot	E	k	0,136	10	20	0,041	0,003	0,002	0,004	0,007	0,100	9,5	7,7	562	7,4	0,8	352	10,1	103,9	13,1	6,4	3
39	Despotovac	E	k	0,124	10	20	0,040	0,005	0,003	0,020	0,020	0,100	10,1	8,0	330	0,9	10,0	270	3,0	66,0	20,0	1,2	0,5
39	Donja Kamenica	E	p	0,201	10	48	0,035	0,002	0,001	0,004	0,006	0,050	5,8	6,8	53	0,8	4,8	31	11,8	5,5	1,7	1,8	0,2
40	Nis	E	k	0,294	10	24	0,070	0,006	0,003	0,010	0,024	0,110	14,0	7,5	630	50,0	48,0	390	13,4	110,0	40,0	21,1	1,6
41	Nis	E	k	0,230	26	64	0,100	0,006	0,003	0,090	0,020	0,090	9,5	7,2	520	4,9	17,0	410	11,7	98,1	20,0	15,8	1,1
42	Knjaževac	E	k	0,720	10	62	0,010	0,004	0,001	0,008	0,003	0,050	8,2	7,4	51	0,5	6,1	31	8,7	6,3	1,7	1,63	0,14

GJ- geotektonska jedinica; TVS- tip vodonosne sredine; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost; UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;

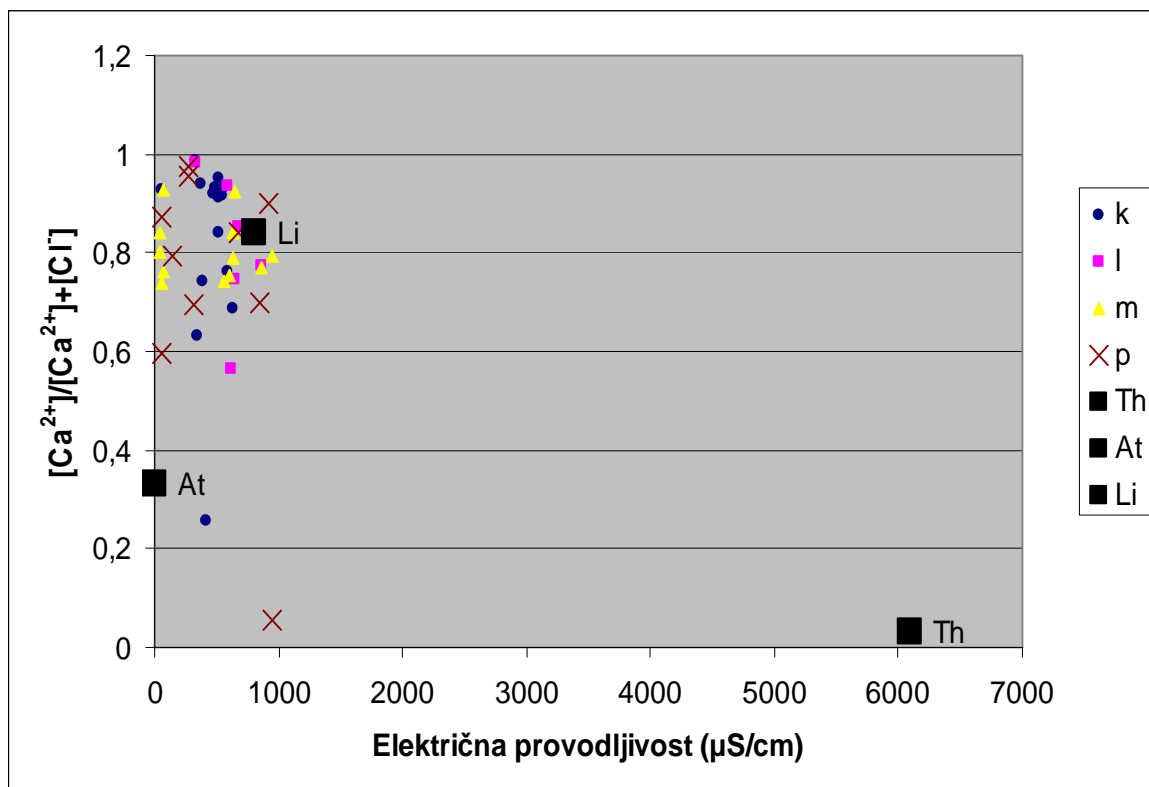
**Tabela 4.33: Parametri deskriptivne statistike karakteristika pijaćih voda sa teritorije Republike Srbije**

	Deskriptivna statistika (PV)				
	n	Srednja vrednost	Minimum	Maksimum	Standardna devijacija
MO[g/l]	43	0,330	0,010	0,960	0,24
UA[mBq/l]	43	20	10	52	12
UB[mBq/l]	43	68	10	336	74
<sup>40</sup> K[Bq/l]	43	0,093	0,010	0,570	0,104
<sup>137</sup> Cs[Bq/l]	43	0,005	0,001	0,030	0,004
<sup>134</sup> Cs[Bq/l]	43	0,002	0,001	0,020	0,003
<sup>226</sup> Ra[Bq/l]	43	0,037	0,001	0,260	0,050
<sup>228</sup> Ra[Bq/l]	43	0,023	0,003	0,140	0,020
<sup>238</sup> U[Bq/l]	43	0,104	0,035	0,660	0,097
T[°C]	43	14,8	5,8	29,5	4,6
pH	43	7,6	6,4	11,4	0,8
EP[μS/cm]	43	469	40	946	270
Cl-[mg/l]	43	11,4	0,5	50,0	11,0323
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	43	22,8	0,5	140,0	29,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	43	312,3698	12,0	637,0	177,2
SiO <sub>2</sub> [mg/l]	43	14,7	1,0	41,9	7,3
Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	43	55,0	1,6	151,7	39,0
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	43	20,2	1,0	58,7	16,6
Na <sup>+</sup> [mg/l]	43	37,7	0,5	201,0	49,5
K <sup>+</sup> [mg/l]	43	2,0	0,1	14,3	3,1

Ispitivane pijaće vode sa teritorije Republike Srbije imaju opseg temperatura 5,8-29,5 °C, velike razlike pH vrednosti (6,4-11,4), električne provodljivosti (40 – 946 μS/cm), ukupan sadržaj čvrstih materija (MO: 0,01-0,96 g/l) i stoga odražavaju veliku kompozicijsku raznolikost. Uočava se visoka vrednost standardnih devijacija merenih karakteristika, što je posledica složenih geoloških struktura nalazišta voda. Sadržaj pojedinih katjona se nalazi u veoma širokom opsegu (Ca<sup>2+</sup>: od 1,6 do 151,7 mg/l; Mg<sup>2+</sup>: 1,0 do 58,7 mg/l; Na<sup>+</sup>: 0,5 do 201,0; K<sup>+</sup>: 0,1 do 14,3 mg/l), kao i sadržaj anjona (Cl<sup>-</sup>: 0,5 do 50,0; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>: 0,5 do 140,0; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>: od 12,0 do 637,0 mg/l). Na osnovu sadržaja ukupnog čvrstog

ostatka ove vode su kategorisane u klasu umerenomineralizovanih voda (čvrst ostatak od 500 do 1500 mg/l).

Za klasifikaciju analiziranih pijaćih voda korišćen je Van Wirdum-ov dijagram koji je prikazan na slici 4.23.



Slika 4.23: Van Wirdum-ov dijagram za pijaće vode Srbije

Većina uzoraka se nalazi u zoni litotrofnih voda Li-sveža voda bogata kalcijumom, deo uzoraka u oblasti između litotrofne i atmosfere vode At-kišnica, a dva uzorka su u oblasti atmosferskih voda, uzorak 19 koji pripada tipu k vodonosne sredine i uzorak 25 koji pripada tipu p vodonosne sredine.

Vode karstne (krečnjačke) vodonosne sredine k pripadaju litotrofnim tipovima voda (uzorci 8-10, 12,14), između litotrofnih i atmosferskih (uzorci 17 i 40) i atmosferskim (uzorak 19). Vode kompleksa jezerskih sedimenata neogene



starosti I pripadaju litotrofnim tipovima voda (uzorci 2,5,13,16,31), a uzorak 32 je između litotrofnog i atmosferskog tipa vode. Vode aluvijalnih vodonosnih sredina pripadaju litotrofnom tipu voda. Vode koje pripadaju pukotinskim vodonosnim sredinama pripadaju tipu litotrofnih voda (uzorci 18, 21, 22, 23, 34, 35, 37 i 39), mešavini litotrofne i atmosferske vode (uzorak 33) i atmosferskom tipu (uzorak 25).

Ukupna alfa aktivnost se kretala u opsegu 10 do 52 mBq/l, a ukupna beta aktivnost u opsegu 10 do 336 mBq/l. Aktivnost radijuma je u opštem slučaju mala (0,001 do 0,26 Bq/l za  $^{226}\text{Ra}$  i 0,003 do 0,14 Bq/l za  $^{228}\text{Ra}$ ). Najveće koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  su izmerene kod uzorka br. 36 (0,26 Bq/l) koji pripada k vodonosnom tipu i uzorka 33 koji pripada grupi p, a najveće vrednosti  $^{228}\text{Ra}$  su izmerene kod uzorka br. 36 (0,14 Bq/l)

U tabeli 4.34 su date parametri deskriptivne statistike (broj uzoraka, minimalna i maksimalna vrednost i standardna devijacija) karakteristika pijaćih voda Srbije po vodonosnim sredinama.

Iz tabele 4.34 se uočava da grupa k ima najveću srednju ukupnu alfa aktivnost (23 mBq/l), a grupa p najveću srednju vrednost ukupne beta aktivnosti (95 mBq/l). Najveću vrednost aktivnosti  $^{40}\text{K}$  ima grupa l (0,130 Bq/l), a najmanju grupa k (0,080 Bq/l). Srednje vrednosti aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  su u opsegu od 0,004 do 0,006,  $^{134}\text{Cs}$ : 0,002 do 0,003,  $^{226}\text{Ra}$ : 0,028 (tip m) do 0,059 (tip l),  $^{228}\text{Ra}$ : 0,015 (tip m) do 0,029 (tip k) i  $^{238}\text{U}$ : 0,080 (tip m) do 0,187 Bq/l (tip l).

U tabeli 4.35 su prikazani parametri deskriptivne statistike pijaćih voda po geotektonskim jedinicama. Uočava se da najveću srednju vrednost ukupne alfa aktivnosti imaju uzorci voda sa geotektonskih jedinica B (30 mBq/l) a najmanju grupa voda geotektonskih jedinica E (13 mBq/l). Najveću srednju vrednost ukupne beta aktivnosti ima grupa voda geotektonske jedinice A (119 mBq/l), a najmanju grupa voda geotektonskog porekla D (38 mBq/l). Najveću srednju vrednost aktivnosti  $^{40}\text{K}$  ima grupa geotektonske jedinice A (0,153 Bq/l) a najmanju grupa geotektonske jedinice E (0,049 Bq/l). Srednje vrednosti

aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$  su u opsegu od 0,003 (grupa B) do 0,007 (grupa D),  $^{134}\text{Cs}$ : 0,001 (grupa B) do 0,004 (grupa D),  $^{226}\text{Ra}$ : 0,023 (grupa E) do 0,061 (grupa D),  $^{228}\text{Ra}$ : 0,019 (grupa A) do 0,030 (grupa D), i  $^{238}\text{U}$ : 0,083 (grupa C) do 0,192 (grupa A).

**Tabela 4.34: Parametri deskriptivne statistike karakteristika pijaćih voda Srbije po tipu vodonosne sredine**

Promenljiva	pukotinska vodonosna sredina (p)				
	Br. uz.	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	10	0,358	0,094	0,960	0,304
UA	10	15	10	33	9
UB	10	95	17	336	122
<sup>40</sup> K	10	0,089	0,0100	0,570	0,170
<sup>137</sup> Cs	10	0,004	0,001	0,008	0,002
<sup>134</sup> Cs	10	0,002	0,001	0,004	0,001
<sup>226</sup> Ra	10	0,028	0,004	0,170	0,050
<sup>228</sup> Ra	10	0,023	0,006	0,050	0,012
<sup>238</sup> U	10	0,085	0,050	0,120	0,025
T	10	13,4	5,8	18,9	4,0
pH	10	7,7	6,40	11,4	1,5
EP	10	453	53	942	358
Cl <sup>-</sup>	10	12,0	0,8	31,3	11,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10	31,9	0,5	105,0	38,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10	260,0	12,0	512,4	184,2
SiO <sub>2</sub>	10	12,4	6,5	21,5	5,1
Ca <sup>2+</sup>	10	43,8	1,6	91,3	32,6
Mg <sup>2+</sup>	10	12,5	1,0	33,6	12,3
Na <sup>+</sup>	10	44,5	1,0	201,0	66,2
K <sup>+</sup>	10	2,7	0,2	14,3	4,2

Promenljiva	Karstna vodonosna sredina (k)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	15	0,368	0,125	0,721	0,185
UA	15	23	10	40	12
UB	15	47	10	95	26
<sup>40</sup> K	15	0,080	0,010	0,202	0,048
<sup>137</sup> Cs	15	0,006	0,002	0,030	0,007
<sup>134</sup> Cs	15	0,003	0,001	0,020	0,005
<sup>226</sup> Ra	15	0,040	0,001	0,260	0,065
<sup>228</sup> Ra	15	0,029	0,007	0,140	0,031
<sup>238</sup> U	15	0,102	0,050	0,300	0,059
T	15	14,8	8,2	29,5	6,2
pH	15	7,7	7,1	8,9	0,5
EP	15	451	51	630	143
Cl <sup>-</sup>	15	9,1	0,5	50,0	12,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15	16,0	0,8	48,0	14,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15	316,4	31,0	500,0	105,0
SiO <sub>2</sub>	15	13,9	3,0	41,9	8,5
Ca <sup>2+</sup>	15	57,0	2,0	110,0	38,1
Mg <sup>2+</sup>	15	23,4	1,2	58,7	17,8
Na <sup>+</sup>	15	27,7	0,6	106,0	39,6
K <sup>+</sup>	15	1,7	0,1	10,6	2,6

Promenljiva	Neogeni jezerski sedimenti (l)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	6	0,284	0,112	0,490	0,1252
UA	6	17,1667	10	33	9
UB	6	60	19	99	34
<sup>40</sup> K	6	0,130	0,050	0,290	0,088
<sup>137</sup> Cs	6	0,006	0,003	0,009	0,002
<sup>134</sup> Cs	6	0,002	0,001	0,006	0,002
<sup>226</sup> Ra	6	0,059	0,010	0,160	0,056
<sup>228</sup> Ra	6	0,025	0,010	0,042	0,011
<sup>238</sup> U	6	0,187	0,060	0,660	0,234
T	6	15,5	6,8	22,0	5,5
pH	6	7,9	7,4	8,5	0,4
EP	6	619	330	858	170
Cl <sup>-</sup>	6	13,0	1,4	24,1	8,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	41,4	8,0	140,0	50,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6	453,3	234,0	560,0	117,2
SiO <sub>2</sub>	6	18,9	13,9	24,5	4,9
Ca <sup>2+</sup>	6	68,2	22,0	115,0	36,1
Mg <sup>2+</sup>	6	32,7	1,3	52,0	18,4
Na <sup>+</sup>	6	65,3	0,5	165,0	61,0
K <sup>+</sup>	6	1,3	0,4	2,7	0,9

Nastavak tabele 4.3

Prome- nljiva	Aluvijalna sredina (m)				
	Br. uz.	Srednja vrednost	Min.	Maks.	Std.Dev.
MO	12	0,284	0,010	0,8267	0,283
UA	12	21	10	52	14
UB	12	75	20	282	76
<sup>40</sup> K	12	0,094	0,016	0,37	0,101
<sup>137</sup> Cs	12	0,004	0,002	0,006	0,002
<sup>134</sup> Cs	12	0,002	0,001	0,004	0,001
<sup>226</sup> Ra	12	0,028	0,004	0,050	0,017
<sup>228</sup> Ra	12	0,015	0,003	0,032	0,008
<sup>238</sup> U	12	0,080	0,035	0,160	0,043
T	12	15,7	12,3	17,5	1,6
pH	12	7,4	7,0	8,3	0,4
EP	12	431	40	946	347
Cl <sup>-</sup>	12	13,2	0,8	28,6	11,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	12	14,6	3,9	60,0	16,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12	280,4	24	637	239,3
SiO <sub>2</sub>	12	15,4	1	26,9	8,1
Ca <sup>2+</sup>	12	55,4	4,2	151,8	47,8
Mg <sup>2+</sup>	12	16,5	1,0	34,8	14,2
Na <sup>+</sup>	12	30,7	3,0	110,3	37,8
K <sup>+</sup>	12	2,1	0,5	12,7	3,4

**Tabela 4.35: Parametri deskriptivne statistike karakteristika pijaćih voda Srbije po geotektonskim jedinicama.**

Promenljiva	Panonski basen (A)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Minimum	Maximum	St. dev.
MO	6	0,492	0,265	0,826	0,217
UA	6	25	10	40	10
UB	6	119	49	282	84
<sup>40</sup> K	6	0,153	0,016	0,370	0,143
<sup>137</sup> Cs	6	0,004	0,002	0,006	0,001
<sup>134</sup> Cs	6	0,002	0,001	0,002	0,001
<sup>226</sup> Ra	6	0,032	0,005	0,070	0,024
<sup>228</sup> Ra	6	0,019	0,010	0,042	0,012
<sup>238</sup> U	6	0,192	0,035	0,660	0,235
T	6	17,5	15,0	20,0	1,6
pH	6	7,8	7,3	8,3	0,3
EP	6	750	560	946	157
Cl <sup>-</sup>	6	20,8	9,5	24,1	5,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	10,5	8,0	16,0	3,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6	511,3	299,0	637,0	120,1
SiO <sub>2</sub>	6	14,8	1,0	26,9	11,5
Ca <sup>2+</sup>	6	70,6	28,0	87,5	22,0
Mg <sup>2+</sup>	6	32,3	22,9	46,7	7,8
Na <sup>+</sup>	6	75,4	22,9	110,3	35,7
K <sup>+</sup>	6	3,2	0,5	12,7	4,7

Promenljiva	Zapadnosrbijanski dinaridi (B)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	8	0,387	0,246	0,485	0,074
UA	8	30	20	52	12
UB	8	58	19	95	26
<sup>40</sup> K	8	0,098	0,030	0,200	0,054
<sup>137</sup> Cs	8	0,003	0,002	0,006	0,001
<sup>134</sup> Cs	8	0,001	0,001	0,002	0,001
<sup>226</sup> Ra	8	0,021	0,001	0,040	0,015
<sup>228</sup> Ra	8	0,019	0,010	0,028	0,007
<sup>238</sup> U	8	0,110	0,040	0,300	0,084
T	8	15,4	6,8	29,5	8,1
pH	8	7,6	7,1	8,9	0,6
EP	8	470	330	633	101
Cl <sup>-</sup>	8	7,3	0,7	28,6	9,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	8	16,8	2,6	60,0	18,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	8	320,1	221,7	433,0	73,6
SiO <sub>2</sub>	8	13,9	11,6	17,4	1,7
Ca <sup>2+</sup>	8	70,1	2,0	151,7	42,0
Mg <sup>2+</sup>	8	25,1	1,3	58,7	17,9
Na <sup>+</sup>	8	10,1	0,5	38,4	12,9
K <sup>+</sup>	8	1,1	0,1	3,2	0,9

Promenljiva	Vardarska zona (C)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	9	0,392	0,094	0,960	0,278
UA	9	19	10	40	11
UB	9	107	20	336	125
<sup>40</sup> K	9	0,113	0,010	0,570	0,174
<sup>137</sup> Cs	9	0,005	0,001	0,008	0,002
<sup>134</sup> Cs	9	0,002	0,001	0,004	0,001
<sup>226</sup> Ra	9	0,025	0,004	0,070	0,023
<sup>228</sup> Ra	9	0,023	0,003	0,050	0,013
<sup>238</sup> U	9	0,083	0,050	0,120	0,026
T	9	14,3	11,8	17,4	1,8
pH	9	7,5	6,4	8,4	0,6
EP	9	507	280	850	194
Cl <sup>-</sup>	9	12,0	1,8	31,3	9,8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	9	23,0	6,0	68,2	19,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	9	356,6	207,0	530,0	122,8
SiO <sub>2</sub>	9	15,0	6,5	26,5	6,9
Ca <sup>2+</sup>	9	56,4	4,1	88,1	30,9
Mg <sup>2+</sup>	9	22,4	1,2	53,5	18,7
Na <sup>+</sup>	9	47,8	2,0	112,0	45,5
K <sup>+</sup>	9	2,6	0,1	14,3	4,5

Promenljiva	Srpsko-Makedonski masiv (D)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	14	0,209	0,010	0,723	0,242
UA	14	15	10	40	10
UB	14	38	10	108	32
<sup>40</sup> K	14	0,072	0,010	0,202	0,058
<sup>137</sup> Cs	14	0,007	0,002	0,030	0,007
<sup>134</sup> Cs	14	0,004	0,001	0,020	0,005
<sup>226</sup> Ra	14	0,061	0,004	0,260	0,078
<sup>228</sup> Ra	14	0,030	0,010	0,140	0,033
<sup>238</sup> U	14	0,085	0,040	0,120	0,022
T	14	16,0	8,0	22,0	3,1
pH	14	7,8	6,5	11,4	1,2
EP	14	372	40	942	345
Cl <sup>-</sup>	14	9,7	0,8	26,7	8,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	14	35,1	0,5	140,0	44,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	14	222,1	12,0	500,0	203,9
SiO <sub>2</sub>	14	16,9	8,4	41,9	8,3
Ca <sup>2+</sup>	14	34,7	1,6	115,0	39,2
Mg <sup>2+</sup>	14	12,6	1,0	52,0	15,7
Na <sup>+</sup>	14	43,5	1,0	201,0	66,3
K <sup>+</sup>	14	2,0	0,5	10,6	2,7

Promenljiva	Karpatobalkanidi istočne Srbije (E)				
	Br. uzoraka	Srednja vrednost	Min.	Max.	St. dev.
MO	6	0,285	0,125	0,721	0,223
UA	6	13	10	26	6
UB	6	40	20	64	21
<sup>40</sup> K	6	0,049	0,010	0,100	0,031
<sup>137</sup> Cs	6	0,004	0,002	0,006	0,002
<sup>134</sup> Cs	6	0,002	0,001	0,003	0,001
<sup>226</sup> Ra	6	0,023	0,004	0,090	0,033
<sup>228</sup> Ra	6	0,018	0,006	0,030	0,009
<sup>238</sup> U	6	0,083	0,050	0,110	0,026
T	6	9,5	5,8	14,0	2,7
pH	6	7,4	6,8	8,0	0,4
EP	6	358	51	630	257
Cl <sup>-</sup>	6	10,8	0,5	50,0	19,4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6	14,4	0,8	48,0	17,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6	247,3	31,0	410,0	174,2
SiO <sub>2</sub>	6	9,8	3,0	13,4	3,7
Ca <sup>2+</sup>	6	65,0	5,5	110,0	48,2
Mg <sup>2+</sup>	6	16,1	1,7	40,0	14,3
Na <sup>+</sup>	6	8,0	1,2	21,1	8,5
K <sup>+</sup>	6	1,1	0,1	3,0	1,1

#### 4.3.2 Analiza korelacionih koeficijenata karakteristika pijaćih voda Srbije

Pearsonovi korelacioni koeficijenti između fizičko-hemijskih i radioloških parametara merenih u pijaćim vodama Srbije su izračunati i datu o obliku korelacione matrice u tabeli 4.36

Iz tabele 4.36 se zapaža jaka pozitivna korelacija  $^{134}\text{Cs}$  sa  $^{137}\text{Cs}$  ( $r=0,95$ ),  $^{226}\text{Ra}$  ( $r=0,80$ ) i  $^{228}\text{Ra}$  ( $r=0,84$ );  $^{137}\text{Cs}$  sa  $^{226}\text{Ra}$  ( $r=0,81$ ) i  $^{228}\text{Ra}$  ( $0,86$ );  $\text{K}^+$  i  $^{40}\text{K}$  ( $r=0,79$ ); elektroprovodljivosti sa bikarbonatima ( $r=0,92$ ). Većina ovih asocijacija može da se objasni fizičko-hemijskim karakteristikama izvorišta. EP je jako povezana sa  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,92$ ) zbog toga što ista uključuje rastvorene i suspendovane čvrste materije, koje se detektuju tokom pripreme svakog uzorka za UA merenja [92].

Tabela 4.36. Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u pijaćim vodama sa verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja

	n=42																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	0,58	1,00																			
UB	0,53	0,13	1,00																		
<sup>40</sup> K	0,52	0,26	0,58	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	0,04	0,18	-0,24	0,02	1,00																
<sup>134</sup> Cs	0,12	0,23	-0,15	0,11	0,95	1,00															
<sup>226</sup> Ra	0,02	0,28	-0,16	0,03	0,81	0,80	1,00														
<sup>228</sup> Ra	0,32	0,29	-0,06	0,18	0,86	0,84	0,67	1,00													
<sup>238</sup> U	0,17	0,12	0,03	0,35	-0,03	-0,06	0,01	0,19	1,00												
T	0,12	0,11	0,05	0,17	0,07	0,11	0,05	0,20	0,22	1,00											
pH	-0,08	-0,05	-0,24	-0,14	0,12	0,10	-0,06	0,06	0,08	0,19	1,00										
EP	0,61	0,49	0,35	0,49	-0,00	0,06	-0,00	0,15	0,32	0,33	0,12	1,00									
Cl <sup>-</sup>	0,41	0,29	0,25	0,44	0,02	0,06	-0,03	0,04	0,21	0,22	0,22	0,66	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,33	0,29	0,13	0,23	0,20	0,27	0,27	0,21	-0,06	0,12	-0,02	0,53	0,46	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,55	0,51	0,33	0,52	0,12	0,16	0,11	0,23	0,34	0,32	0,17	0,92	0,59	0,36	1,00						
SiO <sub>2</sub>	0,14	0,19	-0,08	0,24	0,52	0,51	0,44	0,56	0,09	0,27	-0,01	0,20	0,23	0,37	0,20	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	0,32	0,55	0,24	0,30	-0,09	-0,05	0,02	0,01	0,23	-0,02	-0,08	0,60	0,48	0,32	0,64	0,03	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	0,31	0,43	0,11	0,15	-0,09	-0,06	0,03	0,01	0,26	0,06	0,19	0,59	0,38	0,26	0,60	0,09	0,51	1,00			
Na <sup>+</sup>	0,39	0,08	0,19	0,40	0,22	0,24	0,08	0,23	0,14	0,46	0,19	0,63	0,43	0,41	0,58	0,24	-0,11	0,02	1,00		
K <sup>+</sup>	0,60	0,25	0,54	0,79	0,27	0,38	0,21	0,39	0,03	0,19	-0,13	0,49	0,34	0,27	0,50	0,19	0,22	0,07	0,45	1,00	

U tabelama od 4.37 do 4.40 su dati Pearsonovi korelacioni koeficijenti između fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika parametara voda po tipovima vodonosnih sredina.

Iz tabele 4.37 se zapaža jaka pozitivna korelacija <sup>226</sup>Ra sa <sup>40</sup>K (r=0,76) <sup>137</sup>Cs sa <sup>134</sup>Cs (r=0,98), <sup>226</sup>Ra (r=0,94) i <sup>228</sup>Ra (r=0,95); <sup>134</sup>Cs sa <sup>226</sup>Ra (r=0,95) i <sup>228</sup>Ra (r=0,96) i <sup>226</sup>Ra sa <sup>228</sup>Ra (r=0,93).



**Tabela 4.37: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u pijaćim vodama vodonosne sredine k verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Karstna vodonosna sredina (k)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,31	1,00																		
UB	0,24	0,17	1,00																	
<sup>40</sup> K	0,26	0,60	0,10	1,00																
<sup>137</sup> Cs	0,39	0,33	-0,49	0,68	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,41	0,39	-0,47	0,68	<b>0,98</b>	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,42	0,54	-0,29	<b>0,76</b>	<b>0,94</b>	<b>0,95</b>	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,58	0,43	-0,31	0,74	<b>0,95</b>	<b>0,96</b>	<b>0,93</b>	1,00												
<sup>238</sup> U	-0,03	0,32	0,45	0,48	-0,03	-0,02	0,08	0,07	1,00											
T	0,23	0,26	0,35	0,50	0,12	0,11	0,21	0,25	0,50	1,00										
pH	0,16	-0,00	-0,16	-0,12	0,14	0,25	0,08	0,11	-0,33	-0,19	1,00									
EP	-0,24	0,38	-0,15	0,52	0,25	0,32	0,36	0,23	0,36	0,42	-0,03	1,00								
Cl <sup>-</sup>	-0,06	-0,08	-0,23	0,16	0,16	0,15	0,05	0,11	0,18	0,11	-0,09	0,53	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,33	0,13	-0,40	0,49	0,64	0,63	0,56	0,63	-0,02	0,22	-0,02	0,45	0,68	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,14	0,51	-0,21	0,70	0,47	0,52	0,60	0,45	0,36	0,41	-0,08	<b>0,93</b>	0,40	0,55	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,54	0,41	-0,24	<b>0,77</b>	<b>0,86</b>	<b>0,86</b>	<b>0,84</b>	<b>0,89</b>	0,02	0,38	0,12	0,36	0,13	0,66	0,53	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	-0,46	0,14	-0,01	0,18	-0,10	-0,06	0,03	-0,10	0,46	0,09	-0,44	0,67	0,46	0,09	0,59	-0,20	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	-0,21	0,31	-0,09	-0,18	-0,19	-0,12	-0,13	-0,21	-0,01	-0,17	0,32	0,33	0,26	-0,05	0,15	-0,26	0,25	1,00		
Na <sup>+</sup>	0,28	0,01	-0,19	0,49	0,57	0,52	0,46	0,51	-0,08	0,40	0,15	0,12	0,11	0,52	0,27	0,69	-0,44	-0,54	1,00	
K <sup>+</sup>	0,43	0,32	-0,33	0,71	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	0,07	0,33	0,12	0,45	0,13	0,58	0,61	0,89	0,08	-0,26	0,48	1,00

**Tabela 4.38: Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u pijaćim vodama vodonosne sredine 1 verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Jezerski neogeni sedimenti (I)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,52	1,00																		
UB	0,57	0,38	1,00																	
<sup>40</sup> K	<b>0,79</b>	-0,04	0,24	1,00																
<sup>137</sup> Cs	-0,20	0,54	0,16	-0,52	1,00															
<sup>134</sup> Cs	0,02	0,59	0,58	-0,39	<b>0,84</b>	1,00														
<sup>226</sup> Ra	0,02	0,59	0,58	-0,47	0,53	<b>0,84</b>	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,72	0,43	0,17	0,72	0,04	0,12	-0,06	1,00												
<sup>238</sup> U	<b>0,82</b>	0,19	0,10	<b>0,89</b>	-0,57	-0,41	-0,32	<b>0,76</b>	1,00											
T	0,23	-0,41	0,59	0,46	-0,18	0,14	-0,02	0,16	0,10	1,00										
pH	0,36	-0,14	0,47	0,56	0,14	0,28	-0,09	0,53	0,21	<b>0,85</b>	1,00									
EP	0,64	0,09	0,63	0,64	-0,32	0,16	0,25	0,59	0,61	0,67	0,58	1,00								
Cl <sup>-</sup>	<b>0,78</b>	0,39	0,69	0,67	0,06	0,40	0,27	<b>0,80</b>	0,59	0,58	0,74	<b>0,87</b>	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,14	0,72	0,52	-0,29	<b>0,84</b>	<b>0,97</b>	0,81	0,30	-0,25	0,02	0,26	0,19	0,47	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,20	-0,31	0,39	0,39	-0,45	0,02	0,19	0,25	0,34	0,70	0,46	<b>0,87</b>	0,55	-0,02	1,00					
SiO <sub>2</sub>	<b>0,75</b>	0,56	0,59	0,58	0,25	0,49	0,31	<b>0,88</b>	0,55	0,39	0,67	0,73	<b>0,96</b>	0,61	0,37	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,19	<b>0,78</b>	-0,04	-0,21	0,30	0,35	0,56	0,35	0,20	-0,65	-0,45	0,06	0,13	0,51	-0,12	0,31	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,35	0,32	0,57	0,17	0,01	0,50	0,68	0,42	0,29	0,37	0,29	<b>0,84</b>	0,70	0,52	<b>0,78</b>	0,64	0,44	1,00		
Na <sup>+</sup>	0,04	-0,58	0,32	0,41	-0,12	-0,02	-0,31	0,06	-0,03	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	0,36	0,35	-0,14	0,44	0,19	<b>-0,85</b>	0,00	1,00	
K <sup>+</sup>	-0,53	-0,40	-0,13	-0,22	0,40	0,36	0,05	0,03	-0,45	0,44	0,55	0,05	0,08	0,28	0,29	0,10	-0,29	0,15	0,54	1,00

**Tabela 4.39: . Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u pijaćim vodama vodonosne sredine m verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja**

	Aluvijalna vodonosna sredina (m)																				
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	
MO	1,00																				
UA	<b>0,80</b>	1,00																			
UB	<i>0,61</i>	<i>0,34</i>	1,00																		
<sup>40</sup> K	<i>0,46</i>	<i>0,41</i>	<b>0,86</b>	1,00																	
<sup>137</sup> Cs	<i>-0,48</i>	<i>-0,21</i>	<i>-0,39</i>	<i>-0,34</i>	1,00																
<sup>134</sup> Cs	<i>-0,38</i>	<i>-0,15</i>	<i>-0,35</i>	<i>-0,20</i>	<b>0,75</b>	1,00															
<sup>226</sup> Ra	<i>-0,44</i>	<i>0,03</i>	<i>-0,54</i>	<i>-0,33</i>	<i>0,74</i>	<i>0,70</i>	1,00														
<sup>228</sup> Ra	<i>-0,37</i>	<i>-0,31</i>	<i>-0,02</i>	<i>-0,00</i>	<i>0,56</i>	<i>0,57</i>	<i>0,48</i>	1,00													
<sup>238</sup> U	<i>0,56</i>	<i>0,23</i>	<i>0,49</i>	<i>0,41</i>	<i>-0,24</i>	<i>-0,11</i>	<i>-0,25</i>	<i>0,03</i>	1,00												
T	<i>0,13</i>	<i>-0,24</i>	<i>0,22</i>	<i>-0,10</i>	<i>0,02</i>	<i>0,15</i>	<i>-0,18</i>	<i>0,12</i>	<i>0,42</i>	1,00											
pH	<i>0,48</i>	<i>0,41</i>	<i>0,23</i>	<i>-0,06</i>	<i>0,36</i>	<i>0,05</i>	<i>0,11</i>	<i>-0,07</i>	<i>0,31</i>	<i>0,22</i>	1,00										
EP	<b>0,94</b>	<i>0,72</i>	<i>0,74</i>	<i>0,58</i>	<i>-0,49</i>	<i>-0,49</i>	<i>-0,51</i>	<i>-0,27</i>	<i>0,54</i>	<i>-0,01</i>	<i>0,47</i>	1,00									
Cl <sup>-</sup>	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>	<i>0,58</i>	<i>0,44</i>	<i>-0,37</i>	<i>-0,44</i>	<i>-0,33</i>	<i>-0,39</i>	<i>0,15</i>	<i>-0,13</i>	<i>0,49</i>	<b>0,87</b>	1,00								
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<i>0,35</i>	<i>0,65</i>	<i>0,07</i>	<i>0,33</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,06</i>	<i>-0,37</i>	<i>-0,29</i>	<b>-0,84</b>	<i>-0,08</i>	<i>0,39</i>	<i>0,58</i>	1,00							
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0,91</b>	<i>0,73</i>	<i>0,72</i>	<i>0,59</i>	<i>-0,43</i>	<i>-0,42</i>	<i>-0,40</i>	<i>-0,18</i>	<i>0,61</i>	<i>-0,03</i>	<i>0,48</i>	<i>0,99</i>	<b>0,82</b>	<i>0,37</i>	1,00						
SiO <sub>2</sub>	<i>-0,36</i>	<i>-0,23</i>	<i>-0,24</i>	<i>-0,34</i>	<i>-0,06</i>	<i>-0,40</i>	<i>-0,13</i>	<i>-0,24</i>	<b>-0,80</b>	<i>-0,45</i>	<i>-0,13</i>	<i>-0,22</i>	<i>0,05</i>	<i>0,31</i>	<i>-0,30</i>	1,00					
Ca <sup>2+</sup>	<i>0,73</i>	<b>0,81</b>	<i>0,54</i>	<i>0,58</i>	<i>-0,46</i>	<i>-0,45</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,26</i>	<i>0,18</i>	<i>-0,47</i>	<i>0,19</i>	<b>0,83</b>	<b>0,85</b>	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	<i>0,03</i>	1,00				
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,82</b>	<i>0,53</i>	<i>0,66</i>	<i>0,38</i>	<i>-0,39</i>	<i>-0,57</i>	<i>-0,55</i>	<i>-0,30</i>	<i>0,42</i>	<i>-0,01</i>	<i>0,61</i>	<b>0,92</b>	<b>0,80</b>	<i>0,30</i>	<b>0,88</b>	<i>0,02</i>	<i>0,69</i>	1,00			
Na <sup>+</sup>	<b>0,88</b>	<i>0,58</i>	<i>0,64</i>	<i>0,46</i>	<i>-0,28</i>	<i>-0,19</i>	<i>-0,31</i>	<i>-0,08</i>	<b>0,85</b>	<i>0,39</i>	<i>0,57</i>	<b>0,83</b>	<i>0,60</i>	<i>-0,05</i>	<b>0,86</b>	<i>-0,65</i>	<i>0,48</i>	<i>0,72</i>	1,00		
K <sup>+</sup>	<i>0,57</i>	<i>0,28</i>	<b>0,90</b>	<b>0,86</b>	<i>-0,25</i>	<i>-0,11</i>	<i>-0,39</i>	<i>0,08</i>	<i>0,71</i>	<i>0,32</i>	<i>0,23</i>	<i>0,63</i>	<i>0,37</i>	<i>-0,07</i>	<i>0,64</i>	<i>-0,59</i>	<i>0,34</i>	<i>0,50</i>	<i>0,73</i>	1,00	

Tabela 4.40: . Person-ova korelaciona matrica za fizičko-hemijske parametre i radioaktivnosti merene u pijaćim vodama vodonosne sredine p verovatnoćom 95% za svako mesto uzorkovanja

	Pukotinska vodonosna sredina (p)																			
	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	<sup>238</sup> U	T	pH	EP	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
MO	1,00																			
UA	0,74	1,00																		
UB	0,66	0,11	1,00																	
<sup>40</sup> K	0,71	0,22	0,58	1,00																
<sup>137</sup> Cs	-0,54	-0,24	-0,40	-0,52	1,00															
<sup>134</sup> Cs	-0,32	-0,40	-0,10	-0,09	0,67	1,00														
<sup>226</sup> Ra	-0,26	-0,17	-0,18	-0,17	0,67	0,32	1,00													
<sup>228</sup> Ra	0,45	0,78	0,18	-0,12	0,21	-0,14	0,00	1,00												
<sup>238</sup> U	-0,16	0,10	-0,44	-0,01	0,72	0,54	0,52	0,21	1,00											
T	0,12	0,24	-0,13	0,04	-0,04	0,13	-0,44	0,29	0,23	1,00										
pH	-0,39	-0,29	-0,39	-0,25	0,13	-0,04	-0,28	-0,14	0,23	0,54	1,00									
EP	0,70	0,65	0,20	0,41	-0,20	0,09	-0,32	0,46	0,19	0,64	-0,00	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,46	0,22	0,17	0,64	-0,17	0,06	-0,19	0,04	0,32	0,55	0,38	0,70	1,00							
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,60	0,50	0,13	0,34	-0,32	0,08	-0,24	0,18	-0,01	0,53	-0,16	0,89	0,52	1,00						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,69	0,63	0,32	0,50	-0,13	0,10	-0,40	0,56	0,28	0,60	0,09	0,89	0,73	0,59	1,00					
SiO <sub>2</sub>	0,55	0,65	0,09	0,50	-0,32	-0,28	-0,24	0,38	0,04	0,28	-0,19	0,60	0,55	0,42	0,64	1,00				
Ca <sup>2+</sup>	0,69	0,68	0,35	0,33	-0,33	-0,27	-0,38	0,57	0,07	0,32	-0,04	0,47	0,17	0,30	0,59	0,14	1,00			
Mg <sup>2+</sup>	0,66	0,93	0,06	0,17	-0,30	-0,49	-0,30	0,74	0,10	0,35	-0,05	0,56	0,20	0,38	0,59	0,47	0,84	1,00		
Na <sup>+</sup>	0,36	0,24	0,08	0,36	0,01	0,41	-0,16	0,11	0,23	0,54	0,03	0,83	0,74	0,78	0,70	0,55	-0,05	0,05	1,00	
K <sup>+</sup>	0,81	0,41	0,56	0,97	-0,52	-0,10	-0,16	0,04	0,04	0,11	-0,34	0,54	0,62	0,47	0,59	0,57	0,46	0,34	0,40	1,00

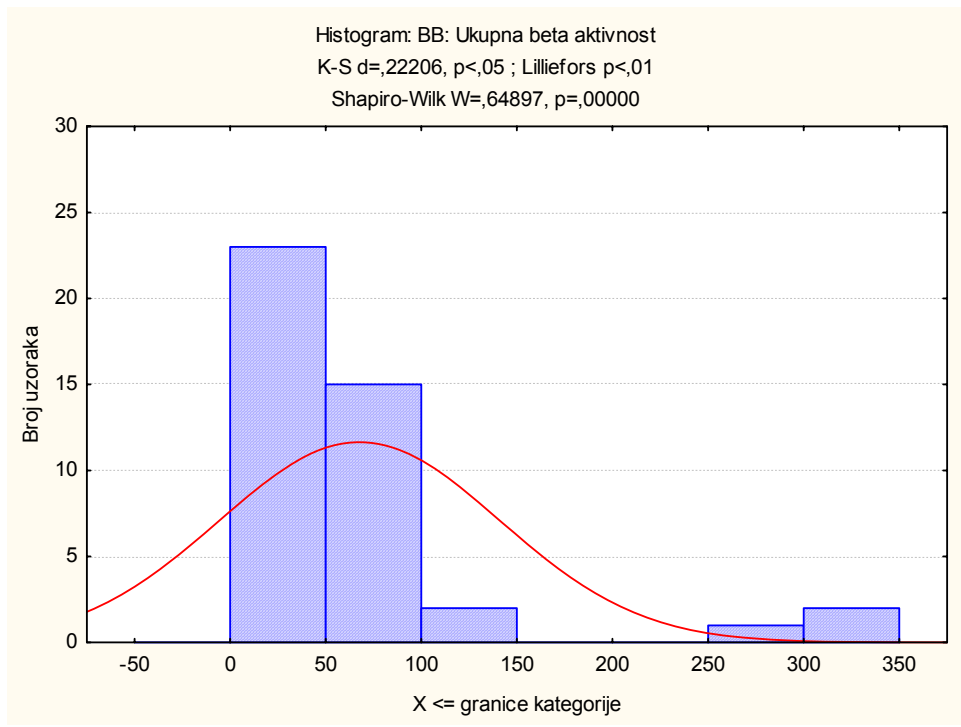
Kod voda vodonosne sredine k ukupna alfa aktivnost nije u jakoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom, a u umerenoj korelaciji je sa aktivnošću <sup>40</sup>K i sa aktivnošću <sup>226</sup>Ra (r=0,60 i 0,54 respektivno); kod voda vodonosne sredine l ukupna alfa aktivnost je u jakoj korelaciji sa koncentracijom Ca<sup>2+</sup> (r=0,78), a u umerenoj pozitivnoj korelaciji sa aktivnošću <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, koncentracijom SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i SiO<sub>2</sub> (r=0,54; 0,59; 0,59; 0,72 i 0,56 respektivno) i umerenoj negativnoj korelaciji sa koncentracijom Na<sup>+</sup> (r=-0,58) a kod voda vodonosne strukture m je u jakoj korelaciji sa koncentracijama Cl<sup>-</sup> i Ca<sup>2+</sup> (r=0,86 i 0,81 respektivno), a u umerenoj korelaciji sa elektroprovodljivošću, koncentracijama SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> i HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (r= 0,72, 0,65 i 0,73 respektivno) i koncentracijama Mg<sup>2+</sup> i Na<sup>+</sup> (r= 0,53 i 0,58) a kod voda vodonosne

sredine p je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{228}\text{Ra}$  i koncentracijom  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r= 0,78$  i  $0,93$  respektivno) a u umerenoj korelaciji sa elektroprovodljivošću, koncentracijama  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{SiO}_2$  ( $r = 0,65$ ;  $0,50$ ;  $0,63$  i  $0,65$ ) i koncentracijom  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r= 0,68$ ).

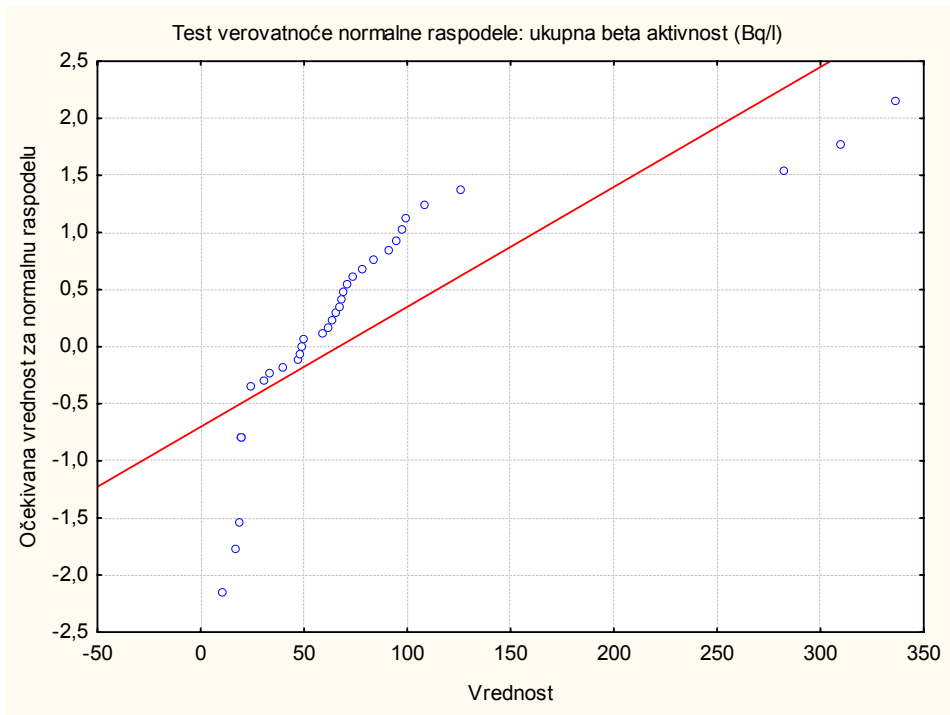
Ukupna beta aktivnost kod grupe voda vodonosne sredine k nije ni u jakoj ni u umerenoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom veličinom., kod voda vodonosne sredine l je u umerenoj korelaciji sa aktivnostima  $^{134}\text{Cs}$ , temperaturom, elektroprovodljivošću, koncentracijama  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ , i koncentracijom  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r= 0,58$ ;  $0,59$ ;  $0,63$ ;  $0,69$ ;  $0,52$ ;  $0,59$  i  $0,57$  respektivno), a kod voda vodonosne sredine m je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{40}\text{K}$  i koncentracijom  $\text{K}^+$  ( $r= 0,86$  i  $0,90$  respektivno), a u umerenoj korelaciji sa elektroprovodljivošću, koncentracijama  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$  ( $r= 0,74$ ;  $0,58$ ;  $0,72$ ;  $0,54$ ;  $0,66$  i  $0,64$  respektivno), a kod voda vodonosne strukture p je u umerenoj korelaciji sa aktivnošću  $^{40}\text{K}$  i koncentracijom  $\text{K}^+$  ( $r= 0,58$  i  $0,56$  respektivno).

#### 4.3.3 Analiza glavnih komponentata uzoraka pijaćih voda

Svi podaci karakteristika pijaćih voda Srbije su ispitivani korišćenjem Shapiro-Wilk-ovog testa [95] i testa Kolmogorov-Smirnov [96] za normalnu raspodelu korišćenjem  $p < 0,05$ . Histogram i rezultat testa normalne raspodele ukupne beta aktivnosti su, kao primer, dati na slikama 4.24 i 4.25. Iz dobijenih vrednosti  $d$  i  $p$  Kolmogorov-Smirn-ovih testova, vrednosti  $p$  Lilliefors-ovog poboljšanja navedenog testa, kao i iz  $W$  i  $p$  vrednosti Shapiro-Wilk testova, kao i sa grafika testova normalne raspodele može da se zaključi da podaci nisu prošli Shapiro-Wilk-ov i Kolmogorov-Smirnov testove, što ukazuje na značajno odstupanje od normalne raspodele. Zbog toga su uzorci ispitivanih pijaćih voda podeljeni na dve grupe od kojih se jedna grupa sastoji od uzoraka čiji je bilo koji mereni rezultat bio veći od 5 medijana. U drugoj grupi su svrstani ostali uzorci čije merene vrednosti svih karakteristika nisu prelazile vrednost 5 medijana. Prva grupa je obeležena kao 5M, a druga kao M.



**Slika 4.24: Histogram raspodele ukupne beta aktivnosti**



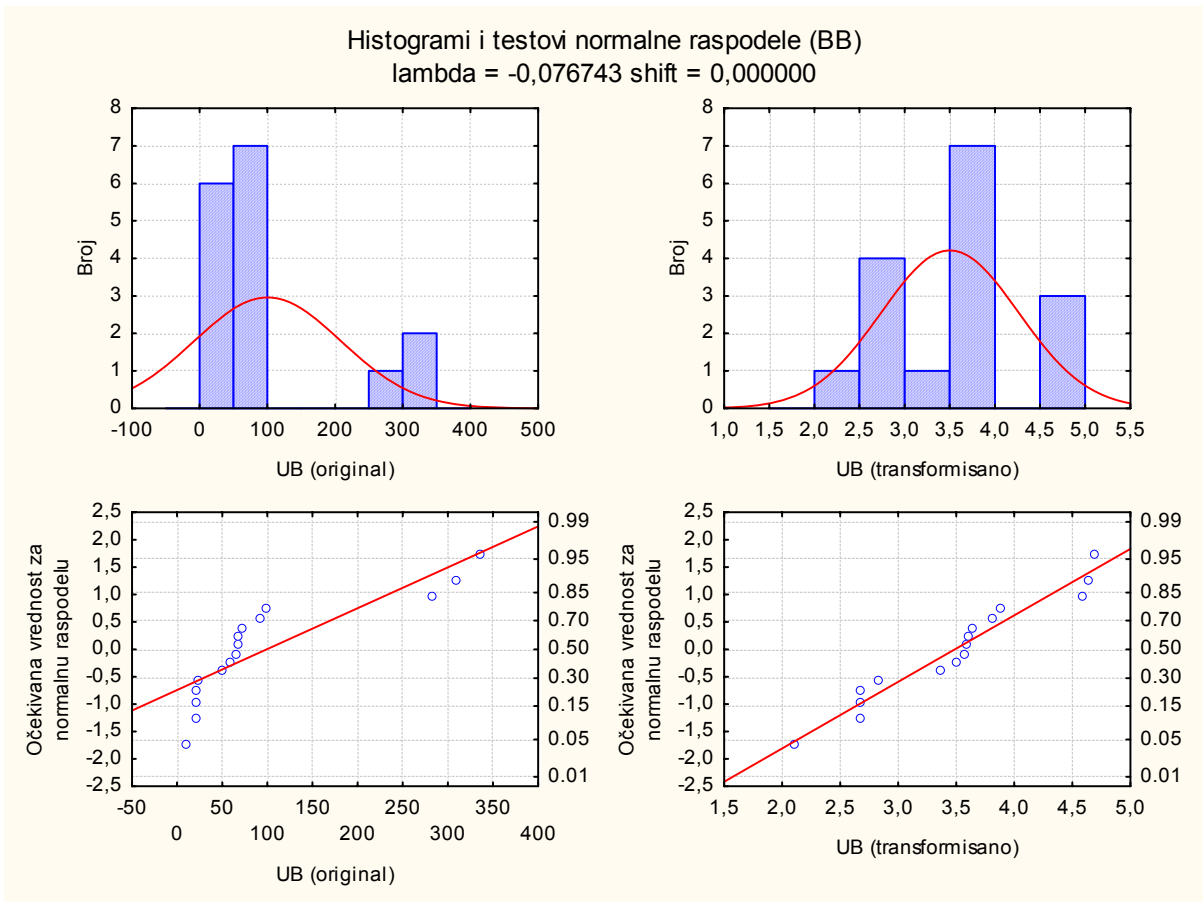
**Slika 4.25: Test normalne raspodele ukupne beta aktivnosti**

### **4.3.3.1 Grupa pijaćih voda 5M**

#### ***4.3.3.1.1 Fizičkohemijske karakteristike uzoraka grupe 5M pijaćih voda Srbije***

U tabeli 4.41 su prikazani rezultati ispitivanja karakteristika pijaćih voda grupe 5M po tipu vodonosnih sredina i po geotektonskim jedinicama akvifera. Testovi normalnosti raspodele originalnih podataka merenih karakteristika pijaćih voda grupe 5M Srbije nisu prošli Liliefors-a i Shapiro-Wilk-ov test pa je urađena Box-Cox [97] transformacija originalnih podataka, a transformisani podaci su dati u tabeli 4.42 .

Na slici 4.26 su dati histogrami i testovi normalne raspodele uporedno za originalne vrednosti i za transformisane vrednosti ukupne beta aktivnosti. Iz ovih, kao i histograma i testova normalne aktivnosti ostalih karakteristika pijaćih voda može da se zaključi da su raspodele transformisanih podataka znatno bliže normalnoj raspodeli od netransformisanih (originalnih) podataka.



**Slika 4.26: Histogrami i testovi normalne raspodele za originalne i Box-Cox transformacijom transformisane podatke ukupne beta aktivnosti**



Tabela 4.41: Karakteristike voda grupe 5M pijaćih voda

Br. uz.	Poreklo	GJ	TVS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
3	Bezdan	A	m	0,6676	30	282	0,37	0,003	0,002	0,011	0,018	0,16	17,5	7,6	946	22,7	8	637	1	87,5	31,5	101,1	12,7
2	Kula	A	l	0,2647	10	91	0,11	0,004	0,002	0,07	0,01	0,06	20	7,8	645	9,5	8	506	14,8	28	31	104,7	0,8
4	Sombor	A	m	0,8257	40	49	0,016	0,003	0,002	0,025	0,011	0,16	17,5	7,9	860	22,5	8	596	1	74,6	30,1	110,3	2,7
5	Sr. Mitrovica	A	l	0,4903	20	71	0,29	0,003	0,001	0,029	0,042	0,66	17,5	8,06	858	24,1	16	560	24,5	81,8	46,7	66,2	0,5
7	Šabac	B	m	0,4854	52	68	0,2	0,003	0,002	0,04	0,01	0,04	12,3	7,14	633	28,61	60,03	433	17,44	151,75	14,2	18,58	0,95
22	Darosava kod Arandjelovca	C	p	0,96	20	310	0,57	0,001	0,002	0,012	0,018	0,086	13,2	6,4	850	31,3	68,2	512,4	18,8	72,2	16,2	112	14,3
17	Ljig	C	k	0,1507	10	20	0,08	0,008	0,002	0,02	0,02	0,06	17,4	7,2	350	4,2	15	260	17	7,2	1,2	96,2	0,55
19	Slavkovicica kod Ljiga	C	k	0,5182	20	67	0,08	0,003	0,002	0,012	0,018	0,1	17	8,4	410	12	23	293	15	4,1	5	106	0,5
21	Zubin Potok	C	p	0,4368	10	336	0,01	0,004	0,002	0,018	0,03	0,05	11,8	7,2	280	2,4	11	207	6,5	50	6	2,716	0,335
33	Crna Trava	D	p	0,1	10	20	0,01	0,008	0,003	0,17	0,02	0,12	8	6,5	60	4,4	1,1	12	8,4	6,5	1	2,7	0,7
31	Mladenovac	D	l	0,34	33	99	0,07	0,009	0,006	0,16	0,03	0,09	14	7,9	670	20	140	430	24,2	115	52	22	1,3
32	Mladenovac	D	l	0,25	10	59	0,17	0,007	0,003	0,017	0,03	0,1	22	8,5	620	17	50	460	21,2	22	24	165	2,7
36	Niš	D	k	0,716	40	10	0,202	0,03	0,02	0,26	0,14	0,1	18,8	8,1	590	12,1	47,8	500	41,9	39	10,6	103	10,6
34	Selo Bresnica, Vranje	D	p	0,7228	30	65	0,045	0,002	0,001	0,011	0,032	0,078	16	7	924	10,3	105	332	12,1	91,3	33,4	61,6	3,7
25	Tulara banja, Prokuplje	D	p	0,2027	11	20	0,03	0,006	0,004	0,02	0,02	0,1	18,9	8,83	942	26,7	85,3	427	15,44	1,6	1	201	1
40	Niš	E	k	0,2941	10	24	0,07	0,006	0,003	0,01	0,024	0,11	14	7,5	630	50	48	390	13,4	110	40	21,1	1,6

GJ- geotektonska jedinica; TVS- tip vodonosne sredine; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost; UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;

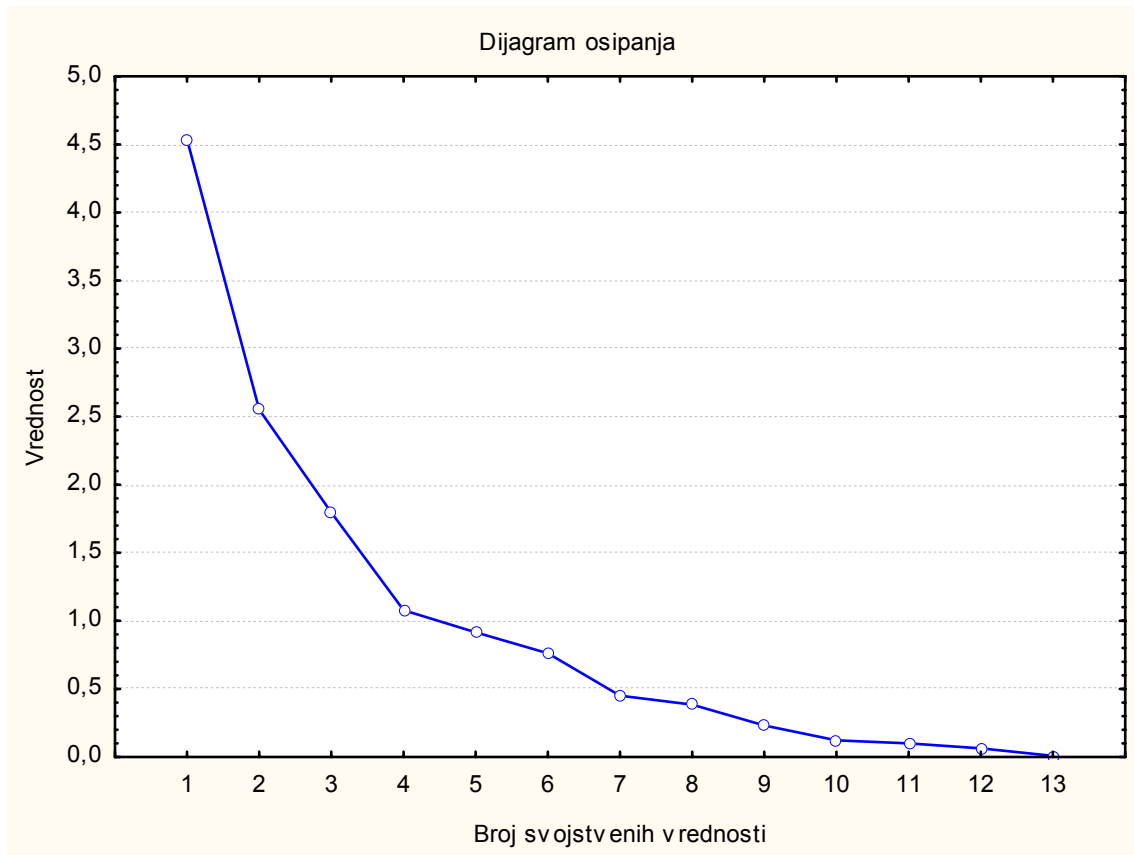
Zbog relativno malog broja uzoraka u ovoj grupi pijaćih voda, za potrebe dalje statističke analize broj karakteristika koje se koriste je redukovano. U daljoj analizi korišćene karakteristike su: mineralni ostatak, ukupna alfa i ukupna beta aktivnost, aktivnost  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , koncentracije  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ .

**Tabela 4.42: Transformisane vrednosti karakteristika pijaćih voda grupe 5M Box-Cox transformacijom**

Br. uz.	Poreklo	GJ	TVS	MO	UA	UB	$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{228}\text{Ra}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SiO}_2$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
3	Bezdan PV	A	m	-0,3701	2,0492	4,5792	-0,9309	-9,8843	-24,2930	-14,5334	3029,5315	0,0000	15,1392	8,4091	23,3656	1,7096
2	Kula	A	l	-1,0055	1,6159	3,8129	-1,9107	-9,1338	-6,7005	-20,7085	2256,1899	7,3018	8,0090	8,3319	23,8801	-0,2317
4	Sombor	A	m	-0,1837	2,1391	3,3644	-3,1746	-9,8843	-14,0364	-19,5683	2782,2061	0,0000	13,8989	8,1910	24,6658	0,8446
5	Sr. Mitrovica	A	l	-0,6115	1,9071	3,6357	-1,1406	-9,8843	-12,6731	-8,4832	2568,9239	10,7180	14,6041	10,5005	17,9012	-0,7805
7	Izvorište Mali Zabran-Šabac	B	m	-0,6188	2,2140	3,6045	-1,4477	-9,8843	-10,1124	-20,7085	1848,2078	8,2943	20,2056	5,1727	7,6667	-0,0517
22	Darosava kod Arandjelovca	C	p	-0,0405	1,9071	4,6404	-0,5415	-13,1114	-22,9456	-14,5334	2292,7871	8,7848	13,6558	5,6300	24,9010	1,7591
17	Ljig	C	k	-1,2828	1,6159	2,6763	-2,1426	-7,4688	-16,3346	-13,6206	961,8273	8,1328	3,2419	0,1901	22,6528	-0,6621
19	Slavkovića kod Ljiga	C	k	-0,5706	1,9071	3,5937	-2,1426	-9,8843	-22,9456	-14,5334	1120,8800	7,3791	1,9972	2,3787	24,0640	-0,7805
21	Zubin Potok	C	p	-0,6937	1,6159	4,6921	-3,4363	-9,1338	-17,5340	-10,5583	718,2537	3,6467	11,1652	2,7758	1,3538	-1,3214
33	Crna Trava	D	p	-1,4455	1,6159	2,6763	-3,4363	-7,4688	-3,2037	-13,6206	18,0101	4,5848	2,9909	0,0000	1,3433	-0,3789
31	Mladenovac	D	l	-0,8583	2,0799	3,8723	-2,2370	-7,2047	-3,3869	-10,5583	1831,8294	10,6205	17,4914	11,1401	8,6337	0,2511
32	Mladenovac	D	l	-1,0368	1,6159	3,5012	-1,5773	-7,7745	-18,2179	-10,5583	1997,0254	9,6209	6,9279	7,1697	31,6114	0,8446
36	Niš	D	k	-0,3106	2,1391	2,1106	-1,4397	-4,7874	-2,0946	-3,5208	2221,9974	15,8160	9,7076	4,2513	23,6381	1,6302
34	Selo Bresnica, Vranje	D	p	-0,3024	2,0492	3,5718	-2,5374	-11,0061	-24,2930	-10,1303	1315,3970	6,2196	15,4857	8,6969	17,0981	1,0588
25	Tulara banja, Prokuplje	D	p	-1,1455	1,6600	2,6763	-2,7978	-8,1362	-16,3346	-13,6206	1815,4829	7,5478	0,5256	0,0000	35,6551	-0,0000
40	Niš	E	k	-0,9455	1,6159	2,8202	-2,2370	-8,1362	-25,8538	-12,1598	1616,5673	6,7503	17,0881	9,6328	8,3858	0,4348

#### 4.3.3.1.1 Analiza glavnih komponenta karakteristika grupe 5M pijaćih voda Srbije

PCA- analiza glavnih komponenta sprovedena je za identifikaciju i prepoznavanje strukture parametara hidrohemije i radioaktivnosti kao i za pomoć u interpretaciji podataka karakteristika grupe 5M pijaćih voda Srbije. Ulazni skup podataka se sastojao od matrice dimenzija 16x13, u kojoj su redove predstavljale analizirane mineralne vode (16 uzoraka), a kolone specifični analizirani parametri (promenljive): mineralni ostatak, glavni joni ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ),  $\text{SiO}_2$  i radionuklidi (UA, UB,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ).



**Slika 4.27: Grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenta karakteristika uzoraka grupe 5M pijaćih voda Srbije**

Na slici 4.27 je prikazan grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenta karakteristika uzoraka grupe 5M pijaćih voda. U ovom slučaju je za broj glavnih komponenti određena vrednost 4, jer je sa 4 komponente objašnjeno preko 76% varijanse kao što može da se vidi iz tabele 4.43.

U tabeli 4.45 prikazane su strukture faktora fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na četiri značajne glavne komponente za pijaće vode Srbije.

Tabela 4.43: Svojevredne vrednosti glavnih komponentata karakteristika uzoraka grupe 5M pijaćih voda Srbije

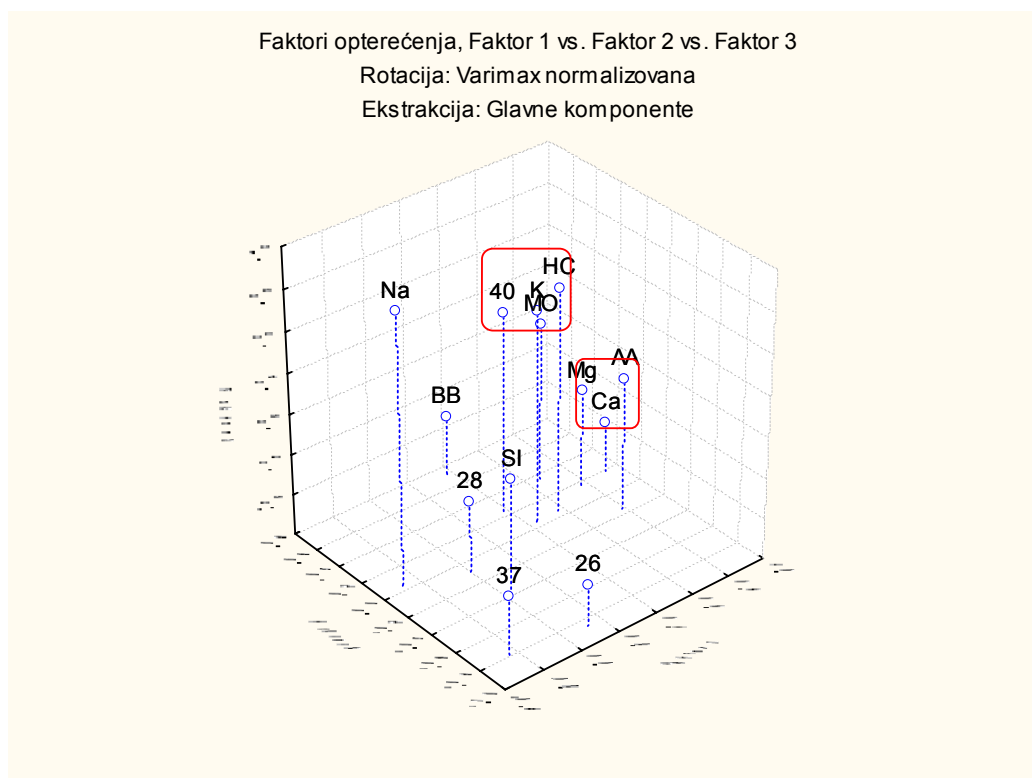
Broj glavne komponente	Svojevredna vrednost	% Ukupne varijanse	Svojevredna vrednost kumulativno	Kumulativni %
1	4,537767	34,90590	4,537767	34,90590
2	2,551702	19,62847	7,089469	54,53438
3	1,795748	13,81344	8,885217	68,34782
4	1,077567	8,28898	9,962784	76,63680

Tabela 4.44. Struktura faktora 13 fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na četiri značajne glavne komponente za grupu 5M pijaćih voda Srbije

Struktura faktora (Varimax normalizovana) Ekstrakcija: Glavne komponente (Masnim slovima su označena opterećenja >0,700000)					
Parametri	Skracenicice	Strukturalni faktori			
		PC1 (34,9%)	PC2 (19,6%)	PC3 (13,8 %)	PC4 (8,3 %)
Ukupna alfa	UA	<b>0,786593</b>	-0,159966	0,258113	-0,082781
Ukupna beta	UB	0,377084	0,723877	-0,100306	-0,214807
<sup>40</sup> K	K4	0,386232	0,238828	0,590105	0,346529
<sup>137</sup> Cs	C7	-0,242383	<b>-0,790347</b>	-0,109237	0,358789
<sup>226</sup> Ra	R6	0,125014	<b>-0,859701</b>	-0,193685	0,012874
<sup>228</sup> Ra	R8	-0,002456	-0,090831	-0,044970	<b>0,896407</b>
Ukup. rastvorene materije	MO	0,566311	0,355473	0,382479	0,001563
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HC	0,566311	0,050951	0,708721	-0,110929
Na <sup>+</sup>	Na	-0,281831	0,041170	<b>0,922038</b>	-0,022803
K <sup>+</sup>	K	0,443022	0,044327	0,642201	0,110125
Ca <sup>2+</sup>	Ca	<b>0,923868</b>	0,180041	-0,150315	0,012438
Mg <sup>2+</sup>	Mg	<b>0,771326</b>	0,160778	0,081260	0,080408
SiO <sub>2</sub>	Si	0,026965	-0,388897	0,171756	<b>0,765150</b>
Objašnjena varijablansa		3,473277	2,320732	2,446226	1,722548
Učešće u ukupnoj varijaciji		0,267175	0,178518	0,188171	0,132504

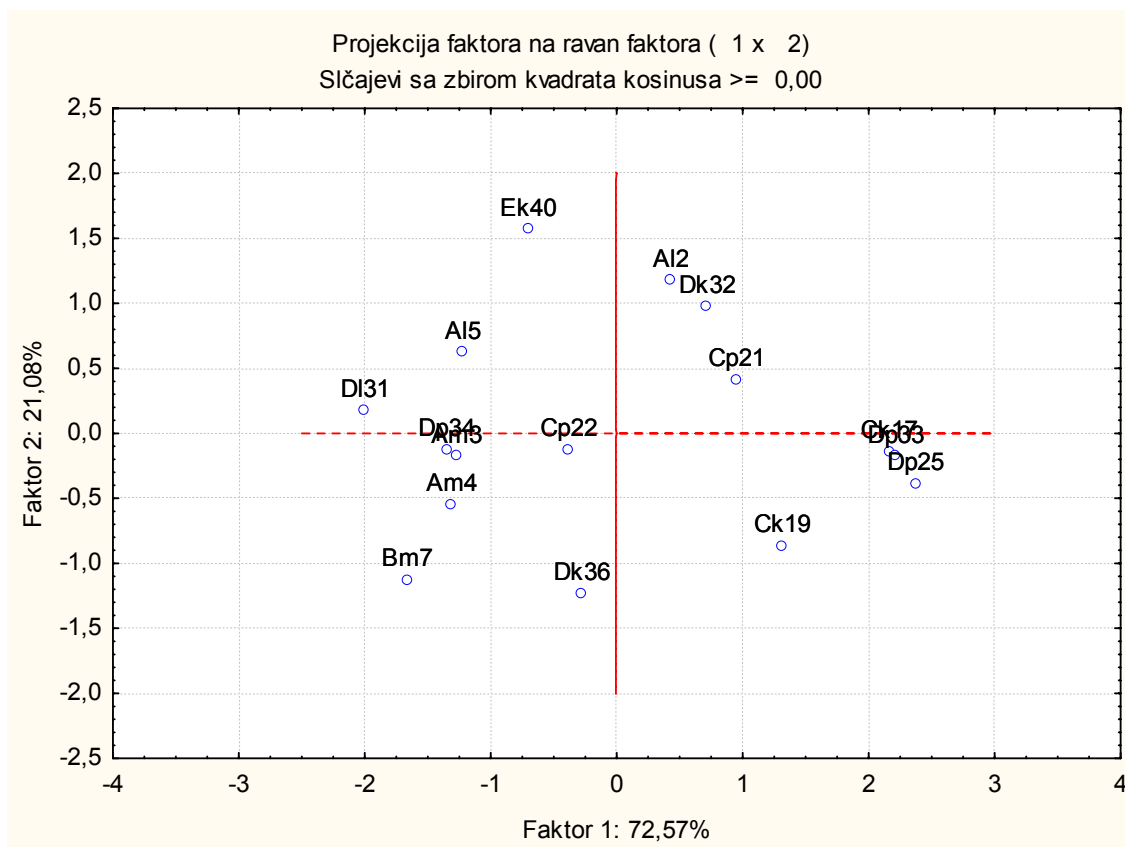
PCA redukuje broj parametara na 4 skrivena faktora objašnjavajući 76,6% varijanse uzoraka odgovorne za formiranje strukture podataka. Rotirana strukturalni faktora za svaki parametar je predstavljena u tabeli 4.44. Strukture faktora predstavljaju učešće posmatranih promenljivih za pojedine faktore (tj. korelacione koeficijente >0,7) i označene su masnim slovima. Prvi faktor (PC1)

je pozitivno korelisan sa UA (0,79),  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,92$ ) i  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r=0,77$ ), računato na oko 34,9% ukupne varijanse skupa podataka. PC2 (19,6%) je pozitivno korelisan sa ukupnom beta aktivnošću, aktivnošću  $^{137}\text{Cs}$  i aktivnošću  $^{226}\text{Ra}$ . PC3 pokriva 13,8% ukupne varijanse i jasno se karakteriše koncentracijama natrijuma i bikarbonata u strukturi faktora. PC4 pokriva oko 8,3% ukupne varijanse i karakteriše se pozitivnim vrednostima aktivnosti  $^{228}\text{Ra}$  i koncentracije  $\text{SiO}_2$ .



**Slika 4.28: Grafik zavisnost faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu 5M pijaćih voda**

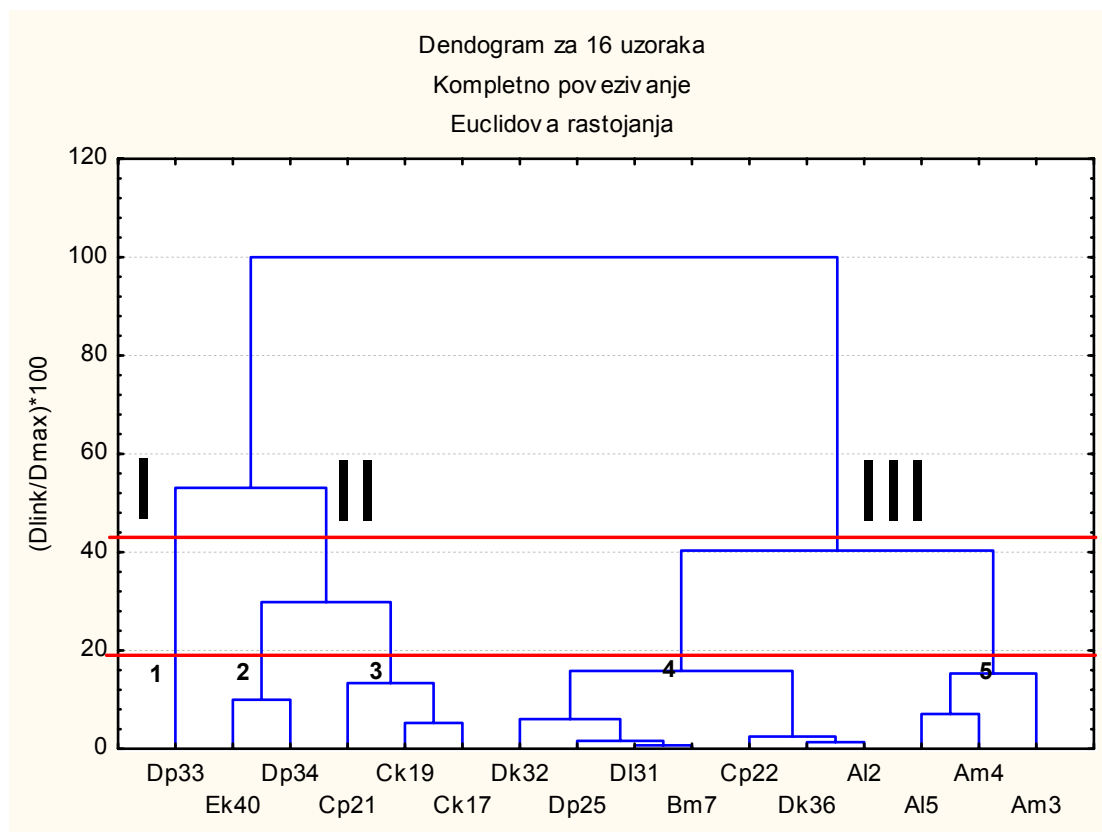
Na slici 4.28 je prikazan dijagram faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu 5M pijaćih voda. Sa dijagrama može da se zapazi postojanje 2 klastera karakteristika grupe 5M pijaćih voda. U gornjem klasteru na dijagramu su grupisane sledeće karakteristike:  $^{40}\text{K}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i mineralni ostatak. U donjem sa desne strane su grupisani ukupna alfa aktivnost,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Ca}^{2+}$ .



**Slika 4.29: Projekcija faktora PC1 i PC2 na ravan faktora 1 i 2 za vode grupe 5M za sve slućajeve korišćene u ovim ispitivanjima prema: njihovim geotektonskim jedinicama akvifera i tipu vodonosne sredine**

Na slikama 4.29 i 4.30, PC1 u funkciji PC2 i PC1 u funkciji PC3 ne uočava se grupisanje uzoraka u klasterne ni po geotektonskim jedinicama akvifera ni po tipovima vodonosnih sredina.





**Slika 4.31: Dendrogram dobijen klaster analizom uzorkovanih mesta sa fizičko-hemijskim i parametrima radioaktivnosti za 16 uzoraka pijaćih voda.**

Analizirane vode na slici 4.31 su označene na taj način što prvo slovo oznake označava geotektonsku jedinicu, drugo slovo vodonosnu sredinu a jednocifreni ili dvocifreni broj redni broj uzorka iz tabele 4.41. Dobijeni dendrogram pokazuje 3 glavne grupe (I-III) kao i veći broj podgrupe. Izborom podele na podgrupe korišćenjem 20%-ne različitosti, što daje jasnu razliku u pogledu hidrogeoloških i fizičko-hemijskih promenljivih, dobijeno je 5 podgupa sličnih fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika. U podgrupi 1 se nalazi uzorak 33, u podgrupi 2 uzorci 40 i 34, u podgrupi 3 uzorci 21, 19 i 17, u podgrupi 4 uzorci 32, 25, 31, 7, 22, 36 i 12 a u podgrupi 5 uzorci 5, 4 i 3.

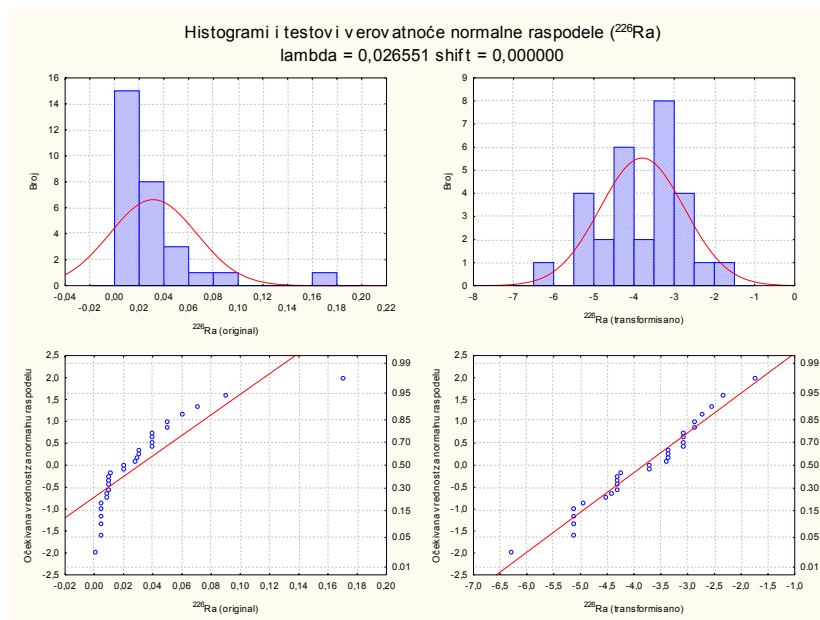


### 4.3.3.3 Grupa pijaćih voda M

#### 4.3.3.3.1 Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka grupe M pijaćih voda Srbije

U tabeli 4.45 prikazani su rezultati ispitivanja karakteristika pijaćih voda grupe M po tipu vodonosne sredine i po geotektonskim jedinicama akvifera. Testovi normalnosti raspodele originalnih podataka merenih karakteristika pijaćih voda grupe M Srbije nisu prošli Liliefors-a i Shapiro-Wilk-ov test pa je urađena Box-Cox [97] transformacija originalnih podataka, a transformisani podaci su dati u tabeli 4.46.

Histogrami i testovi normalne raspodele uporedo za originalne vrednosti i za transformisane vrednosti  $^{226}\text{Ra}$ , kao primer prikazani na slici 4.32. Iz prikazanih i testova ostalih karakteristika pijaćih voda može da se zaključi da je raspodela transformisanih podataka znatno bliža normalnoj raspodeli od netransformisanih (originalnih) podataka.



Slika 4.32: Histogrami i testovi normalne raspodele za originalne i Box-Cox transformacijom transformisane podatke aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$

Tabela 4.45: Karakteristike voda grupe M pijaćih voda

R.br.	Poreklo	GJ	TVS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
1	Novi Sad	A	m	0,3164	31	97	0,07	0,006	0,002	0,050	0,020	0,08	15,0	8,30	630	22,6	15,00	470	20,80	84,10	31,80	47,400	1,76
6	Subotica	A	m	0,3884	20	126	0,06	0,002	0,001	0,005	0,010	0,04	17,5	7,33	560	23,7	8,00	299	26,90	67,80	22,90	22,890	0,70
7	Izvorište	B	l	0,4854	52	68	0,2	0,003	0,002	0,04	0,01	0,04	12,3	7,1	633	28,6	60	433	17,4	151,75	14,2	18,6	0,95
8	Kosjerić	B	k	0,4076	35	95	0,14	0,003	0,001	0,040	0,028	0,30	25,0	7,10	520	8,5	8,30	372	13,50	89,60	20,20	10,400	1,40
9	Vruići	B	k	0,4251	20	84	0,10	0,002	0,001	0,029	0,025	0,10	29,5	7,70	550	6,8	10,70	354	15,40	74,10	14,40	38,400	3,23
10	Gradac	B	k	0,4099	20	47	0,08	0,002	0,001	0,011	0,025	0,10	16,3	7,50	480	4,9	18,20	315	13,40	54,90	35,60	4,840	1,20
11	Gradac	B	k	0,3207	30	69	0,11	0,002	0,001	0,001	0,018	0,09	8,2	7,70	370	3,5	7,20	270	13,20	54,50	19,60	2,920	0,83
12	Gradac	B	k	0,4297	40	31	0,04	0,002	0,001	0,028	0,014	0,06	15,6	7,50	490	4,2	19,10	361	13,00	57,70	37,00	4,700	0,90
14	Tara	B	l	0,2458	20	19	0,09	0,006	0,001	0,010	0,020	0,14	6,8	7,40	330	1,4	8,50	234	13,90	76,30	1,31	0,539	0,39
13	Donja Jablanica Zlatibor	B	k	0,3741	20	50	0,03	0,003	0,002	0,010	0,010	0,05	9,7	8,90	390	0,7	2,60	222	11,60	2,01	58,70	0,625	0,16
15	Rajkovac	C	k	0,2581	40	40	0,09	0,007	0,004	0,060	0,030	0,12	13,5	7,80	522	16,4	6,91	347	8,09	88,08	53,46	1,984	0,10
16	Cerovac	C	l	0,1117	10	20	0,05	0,005	0,002	0,070	0,020	0,07	13,0	7,60	590	5,8	26,00	530	15,00	86,00	41,00	33,300	2,10
18	Kaona ko	C	p	0,0937	10	20	0,01	0,006	0,004	0,010	0,020	0,11	14,0	7,80	280	1,8	6,00	260	6,50	66,00	10,00	7,900	1,00
20	Kraljevo	C	m	0,4222	20	74	0,07	0,003	0,001	0,004	0,003	0,05	14,3	7,69	606	21,0	32,00	307	26,50	63,80	34,80	20,500	1,50
23	Prekadin	C	p	0,5788	33	78	0,06	0,005	0,001	0,020	0,050	0,10	14,3	7,30	680	13,3	18,90	493	21,50	70,20	33,60	49,300	2,99
24	Smederevo	D	m	0,2434	10	108	0,14	0,002	0,001	0,009	0,020	0,11	14,0	7,01	649	8,0	20,10	464	18,12	98,10	25,50	31,800	2,70
26	Surdulica	D	m	0,0100	10	20	0,05	0,003	0,002	0,040	0,010	0,08	16,0	7,20	45	1,1	3,90	24	15,30	4,40	1,00	3,300	0,50
27	Surdulica	D	m	0,0143	10	20	0,04	0,004	0,002	0,040	0,020	0,07	16,0	7,10	40	0,8	4,00	24	15,80	4,20	1,00	3,300	0,50
28	Surdulica	D	m	0,0107	10	20	0,06	0,005	0,002	0,030	0,020	0,07	16,0	7,20	60	3,0	4,70	31	14,80	8,40	1,30	3,000	0,50
29	Surdulica	D	m	0,0119	10	20	0,04	0,005	0,003	0,030	0,010	0,07	16,0	7,40	70	0,8	6,00	43	13,50	10,00	1,20	3,000	0,50
30	Surdulica	D	m	0,0145	10	20	0,02	0,006	0,004	0,050	0,032	0,04	16,0	7,40	70	3,1	5,70	37	13,70	10,00	2,90	3,000	0,50
33	Crna Trava	D	p	0,1000	10	20	0,01	0,008	0,003	0,170	0,020	0,12	8,0	6,50	60	4,4	1,10	12	8,40	6,50	1,00	2,700	0,70

R.br.	Poreklo	GJ	TVS	MO [g/l]	UA [mBq/l]	UB [mBq/l]	<sup>40</sup> K [Bq/l]	<sup>137</sup> Cs [Bq/l]	<sup>134</sup> Cs [Bq/l]	<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	<sup>228</sup> Ra [Bq/l]	<sup>238</sup> U [Bq/l]	T [°C]	pH	EP [μS/cm]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SiO <sub>2</sub> [mg/l]	Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Na <sup>+</sup> [mg/l]	K <sup>+</sup> [mg/l]
35	Vranje	D	p	0,1010	10	33	0,06	0,002	0,001	0,004	0,014	0,06	16,0	7,85	147	5,4	18,00	66	13,86	20,80	7,50	1,000	1,80
37	Jablanic	D	p	0,1843	10	17	0,07	0,004	0,001	0,010	0,017	0,10	16,0	11,40	320	23,7	0,50	260	9,00	54,00	14,50	5,430	0,88
38	Pirot	E	k	0,1362	10	20	0,04	0,003	0,002	0,004	0,007	0,10	9,5	7,75	562	7,4	0,80	352	10,10	103,90	13,10	6,400	3,00
39	Despotovac	E	k	0,1249	10	20	0,04	0,005	0,003	0,020	0,020	0,10	10,1	8,00	330	0,9	10,00	270	3,00	66,00	20,00	1,200	0,50
41	Niš	E	k	0,2308	26	64	0,10	0,006	0,003	0,090	0,020	0,09	9,5	7,20	520	4,9	17,00	410	11,70	98,10	20,00	15,800	1,10
42	Donja Kamenica	E	p	0,2017	10	48	0,04	0,002	0,001	0,004	0,006	0,05	5,8	6,80	53	0,8	4,80	31	11,80	5,50	1,70	1,800	0,20
43	Knjaževac	E	k	0,7208	10	62	0,01	0,004	0,001	0,008	0,030	0,05	8,2	7,40	51	0,5	6,10	31	8,70	6,30	1,70	1,630	0,14

GJ- geotektonska jedinica; TVS- tip vodonosne sredine; MO – mineralni ostatak; UA – ukupna alfa aktivnost;

UB – ukupna beta aktivnost; T – temperatura; EP – elektroprovodljivost;

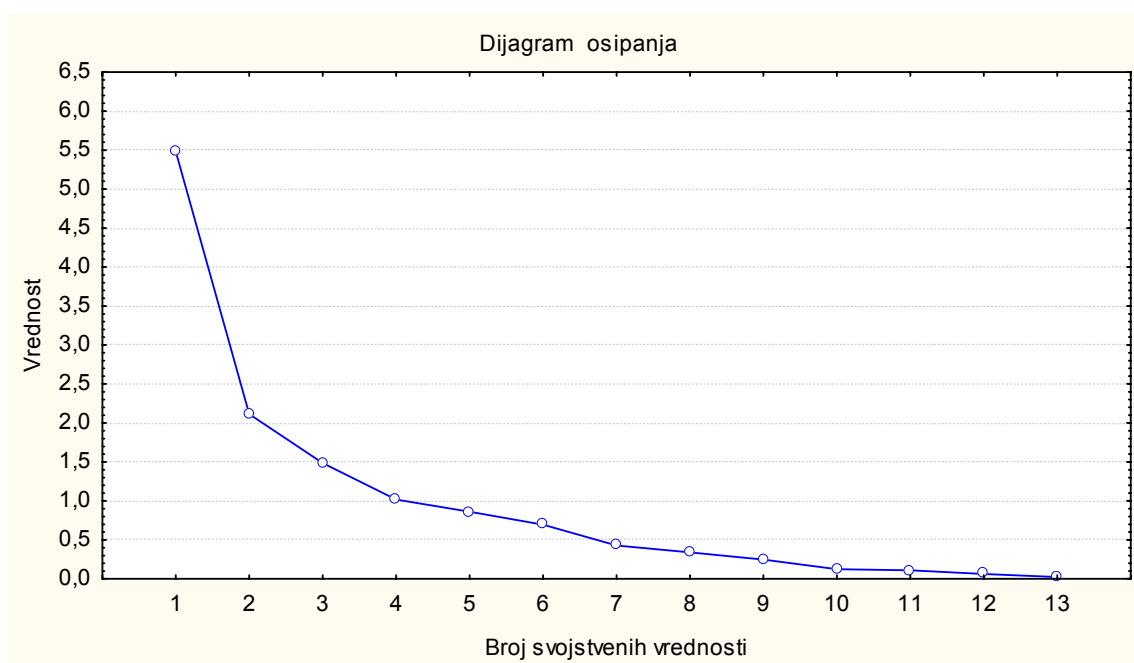
**Tabela 4.46: Transformisane vrednosti karakteristika pijaćih voda grupe M Box-Cox transformacijom**

R.br.	Poreklo	GJ	TVS.	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	MO	UA	UB	<sup>40</sup> K	<sup>137</sup> Cs	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Ra
1	Novi Sad	A	m	-0,8895	2,2736	8,7550	-2,0206	-1553,9988	-179697023	-2,8797	-2,7307	-6,1019	7,4150	0,5898	1983,0052	3,6308	3,9207	391,6439	16,6742	29,3863	7,2646	3,7428	0,5994
6	Subotica	A	m	-0,7640	2,0831	9,6383	-2,1058	-8239,5715	-1707162448	-4,9425	-3,0314	-11,2611	8,3595	0,5855	1720,0714	3,6949	2,7529	252,7616	21,4193	25,1277	6,0905	3,0542	-0,3439
7	Izvorište	B	l	-0,6131	2,4723	7,6474	-1,3585	-4452,0068	-179697023	-3,0852	-3,0314	-10,2391	6,3306	0,5843	1994,4148	3,9513	7,2757	361,7706	13,9828	44,8829	4,6271	2,8564	-0,0510
8	Kosjerić	B	k	-0,7326	2,3226	8,6872	-1,6006	-4452,0068	-1707162448	-3,0852	-2,5693	-1,7887	10,9448	0,5843	1572,8040	2,3740	2,8161	312,3203	10,8428	30,7637	5,6798	2,2988	0,3484
9	Vruići	B	k	-0,7048	2,0831	8,2940	-1,8370	-8239,5715	-1707162448	-3,3791	-2,6248	-5,1059	12,3642	0,5873	1683,0437	2,1032	3,2696	297,9203	12,3804	26,8077	4,6662	3,5444	1,3256
10	Gradac	B	k	-0,7289	2,0831	6,5985	-1,9518	-8239,5715	-1707162448	-4,2503	-2,6248	-5,1059	7,9125	0,5864	1427,8669	1,7159	4,3197	265,6918	10,7615	21,5268	7,7039	1,5573	0,1858
11	Gradac	B	k	-0,8816	2,2601	7,6909	-1,7539	-8239,5715	-1707162448	-6,3113	-2,7791	-5,6596	4,5061	0,5873	1042,6465	1,3306	2,5750	228,6368	10,5986	21,4111	5,5840	1,0625	-0,1863
12	Gradac	B	k	-0,6975	2,3748	5,5308	-2,3166	-8239,5715	-1707162448	-3,4111	-2,8905	-7,7033	7,6464	0,5864	1463,8747	1,5379	4,4225	303,4555	10,4354	22,3289	7,8585	1,5287	-0,1075
14	Tara	B	l	-1,0284	2,0831	4,4133	-1,8756	-1553,9988	-1707162448	-4,3348	-2,7307	-3,8417	3,8130	0,5859	908,0390	0,3419	2,8574	199,2997	11,1679	27,3838	0,2846	-0,6211	-0,8647
13	Donja Jablanica Zlatibor	B	k	-0,7878	2,0831	6,7673	-2,4553	-4452,0068	-179697023	-4,3348	-3,0314	-8,7091	5,2041	0,5918	1111,1115	-0,3507	1,0837	189,1283	9,2879	0,8968	9,8982	-0,4718	-1,5188
15	Rajkovac	C	k	-1,0028	2,3748	6,1711	-1,8756	-1229,6233	-18915024	-2,7109	-2,5349	-4,3883	6,8219	0,5878	1580,1132	3,2096	2,5069	291,9741	6,3586	30,3857	9,4551	0,6814	-1,8349
16	Cerovac	C	l	-1,3700	1,7338	4,5239	-2,2029	-2049,7366	-179697023	-2,5676	-2,7307	-6,7672	6,6191	0,5869	1831,9705	1,9137	5,1102	439,9150	12,0580	29,8652	8,2812	3,4098	0,8014
18	Kaona ko	C	p	-1,4304	1,7338	4,5239	-2,9121	-1553,9988	-18915024	-4,3348	-2,7307	-4,7207	7,0220	0,5878	744,5246	0,6046	2,2785	220,7398	5,0001	24,6389	3,7127	2,0333	0,0000
20	Kraljevo	C	m	-0,7093	2,0831	7,9019	-2,0287	-4452,0068	-1707162448	-5,1358	-3,4656	-8,5833	7,1409	0,5873	1892,1377	3,5323	5,6051	259,3114	21,1110	24,0358	7,6139	2,9491	0,4228
23	Prekadin	C	p	-0,4824	2,2990	8,0632	-2,1430	-2049,7366	-1707162448	-3,7157	-2,2649	-5,1059	7,1409	0,5854	2174,6011	2,9348	4,4000	410,1719	17,2238	25,7732	7,4765	3,7798	1,2282
24	Smederevo	D	m	-1,0334	1,7338	9,1105	-1,6006	-8239,5715	-1707162448	-4,4279	-2,7307	-4,7207	7,0220	0,5838	2055,4538	2,3014	4,5325	386,8054	14,5560	32,8420	6,4588	3,3662	1,1018
26	Surdulica	D	m	-1,8874	1,7338	4,5239	-2,2029	-4452,0068	-179697023	-3,0852	-3,0314	-6,1019	7,7990	0,5848	81,1948	0,0957	1,6309	21,2159	12,2999	2,5788	0,0000	1,1827	-0,6461
27	Surdulica	D	m	-1,8424	1,7338	4,5239	-2,3166	-2876,4351	-179697023	-3,0852	-2,7307	-6,7672	7,7990	0,5843	70,3236	-0,2208	1,6670	21,2159	12,7022	2,4516	0,0000	1,1827	-0,6461
28	Surdulica	D	m	-1,8795	1,7338	4,5239	-2,1058	-2049,7366	-179697023	-3,3483	-2,7307	-6,7672	7,7990	0,5848	115,2520	1,1582	1,9025	27,4498	11,8966	4,8434	0,2761	1,0891	-0,6461
29	Surdulica	D	m	-1,8665	1,7338	4,5239	-2,3166	-2049,7366	-48150763	-3,3483	-3,0314	-6,7672	7,7990	0,5859	138,9934	-0,2208	2,2785	38,0267	10,8428	5,6477	0,1889	1,0891	-0,6461
30	Surdulica	D	m	-1,8405	1,7338	4,5239	-2,6367	-1553,9988	-18915024	-2,8797	-2,5022	-10,2391	7,7990	0,5859	138,9934	1,1947	2,1975	32,7533	11,0055	5,6477	1,3172	1,0891	-0,6461
33	Crna Trava	D	p	-1,4086	1,7338	4,5239	-2,9121	-1003,8847	-48150763	-1,7309	-2,7307	-4,3883	4,4098	0,5805	115,2520	1,5913	0,0965	10,3631	6,6208	3,8231	0,0000	0,9855	-0,3439
35	Centar grada Vranje	D	p	-1,4052	1,7338	5,6839	-2,1058	-8239,5715	-1707162448	-5,1358	-2,8905	-7,4214	7,7990	0,5880	341,5824	1,8295	4,2964	58,0284	11,1354	10,3131	3,0498	-0,0000	0,6247
37	Jablanica	D	p	-1,1679	1,7338	4,1786	-2,0535	-2876,4351	-1707162448	-4,3348	-2,8049	-5,1059	7,7990	0,5974	874,8971	3,6949	-0,6346	220,7398	7,1263	21,2663	4,6856	1,6694	-0,1306
38	Pirot	E	k	-1,2956	1,7338	4,5239	-2,3043	-4452,0068	-179697023	-5,1358	-3,1708	-5,1059	5,1133	0,5875	1727,4935	2,2051	-0,2168	296,0473	8,0462	34,2281	4,4057	1,8292	1,2324
39	Despotovac	E	k	-1,3289	1,7338	4,5239	-2,3166	-2049,7366	-48150763	-3,7157	-2,7307	-5,1059	5,3837	0,5886	908,0390	-0,1048	3,1459	228,9656	1,9004	24,6389	5,6481	0,1821	-0,6461
41	Niš	E	k	-1,0605	2,1997	7,4683	-1,8124	-1553,9988	-48150763	-2,3326	-2,7307	-5,5590	5,1133	0,5848	1572,8040	1,7159	4,1767	343,1561	9,3703	32,8420	5,6481	2,7004	0,0962
42	Donja Kamenica	E	p	-1,1262	1,7338	6,6556	-2,3821	-8239,5715	-1707162448	-5,1358	-3,2282	-8,7091	3,2870	0,5825	99,1077	-0,2208	1,9340	27,4498	9,4525	3,2492	0,5890	0,5851	-1,3706
43	Knjaževac	E	k	-0,3035	1,7338	7,3756	-2,9121	-2876,4351	-1707162448	-4,5316	-2,5349	-8,7091	4,5061	0,5859	94,5732	-0,6707	2,3048	27,4498	6,8739	3,7106	0,5890	0,4867	-1,6178

Zbog relativno malog broja uzoraka pijaćih voda, za potrebe dalje statističke analize broj karakteristika koje se koriste je redukovan. U daljoj analizi korišćene karakteristike su: mineralni ostatak, ukupna alfa i ukupna beta aktivnost, aktivnost  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , koncentracije  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ .

#### 4.3.3.3.1.2 Analiza glavnih komponenata karakteristika grupe M pijaćih voda Srbije

PCA- analiza glavnih komponenata sprovedena je za identifikaciju i prepoznavanje strukture parametara hidrohemijske i radioaktivnosti kao i za pomoć u interpretaciji podataka karakteristika grupe M pijaćih voda Srbije. Ulazni skup podataka se sastojao od matrice dimenzija 29x13, u kojoj su redove predstavljale analizirane pijaće vode grupe M (29 uzoraka), a kolone specifični analizirani parametri (promenljive): mineralni ostatak, ukupna alfa i ukupna beta aktivnost, aktivnost  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , koncentracije  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ .



**Slika 4.33: Grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M pijaćih voda Srbije**

Na slici 4.33 je prikazan grafik osipanja svojstvenih vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M pijaćih voda. U ovom slučaju je za broj glavnih komponenti određena vrednost 4 prema Caiser-ovom pravilu. Sa 4 glavne komponente objašnjeno je preko 77,7% varijanse kao što može da se vidi iz tabele 4.47.

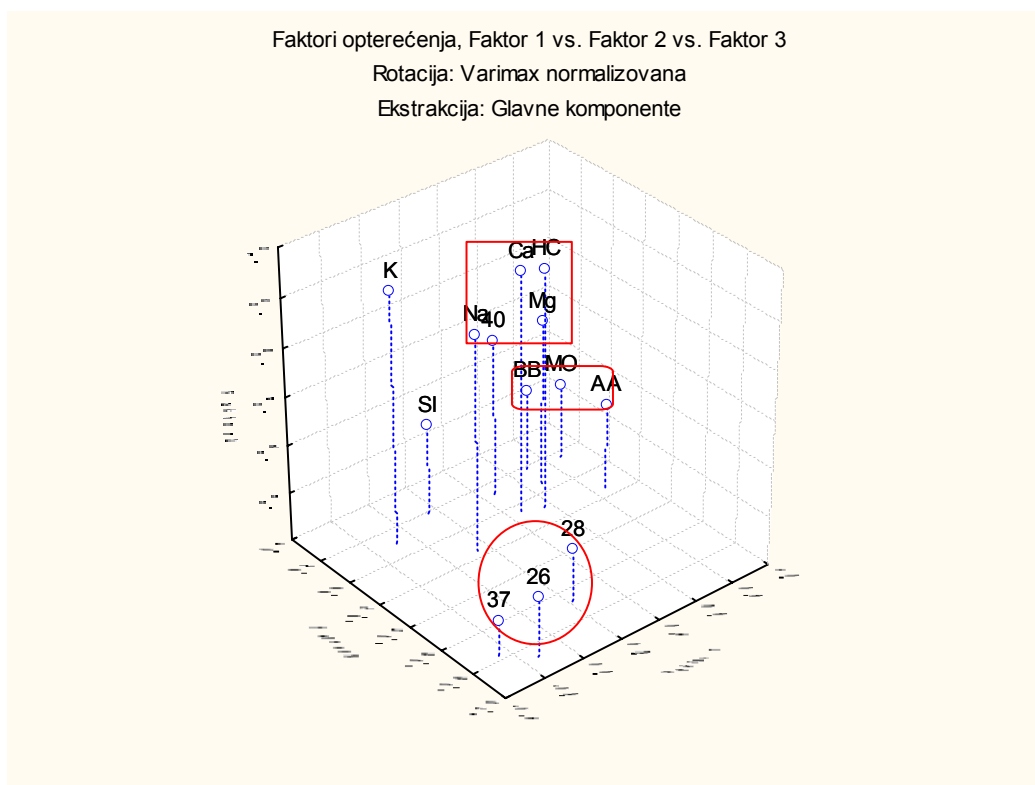
**Tabela 4.47: Svojstvene vrednosti glavnih komponenata karakteristika uzoraka grupe M pijaćih voda Srbije**

Broj glavne komponente	Svojstvena vrednost	% Ukupne varijanse	Svojstvena vrednost kumulativno	Kumulativni %
1	5,482181	42,17062	5,48218	42,17062
2	2,115231	16,27101	7,59741	58,44163
3	1,486317	11,43320	9,08373	69,87484
4	1,017463	7,82664	10,10119	77,70148

**Tabela 4.48: Struktura faktora 13 fizičko-hemijskih i radioloških promenljivih na četiri značajne glavne komponente za grupu M pijaćih voda Srbije**

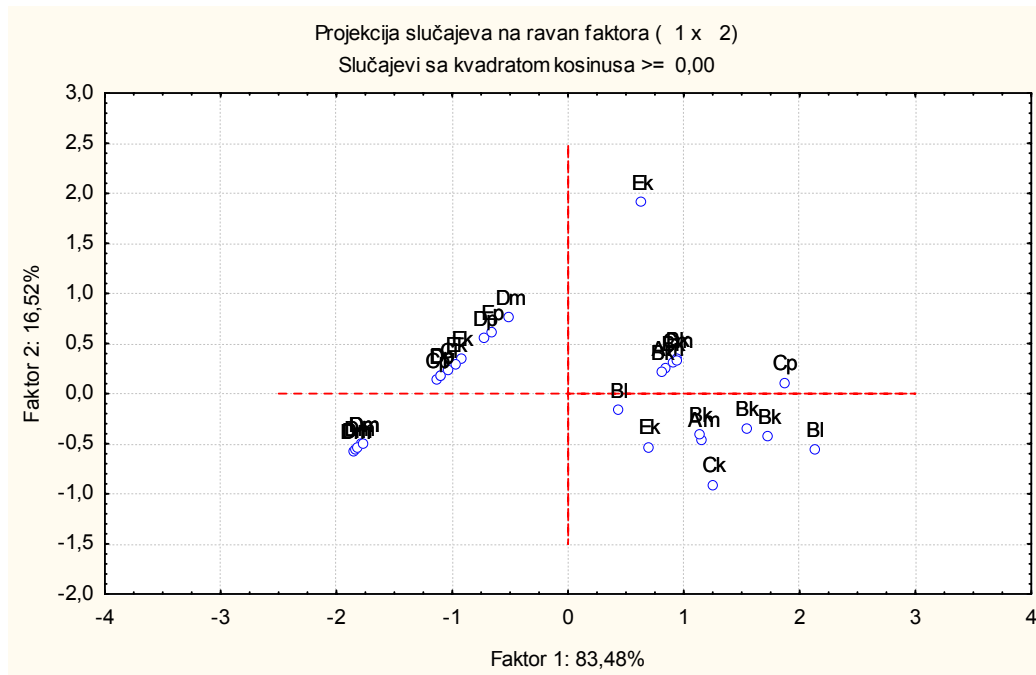
Struktura faktora (Varimax normalizovana) Ekstrakcija: Glavne komponente (Masnim slovima su označena opterećenja >0,700000)					
Strukturalni faktori					
Parametri	Skraćenice	PC1 (42,2%)	PC2 (16,3%)	PC3 (11,4 %)	PC4 (7,8 %)
Ukupna alfa	UA	<b>0,856321</b>	-0,143737	0,156945	0,180622
Ukupna beta	UB	0,690473	0,180401	0,140761	0,573160
<sup>40</sup> K	K4	0,460158	0,119959	0,453018	0,260922
<sup>137</sup> Cs	C7	-0,247774	<b>-0,772668</b>	-0,053952	-0,230738
<sup>226</sup> Ra	R6	-0,130958	<b>-0,877149</b>	0,045620	0,096724
<sup>228</sup> Ra	R8	0,214100	-0,681134	0,015962	-0,105825
Ukupne rastvorene materije	MO	<b>0,863311</b>	0,161590	0,112874	0,103682
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HC	0,559751	-0,092710	<b>0,797953</b>	0,037925
Na <sup>+</sup>	Na	0,142550	-0,160015	0,697725	0,596396
K <sup>+</sup>	K	-0,083865	0,096313	<b>0,841415</b>	0,323203
Ca <sup>2+</sup>	Ca	0,466802	-0,052137	<b>0,800446</b>	-0,038044
Mg <sup>2+</sup>	Mg	0,669047	0,053410	0,491916	-0,091805
SiO <sub>2</sub>	Si	0,154015	0,186116	0,175853	<b>0,879788</b>
Objašnjena varijablansa		3,321395	2,007741	3,012805	1,759251
Učešće u ukupnoj varijaciji		0,255492	0,154442	0,231754	0,135327

PCA redukuje broj parametara na 4 skrivena faktora objašnjavajući 77,7% varijanse uzoraka odgovorne za formiranje strukture podataka. Rotirana struktura faktora za svaki parametar je predstavljena u tabeli 4.48. Strukture faktora predstavljaju učešće posmatranih promenljivih za pojedine faktore (tj. korelacione koeficijente  $>0,7$ ) i označene su masnim slovima u tabeli. Prvi faktor (PC1) je pozitivno korelisan sa ukupnom alfa aktivnošću ( $r=0,86$ ) i ukupnim rastvorenim materijala ( $r=0,86$ ), računato na oko 42,2% ukupne varijanse skupa podataka. Faktor je ustvari skrivena (latentna) promenljiva. PC2 (16,3%) je karakterisana visoko negativnim korelacijama sa  $^{137}\text{Cs}$  ( $r=-0,77$ ) i  $^{226}\text{Ra}$  ( $r=-0,88$ ). PC3 pokriva 11,4% ukupne varijanse i jasno se karakteriše visoko pozitivnim vrednostima  $\text{HCO}_3^-$  ( $r=0,80$ ),  $\text{K}^+$  ( $r=0,84$ ) i  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,80$ ) u strukturi faktora. PC4 pokriva oko 7,8% ukupne varijanse i karakteriše se pozitivnom  $\text{SiO}_2$  ( $r=-0,88$ ).



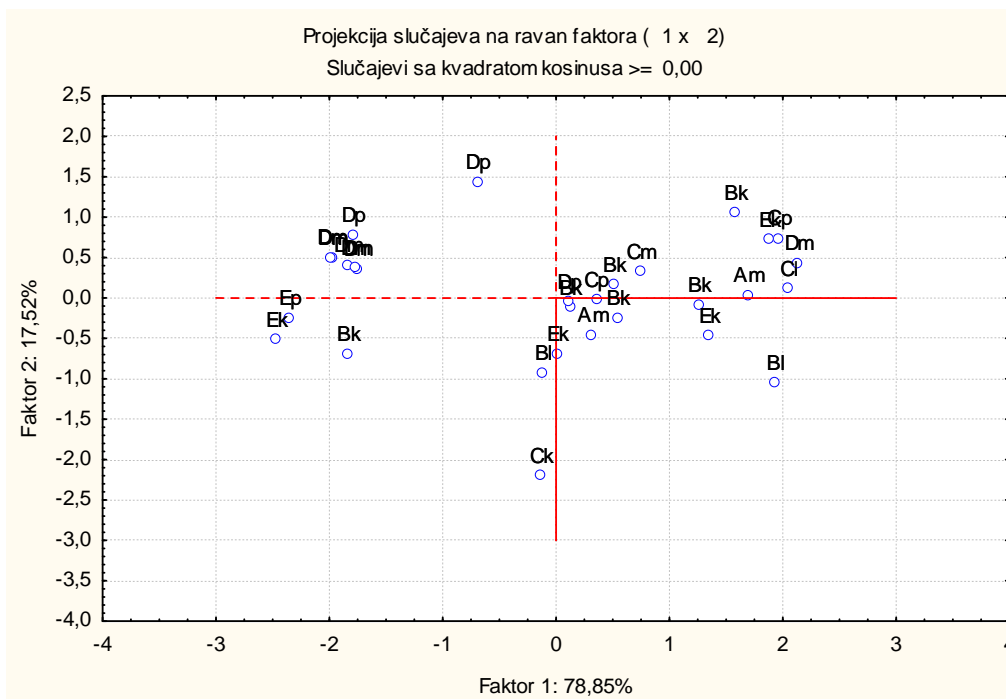
Slika 4.34: Grafik zavisnost faktora opterećenja 1, 2 i 3 za grupu M pijaćih voda

Sa slike 4.34 se uočava izdvajanje grupa karakteristika. U prvoj grupi su  $^{40}\text{K}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$ , u drugoj ukupna alfa aktivnost, ukupna beta aktivnost i mineralni ostatak, a u trećoj grupi aktivnosti  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$ .



Slika 4.35: Faktor PC1 prema PC2 koji ilustruje razlike pijaćih voda grupe M za sve slučajeve korišćenih u ovim ispitivanjima prema: njihovim geotektonskim jedinicama i tipu vodonosne sredine akvifera



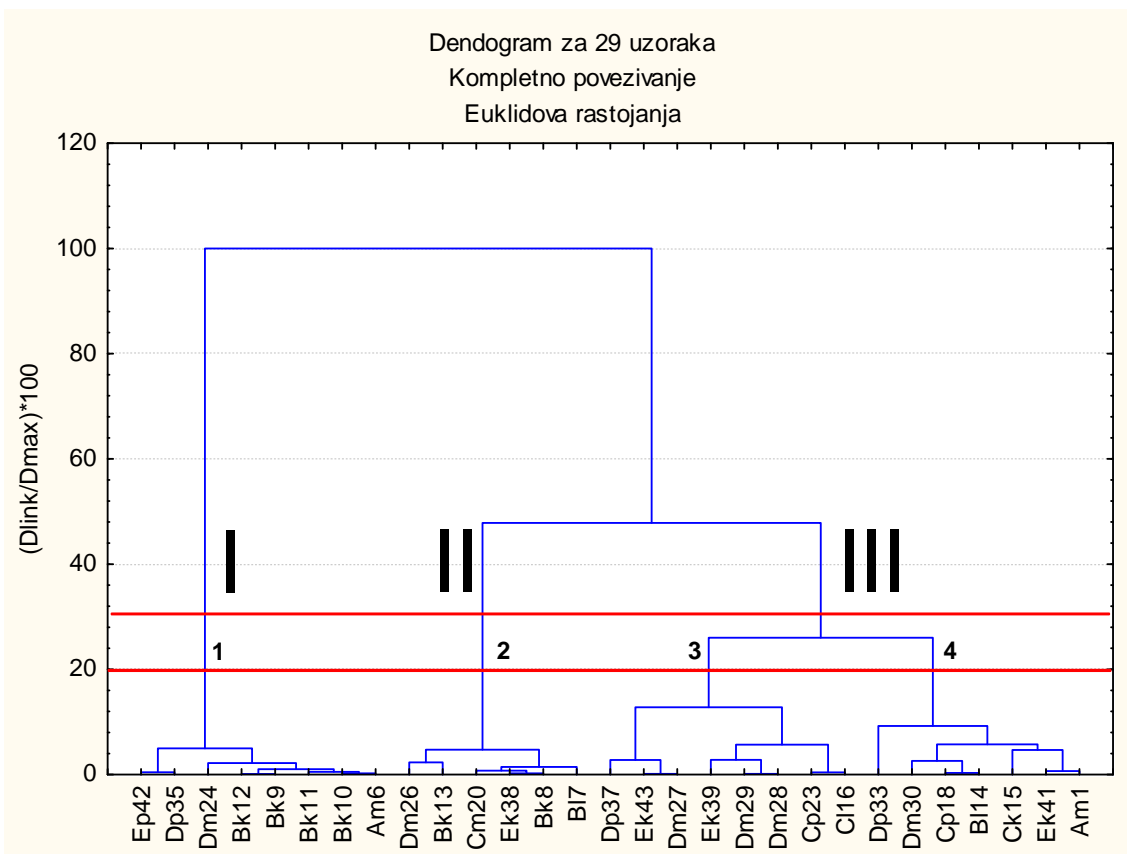


Slika 4.36: Faktor PC3 prema PC4 koji ilustruje razlike pijaćih voda grupe M za sve slučajeve korišćenih u ovim ispitivanjima prema: njihovim geotektonskim jedinicama i tipu vodonosne sredine akvifera

Na slikama 4.35 i 4.36, PC1 u funkciji PC2 i PC3 u funkciji PC4 se ne uočava značajnije grupisanje uzoraka u klastere ni po geotektonskim jedinicama niti po tipovima vodonosnih sredina.

#### 4.3.3.3.1.3 Klaster analiza rezultata ispitivanja karakteristika grupe M pijaćih voda

Klaster analiza se koristi za klasifikaciju voda u grupe objekata. Subjektivna procena je urađena izborom horizontalne linije [102] preko dendograma na Euklidovom rastojanju od oko 30% (slika 4.37) na osnovu vizuelne procene, čime su dobijene 3 glavne grupe.



Slika 4.37: Dendrogram dobijen klaster analizom uzorkovanih mesta sa fizičko-hemijskim i parametrima radioaktivnosti za 29 uzoraka pijaćih voda.

Analizirane vode na slici 4.37 su označene na tako što prvo slovo oznake označava geotektonsku jedinicu, drugo slovo vodonosnu sredinu a jednocifreni ili dvocifreni broj redni broj uzorka iz tabele 4.45. Dobijeni dendrogram pokazuje 3 glavne grupe (I-III). Izborom podele na podgrupe korišćenjem 20%-ne različitosti, dobijeno je 4 podgrupe sličnih fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika. U podgrupi 1 se nalaze uzorci 42, 35, 24, 12, 9, 11, 10, 6; u podgrupi 2 uzorci 26 i 13, 20, 38, 8 i 17; u podgrupi 3 uzorci 37, 43, 27, 28, 23 i 16; a u podgrupi 4 uzorci 33, 30, 18, 14, 15, 41 i 1.

## 5 Zaključak

U radu su ispitivani fizičko-hemijski i radiološki parametri podzemnih voda Srbije. Proučavane su banjske vode, mineralne vode i pijaće vode, u zavisnosti od lokaliteta njihovog porekla, hidrogeoloških i geotektonskih jedinica, kao i međusobni odnos proučavanih karakteristika u zavisnosti od tipa vodonosne sredine, geotektonskih jedinica i hidrogeoloških struktura.

### 5.1 Banjske vode Srbije

Analizirane banjske vode Srbije su jako obogaćene zemno-alkalnim elementima i klasifikovane su u 14 različitih kategorija na osnovu ukupnog zbira koncentracija anjona i katjona. Većina uzoraka banjskih voda je natrijum-bikarbonatnog tipa.

Zasnovano na poziciji u Van Windurm-ovom dijagramu, većina uzoraka se nalazi u zoni litotrofne vode. Nekoliko uzoraka iz Panonskog basena sa većim sadržajem hlorida ima sastav sličan morskoj vodi kao posledica nekadašnjeg postojanja Panonskog mora.

Ukupna alfa aktivnost UA merene u 30 banjskih voda kretala se u rasponu vrednosti dva reda veličine od  $<10$  mBq/l, do 470 mBq/l, dok je ukupna beta aktivnost UB u opsegu 108 do 2206 mBq/l. Koncentracija aktivnosti radijuma je u opštem slučaju mala (10-530 mBq/l za  $^{226}\text{Ra}$  i 10 do 680 mBq/l za  $^{228}\text{Ra}$ ). Najveće koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  (br. 4, 8, 28) i  $^{228}\text{Ra}$  (br. 15, 23, 25) su izmerene u banjskim vodama koje se pojavljuju iz krečnjaka i mermera, kao dominantne geološke strukture. Vode koje se pojavljuju iz mermera se nalaze u zoni izvora gaziranih voda gde različiti tipovi potiču od mešanja podzemnih voda i visokomineralnih fluida u kojima je visok sadržaj ugljendioksida iz dubine veće od 2000 m. Visoke vrednosti aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  su povezane sa dubokim peščarnim nalazištima. Najveći odnos aktivnosti  $^{226}\text{Ra}$  i  $^{228}\text{Ra}$  koji

dostiže 13,2 u Niškoj Banji (br. 8) može da se poveže sa specifičnim tipovima krečnjačkih sistema načinjenih od izlomljenih krečnjaka iz doba Jure i Krede.

Od 18 analiziranih fizičko-hemijskih (T, pH, MO, EP,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  i  $\text{SiO}_2$ ) i radioloških (UA, UB,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  i  $^{40}\text{K}$ ) parametara „jaka“ korelacija vrednosti Pearsonovih koeficijenata korelacije ( $r \geq 0,75$ ) su nađene između EP i MO, EP i  $\text{HCO}_3^-$ , EP i  $\text{Na}^+$ , UB i  $^{40}\text{K}$ , UB i  $\text{HCO}_3^-$ , UB i  $\text{K}^+$ ; MO i  $\text{HCO}_3^-$ , MO i  $\text{Na}^+$  i  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ .

Analizom glavnih komponenti izdvojena su tri klastera uzoraka. Prvi klaster čine vode srpsko-makedonskog masiva poreklom iz vulkanske ili metamorfne oblasti, vode hidrogeološke strukture M (oblast metamorfita). Drugi klaster pretežno čine vode vardarske zone i srpsko-makedonskog masiva, vulkanitnog masiva i karsnih područja. Treći klaster čine vode panonskog basena poreklom iz hidrogeoloških basena.

Klaster analizom banjskih voda Srbije iz dendograma su na osnovu procene glavnih grupa i podgrupa dobijena 4 klastera (glavne grupe) na osnovu 60% različitosti i 8 podrupa na osnovu 40%-ne različitosti.

## 5.2 Mineralne vode Srbije

Prema pozicijama u Van Wirdumovom dijagramu, mineralne vode karstne (krečnjačke) vodonosne sredine K, vode kompleksa jezerskih sedimenata neogene starosti L i vode koje pripadaju pukotinskim i karstnim vodonosnim sredinama uglavnom pripadaju litotrofnim tipovima voda. Vode aluvijalnih vodonosnih sredina pripadaju mešavini sva tri tipa voda.

Analizom korelacionih koeficijenata po grupama vodonosnih sredina mineralnih voda nađeno je da ukupna alfa i ukupna beta aktivnost uzoraka karstne vodonosne sredine K nije u jakoj niti umerenoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom voda. Vode iz vodonosne sredine kompleksa jezerskih sedimenata neogene starosti L pokazuju jaku korelaciju između alfa aktivnosti i: ukupne beta aktivnosti,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$ , a ukupna

beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa  $^{40}\text{K}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{K}^+$ . Ukupna alfa aktivnost voda aluvijalne vodonosne sredine M je u jakoj korelaciji sa:  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{Na}^+$ . Ukupna beta aktivnost ove vodonosne sredine pokazuje jaku korelaciju sa  $^{226}\text{Ra}$  i  $\text{HCO}_3^-$ . Vode pukotinske vodonosne sredine P pokazuju jaku korelaciju ukupne alfa aktivnosti sa ukupnom beta aktivnošću i  $^{226}\text{Ra}$ , a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa  $^{226}\text{Ra}$  i  $\text{HCO}_3^-$ . Vode pukotinsko-karstne vodonosne sredine PK ne pokazuju jaku korelaciju ukupne alfa aktivnosti ni sa jednom merenom karakteristikom, a jaku korelaciju pokazuje ukupna beta aktivnost sa  $^{40}\text{K}$ , elektroprovodljivošću, koncentracijom bikarbonata, koncentracijom  $\text{Na}^+$  i  $\text{K}^+$ . Ukupna alfa aktivnost uzoraka vode pukotinsko-jezerskih sedimenata vodonosne sredine PL je u jakoj korelaciji sa  $^{226}\text{Ra}$ , pH,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_2$  i  $\text{Ca}^{2+}$ , a ukupna beta aktivnost je u jakoj korelaciji sa  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{U}$ , EP,  $\text{HCO}_3^-$  i  $\text{Na}^+$ .

Analizom glavnih komponenti grupa M i 5M nije uočeno jasno izdvajanje uzoraka po klasterima. Razlog za ovo je raznolikost starosti mineralnih voda, i verovatno postojanje većeg broja mineralnih voda relativno male starosti kod kojih dolazi do mešanja i/ili stalnog priliva novih količina voda (npr. kišnice).

### 5.3 Pijaće vode Srbije

Ispitivane pijaće vode sa teritorije Republike Srbije imaju opseg temperatura 5,8-29,5°C, velike razlike pH vrednosti (6,4-11,4), električne provodljivosti (40 – 946  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), ukupnog sadržaj čvrstih materija (MO: 0,01-0,96 g/l) i stoga odražavaju veliku kompozicijsku raznolikost. Na osnovu sadržaja ukupnog čvrstog ostatka ove vode su kategorisane u klasu umereno mineralizovanih voda (čvrst ostatak od 500 do 1500 mg/l).

Prema poziciji u Van Wirdumovom dijagramu većina uzoraka pijaćih voda se nalazi u zoni litotrofnih voda, deo uzoraka u oblasti između litotrofne i atmosfere vode, a 2 uzorka u oblasti atmosferskih voda.

Ukupna alfa aktivnost pijaćih voda se kretala u opsegu 10 do 52 mBq/l, a ukupna beta aktivnost u opsegu 10 do 336 mBq/l. Aktivnost radijuma je u opštem slučaju mala (0,001 do 0,26 Bq/l za  $^{226}\text{Ra}$  i 0,003 do 0,14 Bq/l za  $^{228}\text{Ra}$ ). Najveće koncentracije  $^{226}\text{Ra}$  su izmerene kod uzoraka br. 36 (0,26 Bq/l) koji pripada k vodonosnom tipu i uzorka 33 koji pripada grupi p, a najveće vrednosti  $^{228}\text{Ra}$  su izmerene kod uzorka br. 36 (0,14 Bq/l) koji pripada k vodonosnom tipu.

Kod voda vodonosne sredine k ukupna alfa aktivnost nije u jakoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom karakteristikom; kod voda vodonosne sredine l ukupna alfa aktivnost je u jakoj korelaciji sa koncentracijom  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r=0,78$ ), kod voda vodonosne strukture m je u jakoj korelaciji sa koncentracijama  $\text{Cl}^-$  i  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r= 0,86$  i  $0,81$  respektivno), a kod voda vodonosne sredine p je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{228}\text{Ra}$  i koncentracijom  $\text{Mg}^{2+}$ .

Ukupna beta aktivnost kod grupe voda vodonosne sredine k nije ni u jakoj ni u umerenoj korelaciji ni sa jednom drugom merenom veličinom., kod voda vodonosne sredine l je u umerenoj korelaciji sa aktivnostima  $^{134}\text{Cs}$ , temperaturom, elektroprovodljivošću, koncentracijama  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2+}$ ,  $\text{SiO}_2$ , i koncentracijom  $\text{Mg}^{2+}$ , a kod voda vodonosne sredine m je u jakoj korelaciji sa aktivnošću  $^{40}\text{K}$  i koncentracijom  $\text{K}^+$ .

Analizom glavnih komponenti, nije zapaženo značajnije grupisanje uzoraka u klastere ni po geotektonskim jedinicama niti po tipovima vodonosnih sredina. Iz dendograma su za uzorke tipa M dobijene 3 grupe (korišćenjem 30%-ne sličnosti) i 4 podgrupa (korišćenjem 20%-ne sličnosti), a za uzorke tipa 5M tri grupe (korišćenjem 43%-ne sličnosti) i 5 podgrupa (korišćenjem 20%-ne sličnosti).

#### *5.4 Opšti osvrt na rezultate obrade glavnih komponenata karakteristika podzemnih voda Srbije*

Analiza glavnih komponenti banjskih voda Srbije pokazala je jasnu zavisnost karakteristika voda od hidrogeološke strukture i od geotektonskih jedinica grupisanjem u klastere na graficima PC1 u funkciji PC2 (i/ili PC3, PC4). Odgovarajući grafici za ostale mineralne vode, kao i za pijaće vode nisu pokazali slično grupisanje u klastere. Što je veća starost voda to bi trebalo da je izraženija zavisnost njihovih karakteristika od sastava akvifera u kome se one nalaze. Kod voda manje starosti dolazi do čestih vodo-zamena, mešanjem voda iz različitih akvifera, dolaskom kišnice kao i do propuštanja voda kod propusnih akvifera. Kod mineralnih voda isključujući banjske vode starost je uglavnom nepoznata, što je slučaj i kod ostalih pijaćih voda. Iz tih razloga je za banjske vode analizom glavnih komponenata dobijena jasna zavisnost karakteristika voda od geotektonskih jedinica i hidrogeoloških struktura akvifera, dok je kod ostalih mineralnih i pijaćih voda ovakva zavisnost izostala. Relativno mali broj uzoraka pijaćih voda je još jedan razlog izostanka ove zavisnosti. Velika kompozitna različitost fizičko-hemijskih i radioloških karakteristika ispitivanih mineralnih i pijaćih voda, potvrđuje znatan uticaj vrlo raznovrsnih litoloških sastava i složenih strukturnih sklopova geoloških formacija akvifera na teritoriji Srbije.

## 6 Literatura

1 S. Đurđević, M. Komatina, Z. Nikić, S. Međedović, S. Komatina-Petrović, H. Anđelski, S. Stanojević, N. Bogunović, Ž. Kerkez, "Pijaće mineralne vode razvojna šansa Srbije", Print Company, Beograd (2011) 22-37.

2. Pravilnik o monitoringu radioaktivnosti. Sl. Gl. RS 97/11 (2011).

3. Ivan Draganić, Radioaktivni izotopi i zračenja, Knjiga 1, Beograd (1981) 203-207.

4 UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York (1982).

5 Ivanovich M, Harmon RS. (Eds.) Uranium Series Disequilibrium. Applications to Environmental Problems, Clarendon Press, Oxford (1982).

6 Buessler KO, et al. (2012) Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan. Proc Natl Acad Sci USA 109(16):5984–5988.

7 Madigan DJ, Baumann Z, Fisher NS (2012) Pacific bluefin tuna transport Fukushima derived radionuclides from Japan to California. Proc Natl Acad Sci USA 109(24):9483–9486.

8 N. S. Fischer, K. Baugelin-Seiller, T. G. Hinton, Z. Bauman, D. J. Madigan, J. Garnier-Laplace, „Evaluation of radiation doses and associated risk from the Fukushima nuclear accident to marine biota and human consumers of seafood“, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2012 109 (16) 5984-5988; doi:10.1073/pnas.1120794109.

9 Pantelić G., Eremić S.M., Vuletić V., Ispitivanje zemljišta u okviru programa radioaktivnosti životne sredine u Srbiji Kontaminacija zemljišta Srbije



i mogućnost njihove remedijacije, urednik Stojanović D. M, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd (2006) 141-164.

10 M Komatina, Medicinska geologija, Tellur, Belgrade (2001) 35-156.

11 Official Journal of the European Communities, Guidelines for drinking water Quality, WHO, Geneva (2008).

12 Zakon o zaštiti od jonizujućih zračenja i o nuklearnoj sigurnosti, Službeni glasnik RS, broj 36/09 i 93/12 (2009) (2012).

13 Pravilnik o granicama sadržaja radionuklida u vodi za piće, životnim namirnicama, stočnoj hrani, lekovima, predmetima opšte upotrebe, građevinskom materijalu i drugoj robi koja se stavlja u promet, Službeni glasnik RS, broj 86/11 (2011).

14 „Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients“, ICRP 67, 22 (3-4) (1992).

15 „Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients“ ICRP 69, 25(1) (1995).

16 Firestone, R., Table of Isotopes. Part 2: A = 151 - 272, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, John Wiley & Sons Inc (1996).

17 M M Finkelstein, N Kreiger, „Radium in drinking water and risk of bone cancer in Ontario youths: a second study and combined analysis“, Occup Environ Med;53 (1996) 305-311.

18 Cothorn, C. R., Estimation the Health Risk of Radon in Drinking Water, Research and Technology (1987).

19 Delacroix, D., Hickman, C., Guerre, J.P., Leblanc, L., Radiation Protection Dosimetry, Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook (2002).

20 Bem, H., Bou-Rabee, F., Environmental and health consequences of depleted uranium use in the 1991 Gulf War, *Environment International* 30 (2004) 123–134.

21 Matijašević S. Daković A., Stojanović M, Alumosilikatni materijali kao adsorbenti uranil-jona, *Kontaminacija zemljišta Srbije i mogućnost njihove remedijacije*, urednik Stojanović D. M, Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd (2006) 243-272.

22 Zora S. Žunić and Nada R. Miljević: Environmental and Health Impact Assessment of Ammunition Containing Transuranic Elements, In Series: *The Handbook of Environmental Chemistry, Vol 3: Anthropogenic Compounds „Environmental Consequences of War and Aftermath“*, Kassim, Tarek A.; Barceló, Damià (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009) 209–251.

23 M. Forte, R. Rusconi, E. Di Caprio, S. Bellinzona, G. Sgorbati, Natural radionuclides measurements in drinking water by liquid scintillation counting. Methods and results, in: P. Warwick (Ed.), *Environmental Chemical Analysis*, vol. II, RSC Cambridge (2003) 128–142.

24 R. Rusconi, M. Forte, G. Abbate, G. Gallini, G. Sgorbati, Natural radioactivity in bottled mineral waters: a survey in northern Italy, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 260 (2004) 421–427.

25 M. Ivanovich, R.S. Harmon, *Uranium-Series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*, 2nd edition, Clarendon Press, Oxford (1992).

26 C.R. Cothorn, P.A. Rebers (1992), *Radon, radium and uranium in drinking water* Lewis Publisher (1990).

27 IAEA, *The environmental behaviour of radium*, Technical Report Series No. 310, Vienna (1990).

28 European Union, Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal L 330 (05/12/1998).

29 European Union, Commission Recommendation of 20 December 2001 on the protection of the public against exposure to radon in drinking water supplies, Official Journal L 344 (28/12/2001).

30 World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality, Second edition, Recommendations, Geneva, vol. 1 (1993).

31 World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality, Second edition, Health Criteria and Other Supporting Information, Geneva, vol. 2 (1996).

32 World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality, Third edition, Recommendations, Geneva, vol. 1 (2004).

33 D. Protić, Mineralne i termalne vode Srbije, Knjiga 17, Geoinstitut, Beograd (1995) 10-27.

34 Slaviša Đurđević, Miomir Komatina, Zoran Nikić, Svetlana Međedović, Snežana Komatina-Petrović, Hristo Anđelski, Slavko Stanojević, Nikola Bogunović, Željko Kerkez, Pijaće mineralne vode razvojna šansa Srbije, Print Company, Beograd (2011) 22-37.

35 Komatina S., Geophysical methods application in groundwater natural protection against pollution. *Environmental Geology*, 23 (1994) 53-59.

36 Komatina S., EKOGEOFIZIKA - Geofizika i zaštita životne sredine. DIT NIS-Naftagas, Novi Sad (2005) 350.

37 Komatina-Petrović S. *Geodynamic investigations in Serbia and Montenegro. In: Geodynamics of the Balkan Peninsula; (ed.), Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology*, 5: 80 (2006) 40.

38 K. Petković, M. Anđelković, P. Nikolić, Uvodni članak- Istorijski razvoj gledišta o tektonskoj građi Srbije, in: *Geologija Srbije*, knjiga 4, *Tektonika*, Beograd (1976) 3-68.

39 M. Janjić, M. Komatina, Z. Nikolić, B. Timotić, D. Nešić, T. Knežević, S. Stanojević, H. Anđelski, N. Bogunović, Ž. Kerkez, Lekovite vode i banje Srbije, ELIT-MEDICA, Beograd (2007) 7-26.

40 B. Filipović, Mineralne, termalne i termomineralne vode Srbije, Rudarskogeološki fakultet, Beograd i Udruženje banjskih i klimatskih mesta Srbije, Vrnjačka Banja (2003) 15-16.

41 Milivijević M., Procena geotermalnih resursa Srbije bez autonomnih pokrajina, Doktorska teza, Univerzitet u Beogradu (1989).

42 S. Labidi, M. Dachraoui, H. Mahjoubi, N. Lemaitre, R. Ben Salah, S. Mtimet; *Journal of Environmental Radioactivity* 62 (2002) 87-96.

43 A. Walencik\*, B. Kozłowska, J. Dorda, W. Zipper, „Natural radioactivity in underground water from the Outer Carpathians in Poland with the use of nuclear spectrometry techniques“, *Applied Radiation and Isotopes* 68 (2010) 839-843.

44 M. Galan Lopez, A. Martin Sanchez, „Present status of  $^{222}\text{Rn}$  in groundwater in Extremadura“, *Journal of Environmental Radioactivity* 99 (2008) 1539-1543.

45 UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Sources and effects of ionizing radiation, New York (2000).

46 UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York (1993).

47 B. Belin, T. Yalcin, F. Suner, E. Bozkurtoglu, A. Gelir, H. Guven, „Earthquake-related chemical and radioactivity changes of thermal water in

Kuzuluk-Adapazar, Turkey", *Journal of Environmental Radioactivity* 63 (2002) 239–249.

48 D. Karamanis, K. Ioannides, K. Stamoulis, „Environmental assessment of natural radionuclides and heavy metals in waters discharged from a lignite-fired power plant“, *Fuel* 88, (2009) 2046–2052.

49 Shaver SA, Hower JC, Eble CF, McLamb ED, Kuers K. Trace element geochemistry and surface water chemistry of the Bon Air coal, Franklin County, Cumberland Plateau, southeast Tennessee. *International Journal of Coal Geology* (2006) 47–78.

50 S. Vujović, S. Kolaković, M. Bečelić-Tomin, „Procena kvaliteta voda značajno izmenjenih vodnih tele na teritoriji Vojvodine promenom multivarijacionih statističkih metoda“, *Hemijska industrija*, <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0367-598X/2013%20OnLine-First/0367-598X1300007V.pdf>

51 M. Adamu, A.Z. Aris, Spatial aspect of Surface Water Quality using chemometric analysis, *J. Appl. Sci. Environ. Sanit.* 6 (2011) 411–426.

52 H. Boyacioglu, H. Boyacioglu, Surface Water Quality Assessment by Environmetric Methods, *Environ. Monit. Assess.* 31 (2007) 371–376.

53 B. Dalmacija, Strategija vodosnabdevanja i zaštite voda AP Vojvodina, Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj, Novi Sad (2009).

54 A.M. Taiwo, „Source identification and apportionment of pollution sources of groundwater quality in major cities in Southwest, Nigeria“, *Geofizika*, vol. 29 (2012).

55 P. Papić, J. Stojković, „Primena multivarijantne statističke metode u hidrohemiji“, XIV srpski hidrogeološki simpozijum sa međunarodnim učešćem, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko geološki institut (2012) 483–487.

56 M.R. Gugenmos, C.J. Daughney, B.M. Jackson, „Regional-scale of groundwater-surface water interaction using hydrochemistry and multivariate statistical methods, Wairarapa Valley, New Zealand“, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15 (2011) 3383-3398.

57 Tompson A. F. B.; Bruton C. J.; Pawloskig. A.; Smithd. K.; Bourcier W. L. ; ShumakerD. E.; Kersting A. B.; Carles. F.; Maxwell R. M., „On the evaluation of groundwater contamination from underground nuclear tests“, *Environmental geology*, vol. 42 (2002) 235-247.

58 Gordeev S.K., Kvasnikova E.V; Ermakov A.I., „Radionuclide contamination of underground water and soils near the epicentral zone of cratering explosion at the Semipalatinsk Test Site“, *Radioprotection* Vol. 40, Suppl. 1 (2005) 399-405.

59 Hazewinkel, Michiel, ed., "Normal distribution", *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, <http://www.encyclopediaofmath.org/index.php?title=p/> (2001)

60 Pecina M. *Metode multivarijatne analiza-osnove*, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb (2006).

61 SHARMA,S., *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley & Sons, Inc (1996).

62 S. Landau, B.S. Everitt. *A handbook of statistical analyses using SPSS*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press LLC (2004).

63 Pravilnik o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće SL. SFRJ 33/87 (1987).

64 Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće. SL SRJ 42/98 (1998).

65 Health and Safety Laboratory 300, (HASL), U.S. Atomic Energy Commission) (1962).

66 D.M., Bueno, T.O., Tessari, B.W., Silva, A. The natural radioactivity in water by gross alpha and beta measurements, Radiation Measurements doi: 10.1016/j.radmeas.2008.10.015 (2008).

67 WPC-9550 OPERATIONS MANUAL, Protean Instrument Corporation, Tennessee, ORTEC, USA (2005).

68 Debertin K., Helmer R.G. : Gamma and X-ray spectrometry with semiconductor detectors, North-Holand, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo (1988) 20-69.

69 N. Antovic, N. Svrkota, „Measuring the radium-226 activity using a multidetector g-ray coincidence spectrometer“, Journal of Environmental Radioactivity 100 (2009) 823–830.

70 N. Antovic. N. Svrkota; „Development of a method for activity measurements of  $^{232}\text{Th}$  daughters with a multidetector gamma-ray coincidence spectrometer“, Applied Radiation and Isotopes 67 (2009) 1133–1138.

71 Technical Report Series No.295, IAEA, Vienna (1989).

72 ASTM International, Designation: E 181-98 Standard Test Methods for Detector Calibration and Analysis of Radionuclides (2003).

73 ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement (1993).

74 Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurements Results, NIST Technical Note 1297, Washington (1994).

75 GammaVision-32, Software User's Manual, A66-B32, Software Version 5.3, ORTEC, USA (2001).

76 ISO 9696, Water quality-Measurement of gross alpha activity in non-saline water-Thich source method (1992).

77 ISO 9697 Water quality-Measurement of gross beta activity in non-saline water (1992).

78 Multi Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols Manual (MARLAP), Vol. II, Appendix F, Part II (2004).

79 ISO 10703 Water quality-Determination of the activity concentration of radionuclides by high resolution gamma-ray spectrometry (1997).

80 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edited by Andrew D Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg, 3500-K.B AAS, 19<sup>th</sup> Edition (1995).

81 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edited by Andrew D Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg, 3500-Ca,Mg. D., 19<sup>th</sup> Edition (1995).

82 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edited by Andrew D Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg, 2320B, 19<sup>th</sup> Edition (1995).

83 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edited by Andrew D Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenburg, 4500-Si.D, 19<sup>th</sup> Edition (1995).

84 Piper, A.M., A graphic procedure in the geo-chemical interpretation of water analyses. Trans Am Geophys Union 25 (1944) 914-923.

85 Gros, N., The comparison between Slovene and central European mineral and thermal waters. Acta Chim. Slov. 50 (2003) 57-66.

86 Chadha, D.K., A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. Hydrogeology Journal 7 (1999) 431-439.

87 van Wirdum, G., Description of water-quality changes in hydrological cycle, for the purpose of nature conservation. Reports and notes In: Hooghart, J.C. (Ed.), Water quality in groundwater-flow systems, 5. Commission for Hydrological Research TNO, The Hagne, The Netherlands, (1980) 118-143.



88 Milivojević, M., Carbogaseous mineral water in Serbia and BiH as indicator of deep hydrogeothermal resources. European Geothermal Conference, Szeged, Hungary (2003) P-5-03, 26–29.

89 Iyengar, M.A.R., The natural distribution of radium, The Environmental Behaviour of Radium, Vienna: International Atomic Energy Agency. : Technical Report Series No. 310, Vol. 1. Vienna: International Atomic Energy Agency (1990) 59–128.

90 Milivojević, M., 1991. Elaborate on the Exploitation Potentials of Thermal and Mineral Water of the Niška Banja Springs. In: Laboratory for Geothermal Energy (Ed.), University of Belgrade, Faculty of Mining and Geology, Group for Hydrogeology, Belgrade (1991) 29–32.

91 Žunić, Z.S., Kobal, I., Vaupotič, J., Kozak, K., Mazur, J., Birovljev, A., Janik, M., Čeliković, I., Ujić, P., Demajo, A., Krstić, G., Jakupi, B., Quarto, M., Bochicchio, F., High natural radiation exposure in radon spa areas: a detailed field investigation in Niška Banja (Balkan region). Journal of Environmental Radioactivity 89 (2006) 249–260.

92 Kitto, M.E., Parekh, P.P., Torres, M.A., Schneider, D., Radionuclide and chemical concentrations in mineral waters at Saratoga Springs, New York. Journal of Environmental Radioactivity 80 (2005) 327–339.

93 Nikic, Z., Kovacevic, J., Papic, P., Uranium in the Groundwater of Permo-Triassic Aquifers of the Visok Region, Stara Planina, Eastern Serbia. Water, Air, and Soil Pollution 192 (2008) 47–58.

94 Dragisic, D.V., Savic, N., Vranjes, A., Environmental impact of uranium mine waters in Eastern Serbia. In: Rapantova, N., Hrkal, Z. (Eds.), Mine Water and the Environment. Paper 67, Ostrava (VSB – Technical University of Ostrava) (2008).

95. Shapiro, S.S., Wilk, M.B., An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52 (1965) 591–611.

96 Hazewinkel, Michiel, ed. "Kolmogorov-Smirnov test", *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4 (2001).

97 Nishii, R. "Box-Cox transformation", in Hazewinkel, Michiel, *Encyclopedia of Mathematics*, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4 (2001).

98 Jia, G., Torri, G., Estimation of radiation doses to members of the public in Italy from intakes of some important naturally occurring radionuclides ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{224}\text{Ra}$  and  $^{210}\text{Po}$ ) in drinking water. *Applied Radiation and Isotopes* 65 (2007) 849–857.

99 Ben Fredj, A., Hizem, N., Chelbi, M., Ghedira, L., Quantitative analysis of gamma-ray emitters radioisotopes in commercialised bottled water in Tunisia. *Radiation Protection Dosimetry* 117 (2005) 419–424.

100 Andreo, B., Carrasco, F., Application of geochemistry and radioactivity in the hydrogeological investigation of carbonate aquifers (Sierras Blanca and Mijas, southern Spain). *Applied Geochemistry* 14(1999) 283–299.

101 Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., Savard, M.M., Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. *Journal of Hydrology* 353 (2008) 294–313.

102 Sneath, P.H.A., Sokal, R.R., *Numerical Taxonomy*, San Francisco (1973) 295–296.

103 Henry C. Thode, Jr., „Testing for Normality“, Stony Brook, New York, ISBN:0-8247-9613-6 (2002).

## BIOGRAFIJA AUTORA

Irena Tanasković, devojačko Knežević, rođena je 11.09.1963. godine u Čačku, Republika Srbija, Jugoslavija, gde je stekla osnovno i prva dva razreda usmerenog srednjoškolskog obrazovanja. Ostali deo školovanja je nastavila u Beogradu.

Diplomirala je na Prirodno-matematičkom fakultetu, Studijska grupa fizička hemija, Univerziteta u Beogradu 15.06.1989. godine odbranivši diplomski rad pod naslovom „*Uticao temperature na prinos i sastav gasne smeše kod zeolitskih katalizatora*“.

Poslediplomske studije na Fakultetu za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu upisala je školske 1990/91 godine. Akademski naziv magistra fizičko-hemijskih nauka stekla je 20.06.1994. godine odbranom magistarske teze sa temom „*Interna kontaminacija olovom-210 i polonijumom-210 i uticaj helata na njihovo izlučivanje*“.

Zbog rada u zdravstvenoj ustanovi (Klinički centar Srbije) upisala je specijalističke studije. Specijalistički rad sa temom „*Uticao  $\text{CaNa}_2\text{EDTA}$  na izlučivanje olova-210 i polonijuma-210 iz ljudskog organizma*“ odbranila je 27.03.1995. godine na Fakultetu za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu i stekla stručni naziv specijaliste fizičko-hemijskih nauka.

U periodu od 1989-1990. godine radila je u Institutu za opštu i fizičku hemiju u Beogradu. Od 1. aprila 1990. godine radi u Laboratoriji za radiotoksikologiju, Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu „Dr Dragomir Karajović“ u Beogradu. Od 2000. god. do danas radi u Odeljenju za

radioekologiju, Centra za radiološku zaštitu u Institutu za medicinu rada Srbije „Dr Dragomir Karajović“ u Beogradu.

U međunarodnoj saradnji učestvovala je kao saradnik na regionalnom projektu „Monitoring zagađenosti vazduha u mediteranskom regionu“, Međunarodne agencije za atomsku energiju iz Beča (MAAE-IAEA), RER/8/009-IAEA (2006-2008).

U organizaciji Međunarodne agencije za atomsku energiju iz Beča završila sledeće kurseve:

- Regional Training Course on Gamma Spectrometry for Monitoring of Radionuclides in Air, Aghia Parskevi Greece, 10-14 April 2006, IAEA
- Regional Training Course On Advanced Gamma Spectrometry And Total Alpha/Beta Activity Measurement For Monitoring Of Radionuclides On Air, Beograd, 9-13. jun 2008. IAEA

## BIBLIOGRAFIJA

### OBJAVLJENI NAUČNI RADOVI I SAOPŠTENJA PROISTEKLA IZ DOKTORSKE DISERTACIJE

#### M22 Rad u istaknutom međunarodnom časopisu:

1. Tanasković I, Golobočanin D, Miljević N. *Multivariate Statistical Analysis of Hydrochemical and Radiological Data of Serbian spa Waters*. Journal of Geochemical Exploration, 112 (2012) 226-234.

IF 2012 = 1,952 26/76

#### M23 Rad u međunarodnom časopisu:

2. Tanasković I, Golobočanin D, Komatina Petrović S, Miljević N. *Natural radioactivity in Serbian spa waters*. Journal of Environmental Protection and Ecology, 12, No 1, (2011) 286-294

IF 2011 = 0,102 203/205

#### M33 Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini:

1. Tanasković I, Pantelić G, Javorina Lj, Eremić Savković M, Jovićić D. *The quality of drinking water on the territory of the Republic of Serbia from radiological aspect in the period 1999 to 2001*. Proceedings of the European IRPA Congress "Towards harmonisation of radiation protection in Europe" 2002; Florence, Italy. Builten 2002; R-121. 1-3.
2. Tanasković I, Pantelić G, Vuletić V, Javorina Lj, Eremić-Savković M. *Radioactivity of drinking waters from regions exposed to depleted uranium ammunition bombing*, Proceedings of the European IRPA-11 Congress ; Madrid, Builten 2004, 6c-40, 1-4.
3. Tanasković I, Pantelić G, Vuletić V, Eremić Savković M, Javorina Lj. *Radioactivity of drinking waters from regions exposed to depleted uranium ammunition bombing in 2003 end 2004*. Second European IRPA Congress on Radiation protection 15-19 may 2006; Paris, France. P-214. 1-5

M63 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini:

1. Tanasković I, Pantelić G, Eremić-Savković M, Vuletić V, Javorina Lj. *Radioaktivnost površinskih i otpadnih voda u okolini termoelektrana «Nikola Tesla» A i B*, Zbornik radova, Prvo savetovanje o deponijama pepela i šljake termoelektrana, Obrenovac (2005) 179-182.
2. Tanasković I, Pantelić G, Vuletić V, Javorina Lj, Eremić-Savković M. *Ukupna alfa i beta aktivnost pijaćih voda u Republici Srbiji od 2001. do 2004. godine*. Zbornik radova XXIII simpozijuma društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Donji Milanovac (2005) 49-52.
3. Tanasković I, Eremić-Savković M, Javorina Lj, *Bogojević S, Arsić V, Ilić J. Međunarodna interkomparacija gamaspektrometrijske analize voda*. Zbornik radova XXVII simpozijuma društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Vrnjačka Banja (2013) 69-71.

M64 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu:

1. Tanasković I, Eremić S.M, Miljević N, Golobočanin D, *Radioaktivnost banjskih voda Srbije*. Knjiga izvoda 6. simpozijuma Hemija i zaštita životne sredine Enviro Chem 2013, Zbornik radova, Vršac (2013) 178-179.

#### OBJAVLJENI NAUČNI RADOVI I SAOPŠTENJA KOJI NISU PROISTEKLI IZ DOKTORSKE DISERTACIJE

**M33 Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini:**

1. Tanasković I, Pantelić G, Vuletić V, Eremić Savković M, Javorina Lj. *Radioactivity of drinking waters from regions exposed to depleted uranium ammunition bombing in 2003 end 2004*. Second European IRPA Congress on Radiation protection 15-19 may 2006; Paris, France. P-214. 1-5.
2. G. Pantelić, Lj. Javorina, V. Vuletić, I. Tanasković, M. Eremić-Savković. *Assessment of Cs-137 effective dose due to food consumption in Serbia*. *International Conference on Environmental Radioactivity*: From

- measurements and Assessments to Regulation, 23-23th April 2007, Vienna, IAEA-CN-145/168P. 1-5
3. Pantelić G, Javorina Lj, Vitorovic G, Vuletić V, Tanasković I, Eremic Savkovic M. *Two Decades of <sup>137</sup>Cs Activity Measurements in Cattle Feed and Milk in Serbia*, Regional and global aspects of radiation protection, IRPA Regional Congress for Central and Eastern Europe, Brasov, Romania, 24-28 September 2007, paper T9 O7. 1-5.
  4. Pantelić G., Vuletić V., Eremić-Savković M., Tanasković I, Javorina Lj. *QA/QC in gamma spectrometry laboratory*. International Atomic Energy Agency Technical Meeting on Quality Assurance for Nuclear Spectrometry Techniques, 12 – 16 October 2009, Vienna, paper G4-TM-36923. 1-7.

M63 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u celini:

1. Tanasković I, Pantelić G, Vuletić V, Eremić-Savković M, Javorina Lj. *Ukupna alfa i beta aktivnost vazduha i padavina u Beogradu od 2006. do 2008. godine*. Zbornik radova XXV simpozijuma društva za zaštitu od zračenja Srbije i Crne Gore, Kopaonik (2009) 35-38.

M64 Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u izvodu:

1. Tanasković I, Eremić S.M, Javorina Lj, Bogojević S, Ilić J *Ukupna alfa i beta aktivnost pijaćih voda u Republici Srbiji od 2011. do 2012. godine* Kongres medicine rada Srbije, Zbornik radova, Zlatibor (2013) 97.

M72 Odbrana magistarske teze

Irena R Tanasković, *Interna kontaminacija olovom-210 i polonijumom-210 i uticaj helata na njihovo izlučivanje*. Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1994.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а Ирена Р. Танасковић

број уписа \_\_\_\_\_

**Изјављујем**

да је докторска дисертација под насловом:

**Радиоактивност подземних вода у типским водама Србије**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ирена Р. Танасковић



Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске  
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора: Ирена Р. Танасковић

Број уписа \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада: **Радиоактивност подземних вода у типским водама  
Србије**

Ментор                                    др Шћепан Миљанић, редовни професор

др Нада Миљевић, научни саветник

Потписани/а                            Ирена Р. Танасковић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_

### Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

---

Радиоактивност подземних вода у типским водоносним срединама Србије

---

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанда**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_