



UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET NOVI SAD
BIOTEHNOLOGIJA



IDENTIFIKACIJA SPOLJNIH PRITISAKA I UTICAJA NA KVALITET PODZEMNE VODE IZVORIŠTA OPŠTINE LAKTAŠI

-DOKTORSKA DISERTACIJA-

Mentor: Prof. dr Marina Šćiban

Kandidat: Maja Stojanović

Novi Sad, 2017. godine

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. PODZEMNE VODE.....	4
2.1 Izdan (akvifer).....	6
2.2 Bunari.....	8
2.3 Značaj podzemne vode	8
2.4 Tok podzemnih voda.....	9
2.5 Zagađenje podzemnih voda	14
2.6 Međusobni uticaj i veze površinske i podzemne vode.....	16
3. ISPITIVANJE KVALITETA VODE I MONITORING	18
3.1 Monitoring podzemnih voda.....	19
3.2 Monitoring vode za piće	20
3.3 Monitoring vode izvorišta.....	21
3.4 Razvoj sigurnosnih planova za vodozahvatanje.....	23
3.4.1 Procena rizika.....	24
3.4.1.1 Metode za određivanje rang liste rizika (Metoda 1: Jednostavna timska odluka)	32
3.4.1.2 Metode za određivanje rang liste rizika (Metoda 2: Semi-kvantitativni prilaz).....	33
3.4.2. Opcije za ublažavanje rizika	34
3.4.3. Procena rizika po zdravlje od štetnih i opasnih hemijskih materija.....	34
3.5 Metodologija za procenu i upravljanje vodozahvatima podzemnih voda	36
3.5.1. Strategija za kontrolu zagađenja podzemnih voda.....	36
3.5.2. Procena opterećenja zagađenja	36
3.5.3. Upravljanje vodozahvatom	36
4. MANGAN U VODI.....	38
4.1 Mangan u površinskim vodama	38
4.2 Mangan u podzemnim vodama.....	39
4.2.1. Redukcija MnO ₂	39
4.2.2. Oksidacija mangan-sulfida nitratima	40
4.2.3. Rastvaranje jedinjenja mangana pod uticajem kiseonika	41
4.3 Loši uticaji mangana	41
4.4 Uticaj mangana na zdravlje.....	42
4.5 Dozvoljene količine mangana u vodi za piće	43
4.6 Hemija uklanjanja mangana.....	43
4.7 Tretmani za uklanjanje mangana	45
4.7.1. Oksidacija i filtracija.....	47
4.7.1.1 Oksidacija mangana	47
4.7.1.2 Filtracija.....	49
4.7.2 Greensand	50
5. MATERIJAL I METODE	52
5.1. Materijal.....	52
5.1.1. Geografski položaj istražnog područja, hidrografske i meteorološke karakteristike	52
5.1.2. Hidrogeološke karakteristike ispitivanog terena.....	57
5.1.3. Izvorišta vode.....	61
5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta.....	67
5.2. Postupak uklanjanja mangana.....	75

5.3. Metode analize	76
5.4. Statističke metode obrade podataka	80
6. REZULTATI I DISKUSIJA	84
6.1. Rezultati analize kvaliteta podzemnih voda ispitivanih bunara	84
6.2. Fizičko-hemijski parametri vode za piće	91
6.3. Neorganski parametri kvaliteta vode	102
6.3.1. Klasifikacija ispitivanih podzemnih voda	104
6.3.2. Korozivnost ispitivanih podzemnih voda	104
6.3.3. Anjoni (hloridi, sulfati, sulfidi)	105
6.3.4. Nutrijenti	108
6.3.5. Katjoni	125
6.3.5.1. <i>Razmatranje povećanog sadržaja mangana na izvorištu u Kriškovcima</i>	140
6.3.5.2. <i>Razmatranje povećanog sadržaja mangana na izvorištu u Laktašima</i>	146
6.4. Organske materije	147
6.4.1. Ukupne organske materije	147
6.4.2. Specifične (opasne) organske materije	152
6.5. Hemometrijska analiza fizičko-hemijskih i hemijskih parametara kvaliteta podzemnih voda ispitivanih bunara	155
6.5.1. Rezultati hemometrijske analize	158
6.5.2. Tumačenje rezultata hemometrijske analize	158
6.5.3. Korelaciona analiza	162
6.6. Uklanjanje mangana iz vode izvorišta Kriškovci	164
6.7. Analiza procene rizika	167
7. ZAKLJUČAK	187
8. LITERATURA	193
P R I L O G	204

1. UVOD

Voda je hemijsko jedinjenje koje predstavlja osnovu života na našoj planeti i pokriva oko 71% Zemljine površine. Molekuli vode (H₂O) su najrasprostranjeniji molekuli na Zemljinoj površini, bilo da se nalaze u tečnom ili čvrstom stanju, bilo da ih posmatramo kao sastojke atmosfere.

Od ukupne količine vode na Zemlji, 97,6% čine mora i okeani, dok ostatak (2,4%) predstavlja slatku vodu koja se može upotrebiti za zadovoljavanje većine ljudskih potreba. Isparavanjem sa površine zemlje u obliku vodene pare, voda odlazi u atmosferu, gde se hladi i u obliku kiše ili snega vraća na zemlju.

Postoji nekoliko načina podele prirodnih voda na grupe (Innes i sar., 2007)

- po rasporedu na Zemlji razlikuju se: atmosferske, podzemne i površinske vode;
- po količini i karakteru primesa, vode se dele na: slatke, slane, meke, tvrde, prozirne, opalescirajuće, mutne, bezbojne, obojene i dr.;
- po načinu korištenja vode se dele na: pitke, tehničke vode za hlađenje, lekovite i dr.;
- prema fizičko-hemijskim osobinama (temperaturi i mineralizaciji) vode se dele na mineralne vode, termalne vode i termomineralne vode.

Padavine su glavni izvor slatke vode. Voda koja padne na zemlju u obliku kiše, snega, susnežice ili grada nastavlja svoj put na jedan od tri načina:

- *Oticanjem* - Voda može pasti na površinu zemljišta preko kojega otiče do nekog vodnog tela ili na samo vodno telo i nastaviti put u njegovom toku.
- *Evapotranspiracijom* - Kombinacija evaporacije sa otvorenih vodenih površina (atmosfersko isparavanje) i transpiracije od strane biljaka (gubitak vode kroz životne procese biljaka); oba ova načina vraćaju vodu u atmosferu.
- *Infiltracijom* - Proceđivanje kroz zemljište u podzemne slojeve i stvaranje podzemne vode; značajno u terenima izgrađenim od propusnih stena i tamo gde je slabo oticanje. Sveža kišnica prolazi površinom tla i kroz tlo gde dolazi u kontakt sa prirodnim materijalima i materijalima antropogenog porekla. Tokom te interakcije različite čestice, organski i neorganski sastojci dospevaju u podzemne vode.

Sastav voda u prirodi se obično menja sa vremenom. Mineralne i organske materije koje se nalaze u suspendovanom stanju pod uticajem gravitacije padaju na dno i grade sediment. Prirodne zalihe vode je lako poremetiti ljudskim aktivnostima, a posebno tamo gde drenažni sistemi ili urbanizacija umanjuju mogućnost za infiltraciju i obnavljanje podzemnih voda.

Ljudski organizam se u velikoj meri sastoji iz vode, čak 70%. Voda ulazi u sastav unutarćelijskih tečnosti, krvi, limfe, želudačnih i crevnih sokova, moždane tečnosti, tečnosti ušiju, očiju i zglobova. Razmena vode se neprekidno dešava. Ljudski organizam izbacuje dnevno prosečno 3,5 litra vode. Prirodno, ti gubici moraju biti nadoknađeni, jer ni jedan životni proces se ne može odigrati bez vode. Neophodnost upotrebe vode je zakon života.

Istorijski podaci o drevnim civilizacijama ukazuju na značaj vode za život. Ljudi su se uglavnom naseljavali u blizini vodenih tokova. Tada se prvi put spominju estetski problemi u pogledu vode za piće. Proteklo je nekoliko hiljada godina dok ljudi nisu spoznali da njihova čula nisu dovoljna kako bi se izvršila ocena kvaliteta vode.

U prošlosti je tretman vode bio fokusiran na poboljšanje estetskog kvaliteta vode za piće. Metode poboljšanja ukusa i mirisa vode za piće su bila zabeležena čak i 4000 godine pre Hrista. Drevni Krićani i Grci pišu preporuke o tretmanu vode kao što je filtracija kroz ugalj, izlaganje sunčevoj svetlosti, kuvanje i proceđivanje. Za bistrenje vode i odstranjivanje suspendovanih čestica iz vode, Egipćani su prema sačuvanim zapisima, koristili so aluminijuma, 1500 godina pre Hrista. U toku 1700-tih godina nove ere, filtracija je bila uspostavljena kao efikasan proces uklanjanja čestica iz vode, iako stepen bistrine nije bio

merljiv u to vreme. Od ranih 1800-tih, filtriranje uz pomoć peska (peščani filteri) polako počinje da se zvanično primenjuje u Evropi.

1855. godine epidemiolog dr John Snow je dokazao da je kolera oboljenje koje se prenosi vodom. U kasnim 1880-tim godinama Luj Paster je predstavio "teoriju klice", koja pokazuje kako mikroskopski organizmi (mikrobi) mogu preneti bolest kroz medije kao što je voda.

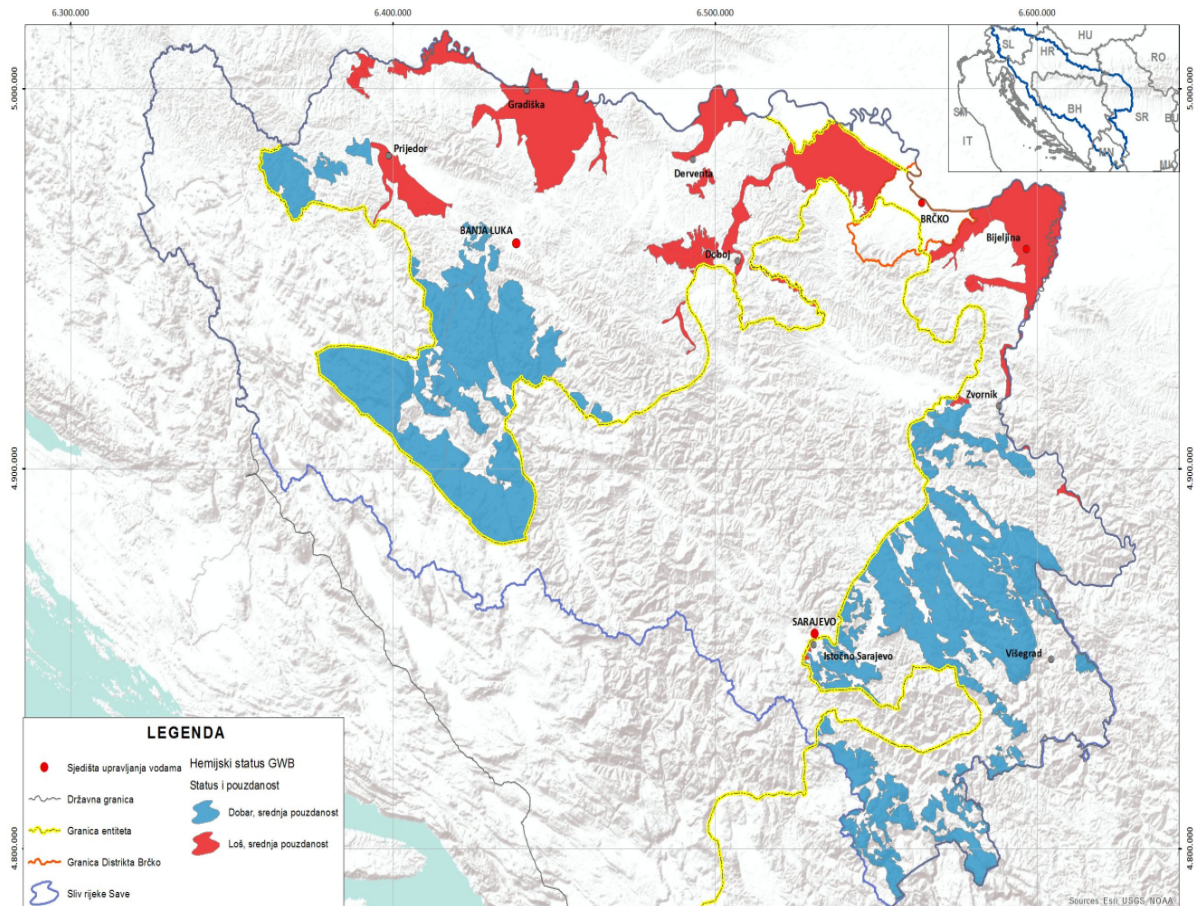
U kasnim godinama devetnaestog veka i ranim godinama dvadesetog veka, kada se uveliko govorilo o kvalitetu vode za piće u javnim sistemima za snabdevanje vodom, pažnja je bila usredsređena na mikrobe - prouzrokivače bolesti (patogene). Naučnici su otkrili da mutnoća nije samo estetski problem, jer čestice prisutne u sirovoj vodi štite patogene organizme od dejstava dezinfekcionih sredstava. Rezultat ovakvih shvatanja je da su, u ranim godinama dvadesetog veka u SAD, sva postrojenja za tretman vode za piće građena tako da se redukuje mutnoća, koja je pak u konačnom rezultatu trebala da redukuje i ukloni glavne mikrobiološke kontaminante koji su prouzrokovali različite vrste oboljenja (tifus, dizenterija, kolera itd.). Za uklanjanje mutnoće vodosnabdevački sistemi u SAD u to vreme tek počinju da koriste peščane filtre.

Tek kasnih šezdesetih godina dvadesetog veka počinje da raste zabrinutost za kvalitet vode za piće i to ne samo za prividne estetske probleme i patogene, već i za rastvorene materije. Industrijski razvoj i razvoj poljoprivrede, kao i stvaranje novih sintetizovanih jedinjenja svakako su imali negativan uticaj na životnu sredinu i zdravlje stanovništva. Mnoga od ovih novostvorenih hemijskih jedinjenja su se našla u sistemima za vodosnabdevanje zahvaljujući: nekontrolisanom ispuštanju iz fabrika, održavanju javnih površina, primeni u poljoprivredi, isticanju iz nepropisnih podzemnih skladišta i ispusnih tankova i sl. Tehnike tretmana vode koje su postojale u to vreme, kao što su aeracija, flokulacija i adsorpcija na granulisanim uglju, nisu više bile dovoljno efikasne za uklanjanje ovih novih kontaminanata.

Pored standardnih postupaka obrade vode, danas su razvijeni i novi postupci obrade, kao što su primena membrana, unapređeni postupci oksidacije itd., kojima se i voda lošijeg kvaliteta može obraditi do željenog stepena. Da bi se moglo sagledati koje postupke obrade vode je potrebno primeniti, neophodno je da se voda iz prirode detaljno analizira. Osim toga, potrebno je takve analize sprovoditi duže vreme da bi se mogao utvrditi uticaj godišnjih doba i ostalih spoljašnjih činilaca na kvalitet vode, što će biti od značaja prilikom njene dalje eksploatacije.

Cilj ovog rada je ispitivanje kvaliteta podzemnih voda tri prostorno relativno bliska izvorišta u predelu Lijevča polja, kao i uticaja prirodnih uslova i antropogenih dešavanja u okolini izvorišta na kvalitet ispitivanih podzemnih voda. Integrisanim pristupom u analizi selektovanih organskih, neorganskih i fizičko-hemijskih parametara podzemnih voda i definisanjem osnovnih i specifičnih zavisnih varijabli hemometrijskom analizom podataka će se omogućiti procena rizika na kvalitet podzemnih voda koje se koriste za vodosnabdevanje, što predstavlja dobru osnovu i koristan izvor podataka kod donošenja planskih dokumenata o upravljanju vodama u ovoj oblasti. Istovremeno ovi podaci ukazuju na važnost monitoringa i mogu se koristiti za odlučivanje o načinu i vrsti neophodnog monitoringa ovih podzemnih voda, a sve u cilju očuvanja njihovog kvaliteta i samim tim, zdravlja potrošača. Na taj način se, prvenstveno lokalna zajednica može što bolje i efikasnije organizovati i pripremiti na identifikovane pretnje i obezbediti što bolju usklađenost i funkcionisanje aktivnosti i mera za sprečavanje njihovog nastanka. Pored toga, dobijeni rezultati mogu poslužiti za sagledavanje značajnosti uticaja najavljenih klimatskih promena, koje se ogledaju u značajnom smanjenju ili enormnom povećanju padavina i posledično režimu reke Vrbas, na kvalitet ispitivanih podzemnih voda. Sa Slike 1 se može videti da je Planom upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015), hemijski status podzemnih voda iz dela sliva reke Vrbas u predelu Lijevče polja ocenjen kao loš, što opravdava ova ispitivanja.

U cilju utvrđivanja hemijskog i mikrobiološkog kvaliteta podzemnih voda Lijevče polja analizirani su i u radu prezentovani rezultati jednogodišnjeg ispitivanja fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara podzemnih voda na teritoriji opštine Laktaši. Analize su rađene jednom mesečno u podzemnim vodama sa tri izvorišta. S obzirom da se sagledavanjem rezultata došlo do saznanja da je u jednom izvorištu stalni problem povećani sadržaj mangana, nešto detaljnije je razmotrena teorijska osnova različitih tehnika uklanjanja mangana i konkretno je kod te podzemne vode primenjen jedan od ovih postupaka.



Slika 1. Hemijski status podzemnih vodnih tela Oblasnog rečnog sliva reke Save kroz Republiku Srpsku (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

2. PODZEMNE VODE

Podzemna voda je sva voda koja teče kroz podzemne slojeve zemljišta ili se nalazi u podzemlju, u stenama i tlu, nastala pomoću infiltracije, a gubi se kad izlazi kao izvor ili kad voda otiče iz odsečenih stena, izbija iz zemljišta u vidu izvora ili kad se povlači iz zemlje putem bunara.

Klasifikacija podzemnih voda prema fizičko-hemijskim osobinama (temperaturi i mineralizaciji) (Josipović, 1970) podrazumeva podelu na:

- Mineralne vode - podzemne vode sa ukupnom mineralizacijom preko 1 g/L i vode manje mineralizacije u kojima je sadržaj nekog drugog katjona ili anjona veći od sadržaja bilo kog glavnog katjona ili anjona. Temperatura ovih voda je ispod srednje godišnje temperature vazduha područja na kome se pojavljuju.
- Termalne vode - podzemne vode čija je temperatura iznad srednje godišnje temperature vazduha područja. Ukupna mineralizacija ovih voda je ispod 1 g/L.
- Termomineralne vode - podzemne vode čija je temperatura veća od srednje godišnje temperature područja, a mineralizacija veća od 1g/L rastvorenih soli.

Vodonošno tlo ili formacija stena koje su sposobne da daju dovoljno vode za ljudsku upotrebu nazivaju se izdani - akviferi. Kad se kaže podzemne vode misli se na vode koje teku kroz plitke akvifere, ali tehnički, podzemna voda takođe može uključivati vlažnost tla, smrznuto tlo, nepokretne vode u stenama vrlo niske propusnosti i duboke geotermalne ili uljne vode.

Gornji sloj zemljine kore je tlo, tj. zemljište, ali na većim dubinama, zemljište prelazi u slojeve čvrstih stena. Stene koje učestvuju u građi litosfere, bez obzira na stepen kompaktnosti, odlikuju se i pojavom manjih ili većih šupljina, pukotina i naprslina. U izdanima stenovitog tla, voda se može kretati kroz pukotine ili prelome, neke vrste stena poput peščara mogu apsorbovati vodu poput spužve, dok neke druge vrste stena, poput granita, ne apsorbuju vodu. Dakle, podzemne vode ispunjavaju različite šupljine zemljine kore. Vlažnost, kapilarnost, vodopropustljivost i izdašnost su glavna hidrogeološka obeležja svih stena koje učestvuju u građi litosfere (Josipović, 1970). Ova svojstva zavise od stepena poroznosti i veličine pora, odnosno gustine ispucalosti, površine pukotina i njihove uzajamne povezanosti. Vlažnost stena predstavlja njihovu sposobnost da upiju i zadrže određene količine vode. Na osnovu osobina i stepena vlažnosti stene su podeljene u tri grupe:

- stene velike vlažnosti,
- stene srednje vlažnosti i
- stene veoma male vlažnosti.

U zavisnosti od veličine pora i pukotina i njihovoj međusobnoj povezanosti, stene se odlikuju i određenom vodopropustljivošću. Sposobnost stena da primaju, ali i propuštaju vodu u zavisnosti je od veličine zrnastih čestica koje učestvuju u njihovoj građi, zatim od zapremine pora između čestica, da li su pore povezane ili ne, kao i njihovog oblika. Prema odnosu poroznost - propustljivost, sve stene se mogu podeliti na:

- neporozne i nepropusne,
- veoma porozne, a nepropusne i
- porozne i propusne.

Podzemne vode u litosferi u stenama, mogu se svrstati u pet kategorija od kojih svaka ima svoje posebne osobine vezane za osobine stenske mase:

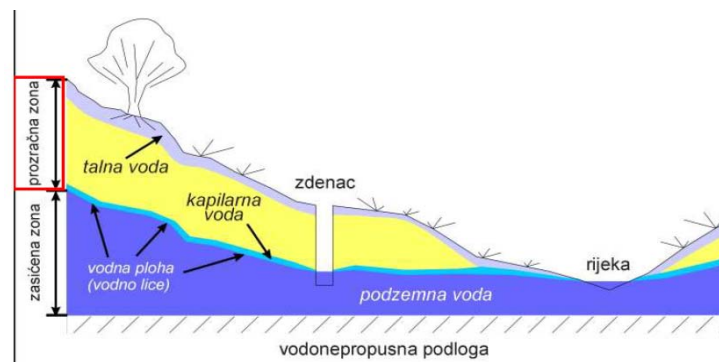
- podzemna voda u vidu vodene pare,
- higroskopna voda,
- voda u formi tankoslojnog filma,
- kapilarna voda i

- slobodna voda.

Podzemne vode se kreću polako jer pronalaze svoj put iz prostora u prostor u steni i kreću se isključivo ili gotovo isključivo putem gravitacije prema dole, sve dok ne dosegnu dubinu gde su pore već popunjene, odnosno zasićene vodom- *zasićena zona ili zona saturacije*. Vrh ove zasićene zone se zove *gornja granica podzemne vode*. Dalje kretanje i premeštanje slobodnih voda u dubinu prestaje kada voda naiđe na vodonepropusne stene, to jest, prekine se serija pukotina ili promeni kapilarnost. Sloj iznad ovog nepropusnog sloja, kroz koji se obavlja gravitaciono kretanje slobodnih voda, se naziva vodopropusnim slojem. U vodopropusnom sloju, iznad nepropusnog sloja, obrazuje se izdan.

Deo vode koji se nalazi u stenama različite poroznosti nije u celini podložan kretanju, odnosno promeni sredine, premeštanju i isticanju, i jedan njihov deo ostaje vezan za stenovitu građu i može se kretati samo kapilarno, ne učestvujući u opštoj izdašnosti izdani. Kapilarnost označava kretanje podzemne vode, prvenstveno izdizanjem i spuštanjem, kroz sitne pore pod dejstvom adhezione sile. Deo vode koji može otpustiti potpuno zasićena stena predstavlja njen koeficijent izdašnosti.

Prostor ispod površine pa sve do gornje granice podzemne vode naziva se prozirna zona ili zona aeracije, jer kroz ovu zonu prolazi voda sa površine koja napaja podzemnu vodu. Deo te vode, koja ostaje zadržana u prozirnoj zoni molekularnim i kapilarnim silama, naziva se - talna i kapilarna voda (Slika 2). Pojas talne vode obično se proteže kroz pojas korenja biljaka. Kapilarna voda je voda u pojasu neposredno iznad gornje granice podzemne vode, u kojem kapilarne sile nadmašuju gravitacione sile pa drže vodu iznad gornje granice podzemne vode. Visina kapilarnog dizanja najčešće je do 1 m, a najveća je u naslagama gline, gde doseže i do 4 m. Kada voda ulazi u zasićenu zonu ona postaje dio podzemne vode. Gornja granica podzemne vode može biti vrlo blizu površine tla, što je često slučaj kada je u blizini površinsko vodno telo, ili može biti na većim dubinama.

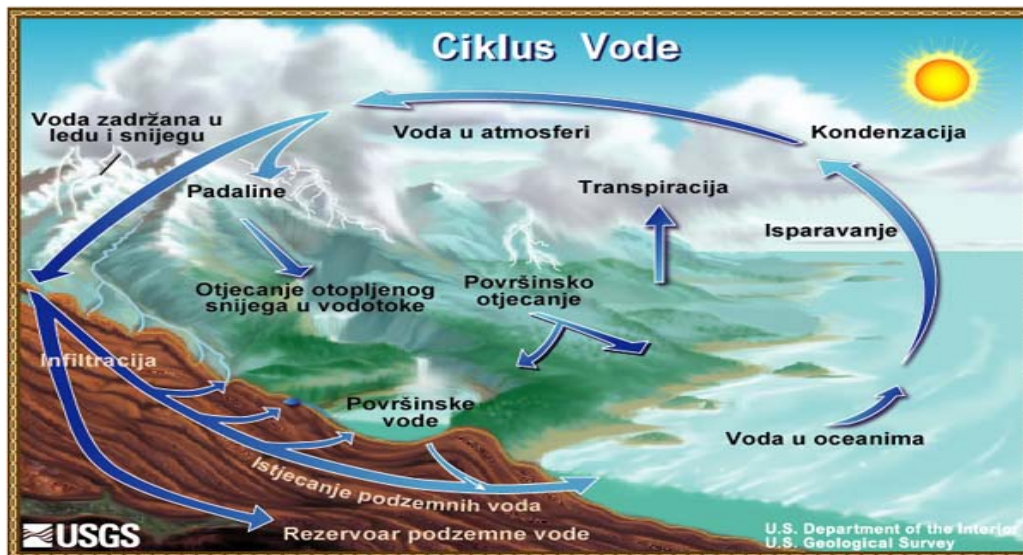


Slika 2. Šematski prikaz načina pojavljivanja vode u podzemlju (Urumović i sar., 2003)

U terenima gde je podzemna voda plitko ispod površine (uz potoke, reke i na poplavnim ravnicama u kišnom razdoblju), talne i kapilarne vode se dodiruju i prožimaju. Ako je gornja granica podzemne vode toliko duboko ispod površine da kapilarna voda ne doseže do talne vode, između njih postoji međupojas, odnosno vadozna zona, kroz koju se povremeno proceđuje voda s površine u podzemlje.

Podzemne vode su dio hidrološkog ciklusa (Slika 3) i mogu biti dugoročni „rezervoar“ vode (sa vremenom zadržavanja od nekoliko dana do hiljadu godina), za razliku od kratkoročnih vodospremnika poput atmosfere i sveže površinske vode (koji imaju vremena zadržavanja od nekoliko minuta do nekoliko godina). Vrlo stare podzemne vode (primerice u Sahari) se nazivaju fosilne vode.

Podzemne vode se prirodno pune od strane površinskih voda (potoka, reka itd.) i padavina. Najveće količine voda potiču od atmosferske vode koja se upija u zemljište i infiltracijom dospeva u izdan (Josipović, 1970). Kakav će biti odnos u ovoj raspodeli zavisi od brojnih činilaca. U te činioce spadaju: klimatske prilike, sastav stena i zemljišta, razvijenost reljefa i vegetacije.



Slika 3. Ciklus kruženja vode (http://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus)

2.1 Izdan (akvifer)

Akvifer je sloj porozne podloge koja sadrži i prenosi podzemne vode. Tokom bušenja može se naići na različite izdani na različitim dubinama, odvojene nepropusnim slojevima. Kada voda može teći direktno između površine i zasićene zone akvifera, akvifer je neograničen. I u ovoj slobodnoj izdani se nivo koleba u zavisnosti od intenziteta prihranjivanja i izdavanja.

Dublji delovi neograničenog akvifera su obično više zasićeni jer gravitacija uzrokuje protok vode prema dole. Dakle, neograničena (otvorena) izdan je izdan koja je ograničena gornjom granicom podzemne vode i sa donje strane nepropusnim slojem (izolatorom). Ovaj deo izdani se brzo obnavlja putem padavina i proceđivanjem sa površine i obeležava je značajno variranje nivoa gornje granice podzemne vode zavisno od količine padavina. U ovoj izdani se voda relativno brzo kreće.

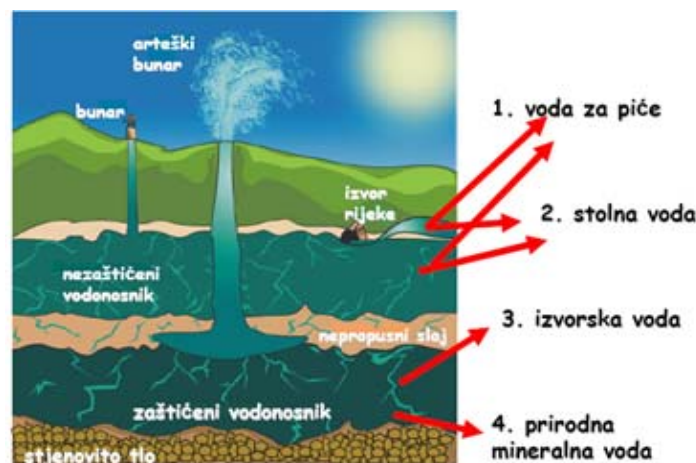
Gornji nivo zasićenog sloja u neograničenom akviferu naziva se gornja granica podzemne vode ili freatska površina. Ispod nivoa vode, gde su po pravilu sve pore zasićene vodom, je freatska zona. Dakle, gornji izdan se zove freatska izdan. Kišnica se direktno infiltrira u tlo i ova voda može preneti onečišćenja (kao što su bakterije, pesticidi itd.) u podzemne vode. Stoga je freatska izdan sklona onečišćenju iz aktivnosti koje se odvijaju na površini zemljišta.

Freatska podzemna voda postoji u propusnom sloju iznad nepropusnog sloja. Ona teče lateralno usled hidrostatskog pritiska i iz nje crpe vodu izdašni bunari. Na većim dubinama i pritiscima sve je manje freatske vode. Većina stena je suha na dubinama većim od 3 km. Ako je freatski sloj podzemne vode sloj debljine od samo nekoliko metara, može tokom sušnog razdoblja, doći do toga da bunar ostane bez vode.

Ograničena izdan se javlja u vodopropusnim stenama koje se nalaze između dva ili više vodonepropusnih slojeva. Ograničen akvifer je akvifer koji je prekriven relativno nepropusnim slojem stene ili zemljišta (*aquiclude* ili *aquitard*). *Aquitard* je supstrat sa niskom poroznošću koji dopušta ograničen prenos podzemne vode. *Aquiclude* je supstrat sa poroznošću koja je tako niska da je gotovo nepropustan za podzemne vode. Ako je ograničena izdan praćena silaznim nagibom u odnosu na svoju zonu prehranjivanja, podzemne vode mogu biti pod pritiskom. Odnosno postoje dva osnovna tipa akvifera:

- sa slobodnim nivoom vode i
- sa nivoom podzemne vode pod pritiskom (arteški akvifer).

Slobodna izdan ili akvifer vodene površine, sadrži vodu pod atmosferskim pritiskom. Arteški akvifer, sa nivoom podzemne vode pod pritiskom, se nalazi u "sendviču" između slojeva relativno nepropusnog materijala. Voda se nalazi pod većim pritiskom u odnosu na atmosferski pritisak. Odnosno, zatvorena (ograničena izdan) ima artešku vodu ispod naležućeg izolatora sa potencijalom arteškog pritiska koji diže vodu iznad izdani, u većini slučajeva do površine zemljišta (Slika 4). Ova arteška voda je karakteristična za izmene aluvijalnih pesaka i glina i kod složenih klizišta. Zatvorene izdani se obnavljaju vrlo sporo proceđivanjem vode kroz polupropusne i nepropusne slojeve i praktično ne reaguju na izmenu kišnih i sušnih perioda (zbog vrlo sporog kretanja ove podzemne vode).



Slika 4. Izdan – šematski prikaz vodonosnih slojeva

<http://www.zdravlje-prehrana.com/22-03-svjetski-dan-voda/porijeklo-vode-pice/>

Sledeća izdan ispod freatske izdani, pokrivena nepropusnim slojem na vrhu (npr. sloj gline) se zove "druga" izdan. Nepropustan sloj iznad ove izdani stvara barijeru bakterijama i zagađenju te ih sprečava da dospeju do druge izdani. Ako postoji ova izdan, najbolje je instalirati bunar u njoj.

Ispod druge izdani je ponovo nepropusni sloj, zatim može biti prisutna i "treća" izdan itd.

Ponekad je prisutna samo jedna izdan. U tom slučaju preporučuje se bušiti duboko, koliko je god moguće, da se spreči ulazak bakterija i zagađenja u bunar. Duboko bušenje takođe smanjuje probleme bunara sa presušivanjem zbog sezonskih oscilacija nivoa podzemnih voda.

Stabilnost izdani je osigurana samo u slučaju kada je crpljenje manje od obnavljanja. Kada je crpljenje veće od obnavljanja, to predstavlja "rudarenje" podzemne vode i tada se izdan prazni. Nivo podzemne vode se trajno spušta, izvori i bunari mogu presušiti, troškovi crpljenja se povećavaju, arteški izvori mogu prestati teći i izvori će biti nepovratno izgubljeni.

Vodopropusna sredina prema količini vode koju sadrži, podeljena je na izdanku i nadizdanku zonu. Nadizdanska zona ima više vodonosnih slojeva. Ipak se na osnovu geoloških uslova, uslova prihranjivanja i izdavanja vode, uz uvažavanje svih postojećih specifičnosti i razlika mogu izdvojiti tri tipa izdani:

- izdani zbijenog tipa: freatska izdan i arteška izdan u stenama intergranularnog tipa poroznosti,
- razbijene izdani: izdani u stenama pukotinskog i kavernoznog tipa poroznosti i
- složene izdani.

Obnavljanje izdani je moguće pomoću priljevnih bunara ili rezervoara u obliku jezera.

Visok specifični toplotni kapacitet vode i izolatorski efekat tla i stena može ublažiti posledice klime i održavanje podzemne vode na relativno stabilnoj temperaturi. U nekim mestima, gde se temperature podzemne vode održava na oko 10°C, podzemne vode se mogu koristiti za kontrolu temperature unutar struktura na površini. Na primer, za vreme vrućina relativno sveže podzemne vode se mogu pumpati kroz radijatore u kući, a potom se vratiti u zemlju u još jedan bunar. Tokom hladnog doba godine, voda se može koristiti na isti način kao izvor toplote, jer je relativno topla u odnosu na spoljašnju temperaturu.

2.2 Bunari

Bunari se kopaju ili buše do nivoa podzemne vode i instalirani su da uhvate podzemne vode i pumpaju ih (ukoliko nisu arteški) na površinu.

Korisnicima podzemnih voda je lakše ako nivo vode u izdani koja snadbeva bunar uvek ostaje isti. Sezonske promene u padavinama i povremene suše mogu uticati na "visinu" nivoa podzemnih voda. Ako se voda iz bunara crpi većom brzinom nego što se akvifer oko njega puni vodom, nivo vode oko bunara može biti smanjen. Nivo vode u bunaru se može sniziti i ako ostali bunari u blizini povlače previše vode.

Uvek treba nastaviti bušenje do velikog propusnog sloja (pesak ili šljunak). Ako je sloj propustan, protok vode bunara će biti visok (prinos bunara će biti velik). Osim toga, kada se sloj sastoji od peska i ne sadrži vrlo male čestice, voda će biti vrlo čista (bistra).

2.3 Značaj podzemne vode

Kao što se rečne vode previše koriste i zagađene su u mnogim delovima sveta, isto važi i za akvifere podzemnih voda. Velika razlika je u tome što su akviferi izvan vidokruga. Preterano korišćenje može izazvati velike probleme za korisnike i za okolinu. Najočitiiji problem je snižavanje nivoa vode izvan dometa postojećih bunara. Samim tim bunari se moraju bušiti dublje do sledećeg nivoa podzemne vode. U nekim mestima (npr. u Kaliforniji, Teksasu i Indiji) nivo vode je pao za stotine metara zbog prevelikog crpljenja vode iz bunara. Na primer, u Punjab regiji u Indiji nivo podzemnih voda je pao 10 metara od 1979, a brzina opadanja se ubrzava (Upmanu, 2009).

Podzemna voda je važan izvor vode za ljude. Podzemna voda čini oko 20% svetskog snadbevanja vodom, što je oko 0,61% celokupne svetske vode, uključujući okeane i stalni led. Globalno spremište podzemnih voda je otprilike jednako ukupnom iznosu slatke vode koja se nalazi u snegu i ledu, uključujući i Severni i Južni pol. Podzemna voda je prirodno skladište u slučaju nestašice površinske vode, na primer u vreme suše. Resursi podzemnih voda igraju vitalnu ulogu za proizvodnju čiste i adekvatne vode za vodosnadbevanje širom sveta. U Sjedinjenim Američkim Državama, podzemne vode se koriste za vodosnadbevanje pitkom vodom za više od 96% svog stanovništva u ruralnim područjima (Sharma, 2002).

Sjedinjene Države koriste oko 77.500 miliona litara podzemne vode svaki dan za sve vrste namena kao što su voda za piće, zalevanje useva i proizvodnju prehrambenih proizvoda. Više od polovice ljudi u SAD-u se oslanjaju na podzemne vode za piće. U evropskim zemljama, poput Danske, Austrije i Islanda, više od 95% zalihe vode potiče iz podzemnih rezervoara. U Aziji, podzemne vode se takođe intenzivno koriste kao zalihe vode npr. 80% (ruralnog područja) Indije, 80% u Maldivima, a više od 60% vodosnabdevanja u Filipinima i Nepal potiče iz podzemnih izvora (Sharma, 2002).

Područje Republike Srpske je podeljeno na 63 opštine, koje se snabdevaju vodom preko pedeset i jednog centralnog opštinskog vodovodnog sistema i velikog broja vodovodnih sistema mesnih zajednica, malih seoskih i individualnih vodovodnih sistema. Javnim vodovodima je obuhvaćeno oko 46% stanovnika u Republici Srpskoj, 11% stanovnika priključeno je na vodovodne sisteme mesnih zajednica, a 43% stanovništva snabdeva se vodom iz individualnih bunara ili izvora. Stanovništvo opštinskih centara, izraženo u procentima, se snabdeva vodom na sledeći način:

- putem vodozahvata na izvorima 31%,
- putem bunarskih vodozahvata 46%,
- putem vododozahvata iz reka i jezera 23%.

Uglavnom nema prerade (prečišćavanja) vode koja se upućuje ka naseljima, mada se procenjuje da je za više od 40% sirove vode potreban dodatni tretman. Dakle, u Republici Srpskoj podzemna voda je dominantan izvor vode za piće (Okvirni plan, 2006).

Intenzivna upotreba podzemnih voda može se objasniti jednostavnošću pripreme, boljom zaštitom od zagađenja, boljim kvalitetom vode u odnosu na površinske vode, manjom podložnošću sezonskim i višegodišnjim promenama, ravnomernom proširenošću na velikim površinama (UNESCO, 2004), a takođe manjim kapitalnim troškovima eksploatacije (Sharma, 2002). Te prednosti su uslovile korišćenje podzemnih voda za vodosnabdevanje u velikim razmerama (UNESCO, 2004).

2.4 Tok podzemnih voda

U poređenju sa brzim protokom većine površinskih voda, podzemne vode se većinom kreću relativno sporo kroz pore u stenama. Podzemne vode se u principu kreću trojako: *pelikularno* ili *opneno* kretanje vode koje se vrši veoma sporo sa jedne čestice na drugu, *kapilarno* kretanje vode koje se javlja u nadizdanskoj zoni, i *gravitaciono* kretanje vode koje se javlja u stenama superkapilarne poroznosti u nadizdanskoj i izdanskoj zoni. Sa obzirom da njeno kretanje zavisi od razlike u nivou gornje granice podzemnih voda i vodenih pritisaka, voda iz viših delova zasićene zone kreće se prema dole, pri čemu prati nagib gornje granice podzemne vode.

Brzina kretanja podzemne vode zavisi od:

- *nagiba* gornje granice podzemne vode (strmiji nagib - veća brzina, a ako je gornja granica podzemne vode ravna nema kretanje podzemne vode);
- *propusnosti stena*.

Nije uvek lako odrediti smer toka podzemne vode. Ipak poznavanje smera kretanja podzemnih voda može biti od velike važnosti za kvalitet vode u bunaru. Iako može biti teško otkriti strujanje bez detaljnih pregleda, u slučaju plitkih podzemnih voda, pregled okoline može pomoći. Na primer, kada se zahod nalazi na obronku brda ili planine, podzemne vode (kontaminirane bakterijama) će verovatno teći u istom smeru kao i padine brda. U ovom slučaju nije dobro bušiti bunar nizvodno od zahoda, nego na istom nivou ili na višem nivou od zahoda. Isto važi i za sve druge moguće zagađivače podzemnih voda.

Svi oblici podzemnih voda imaju specifičan način kretanja koji, pre svega, zavisi od agregatnog stanja, vidova voda i faktora koji ih izazivaju (Tabela 1).

Glavni procesi kretanja slobodnih podzemnih voda su filtracija i infiltracija.

Proces filtracije predstavlja mehaničko kretanje slobodne vode u poroznom prostoru, pod dejstvom gradijenta pritiska, a u uslovima potpunog zasićenja vodom. Filtracija može biti izazvana i dejstvom elastičnih sila, koje se javljaju u vodonosnim slojevima na većim dubinama i koje sadrže vodu pod pritiskom.

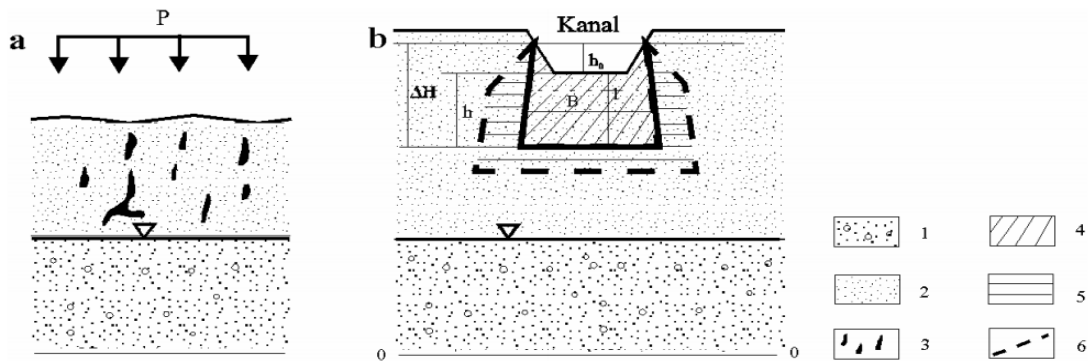
Pod infiltracijom, u širem smislu, podrazumeva se proces prodiranja vode u poroznu stensku masu i njeno kretanje u pravcu slobodne površine podzemnih voda, odnosno u pravcu zone potpunog zasićenja slobodnim podzemnim vodama. Proces infiltracije predstavlja kretanje vode u zoni aeracije, za razliku od filtracije koja se odvija u uslovima potpunog zasićenja porozne sredine slobodnim podzemnim vodama. Infiltracija se manifestuje kao mehaničko kretanje u uslovima nepotpunog zasićenja poroznog prostora slobodnom i fizički vezanom vodom, pod dejstvom hidrostatičkih pritisaka i molekularno-kapilarnih sila, pri tom ne uzimajući u obzir uzajamno fizičko-hemijsko dejstvo u sistemu voda - stena. Razlikuje se nekoliko vidova infiltracije:

- *proceđivanje* - pri slobodnom proceđivanju, kretanje voda odvija se pod dejstvom sile teže i kapilarnih sila u vidu izolovanih strujnica (Slika 5),
- *poniranje* - pojam poniranje označava kretanje vode kroz krupnije pukotine, što je često slučaj u karstifikovanim stenama,
- *normalna infiltracija* - od svih vidova infiltracije, najbolje je izučena normalna infiltracija, koja se odvija u uslovima kada ima dovoljno infiltrirane vode, da u novoobrazovanom toku napuni sve porozne prostore. U ovom slučaju, tok obrazuje jednu neprekidnu, hidrauličnu sredinu, unutar koje se kretanje vode odvija po mehanizmu filtracije, a na spoljnim konturama tog toka, gde se on graniči sa suvom (vodom nezasićenom) stenom, javljaju se kapilarne sile (Slika 5).

Tabela 1. Vrste kretanja podzemnih voda (Filipović i sar., 1997)

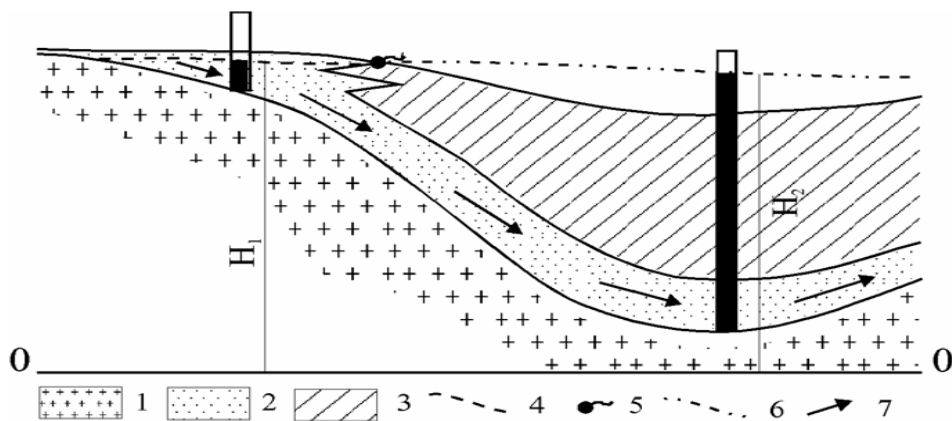
Vrste podzemnih voda	Vrste kretanja podzemnih voda	Glavni faktori kretanja
Led	Gravitaciono tečenje, sublimacija i topljenje	Sila teže i zagrevanje
Vodena para	Filtracija gasa	Gradijent pritiska zasićenja vodenom parom
Hemijski vezana voda: a) zeolitna b) kristalizaciona c) konstitucionalna	Molekularno-atomski	Zagrevanje: a) do 100 °C b) 100-400 °C c) >400 °C
Fizički vezana voda: a) higroskopna, b) adsorpciona, c) opnena	a) Molekularan b) Molekularan c) Opneni	a) Molekularne sile i energija hidratacije b) Molekularne sile i energija hidratacije c) Molekularne sile i gradijent vlažnosti
Kapilarna	Kapilarno-opneni, Kapilarno podizanje i Gravitaciono-kapilarni	Kapilarne i gravitaciono-kapilarne sile, gradijent kapilarnog potencijala i isparavanje podzemnih voda
Slobodne (gravitacione) podzemne vode i a) vode u zoni aeracije, b) podzemne vode u zoni zasićenja	Infiltracija Filtracija	Sila teže, hidrostatički gradijenti i gradijent kapilarnog potencijala Hidrostatički i geostatički pritisci, gradijent pritiska
Voda u natkritičnom stanju	Molekularno-atomski	Gradijent pritiska i temperature

U stenama zasićenim vodom sreću se svi vidovi vode, počev od hemijski vezane koja učestvuje u građi mineralne materije, pa do slobodne (tečne) vode koja ispunjava sve porozne prostore.



Slika 5. Šematski prikaz infiltracionih procesa (a- slobodno proceđivanje; b- normalna infiltracija) 1- zona zasićenja (izdanska zona); 2 – zona aeracije (zona nepotpunog zasićenja); 3 – izolovana strujnica ("podzemna kiša"); 4 – zona infiltrirajućeg toka, gde je vlažnost maksimalna; 5 – zona dejstva kapilarnog pritiska; 6 – kontakt "suvih" stena zone aeracije i infiltrirajućeg toka (Filipović i sar., 1997)

Kretanje podzemnih voda potčinjava se dejstvu gravitacije i kompresionih sila. Stoga, kretanje podzemnih voda može biti usmereno u različitim pravcima. U površinskim delovima litosfere, vodeću ulogu u kretanju podzemnih voda ima sila teže i prvenstveno silazno kretanje voda (Slika 6). Sa dubinom raste dejstvo kompresionih sila, pri čemu vodeću ulogu ima uzlazno kretanje podzemnih voda.



Slika 6. Šematski prikaz procesa filtracije u poroznoj sredini; 1- granit; 2- peskovi; 3- gline; 4- slobodni nivo podzemnih voda; 5- izvor; 6- nivo podzemnih voda pod pritiskom; 7- pravci kretanja podzemnih voda (Filipović i sar., 1997)

Slobodne (gravitacione) podzemne vode su osnovni predmet proučavanja u hidrogeologiji.

Jedan od najvažnijih faktora koji određuje uslove kretanja podzemnih voda kroz stensku masu jeste poroznost (zapremina šupljina, odnosno pora u jedinici stenske mase) (Tabela 2) i to aktivna poroznost, koja je određena površinom poprečnog preseka pora kroz koje može da se kreće slobodna (gravitaciona) voda. Zahvaljujući poroznosti omogućeno je

kretanje podzemnih voda i njihovo sakupljanje u podzemne rezervoare - kolektore. Šupljine u poroznim stenama mogu biti međusobno povezane u veoma različite i raznovrsne sisteme, ali mogu biti i izolovane. Prve označavaju aktivnu poroznost jer omogućavaju kretanje podzemnih voda, dok druge imaju odlike pasivne poroznosti. Poroznost stena može biti, u zavisnosti od porekla pora i šupljina, primarna i sekundarna. Poroznost od 30% znači da 30% ukupne zapremine uzorka je prazan prostor, dok je preostalih 70% čestica ispunjen prostor. Pore mogu biti napunjene vazduhom ili vodom. Ovo ne znači uvek da voda jednostavno teče kroz tlo. Na primer, glina ima visoku poroznosti (% zapremine šupljina ili pornog prostora u steni), ali nisku propusnost (sposobnost stene da kroz njene međusobno povezane pore (šupljine) protiče voda).

Tabela 2. Tipične hidrološke vrednosti za stene (Mihalić, 2007)

	Propusnost m/dan	Porozitet %
granit	0,0001	1
šejl	0,0001	3
glina	0,0002	50
pješčenjak (raspucani)	5	15
pesak	20	30
šljunak	300	25
vapnenac (kavernozni)	promenljivo	5
kreda	20	20
raspucana zona	50	10
K < 0,01 m/dan = nepropusna stena		
K > 1 m/dan = iskoristiv vodonosnik		

Propusnost = hidraulička provodljivost = koeficijent propusnosti = K (m/s ili m/dan) = tok kroz jediničnu površinu materijala u jedinici vremena uz jedinični hidraulički gradijent (pad potencijala za 1 m na udaljenosti 1 m u smeru toka vode).

Brzina kretanja podzemne vode puno je manja od K vrednosti zbog toga što su prirodni hidraulički gradijenti puno manji od 1, koji se nalazi u jednačini koeficijenta. Tipične brzine toka podzemne vode variraju od 1 m/dan do 1 m/godinu, ali su puno veće kroz kaverne u vapnencima (Mihalić, 2007).

Specifično otpuštanje je procenat zapremine vode koja se može slobodno ocediti iz stene. Manji je od poroziteta i definisan je faktorom u odnosu na porozitet. Indikacija je vrednosti izdani u smislu rezervi podzemne vode.

Vrste propusnosti geoloških slojeva su:

- *međuzrnska*: raspršeni tok između zrna u pescima i šljuncima i mladim poroznim krečnjacima.
- *pukotinska*: tok kroz pukotine u gotovo svim stenama, povremeni tok u rasednoj zoni, ali sistemi gustih pukotina omogućuju raspršeni tok u peščenjacima, kredi i mladim bazaltima. Većina pukotina je uska na dubinama većim od 100 m.
- *sekundarna*: tečenje podzemne vode povećava propusnost rastvaranjem i to naročito u krečnjacima; neraspšeni tok kroz kanale je povremen i to kroz proširene pukotine i kaverne.

Koliko brzo voda prolazi kroz tlo, odnosno infiltrira se, je funkcija i veličine i oblika čestica tla, zapremine pora između čestica, i da li su ili ne pore povezane. Na primer, tla koje se sastoje uglavnom od čestica peska i šljunka imaju tendenciju da imaju veće, međusobno povezane pore koje omogućavaju da je protok vode lak i relativno brz. Pesak i šljunak su stoga vrlo propusni. Nasuprot tome, neka tla, poput mulja i gline, imaju slabo

povezane pore, i to je struktura tla koja teži da uspori infiltraciju. Čestice gline su vrlo male (i "lepljive") i stoga se glina opisuje kao nepropusna.

U većini slučajeva tlo se sastoji od mešavine gline, mulja i peska ili čestica šljunka. Voda teče polako kroz pomešano tlo te se stoga ono opisuje kao polupropusno.

Kavernozni krečnjak ne podleže uobičajenim pravilnostima vezanim za podzemnu vodu, jer se voda nalazi u nepredvidivoj mreži kaverni i to samo povremeno. Krečnjaci imaju složen nivo podzemne vode koja nije u vezi s topografijom. Podzemnu vodu u kršu teško je identificirati ili kontrolisati, budući da se bunarima ili bušotinama vrlo lako mogu promašiti glavni podzemni tokovi.

Darsijev (*Darcyjev*) zakon, koji je primenljiv za jednostavne geološke strukture, predstavlja grubi pokazatelj toka kroz jediničnu površinu zemljišta. U Darsijevom zakonu se podrazumeva zamišljena brzina toka koja se zove Darsijeva brzina ili prividna brzina toka kroz presek nekog poroznog medija:

$$v = \frac{Q}{A}$$

gde je:

Q - protok podzemne vode

A – proticajna površina

$$Q = K \cdot b \cdot w \cdot i$$

gde je:

K - propusnost,

b - debljina vodonosnika,

w - širina vodonosnika i

i - hidraulički gradijent – to je nagib nivoa podzemne vode, nastao usled pada potencijala, odnosno gubitak mehaničke energije fluida zbog otpora trenja. Nivo podzemne vode je strmiji kada je propusnost mala ili kada je protok veliki; tipičan gradijent je 1:100 u dobrim izdanima (Mihalić, 2007).

Stvarna brzina strujanja vode kroz porozni medij se dobija deljenjem Darcy-ve brzine sa poroznošću:

$$v_s = \frac{v}{n}$$

gde je:

n- poroznost koja se definiše kao odnos zapremine pora kroz koje se odvija tečenje (V_s) i ukupne zapremine (V).

$$n = \frac{V_s}{V}$$

Brzina strujanja vode u poroznom mediju je određena Darcy-evim zakonom koji glasi:

$$v = k \cdot I = k \cdot \frac{dh}{dl}$$

gde je:

v - Darcy-eva brzina

I - pad piezometarske linije

h - nivo podzemne vode

k - koeficijent filtracije – izražava otpor kretanja tečnosti kroz zasićeni porozni medij. Zависи od karakteristika porozne sredine kroz koju se odvija strujanje (propusnost p) kao i od karakteristika fluida. Koeficijent filtracije se može definisati jednačinom:

$$k = \frac{\rho \cdot g}{\mu} \cdot p$$

gde je:

p - propusnost porozne sredine koji zavisi od oblika i rasporeda zrna

ρ - gustoća fluida koji protiče

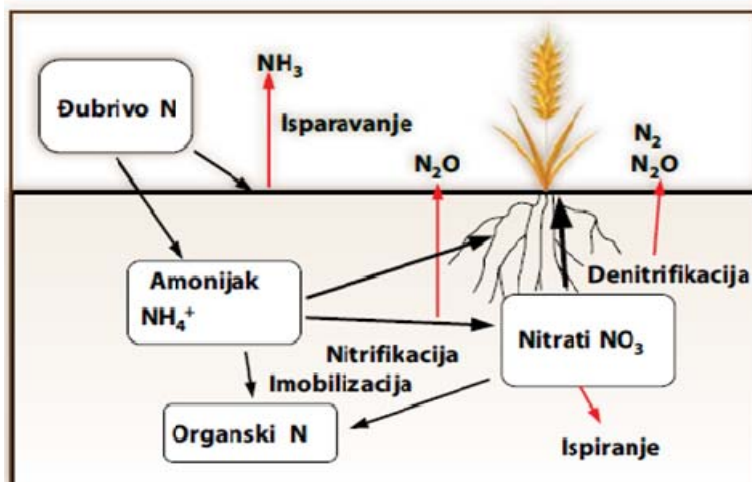
μ - dinamički koeficijent viskoznosti fluida koji protiče kroz poroznu sredinu

Darcyjev zakon je ograničen na laminarni režim strujanja koji se javlja kod malih brzina strujanja fluida.

2.5 Zagađenje podzemnih voda

Sa intenzivnom upotrebom, osiromašenje i onečišćenje podzemnih voda široko se proširilo (Das i sar., 2002; Nazari i sar., 1993; Momodu i Anyakora, 2010). Onečišćenje podzemnih voda izaziva velike probleme i može predstavljati ozbiljnu opasnost za ljudsko zdravlje. Glavni zagađivači podzemne vode su sulfati, jedinjenja azota (poput amonijaka i nitrata), naftni derivati, fenoli i teški metali (UNESCO, 2004).

Azotne materije u vodu dospevaju iz nekoliko izvora uključujući atmosferu, biljke leguminoze, biljni otpad, životinjske ekskremente, kanalizaciju, azotna đubriva i industrijske otpadne vode. Nitriti i nitrati nastaju u mnogim industrijama kao što su: metalna industrija, proizvodnja đubriva, organska hemijska industrija, proizvodnja plastike i sintetike, rafinacija i slično. Koriste se u industriji kao aditivi hrani, posebno u mesu i siru. Na Slici 7 su prikazane forme azotnih komponenti i njihova mobilizacija u životnoj sredini.



Slika 7. Forme i mobilizacija azotnih komponentata u životnoj sredini
(<http://www.slavol.rs/sites/default/files/img/products/all/unistart/unistart-nacin.png>)

Izvori onečišćenja podzemnih voda mogu uključivati infiltraciju zagađenih padavinskih voda, slučajno curenje komunalnih otpadnih voda i privatnih septičkih jama i/ili druge industrijske otpadne vode itd. Podzemne vode mogu biti kontaminirane sa više od 30

različitih opštih izvora povezanih sa ljudskim aktivnostima koje uključuju tačkaste i ne-tačkaste izvore. Najčešći izvori uključuju postupke odlaganja otpada, probleme dotoka slane vode poreklom od poljoprivredne delatnosti (Moody, 1996). Otpadne vode iz rudarstva i otpadne vode za navodnjavanje takođe mogu uzrokovati onečišćenje podzemnih voda (Muhammed i sar., 2011).

Većina onečišćenja je uzrokovana benzinom i drugim gorivima koja cure iz tankova koji se polažu u zemlju. Benzinske pumpe nisu jedina mesta sa ukopanim rezervoarima. Ljudi koji koriste ulje za grejanje zimi često imaju rezervoare ukopane u njihovim dvorištima. Drugi izvori zagađenja mogu biti porozne septičke jame ili vodopropusni veštački ribnjaci koji se koriste za tretman otpadne vode, a nisu ispravno instalirani i održavani, pa mogu curiti i zagađivati vodu u zemlji. Zagađenje podzemnih voda takođe može početi iznad zemlje. Onečišćenja kao što su hemikalije koje se proliju na zemlju, bakterije i hranljive materije iz stočarskih područja, pesticidi i hranljive materije (nutrijenti) iz poljoprivrednog zemljišta, mogu dospeti do podzemnih voda.

Ponekad je onečišćenje podzemnih voda uzrokovano različitim vrstama izvora koja polako ispuštaju malu količinu onečišćenja. Budući da ovakvi izvori mogu biti rašireni, teško ih je detektovati i kontrolisati. U drugim slučajevima, jedan izvor onečišćenja (kao što je pokopan rezervoar goriva) može ispustiti veliku količinu zagađenja u podzemne vode. Međutim, čak i ako je izvor pronađen i uklonjen, zagađenje je već u zemljištu i podzemnim vodama i teško ga je ukloniti. Dakle, najbolje je da se spreči da dođe do ispuštanja zagađujućih materija.

Od industrijske revolucije, jedan od glavnih problema u pogledu onečišćenja podzemnih voda je akumulacija teških metala. Prirodni izvori teških metala mogu uključivati i eroziju rudnih ležišta. Neki teški metali poput olova, hroma i žive mogu dovesti do akutne toksičnosti čak i pri nižim koncentracijama. Ostali metali poput magnezijuma, kalcijuma, gvožđa i mangana su ipak potrebne za održavanje vitalne funkcije tela (Salem i sar., 2000). Gvožđe i mangan se pojavljuju prirodno u podzemnim vodama (Tredoux i sar., 2004), gde su prisutni u anoksičnoj okolini (Ebermann i sar., 2010). Veće koncentracije rastvorenog gvožđa i mangana ne izazivaju ozbiljnu štetu za zdravlje ljudi ili životinja (Ebermann i sar., 2010), ali mogu izazvati estetske i druge probleme pri korišćenju takve vode (Tredoux i sar., 2004).

Zagađenost podzemnih voda direktno zavisi od:

- zagađenosti površinskih voda usled ispuštanja otpadnih voda iz naselja i industrije, koje se infiltriraju u neke akvifere,
- zagađenosti zemljišta zbog odlaganja štetnog i opasnog otpada, od spiranja zagađenja sa poljoprivrednih površina i saobraćajnica, što je izraženo kod plićih i nezaštićenih izdani.

Da bi se mogao razmotriti i proceniti kvalitet podzemnih voda potrebno je upoznati karakteristike akvifera: granice prostiranja, trodimenzionalnu geometriju vodonosnog sloja, vrste materijala koji sačinjava akvifer i identifikaciju sistema tokova.

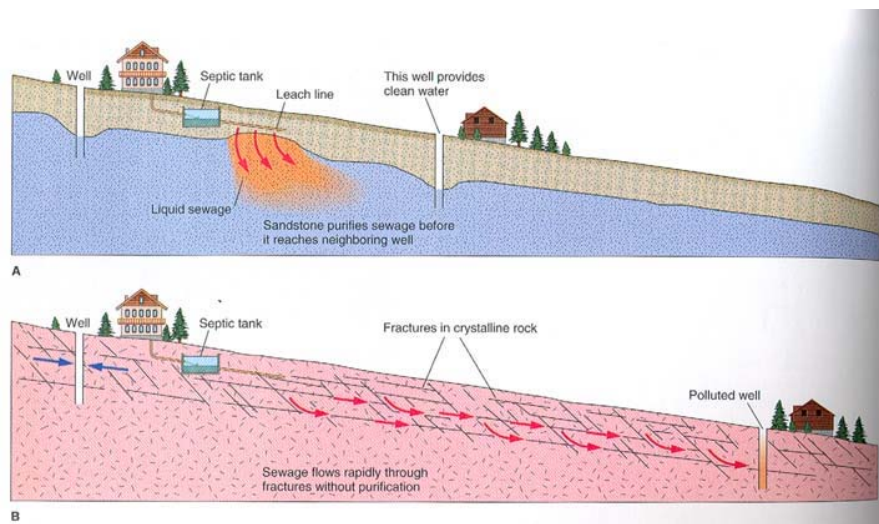
Bakterije, virusi, paraziti i hemikalije kreću se prema dole sa vodom koja se infiltrira (kiša) kroz propusne slojeve tla u podzemne vode. Nakon što dospeju u podzemne vode patogeni mikroorganizmi i hemikalije se šire horizontalno (levo-desno), ali i vertikalno (gore-dole), dublje u izdan.

Zagađenje podzemnih voda, zagađujućim materijama koji se ispuštaju u zemlju i koje mogu doći do podzemnih voda, može stvoriti *kontaminirajući oblak (perjanicu; eng. plume)* u izdani. Kretanje vode i disperzija u akviferu širi taj zagađivač na šire područje, njegove unapređene granice često se nazivaju *ivica perjanice (eng. plume edge)*, koje se onda mogu ukrstiti sa podzemnim bunarima ili površinskim vodama kao što su izvori, tako da su zalihe vode nesigurne za ljude i biljni i životinjski svet.

Stratigrafija područja ima važnu ulogu u prenosu zagađujućih materija. Na primer, zemljotresi mogu biti način za ulazak onečišćenja. Interakcija zagađenja podzemnih voda i površinskih voda analizira se pomoću hidroloških transportnih modela.

Kad zagađujuća materija ističe, prospe se ili je namerno odbačena u i na teren, ona se, poput vode, kreće polako ili brzo kroz tlo, zavisno od tla i prirode štetnih sastojaka, a dodatnu pomoć dobija iz dolaznih padavina. Ako je bunar u blizini izvora zagađenja, tada bunar nosi rizik od kontaminacije. Ako je u blizini reka ili potok, tada se vodno telo može zagađiti od podzemne vode. Budući da se nalazi duboko u zemlji, onečišćenje podzemnih voda je teško i skupo za čišćenje. U nekim slučajevima, moraju se pronaći alternativni izvori vode, kada su prethodni izvori kontaminirani.

Vrsta stene i udaljenost od zagađivača utiču na mogućnost zagađenja bunara otpadnim vodama (Slika 8). U peščanicima i sličnim stenama i sedimentima, otpadne vode se mogu pročistiti već i na udaljenosti manjoj od 30 metara (Slika 8A). Ako stena ima velike otvorene pukotine, zagađenje se može širiti kroz njih i na udaljenostima većim od nekoliko stotina metara (Slika 8B). Potencijalno najveće zagađenje je moguće u plitkim aluvijalnim šljuncima i kavernoznim krečnjacima.



Slika 8. *Mogućnosti zagađenja bunara otpadnim vodama u zavisnosti od sastava zemljišta. A) pesak i slične stene, B) stene sa velikim otvorenim pukotinama (Mihalić, 2007)*

2.6 Međusobni uticaj i veze površinske i podzemne vode

Podzemne vode imaju veoma tesnu interakciju sa površinskim vodama, koje najčešće dele njihovu sudbinu u pogledu količine i kvaliteta (posebno kada se radi o aluvijalnim podzemnim vodama).

Podzemne vode se razlikuju od površinskih prema:

- relativno sporom kretanju vode, što povećava vreme zadržavanja vode u zemljištu i time zadržavanje polutanata u vodi,
- znatnim stepenom fizičko-hemijskih interakcija vode i okolnog materijala u kom se nalazi akvifer.

Bilans površinskih i podzemnih voda predstavlja odnos raspoloživih i potrebnih količina vode određenog kvaliteta, na određenom području u određenom vremenskom periodu. Za ovladavanje i poznavanje bilansa podzemnih i površinskih voda, te njihovom

međusobnom zavisnošću, veoma je značajno poznavanje njihovog režima. Režim površinskih i podzemnih voda po definiciji predstavlja stanje voda u toku vremena (kvalitativno i kvantitativno) koje proističe iz istovremenih dejstava brojnih prirodnih i veštačkih činilaca (klimatskih, hidroloških, geoloških, biogenih i veštačkih) (Voznaja, 1973). Režim podzemnih voda u priobalnom pojasu je tesno vezan sa režimom nivoa voda u vodotocima, jezerima, veštačkim akumulacijama, morima itd.

U periodu visokog vodostaja u rekama, podzemne vode se prihranjuju rečnim vodama, a pri niskim vodostajima obrnuto. Analogna je hidraulična povezanost sa jezerima i morima. Stepem prihranjivanja zavisi od geološkog sastava i hidrogeoloških uslova priobalnog pojasa, pri čemu se javljaju različiti pojavni oblici.

U priobalnim pojasevima naših većih reka, gde se nalaze glavne akumulacije (akviferi) podzemnih voda, hidraulička veza reke i podzemnih voda uglavnom je ustaljena. U svim slučajevima, podzemne i površinske vode predstavljaju same za sebe jedan hidraulički sistem, u kojem se poremećaj ravnoteže u jednom delu odražava na druge delove (Korać, 1975). U isto vreme se međusobna veza površinskih i podzemnih voda u vreme nastanka obilnih atmosferskih padavina definiše: usporavanjem podzemnih voda, filtracijom površinskih voda u vodonosne horizonte, prenošenjem hidrostatičkog pritiska, kombinovanjem prethodne tri forme (što se najčešće susreće u prirodi).

Površinske vode pokazuju uticaj ne samo na režim nivoa podzemnih voda već se njihovo dejstvo ispoljava i na temperaturu i hemijski sastav vode. Amplituda kolebanja temperature površinskih voda u godišnjem ciklusu značajno prekoračuje odgovarajuće amplitude kolebanja temperature podzemnih voda udaljenih od površinskih.

Površinske vode pokazuju uticaj i na hemijski sastav podzemnih voda pri postojanju hidrauličke veze među njima, pri čemu se to opaža samo u relativno maloj priobalnoj zoni.

3. ISPITIVANJE KVALITETA VODE I MONITORING

Voda za piće treba da bude bez uzročnika bolesti i prekomernih količina štetnih hemikalija. Voda za piće treba da bude bezbojna i bez ukusa i mirisa.

Pitka voda treba biti testirana na veliki broj parametara. Neki od ovih parametara su:

- *Hemijski parametri*: pH, teški metali (kadmij, olovo, arsen itd.), nutrijenti (azot, fosfor), opasne organske materije (pesticidi, ugljovodonici iz goriva itd.), neorganske materije (kalcijum, magnezijum, natrijum, gvožđe, mangan, hloridi, fluor itd.) .
- *Biološki parametri i mikrobiološki parametri*: uzročnici bolesti - bakterije, virusi, paraziti itd.
- *Fizički parametri*: elektroprovodljivost, mutnoća, boja, miris itd.

Većina analiza se rade u laboratoriji, ali neke od analiza se mogu ili se moraju obaviti na terenu u skladu sa odabranim metodama.

Nakon obavljenog laboratorijskog ispitivanja dobijeni rezultati se upoređuju sa zakonom propisanim vrednostima, odnosno odgovarajućim pravilnikom o kvalitetu za određenu vrstu vode. Dokaz o ispitivanju je laboratorijski izveštaj koji sadrži isključivo numeričke podatke u skladu sa odgovarajućim uputstvima.

Prilikom uzimanja uzoraka vode za testiranje iz tek instaliranog bunara treba sačekati dok se testiranje pumpe završi da bi uzorak bio reprezentativan. Takođe, po mogućnosti treba sačekati par nedelja da bi neki parametri poreklom iz isplake, radne vode ili cementa nestali. Ne treba uzeti uzorak odmah nakon dezinfekcije bunara, jer će rezultat biti predvidljivi (neće biti patogena), ali neće pokazati pravo stanje kvaliteta vode.

Važan deo strategije upravljanja vodozahvatom uključuje implementaciju programa monitoringa sirove vode, sa fokusom na relevantne parametre i baziranog na karakteristikama vodozahvata i proceni rizika.

Poznavanje razmere i stanja kanalizacione mreže i tretmana kanalizacionih efluenata, kao i lokacije i inteziteta bavljenja stočarsrvom u oblasti vodozahvata će pomoći pri identifikaciji razmere i verovatnoće mikrobioloških promena u vodi. Takođe treba uzeti u obzir činjenicu da mikrobiološko opterećenje može biti značajno veće tokom olujnog perioda i tokom topljenja snega. Slično tome poznavanje razmere i tipa poljoprivrednih aktivnosti u oblasti vodozahvatanja, pomoći će pri predviđanju pojava poljoprivrednog hemijskog zagađenja kao što su nitrati, fosfati i pesticidi. Dakle, monitoring može biti fokusiran samo na one parametre koji pokazuju verovatnoću rizika, kao i na vreme i učestalost kada je verovatnoća njihove pojave najveća. Odnosno, na osnovu godišnjih promena može se predložiti frekvencija i vrsta monitoringa.

Sveobuhvatna inspekcija lokaliteta (gde se može izvršiti procena potencijalnih zagađivača na osnovu informacija prikupljenih na licu mesta i iz komunikacije sa javnošću) i vodozahvata obezbeđuje veoma vredne informacije „iz prve ruke“ o oblasti interesa. Inspekcije obično obezbeđuju važnu funkciju ranog upozorenja pošto mogu da ukažu na potencijalno ili buduće zagađenje podzemnih voda, koje bi moglo biti detektovano jedino monitoringom nakon što već dođe do njega. Sanitarne inspekcije su posebno osmišljene da omoguće pregled izvora rizika od zagađenja izvora vode za piće. One identifikuju verovatne uzroke rizika kada je pronađeno zagađenje zaliha vode za piće (Howard, 2002a), i mogu uključiti na primer, procenu blizine aktivnosti koje uzrokuju zagađenje i koje su u vezi sa mestom zahvata vode za piće i uslova u bunarima (Howard, 2002a).

3.1 Monitoring podzemnih voda

Podzemne vode se prvenstveno koriste kao resurs pitke vode, što zahteva strožije kriterijume u proceni i održavanju kvaliteta u dužem vremenskom periodu. Monitoring podzemnih voda se vrši prikupljanjem i analiziranjem uzoraka vode iz pijezometara koji se nalaze u sloju akvifera.

Definisanje strategije monitoringa prema posebnim ciljevima monitoringa kod podzemnih voda fokusira se na karakteristična četiri elementa:

- Monitoring ambijenta koji treba da obuhvati dugoročnu strategiju koja može odrediti moguće udare na kvalitet.
- Rano upozorenje i ispitivanje omogućava pribavljanje informacije da li i gde može doći do incidenta koji će ugroziti rezerve i nivo podzemne vode i odrediti stvarne izvore degradacije kvaliteta (Zakon o vodama, 2006).
- Monitoring vezan za korišćenje odnosi se na regulativu, zakone i odluke u vezi sa korišćenjem podzemne vode.
- Monitoring za specifične namene uključuje uspostavljanje posebnih zaštitnih zona, poboljšanje i obnavljanje kvaliteta voda u području i posebne vrste ispitivanja i monitoringa.

Značajna komponenta dobro projektovanog monitoringa je rano upozorenje, koje se sastoji u tome da na osnovu podataka monitoringa u slučaju akcidentnih situacija ili bilo kojih drugih situacija gde dolazi do bitnih promena u kvalitetu voda na vreme upozori korisnike voda na promenu kvaliteta. Ovo je posebno interesantno za nizvodne korisnike koji vodu koriste za pripremu vode za piće ili ostale ljudske aktivnosti (npr. navodnjavanje), kojima se direktno ugrožava zdravlje ljudi. Prema tome, rano upozorenje treba da obezbedi alarm u cilju zaštite resursa i ukaže na greške u procesu proizvodnje ili obrade otpadnih voda u najkraćem mogućem roku. Rano upozorenje treba da obezbedi sledeće ciljeve:

- informisanje i upozorenje odgovarajućih organa vlasti nakon incidenta,
- inicijativa za preventivne i kontrolne mere,
- definisanje uzroka,
- detekcija izvora zagađenja i
- determinisanje mera za nadoknadu šteta i sprečavanje sekundarnih oštećenja.

Sledeće komponente igraju važnu ulogu u sistemu monitoringa:

- utvrđivanje liste vrednosti parametara kvaliteta voda za upozorenje i alarm,
- baza podataka za ocenu štetnih osobina materija, primena ekspertnih sistema,
- model za izračunavanje vremena prolaza utvrđenog incidentnog zagađenja od mesta incidenta,
- upozorenja ili monitoring stanice do mesta upotrebe,
- sistem komunikacije u kome su određene procedure za upozorenje i preko koga je omogućeno da svi korisnici u rečnom slivu dobiju brzu informaciju.

Da bi pouzdano uspostavili sistem ranog upozorenja potrebno je u monitoringu projektovati:

- merne stanice koje rade kontinuirano (ili polukontinuirano), kojima se utvrđuje stanje zadatah parametara,
- automatsko uzimanje uzoraka i poboljšanje analiza koje precizno indentifikuju polutante, korišćenjem savremene opreme u odgovarajućim laboratorijama.

Postoje tri strategije koje mogu biti usvojene pri monitoringu podzemnih voda:

- **ofanzivni (proaktivni) monitoring** potencijalnih izvora zagađenja, gde je cilj omogućavanje rane detekcije zagađenja akvifera iz poznatih izvora,

- **odbrambeni (defanzivni) monitoring** izvora podzemne vode primenjen je kada je cilj obezbeđivanje upozorenja na nalete (talase) zagađenja koji ugrožavaju polja sa bunarima vode za piće,
- **monitoring procene mesta sa poznatom kontaminacijom akvifera.** Ovaj monitoring služi dvema svrhama:
 - a) najvažnije je da se potvrđuje efikasnost prirodnih procesa uklanjanja kontaminanata, i
 - b) potvrda efikasnosti inženjerskih remedijacionih mera preduzetih da se ukloni ili zadrži zagađenje u akviferu.

3.2 Monitoring vode za piće

Osnovni razlog koji povezuje kontrolu sistema za vodosnabdevanje sa kvalitetom vode za piće je provera da li se mere, koje treba da osiguraju traženi kvalitet vode, korektno sprovode; što se prosuđuje preko kvaliteta vode za piće kojom se snabdevaju potrošači. Sistematski monitoring kvaliteta vode za piće mora da bude integralni deo aktivnosti vezanih za zaštitu i poboljšanje kvaliteta vode za piće, a ne sam sebi svrha. Prema Pravilniku Evropske zajednice o vodi za piće (EC, 2007) mogu se definisati dva nivoa monitoringa:

- monitoring nadzora (eng. *check monitoring*) i
- monitoring provere (eng. *audit monitoring*).

Svrha monitoringa nadzora je da obezbedi informacije koje su neophodne za odluku, zasnovanu na nekoliko jednostavnih analiza, da li je voda verovatno u saglasnosti sa zadatim vrednostima parametara. To je prva linija zaštite (zdravlja potrošača). Parametri koji će se određivati u monitoringu nadzora su jedinstveni indikatori kvaliteta vode, sa izuzetkom testa na *Eschericia coli*. Analize se mogu izvesti ili semikvantitativno na licu mesta ili jednostavnim tehnikama u laboratoriji. Ako su rezultati provere očekivani, tada se može zaključiti da nije neophodan dalji postupak. Međutim, bilo koji neuobičajen ili nezadovoljavajući rezultat traži objašnjenje i dalji postupak. Svrha monitoring provere je da obezbedi informacije koje su neophodne za odluku da li su ispoštovane sve vrednosti parametara kvaliteta vode. To je dato kao druga linija zaštite ljudskog zdravlja.

Rezultati monitoringa nadzora i monitoringa provere mogu ukazati na neophodnost daljeg monitoringa. Taj monitoring istraživanja zavisice od posebnih okolnosti.

Proizvodnja, prerada, transport i kontrola kvaliteta vode za piće predstavlja složen, višefazni sistem. Monitoring kvaliteta vode za piće, obuhvata kontrolu četiri celine:

- izvorišta,
- prerade i dezinfekcije vode,
- rezervoara i
- distributivne mreže.

Na svakom od ovih segmenata moguća je kontaminacija vode, što predstavlja potencijalnu opasnost za krajnje korisnike. Izboru odgovarajuće lokacije izvorišta treba da predstoji niz veoma značajnih aktivnosti i to:

- osnovna i detaljna hidrogeološka istraživanja,
- izrada programa monitoringa podzemnih voda i
- izrada programa aktivnosti.

Kontrola kvaliteta vode za piće se sastoji iz dve relativno nezavisne celine:

- stalna kontrola kvaliteta vode koju obavlja Vodovod u toku proizvodnje vode za piće tzv. „pogonska kontrola“ treba da osigura adekvatan postupak prerade i dezinfekciju sirove vode i distribuciju vode za piće do krajnjeg potrošača.

- Javnu zdravstvenu kontrolu kvaliteta vode za piće čine: ispitivanja fizičko-hemijske, hemijske, mikrobiološke, virusološke, parazitološke, biološke i radiološke ispravnosti.

Kod izrade bunara i pijezometara posebnu pažnju treba posvetiti izolaciji akvifera. Uspostavljanje adekvatnog sistema kontrole zdravstvene ispravnosti vode, je u ovom slučaju osnovni cilj monitoringa. Kontrola svih segmenata sistema je neophodna, kako sa aspekta očuvanja zdravlja potrošača tako i zbog praćenja i regulacije rada postrojenja za prečišćavanje i dezinfekciju, kao i kontrole osnovne sirovine. Pravovremeno otkrivanje kontaminacije nastale u prvim fazama sistema sprečava kontaminaciju celog sistema i ugrožavanje zdravlja stanovništva.

Uspostavljanje monitoringa kvaliteta vode za piće podrazumeva sistem aktivnosti koje obezbeđuju da uzorkovanje i laboratorijsko ispitivanje budu u skladu sa definisanim standardima kvaliteta i potrebnim nivoom pouzdanosti, odnosno da zadovolji postulate - kvaliteta sigurnosti i kvaliteta kontrole. Uspostavljanje sistema koji će obezbediti zahtevane standarde kvaliteta vode i pouzdanosti podataka uključuje četiri segmenta: definisanje cilja kontrole kvaliteta, kvalitet sigurnosti, kvalitet kontrole i ocena kvaliteta. Kao što je već rečeno, osnovni cilj uspostavljanja monitoringa kvaliteta vode za piće je dobijanje higijenski ispravne vode, u cilju očuvanja zdravlja stanovništva. Da bi se takav cilj i ostvario potrebno je da dobijeni podaci budu validni - tačni, precizni, kompletni, reprezentativni, uporedivi i kompatibilni.

Osiguranje kvaliteta obezbeđuje: adekvatan izbor mernih mesta, učestalost uzorkovanja i pravilno uzorkovanje, transport i priprema uzoraka i odgovarajuću obuku kadra. Pouzdanu kontrolu obezbeđuju: priprema protokola (standardnih procedura) za obavljanje analiza, priprema protokola za laboratorijsku kalibraciju i priprema protokola za rezultate merenja.

Ocenu kvaliteta čini: izveštaj o dobijenim rezultatima merenja i ocena dobijenih rezultata merenja u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije.

Merna mesta su mesta na kojima se uzimaju uzorci, a to su: izvorišta, mesta uslovljena tehnološkim postupcima prerade vode, rezervoari i distributivna mreža.

Osnovno pravilo pri određivanju učestalosti uzorkovanja je da što se voda češće ispituje sve je verovatnije da će se eventualna kontaminacija detektovati. Prilikom određivanja učestalosti uzorkovanja treba ukazati na dva postulata koja treba poštovati:

- verovatnoća detektovanja zagađenja, koje se dešava povremeno je veća ako se uzorci uzimaju u različitim vremenskim periodima i različitim danima u nedelji i
- češće ispitivanje voda sa manjim brojem parametara je sigurnije nego ređe ispitivanje analizama sa većim brojem parametara.

Učestalost uzorkovanja sirove vode zavisi od kapaciteta izvorišta, opšteg kvaliteta vode i godišnjeg doba. Ako je u pitanju prečišćena voda učestalost uzorkovanja vode zavisi od kvaliteta sirove vode i načina tretiranja vode u procesu prerade.

Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Pravilnik, 2003), nadzor nad higijenskom ispravnosti vode za javno snabdevanje stanovništva i flaširanom vodom za piće vrše sanitarna inspekcija i javne zdravstvene ustanove.

3.3 Monitoring vode izvorišta

Monitoring izvorišta obezbeđuje korisne informacije ne samo sa aspekta odabira izvorišta vode za piće, već i tokom njegove eksploatacije. Naime, prikupljeni podaci utiču na projektovanje odgovarajućeg tehničkog rešenja za tretman vode i pomažu pri određivanju koji tip tretmana je neophodno implementirati. Nakon uspostavljanja sistema obrade vode, dalji, nadzorni monitoring izvorišta omogućava operaterima na postrojenju da modifikuju

tretman obrade u skladu sa promenom kvaliteta sirove vode. Ciljevi monitoringa kvaliteta voda se mogu grupisati na sledeći način:

- procena rizika po populaciju,
- dokaz trenutne situacije,
- određivanje dugoročnih trendova i
- prioritizacija intervencija (Agbaba i sar., 2014).

Monitoring program čine nekoliko bitnih komponenti:

- ciljevi kvaliteta vode bazirani na zaštiti zdravlja ljudi i prevencije bolesti,
- sistematska praćenja kojima se određuje kada se izvoršte menja u smislu da ne može više da se koristi za vodosnabdevanje,
- monitoring kao bitna komponenta u obezbeđivanju sigurne vode za piće,
- plan upravljanja koji opisuje akcije koje se preduzimaju u normalnim uslovima i ekstremnim uslovima,
- sistematski nezavisni nadzor kojim se utvrđuje da je sve gore navedeno sprovedeno po pravilu.

Program monitoringa i uzorkovanja sirove vode može biti određen jedino od strane vodovoda a na osnovu dobrog poznavanja vodozahvata sirove vode, dodatno dostupnih izvora, veštine i kapacitete laboratorije. Program bi trebalo formalno proveravati najmanje jednom godišnje. Pristup može uključiti:

- početni program uzorkovanja: uzorkovanje će se morati vršiti u periodu i frekvencijom odgovarajućom za taj tip izvora. Svrha ovog uzorkovanja je da utvrdi bilo kakav rizik po kvalitet kao i neophodan nivo tretmana.
- osnovni rutinski program, mora se uspostaviti osnovni set fizičko-hemijskih i mikrobioloških analiza, u zavisnosti od tipa izvora, njegove promenljivosti i nivoa tretmana.
- uzorkovanje koje je u vezi sa određenim događajima, npr. uzorkovanje u određeni deo godine, kada se očekuje pogoršanje kvaliteta vode.
- dugoročno serijsko uzorkovanje za analizu trenda (Burt i sar., 2010).

Iskustva iz ranijih faza monitoringa koriste se za poboljšanje nadzora. Tako da se u prvoj fazi nadzora aktivnosti mogu ograničiti na sanitarnu inspekciju i analizu kritičnih parametara na manjem broju izvorišta vode. Kako se monitoring razvija, broj izvorišta koji je pokriven nadzornim monitoringom se povećava, kao i frekvencija monitoringa.

Operativni monitoring se sastoji od planiranih osmatranja i merenja kako bi se stekao uvid u pravilan način sprovođenja kontrolnih mera. Preporučuje se postavljanje limita i preuzimanje korektivnih mera kada se utvrde odstupanja, a pre nego što kvalitet vode postane nepodesan.

Preporučeni parametri koji se prate u okviru operativnog monitoringa izvorišta su: mutnoća, UV apsorbanacija, rast algi, protok i retenciona vremena, boja, provodljivost i lokalni meteorološki uslovi (Agbaba i sar., 2014).

Bitno je planiranje početnog nadzora uz uzimanje u obzir: infrastrukture, dostupnosti obučanih kadrova, broja izvorišta na kojima se sprovodi program monitoringa.

Monitoring program može da se posmatra i u smislu zahteva za:

- hitne odgovore na pojedine probleme,
- istraživanje i razvoj i
- izveštavanje i odgovornost.

Monitoring program se često dizajnira na osnovu već postojećih iskustava u praćenju kvaliteta vode u izvorištu, pri čemu se uzimaju u obzir i stečena iskustva ali i greške ustanovljenje predhodnim monitoringom. Program treba da bude osmišljen tako da pokriva trenutne i sistemske varijacije u kvalitetu vode i da pruži informaciju koja reprezentuje kvalitet vode.

3.4 Razvoj sigurnosnih planova za vodozahvatanje

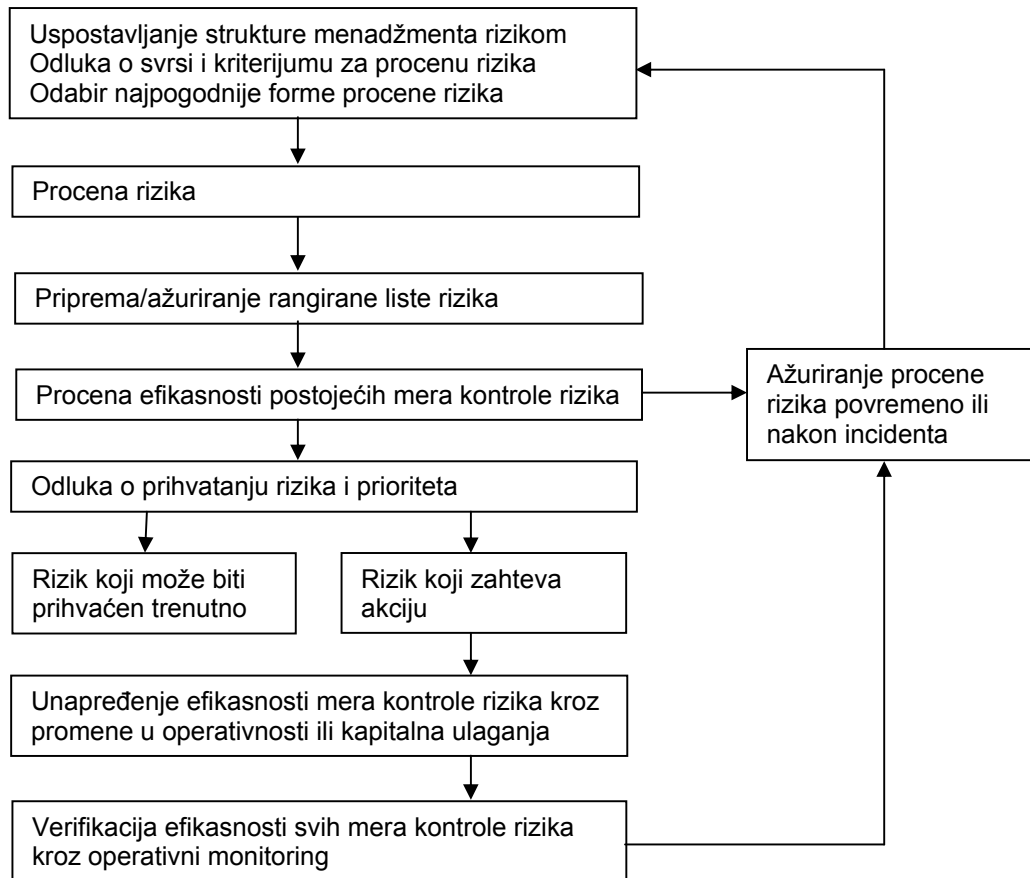
Tradicionalnim pristupom se u vodosnabdevanju proteklih decenija najčešće zahteva potvrda da kvalitet vode koja se isporučuje potrošač zadovoljava legalne standarde. Međutim, monitoring kvaliteta vode kao finalnog proizvoda je nedovoljan s obzirom da rezultati analiza ne omogućavaju pravovremeno reagovanje kako bi se izvršila prevencija rizika po zdravlje, pre distribucije vode do samog potrošača. Ograničavajući faktori ovakvog pristupa su takođe i često niska reprezentativnost i frekvencija monitoringa, kao i nedostaci u praćenju pojedinih indikatora mikrobiološke i hemijske kontaminacije. Stoga se tzv. monitoring „na kraju cevi“ smatra neadekvatnim. Sve su ovo razlozi zašto je Svetska zdravstvena organizacija preporučila usvajanje Plana za sigurno vodosnabdevanje (PSV), kao strategiju kojom se smanjuje rizik i sprečava kontaminacija pre isporuke vode za piće potrošaču.

Planovi za sigurno vodosnabdevanje su od strane Svetske zdravstvene organizacije opisani kao „najefektivniji način kojim se konstantno obezbeđuje sigurnost u snabdevanju vodom za piće i to kroz svaobuhvatnu procenu rizika i pristup upravljanja rizikom u svim koracima vodosnabdevanja, od izvorišta do slavine potrošača“. Razvoj i primena PSV se od strane Svetske zdravstvene organizacije preporučuju od 2004. godine i danas se oni primenjuju u vodovodima širom sveta, a u nekim zemljama imaju i osnovu u legislativi. Na Slici 9 prikazan je tipičan pristup menadžmentu rizikom po kvalitet vode (WHO, 2011b; Breach, 2012)

Identifikacija i procena hazarda, hazardnih pojava, rizika i postojećih kontrolnih mera predstavljaju osnovne zadatke koje treba rešiti u okviru Plana za sigurno vodosnabdevanje.

Pored unapređenja i sticanja poverenja u kvalitet vode, brojne su ostale koristi od uvođenja plana za bezbedno snabdevanje vodom za piće.

- bolja kontrola i razumevanje sistema,
- veća svest zaposlenih o kvalitetu vode i mogućim rizicima,
- prošireno znanje,
- unapređenje komunikacije unutar organizacije,
- prioritizacija ulaganja,
- optimizacija troškova i povećanje efikasnosti poslovanja,
- saglasnost sa ostalim standardima,
- fokusiranje na kritične aspekte,
- smanjene mogućnosti nepredviđenih rizika,
- brže i preciznije reakcije,
- poboljšanje odnosa zainteresovanih strana,
- veće poverenje u kvalitet isporučene vode i osiguravanje bezbednog snabdevanja vodom za piće (Bačelić-Tomin i Dalmacija, 2015)



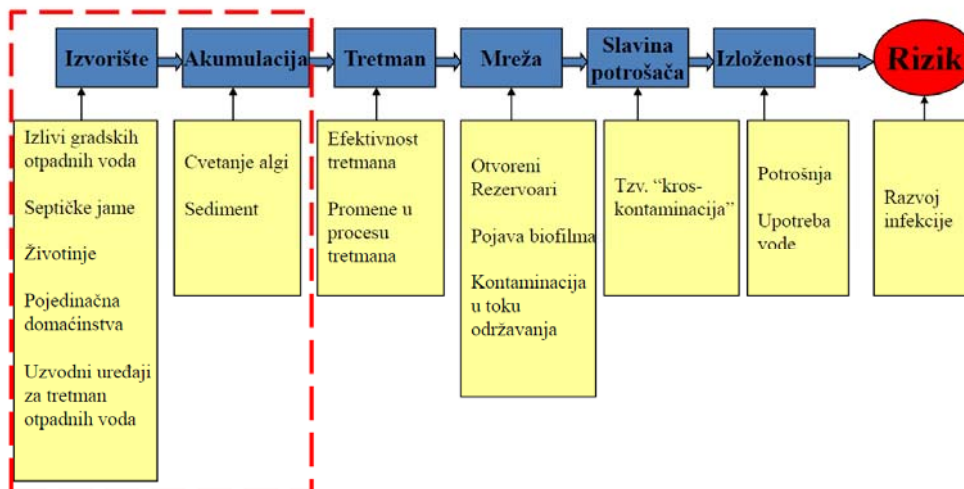
Slika 9. Menadžment rizikom u okviru plana za bezbedno snabdevanje vodom za piće (WHO, 2011b; Breach 2012)

3.4.1 Procena rizika

Najefikasnije sredstvo za osiguranje kvaliteta vode za piće i zaštitu zdravlja građana, u svim vodovodima bez obzira na veličinu, je usvajanje preventivnog pristupa upravljanja koji obuhvata sve korake od izvorišta, rezervoara, distributivnog sistema do potrošača. Preventivni pristup upravljanja rizicima je dat u obliku „opšte matrice“, sisteme bez obzira na veličinu (Veljković, 2010). Ova „opšta matrica upravljanja“ sadrži i obrađuje četiri opšte oblasti:

- obaveza upravljanja kvalitetom vode za piće,
- analiza sistema i upravljanja,
- preduslovi za zahtevani kvalitet vode za piće i
- nadzor

S obzirom da se u praksi ove četiri oblasti „opšte matrice“ međusobno prepliću i prožimaju, elementi matrice mogu biti predstavljeni u obliku blok dijagrama: blok dijagram – procena rizika (Slika 10) i blok dijagram – upravljanje rizicima (Slika 11).



Slika 10. Procena rizika

(<http://www.waterworkshop.pmf.uns.ac.rs/dokumenti/ww2013/3/novipristupprocenirizika.pdf>)

Postoje različite vrste rizika koje se međusobno razlikuju po mestu i vremenu nastanka, broju i vrsti unutrašnjih i spoljašnjih faktora koji utiču na nivo rizika, po karakteru posledica, po načinu opisivanja, metodama analiza i upravljanja i sl. Prema tome rizik se može klasifikovati prema različitim kriterijumima. Na osnovu porekla rizik se klasifikuje u tri osnovne klase:

- u prvu klasu mogu se svrstati prirodni (među njima niz specifičnih geofizičkih, litosferskih, geomorfoloških, meteoroloških, hidroloških, bioloških);
- drugu klasu čine kvaziprirodni, odnosno oni gde ljudska delatnost potencira prirodne hazarde i
- u treću klasu mogu se svrstati antropogeni, tj. oni koji su izazvani ljudskom delatnošću

Rizik definišu biološki, hemijski ili fizički procesi, pa se rizik može podeliti i na biološki, hemijski i fizički.

Definisanje nivoa rizika nije uvek jednostavno jer on zavisi od niza faktora.

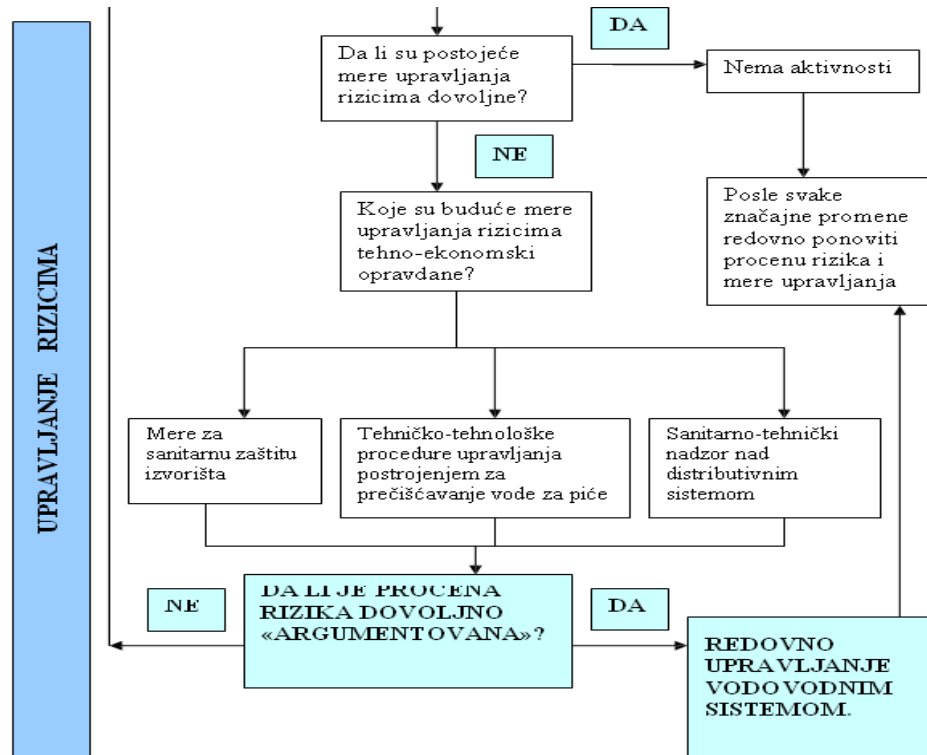
Na osnovu Metodologije za izradu procene ugroženosti i planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama (2011) (Slika 12) procena rizika obuhvata:

- identifikaciju rizika,
- analizu rizika i
- ocenu rizika.

Za **identifikaciju rizika** koristi se analiza potencijalnih opasnosti (hazarda). Najznačajniji elementi analize su položaj i karakteristike teritorije. Položaj i karakteristike teritorije analiziraju se prema sledećem: položaju teritorije u odnosu na šire područje; položaju teritorije u odnosu na topografske objekte u užem području; vrsti, broju i stanju vodotokova na širem i užem području; vrsti, broju i položaju obradivih površina na teritoriji; vrsti, broju i položaju naselja na teritoriji.

Podzemne vode su prvenstveno ugrožene ukoliko dođe do izlivanja zagađujućih supstanci u zemljište i u manjoj meri u slučaju eventualnih toksičnih disperzija, koje zahvataju širu oblast. Pri određivanju osetljivosti hidrogeološke komponente, poseban akcenat se daje na podzemne izdane koji se nalaze direktno ispod ili u blizini datog objekta.

Pri tome se uzima u obzir način prenosa, a time i uticaj, supstanci koje eventualno ističu iz datog objekta.



Slika 11. Upravljanje rizicima (Veljković, 2010)

Da bi došla do podzemnog toka, supstanca mora neophodno proći kroz zemljište a ovo zahteva izvestan vremenski period koji može biti kraći ili duži i predstavlja funkciju propustljivosti tla, interakcije tlo-supstanca, tipa (sabijene ili ne) i dubine podzemne izdani, kao i intenziteta padavina u oblasti koja se posmatra.

Stoga, da bi se procenilo da li je podzemna izdan ugrožena toksičnim ispuštom u kratkom vremenskom periodu i da bi se procenila količina supstance koja može da zagađi sam podzemni vodeni tok (a samim tim i zapremina zagađene vode), predviđen je specifičan faktor koji opisuje senzibilitet vodenog toka (i podzemne izdani koju on sadrži) za jedan dati tip zagađenja.

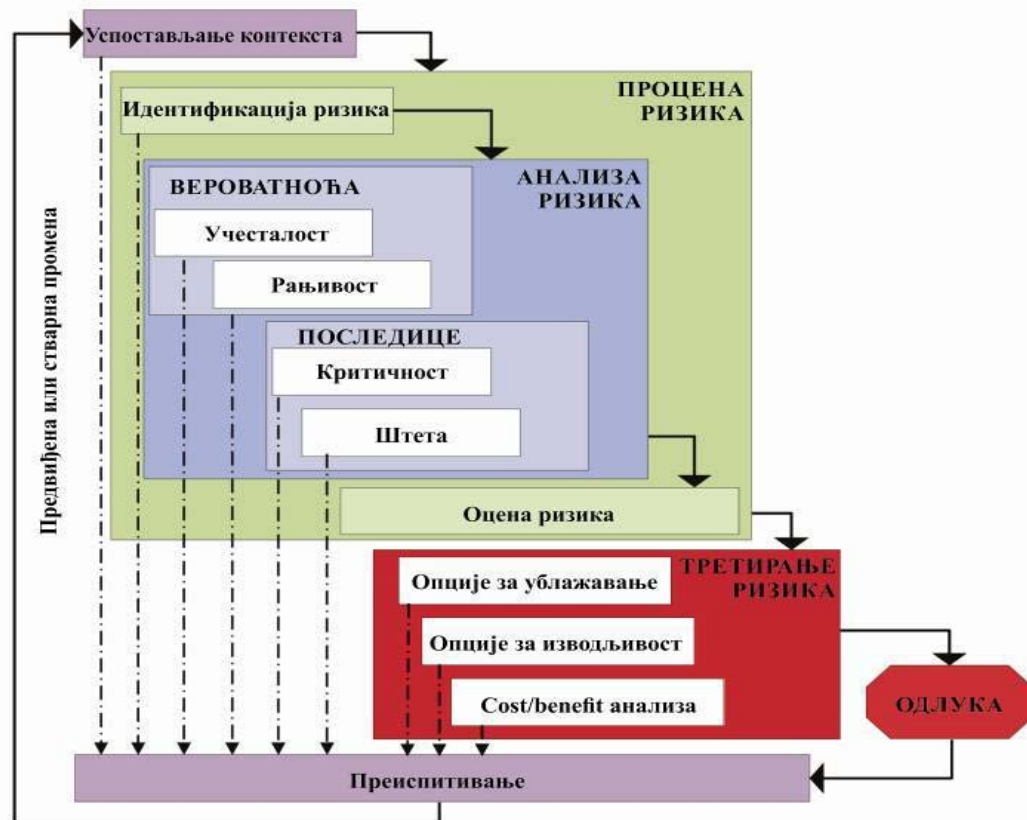
Analiza rizika rezultuje determinisanjem nivoa rizika, na osnovu poznavanja verovatnoće udesa i posledica nastalih odvijanjem udesa.

Nivo rizika je u direktnoj zavisnosti od učestalosti ponavljanja događaja, ranjivosti sistema, odnosno postojećeg stanja zaštite u sistemu i posledica koje se događaju po sistem ako rizik preraste u negativan događaj.

Faktori koji trebaju biti uzeti u obzir pri karakterizaciji vodozahvata uključuju tip zemljišta, topografiju i prirodu interakcija između površinske i podzemne vode. Time se omogućava procena hidrološkog odgovora na pojavu zagađenja, prirodne mehanizme razblaživanja, vreme kretanja od izvora zagađenja do mesta zahvata i mogući uticaj ekstremnih meteoroloških uslova kao što su oluje i kiše.

Važno je razumeti moguće uticaje koji tip zemljišta može imati na tok kojim se kreće zagađujuća materija od površine do podzemne vode. Neka zemljišta su sklona transferu zagađujućih materijala preko npr. pukotina, kanala (drenažnih sistema) ili životinjskih

jazbina. Npr. neka zemljišta sa visokim sadržajem gline su sklona pucanju tokom leta i ove pukotine se mogu održati i tokom zime ponašajući se kao vodovi za transport zagađujućih materijala. Laka zemljišta (sa teksturom peska ili ilovače) teže da budu manje sklona izazivanju „zaobilaznja“ toka vode i zagađujuće materije će najverovatnije prolaziti kroz matriks zemljišta.



Slika 12. Grafički prikaz metodologije procene rizika (Cvetanović, 2015)

Oцена rizika. Pored jednostavnih metoda rangiranja rizika (jednostavna timaska odluka), koriste se i metode procene rizika koje se mogu podeliti u dve grupe: kvalitativne ili semi kvalitativne (npr. matrice 5x5) i kvantitativne (npr. analiza stabla grešaka). Semi kvalitativne ili kvalitativne se i pored nedostataka koje imaju danas najviše koriste (Stevens i sar, 2004).

Kvantifikacija svakog identifikovanog rizika podrazumeva definisanje kvantitativne i kvalitativne ocene rizika. Kvantitativna ocena rizika podrazumeva numerički izrađenu ocenu rizika za mikrobiološku neispravnost (Tabela 3) i za fizičko-hemijsku neispravnost (Tabela 4). Ona se izračunava preko verovatnoća pojavljivanja i posledica izazvanih pojavom rizika.

$$\text{Rizik} = \text{Verovatnoća pojave} \times \text{Posledica}$$

Verovatnoća predstavlja kombinaciju učestalosti određenog štetnog događaja u odnosu na potencijalnu opasnost. Takođe, rizik se može predstaviti i kao:

$$\text{Rizik} = \text{Verovatnoća pojave} \times \text{Intezitet (c)} \times \text{Povredivost (V)}$$

Tabela 3. Ocena rizika kod kvalitativne metode za mikrobiološku neispravnost uzoraka

Nivo	Procenat neispravnosti	Opis
1	<5	Neznatno
2	5,1-10	Mali
3	10,1-25	Umeren
4	2,5-50	Veliki
5	>50	Ogroman

Tabela 4. Ocena rizika kod kvalitativne metode za fizičko-hemijsku neispravnost uzoraka

Nivo	Procenat neispravnosti	Opis
1	<10	Prihvatljiv
2	10,1-20	Delimično prihvatljiv
3	20,1-50	Loš
4	50,1-80	Veoma loš
5	>80,1	Alarmantan

Povredivost je isto što i efektivnost mere odvracanja. Kvantitativno iskazivanje povredivosti je prikazano u Tabeli 5.

Tabela 5. Kvantitativno iskazivanje povredivosti

Efektivnost mere	V	
Visoko efektna	1	<ul style="list-style-type: none">• Detekcija, zadržavanje i odgovor na pretnju su u fizičkom smislu implementirani• Dodatni izvor za snabdevanje je dostupan
Srednje	3	<ul style="list-style-type: none">• Zadržavanje (sprečavanje) vandalizma je u fizičkom smislu implementirano• Ključni rezervni delovi su dostupni
Nije efektna	5	<ul style="list-style-type: none">• Nema mogućnosti detekcije, zadržavanja i odgovora na pretnju• Alternativni izvor za snabdevanje i rezervni delovi nisu dostupni

Kvalitativna ocena podrazumeva definisanje jačine posledica, verovatnoće nastanka rizičnog događaja, a zatim njegovo determinisanje. U praksi se pojedini uticaji koje izaziva rizik na sistem ne mogu kvantifikovati brojnim vrednostima već se koristi kvalitativna ocena, najčešće na osnovu subjektivne procene i koristi se u procesu donošenja odluke (Iannacchione i sar., 2008). Ocena rizika kod kvalitativne metode se označava kao:

- skoro izvesno,
- verovatno,
- moguće,
- malo verovatno i
- retko

Na osnovu stepena prihvatljivosti rizika potrebno je odrediti strategije kojima se vrši tretiranje rizika. Mogu se primeniti sledeće strategije:

- izbegavanje rizika tako što se neće početi ili nastaviti sa aktivnošću koja može dovesti do pojave rizika;
- traženje mogućnosti za početak ili nastavak aktivnosti koja može dovesti do manjeg rizika ili ga održati;
- uticaj na verovatnoću pojave;

- uticaj na posledice.

Prevenција je suštinska karakteristika delotvorne procene i upravljanja rizicima u vodovodnom sistemu. Preventivne mere su one akcije, aktivnosti i procesi koji se koriste da se spreče opasnosti od dešavanja ili da se one smanje na prihvatljivi nivo. Opasnosti (hazardi) se mogu desiti bilo gde u vodovodnom sistemu i zato preventivne mere treba da budu sveobuhvatne od izvorišta do potrošača. Mnoge preventivne mere mogu da kontrolišu više od jedne opasnosti, dok je za neke opasnosti potrebno da se primene više od jedne preventivne mere da bi bile uspešne. Identifikacija i primena preventivnih mera zahteva razmatranje važnog principa pristupa višestrukih barijera. Princip procene rizika višestrukih barijera je predstavljen na blok dijagramu – procena rizika (Slika 13). Snaga ovog pristupa je u tome što se ispad jedne barijere može nadoknaditi delotvornim radom preostalih barijera i time minimizirati verovatnoća da zagađivači prođu kroz celokupni sistem prečišćavanja i da oni budu u dovoljnoj meri prisutni da prouzrokuju opasnost. Tradicionalne preventivne mere ugrađene su u određeni broj barijera, uključujući tu:

- upravljanje izvorištem i zaštita izvora vode;
- fizička i sanitarno-higijenska zaštita rezervoara vode;
- prečišćavanje;
- dezinfekcija;
- zaštita i održavanje distributivnog sistema.

Vrsta potrebnih barijera i opseg primenjenih preventivnih mera razlikuju se za svaki vodovodni sistem i na njih obično utiču karakteristike sirove vode i tip izvorišta. Na izbor odgovarajućih barijera i preventivnih mera uticaće identifikacija opasnosti i ocena rizika. Rezultati monitoringa kvaliteta vode su konačna provera da barijere i preventivne mere koje su primenjene uspešno funkcionišu.

Najvažniji deo procene rizika u vodovodnom sistemu je identifikovanje opasnosti (hazarda). Hazardi se mogu javiti ili se uvesti u bilo kom delu mreže od izvora do potrošača. Hazardi se mogu definisati kao (Bartmam, 2009): fizički, biološki ili hemijski agensi koji mogu izazvati štete po javno zdravlje.

Pri identifikaciji hazarda i njegovom rangiranju glavni koraci su :

- identifikacija rizika i rangiranje;
- identifikacija dodatnih kontrolnih mera i poboljšanje sistema za vodosnabdevanje.

Dakle, hazardi i hazardne aktivnosti identifikovane u oblasti vodozahvatanja trebaju biti procenjene i poređane po prioritetu u smislu verovatnoće rizika koji predstavljaju po mesto zahvatanja vode. Pri tome, posebno je važno uzeti u obzir, ne samo one potencijalne zagađujuće materije koje mogu imati brz uticaj na postrojenje za tretman, npr. izlivanje hemikalija, nego i one koje mogu pogoršati kvalitet sirove vode tokom dugog vremenskog perioda, ako mere smanjenja nisu implementirane, kao što je na primer zagađivanje podzemnih voda nitratima (Howden i sar., 2011). Kako bi se podržala takva procena rizika i identifikovale efikasne mere smanjenja, najbolje je razviti izvor/put/receptor model. Na ovaj način će se identifikovati izvor bilo kog potencijalnog zagađenja i putevi kroz koje putuje do receptora (npr. zahvata vode) koji može biti ugrožen.

Pod kontrolnim merama podrazumevaju se one mere u sistemu snabdevanja koje direktno utiču na kvalitet vode za piće u cilju postizanja zdravstvenih ciljeva. Kontrolne mere mogu biti u formi:

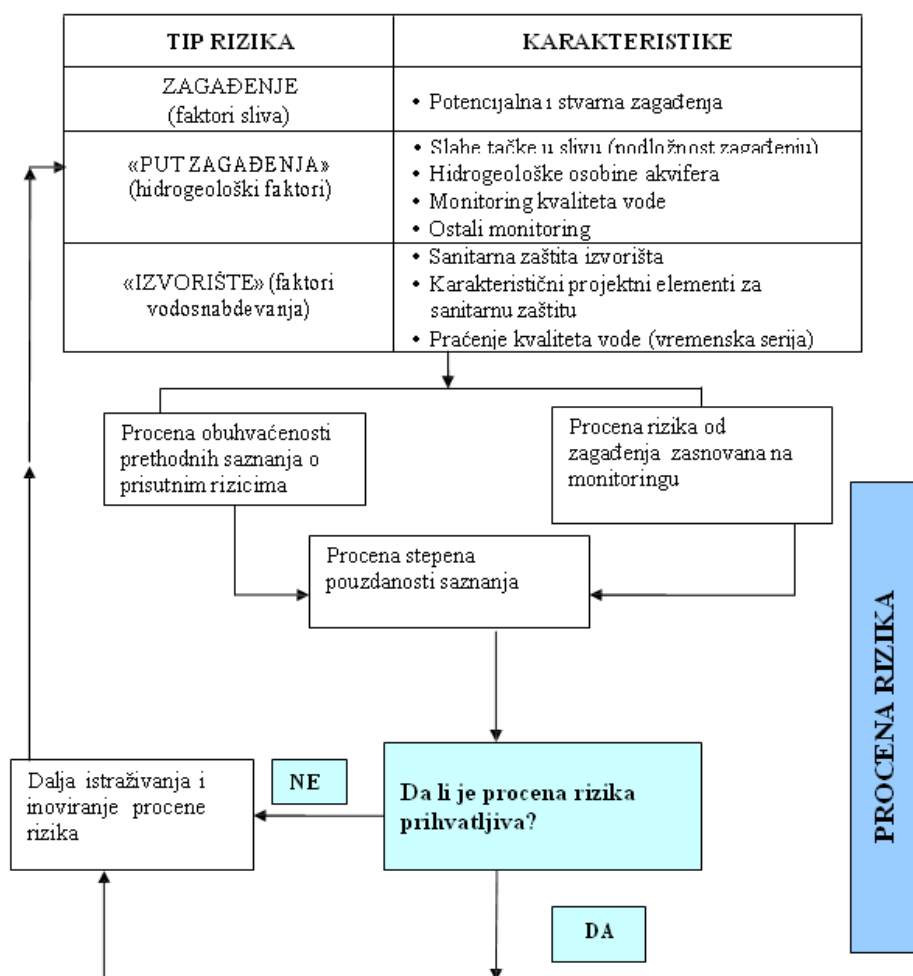
- prevencije hazarda od zagađenja,
- uklanjanje rizika,
- inaktivacije patogena i
- održavanje kvaliteta vode tokom distribucije.

Ciljevi predhodnih koraka su:

- razmatranje svakog koraka na dijagramu toka,
- identifikacija potencijalnih bioloških, fizičkih i hemijskih hazarda kod snabdevanja vodom,
- identifikacija hazardnih događaja koji mogu dovesti do hazardnih situacija u snabdevanju,
- identifikacija kontrolnih mera koje su već primenjene,
- određivanje potencijalnih rizika svakog hazardnog događaja u svakom procesnom koraku proizvodnje vode za piće.

Za svaki korak dijagrama procesa vodosnabdevanja zahteva se odgovoriti na pitanja:

- šta i gde može poći naopako,
- koliko je verovatno da nešto pođe po zlu i
- koje su posledice.



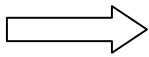




Slika 13. Blok dijagram - Procena rizika (Veljković, 2010)

Ako organizacija ima dosta iskustva sa elementima procene rizika i dosta potrebnih podataka onda se vrši procena rizika na osnovu iskustva. S druge strane, ako ne postoji relevantna ili adekvatna baza podataka, organizacija se može osloniti na analitičke tehnike za razvoj "odgovora" na opasnost da bi na zadovoljavajući način upravljala rizikom. U ovakvim situacijama, organizacije obično koriste prediktivne tehnike evaluacije.

Konstrukcija blok-šeme vodosnabdevanja smatra se vrlo važnom u procesu procene rizika i određivanja kontrolnih mera. U Tabeli 6 prikazani su primeri najčešće korištenih simbola toka procesa koji se koriste u datim šemama. Dobar koncept blok-šeme omogućava:

- identifikaciju puteva kojima posledice hazarda mogu ugroziti potrošača,
- identifikaciju „kritičnih kontrolnih tačaka“.

Tabela 6. Simboli za dijagram toka procesa

	Transport: Prenos vode sa jednog na drugo mesto
	Operacija: Ukazuje da postoje operacije ili grupe operacija koje rezultuju internom promenom vode.
	Rezervoar: Mesto gde se voda skladišti
	Kombinovane aktivnosti: Aktivnosti koje se preduzimaju istodobno na istoj lokaciji ili od istog operatera. Može se koristiti bilo koja kombinacija simbola. Primer pokazuje kombinaciju neke operacije i inspekcije.
	Pregled: Reprezentuje inspeksijski pregled, npr. vodosnabdevanje je pregledano ili verifikovano

Donošenje odluka zasnovanih na riziku treba biti bazirano na doslednoj interpretaciji i trenutnom razumevanju dostupnih podataka. Različiti tipovi modela mogu biti primenjeni radi simuliranja i predviđanja kvaliteta površinske vode (USEPA, 2008). Postoje različiti pristupi proceni rizika i upravljanju rizikom (Pollard, 2008, Rose'n i sar, 2007).

U svakom vodozahvatu, postoji veliki broj potencijalnih zagađujućih materija (Tabela 7) i opcija za njihovo smanjenje. Njihovo poreklo se može obično kategorisati u tri osnovna tipa:

- **Tačkasti izvori:** u ovom slučaju zagađenje potiče iz određenog izvora ispuštanja kao što su kanalizacione mreže, industrijski ispusti ili mesta za odlaganje čvrstog otpada. Do smanjenja može doći kroz pogodne tehnike upravljanja rizikom (kako bi se izbegla curenja i prosipanja), kao i kroz odgovarajući tretman vode.
- **Difuzni izvori:** u ovom slučaju zagađenje nastaje usled zajedničkog delovanja više manjih izvora kao što su spiranje sa poljoprivrednog zemljišta, puteva ili otpadne vode iz domaćinstava npr. ispuštanje iz septičke jame u oblastima bez kanalizacione mreže (Arnscheidt i sar., 2007). Difuzione izvore je mnogo teže kontrolisati pošto se mora zahtevati od mnogo korisnika zemljišta da implementiraju velike promene u svom radu.
- **Prirodni izvori:** do prirodnog zagađenja može doći usled lokalne geologije i/ili tipa zemljišta i u vezi je sa hemijskim rastvaranjem minerala i organske materije. Nadalje, usled prisustva životinja na datim lokalitetima, fekalni patogeni mogu biti transferovani iz zemljišta u vodu (McDonald i sar., 2008).

Učestala opasnost od prodora zagađujućih materija u podzemne vode, a zatim i u vodu za piće, kao i široka paleta organskih i neorganskih jedinjenja koji se u vodi mogu pojaviti kao zagađenje, ukazuju na neophodnost integralnog pristupa pri upravljanju rizikom koji uzima u obzir zagađujuće materije u cilju obezbeđivanja zdravstvene bezbednosti vode za piće. Kompletna procena rizika je neophodan uslov za najefikasnije i kvalitetno vodosnabdevanje od izvora do potrošača.

Procena hemijskog kvaliteta vode za piće obavlja se definisanjem preporučenih vrednosti za odgovarajuće supstance (eng. *guideline values*, GV), odnosno, njihovih maksimalno dozvoljenih koncentracija u vodi za piće pri kojima nema negativnih posledica po zdravlje ili je rizik po zdravlje prihvatljiv. Definisanje preporučenih graničnih vrednosti jedan je od ključnih koraka u razvoju i implementaciji strategije upravljanja rizikom, koji ima za cilj da obezbedi zdravstveno sigurnu vodu za piće, kroz kontrolu opasnih i štetnih materija u vodi.

Tabela 7. Izvori zagađujućih materija vode za piće

Izvori zagađujućih hemijskih materija	Primer izvora
Prirodni izvori	Stene, zemljište i efekti geološkog pomeranja i klime
Industrijski izvori i naselja	Rudnici, proizvodne i procesne industrije, kanalizacija, čvrst otpad, atmosferska kanalizacija, izlivanje goriva
Poljoprivredne aktivnosti	Đubriva, intezivno stočarstvo, pesticidi
Tretman vode ili materijali u kontaktu sa vodom za piće	Koagulanti, dezinfekcioni nusprodukti, materijali za izradu cevi i opreme

Važno je da je upravljanje rizicima sveobuhvatno i da pokrije celi sistem od izvora do potrošača. Dakle potrebno je utvrditi scenario za vanredne okolnosti i isplanirati i dokumentovati protokole za akcidente i vanredne okolnosti, uključujući tu i postupke za komunikaciju na relaciji korisnici - lokalna samouprava - sanitarna inspekcija.

Na kraju može se zaključiti da procena rizika od opasnih i štetnih materija u vodi za piće, alati kojima se ona sprovodi, kao i na osnovu nje, izvedene preporučene vrednosti čine noseće karike u lancu razvoja i implementacije nacionalnih zakonskih regulativa i standarda u cilju obezbeđenja zdravstveno sigurne vode za piće, kako sa mikrobiološkog, tako i sa hemijskog aspekta kvaliteta.

3.4.1.1 Metode za određivanje rang liste rizika (Metoda 1: Jednostavna timska odluka)

Kvalitativne metode imaju za cilj da opišu opasnost pomoću reči ili pomoću klase (Lindhe, 2010). Ovaj pristup se obično koristi kod malih vodovoda (WHO, 2005).

Preliminarni korak ove metode je osnovati tim za procenu rizika. Za velike vodovode potrebno je okupiti multidisciplinarni tim koji bi trebalo da uključuje menadžment vodovoda, inženjere (u procesu pripreme vode), i mikrobiologe i hemičare zadužene za kontrolu vode za piće. Svi članovi tima moraju dobro poznavati sistem pripreme vode i vodosnabdevanja (WHO, 2005).

Ovaj metod koristi timsku procenu za:

- procenu hazardnih događaja na svakom stepenu procesa;
- određivanje da li su pod kontrolom;
- dokumentovanje da li ovi događaji zahtevaju hitnu pažnju.

Efikasno upravljanje rizikom zahteva identifikaciju svih potencijalnih opasnosti, njihovih izvora, moguće opasne događaje i procenu rizika koji predstavlja svaki. Tim bi trebalo da počne sa analizom izvora vode, zatim napreduje kroz potvrđeni dijagram toka. Na svakom koraku je cilj: utvrditi šta bi se moglo dogoditi pa bi moglo doći do kontaminacije i pripadajuće kontrolne mere za sprečavanje kontaminacije (WHO, 2005).

U Tabeli 8 dat je opis događaja koji zahtevaju prioritet u rešavanju.

Tabela 8. Prioritizacija rizika

Opis	Značenje	Beleška
Značaj	Prioritet bez sumnje	Rizik treba da bude razmotren dalje od strane tima radi definisanja dodatnih kontrolnih mera potrebnih za pojedine procese koje treba ubaciti na ključne kontrolne tačke.
Nesigurno	Nesigurno da li događaj spada u značajni rizik	Rizik može zahtevati dalje studije radi utvrđivanja da li je događaj značajan rizik ili ne. Primer nesigurnog rizika uključuje smetnje koje treba dodatno ispitati.
Beznačajno	Nemaju jasno prioritet	Proces će biti proučen kasnije u sklopu pregleda Plana o sigurnoj vodi za piće.

3.4.1.2 Metode za određivanje rang liste rizika (Metoda 2: Semi-kvantitativni prilaz)

Kvantitativne metode za razliku od kvalitativnih opisuju rizik numerički. Termin polukvalitativni se ponekad koristi za opisivanje metoda koje su uglavnom kvalitativne, ali gde su, na primer, verovatnosti i klasi posledice dodeljene numeričke vrednosti. Vrednosti predstavljaju relativne razlike ali oni nisu verovatnoća, fizičke mere posledica ili slično. Kvantitativne metode se obično koriste kada se analiziraju kompleksni sistemi vodosnabdevanja (Lindhe, 2010).

Primer matrice ove metode je data u Tabeli 9. Tim treba da odredi „cut-off“ (prelomnu) tačku iznad koje hazard zahteva dalju pažnju i ispod koje treba ponoviti razmatranja. U Tabeli 9 je npr. 6 bodova uzeto kao prelomna tačka uz izuzetke „izuzetno“ i „katastrofalno“ sa zbirom 5. Rizik se računa množenjem verovatnoće sa tačnošću i rezultati se beleže u tabele. Oni hazardni događaji sa zbirom na ili iznad prelomne tačke se dalje istražuju u cilju smanjenja rizika.

Tabela 9. Primer matrice za određivanje prioriteta rizika

Faktor rizika		Ozbiljnost i posledice (Tačnost)				
		beznačajan nema uticaj ocena 1	mali uticaj ocena 2	umeren estetski uticaj ocena 3	veliki principijelni uticaj ocena 4	katastrofalan uticaj na javno zdravlje ocena 5
Učestalost (verovatnoća) i frekvencija	Skoro određen, jednom dnevno ocena 5	5	10	15	20	25
	Verovatan, jednom nedeljno, ocena 4	4	8	12	16	20
	Blag, jednom mesečno ocena 3	3	6	9	12	15
	Slabo verovatan, jednom godišnje ocena 2	2	4	6	8	10
	Redak, jednom u 5 godina, ocena 1	1	2	3	4	5
Bodovanje Ocena rizika		<6 nizak	6-9 srednji	9-15 visok	<15 veoma visok	

Svi značajni rizici koji su utvrđeni kroz proces procene rizika moraju da se dalje istraže da bi se osiguralo da su smanjeni do nivoa koji se može tolerisati.

Kontrolne mere se identifikuju sa obzirom na hazard ili hazardni događaj koji može uzrokovati kontaminaciju vode, direktno i indirektno, kao i aktivnosti koje mogu ublažiti rizike od tih događaja (WHO, 2005). Kontrolne mere mogu biti efikasne u smanjenju nivoa zagađenja na nekoliko načina:

- smanjenjem njihovog ulaska u vodovod,
- smanjenjem njihove koncentracije u vodovodnoj mreži ili
- smanjenjem uvećavanja koncentracije zagađenja (WHO, 2005).

3.4.2. Opcije za ublažavanje rizika

Izbegavanje rizika. Radi tretmana rizika primenom strategije izbegavanja rizika vrši se zamena započetih aktivnosti alternativnim, bez narušavanja projektovanih ciljeva.

- **Smanjivanje rizika izmenom procedure.** Radi tretmana rizika primenom strategije smanjivanja rizika izmenom procedure vrši se revidiranje načina procedura za realizaciju kritičnih aktivnosti bez narušavanja projektovanih ciljeva.
- **Smanjivanje verovatnoće dešavanja.** Radi tretmana rizika primenom strategije smanjivanja verovatnoće dešavanja potencijalnih opasnosti, vrši se primena mera koje će smanjiti učestalost dešavanja ili vremensku izloženost štice vrednosti potencijalnim opasnostima kao i uvođenje nove ili povećanje postojeće zaštite kritičnih elemenata.
- **Smanjivanje posledica potencijalnih opasnosti.** Radi tretmana rizika primenom strategije smanjivanja mogućih posledica potencijalnih opasnosti preduzimaju se mere zaštite štice vrednosti od mogućih oštećenja na osnovu poznavanja karakteristika štice vrednosti i elemenata sistema upravljanja, kao i smanjenja osetljivosti na potencijalne opasnosti.
- **Zadržavanje ili prihvatanje rizika.** Radi tretiranja rizika primenom strategije zadržavanja rizika u procesu funkcionisanja zadržavaju se sve aktivnosti koje ne predstavljaju trenutnu potencijalnu opasnost sa neprihvatljivim nivoom rizika. Takve potencijalne opasnosti moraju biti pod kontrolom i moraju se preduzimati adekvatne mere da nivo rizika ne postane neprihvatljiv. Prihvatanje rizika vrši se samo kada postoji opravdanost iskazana kroz korist.

Po donošenju odluke o primeni mera za tretman rizika, evidentiraju se relevantne informacije o identifikovanim rizicima radi arhiviranja, koje su date u metodologiji.

3.4.3. Procena rizika po zdravlje od štetnih i opasnih hemijskih materija

Pod pojmom procene rizika najčešće se podrazumeva procena rizika od štetnih i opasnih supstanci odnosno, njihove mogućnosti da izazovu štetne efekte na zdravlje. Međutim, sveobuhvatna procena rizika, podrazmeva definisanje verovatnoće realizacije štete.

Procena rizika za vodu za piće grubo se može podeliti na tri grupe:

- bazirana na epidemiološkim podacima,
- izračunata na osnovu matematičkih modela procene rizika i

- zasnovana na analizi sistema ili komponenata.

Primer modela protoka informacija od hemijskih karakteristika posmatrane zagađujuće materije, preko njene sudbine u životnoj sredini i ekspozicije, do njihove primene u karakterizaciji rizika, predstavljen je na Slici 14. Izloženost čoveka nekoj određenoj zagađujućoj materiji, štetnoj i opasnoj po zdravlje, putem vode za piće podrazumeva i izvor date hemikalije i njen put od izvora do potrošača. Put transporta može biti kroz prirodu (vodena tela, sedimenti, stene i dr.) ili kroz komponente sistema za vodosnabdevanje koje je izradio čovek.



Slika 14. Model protoka informacija u procesu karakterizacije rizika (Agbaba i sar., 2014)

Treći pristup (zasnovan na analizi sistema ili komponenata) proceni rizika zasnovan je na analizi celog sistema ili određene operacije sa ciljem identifikacije slabih tačaka koje mogu omogućiti prodor zagađujuće materije do potrošača. Ovaj pristup počinje detaljnim opisom sistema sa identifikacijom tačaka na kojima se zagađujuće materije mogu pojaviti. Iako postoje mnogobrojne zagađujuće materije koje mogu ugroziti kvalitet vode za piće, pojedine opasnosti ne zahtevaju isti stepen pažnje. Pristup je zasnovan na standardnom inženjerskom dizajnu pristupa za procenu štete, odnosno, oceni verovatnoće pojavljivanja sa opisom posledica određene pojave. Adaptiran je tako da ima fokus na slabe tačke sistema ili određene operacije koje mogu rezultovati ekspozicijom ljudske populacije štetnim i opasnim materijama. Primer ovakvog pristupa dat je u Tabeli 10.

Tabela 10. Primer jednostavnog modela procene rizika

Verovatnoća	Veličina posledice				
	Beznačajno	Slabo	Umereno	Značajno	Katastrofalno
Skoro izvesno					
Verovatno					
Umereno verovatno					
Malo verovatno					
Retko					

3.5 Metodologija za procenu i upravljanje vodozahvatima podzemnih voda

3.5.1. Strategija za kontrolu zagađenja podzemnih voda

Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti ili urbanog razvoja može se smanjiti kroz uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine. Dozvolama se može prepisati odgovarajući monitoring podzemnih voda i u skladu sa rezultatima se može zahtevati od industrije da preduzme remedijaciju podzemnih voda, kao i da se izvrši prevencija zagađenja kroz regulisanje upotrebe zemljišta u oblastima koje leže na sistemima toka podzemnih voda. Dakle kontrola zone zemljišta i podela nametnuta od strane lokalnih vlasti može biti efikasno sredstvo za zaštitu podzemnih voda.

Postoje četiri glavna alata za zaštitu vodozahvata koji takođe mogu biti korišćeni za kontrolu rizika od zagađenja podzemnih voda:

- mapiranje celokupnog akvifera sa naznakama oblasti osetljivih na zagađenja,
- kvantifikacija potencijalnog opterećenja pod-površinskih zagađenja,
- implementacija oblasti zaštite izvorišta,
- postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar definisanih oblasti zahvata.

Ciljevi prevencije zagađenja podzemnih voda su:

- prevencija budućeg zagađenja,
- bavljenje sa postojećim izvorima zagađenja,
- odabiranje novih područja podzemne vode koja će se koristiti za snabdevanje.

3.5.2. Procena opterećenja zagađenja

Potrebne informacije za pravilnu procenu opterećenja zagađenja materijama moraju uključiti: identifikaciju, lokaciju i karakterizaciju svih mogućih zagađenja, a gde je to moguće bilo bi dobro poznavati njihov razvoj tokom vremena. Ovi podaci najbolje se klasifikuju putem izrade katastra zagađivača (Foster i sar., 2002). Informacije koju su bitne za svaki polutant su:

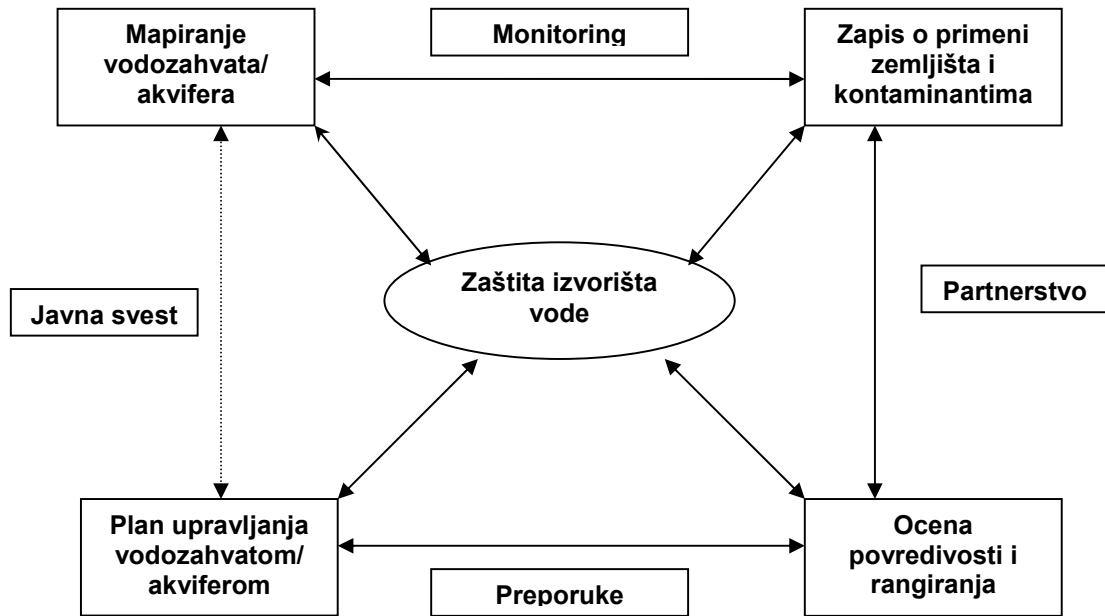
- perzistentnost i mobilnost polutanta,
- način dispozicije,
- kvantitet zagađujuće materije,
- intezitet zagađenja,
- trajanje zagađenja.

3.5.3. Upravljanje vodozahvatom

U svakom sistemu vodosnabdevanja kritičan korak predstavlja sprečavanje kontaminacije vode za piće. Zaštita izvorišta vode (Slika 15) u okviru upravljanja vodozahvatom podrazumeva koordiniranje akcije između zainteresovanih strana u cilju razvijanja kratkoročnih i dugoročnih planova za sprečavanje, minimiziranje ili kontrolu potencijalnih izvora zagađenja, ili pak poboljšanja kvaliteta vode tamo gde je to neophodno.

Osim smanjenja rizika po javno zdravlje potrošača, efektivno upravljanje vodozahvatom minimizira operativne troškove i smanjuje potreban stepen obrade vode za

piće, količinu hemijskih sredstava koja se primenjuju tokom tretmana, kao i nastalih neželjenih nusprodukata tretmana.



Slika 15. Šematski prikaz komponenti zaštite izvorišta vode (Bečelić-Tomin i Dalmacija, 2015)

4. MANGAN U VODI

Usled značajno povećanog sadržaja mangana u vodovodskoj vodi tokom 2012. godine, izvedena su obimna hidrohemijska ispitivanja podzemnih voda koje se koriste za vodosnabdevanje u opštini Laktaši. Iz tog razloga će se u ovom poglavlju detaljnije razmotriti problem mangana prilikom vodosnabdevanja.

Mangan se nalazi u mineralima u obliku oksida, silikata i karbonata. Postoje neorganska i organska jedinjenja mangana, a neorganska su najčešća u okruženju.

Mangan se koristi u proizvodnji gvožđa i čelika, kalijum permanganata i stakla (ATSDR, 2000; HSDB, 2001). Mangan se koristi i kao oksidaciono sredstvo za premazivanje elektroda, za zavarivanje šipki i štavljenje kože (Friberg i sar., 1986). Mangan metilciklopentadienil trikarbonil (MMT), koristi se kao agens za oktansko poboljšavanje bezolovnog benzina (Lynam i sar., 1999). Neka jedinjenja mangana se koriste i kao gnojiva i fungicidi i kao suplementi za hranu za stoku (HSDB, 2001). Mangan "greensands" se koriste za tretman vode za piće (ATSDR, 2000).

Mangan može postojati u 11 oksidativnih stanja. Najviše ekološki i biološki važnih jedinjenja mangana su ona koji sadrže Mn^{2+} , Mn^{4+} ili Mn^{7+} (USEPA, 1994)

U vodi mangan može biti prisutan u jednom od tri osnovna oblika, zavisno od pH vrednosti i nivoa kiseonika, koji uzrokuju promenu boje vode od bezbojne (bistre) do obojene:

- *rastvoreni oblik*: dvovalentni mangan (Mn^{2+}) - ovaj oblik mangana se može naći u podzemnim vodama i ne daje obojenje vodi.
- *nerastvorni oblik* (u obliku čestica): četverovalentni mangan (Mn^{4+}) - to je jedino stabilno oksidaciono stanje mangana, koje se javlja u vodama koje sadrže kiseonik. U ovom obliku mangan precipituje kao crni talog i daje vodi mutno crni izgled. Ovaj oblik mangana se može ukloniti filtracijom.
- *koloidni oblik* - vezan za organske materije u vodi (tanine i huminske materije). To su vrlo sitne čestice koje se teško talože i uklanjaju filtracijom. U ovom slučaju voda iz slavine je žute boje, ali je potpuno transparentna.

4.1 Mangan u površinskim vodama

Mangan se rastvara u vodi usled kontakta sa stenama i mineralima, a ponekad i usled kontakta sa materijalima kao što su гвозdene i čelične cevi.

Mangan se prirodno javlja u mnogim površinskim i izvorima podzemnih voda i u zemljištima koja mogu da erodiraju u ove vode. Međutim, ljudske aktivnosti su takođe odgovorne za kontaminacije vode manganom u nekim područjima. Mangan može poticati iz antropogenih izvora uključujući industrijske otpadne vode, curenja iz odlagališta i drenaže rudnika. Kućišta bunara, delovi pumpe, cevi i rezervoari mogu takođe doprineti prisustvu mangana u podzemnim vodama.

U površinskim vodama, mangan se javlja u rastvorenom i suspendovanom obliku, zavisno od faktora poput pH, prisustva anjona i redoks potencijal (ATSDR, 2000). Viši nivoi u aerobnim vodama se obično povezuju sa industrijskim zagađenjem ili sa ulazom podzemnih voda u vodno telo. Usled slojevitosti akumulacije može doći do stvaranja anaerobnih uslova na dnu i rastvaranja gvožđa i mangana iz depozita sa dna, koji se naknadno šire u vodno telo. Ukoliko u poljoprivrednom zemljištu nema dovoljno mangana, onda se primenjuje tzv. mangansko đubrenje, koje može da bude bitan izvor mangana u vodotocima i podzemnim vodama.

4.2 Mangan u podzemnim vodama

Anaerobne podzemne vode često sadrže povišen nivo rastvorenog mangana. U dvovalentan obliku mangan (Mn^{2+}) dominira u većini podzemnih voda na pH 4-7, ali i vrlo oksidirani oblici se mogu pojaviti na višim pH vrednostima ili proizlaze iz mikrobne oksidacije (ATSDR, 2000). Kako se voda proceđuje kroz tlo, rastvoreni kiseonik u njoj se troši usled raspadanja organskih materija i aktivnosti mikroorganizama u tlu, a ova razgradnja takođe rezultira smanjenjem pH zbog delovanja bakterija. Samim tim atomi mangana se "redukuju" do Mn^{+2} stanja, jer zemljište pogoduje redukciji usled niske pH vrednosti i nedostatka kiseonika. Dakle, rastvorljivost se povećava u kiseloj oblasti pH ili pod anaerobnim uslovima pa je mangan obično rastvoren u podzemnoj vodi, iako neki plitki bunari mogu da sadrže koloidni mangan koji daje vodi crnu nijansu.

Nivo mangana u podzemnim vodama može široko varirati u zavisnosti od vrste stena i minerala koji su u kontaktu sa njom. Tipične koncentracije mangana poreklom od prirodnih procesa rastvaranja su niske, ali mogu biti 15 mg/L ili više. Izvori zagađenja bogati organskim materijama (npr. oticanje iz deponija, kompost ili hemikalije, kao što je npr. benzin) mogu povećati nivo mangana njegovim otpuštanjem u podzemne vode.

Ako je vodonosni sloj aluvijalni depozit, pešćar ili škriljci, onda je verovatno da će podzemna voda imati povišene koncentracije gvožđa i mangana.

Dakle, koncentracija mangana u podzemnoj vodi može se menjati u osnovi iz dva razloga i u skladu sa njima treba preduzeti odgovarajuće mere:

- mere zaštite podzemne vode u cilju smanjenja priliva nitrata (npr. izbegavanje krčenja šuma) i
- prostorno razdvajanje poljoprivrede i bunara koji se koriste za snabdevanje vodom (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004).

Postoje tri načina na koja se u podzemnoj vodi može pojaviti rastvoreni Mn^{2+} :

- redukcija MnO_2 ,
- oksidacija mangan-sulfida nitratima,
- rastvaranje jedinjenja mangana pod uticajem kiseonika (Dalmacija i Ivančev Tumbas, 2004).

Dominacija jednog oblika nad drugim zavisi od koncentracije kiseonika, rastvorljivosti jedinjenja mangana u vodi, pH vrednosti, Eh (redox potencijala), hidrolize, prisustva kompleksirajućih neorganskih i organskih materija, temperature vode i sastava vode (npr. sadržaja CO_2).

Monitoring nivoa mangana u vodi može biti problematičan, zavisno o tome da li je prisutan u rastvorljivom (Mn^{2+}) ili nerastvorljivom (Mn^{4+}) obliku. Poznavanje oblika ili stanja mangana može pomoći da se odredi tretman uklanjanje mangana.

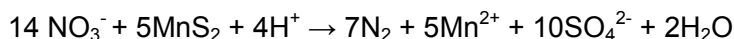
4.2.1. Redukcija MnO_2

Za mangan standardna reakcija mobilizacije nije redukcija oksida (MnO_2), mada, kada je voda opterećena redukujućim materijama, Mn^{2+} se može mobilizovati iz MnO_2 . Takođe, mangan oksidi se lako redukuju pri prilično visokim redoks potencijalima (Eh~400mV) i na pH okoline oko 6,5 (Nikolaeva i Eremina, 2005).

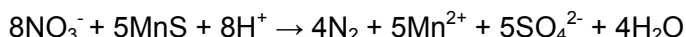
Redukciono sredstvo za MnO_2 može biti amonijak, koji će se oksidovati do nitrata.

4.2.2. Oksidacija mangan-sulfida nitratima

Mobilizacija mangana iz njegovog disulfida, MnS_2 (mineral Hauerit), pomoću nitrata teče po sledećoj reakciji:



a iz monosulfida MnS (mineral alabandin), po reakciji:



Kada prema navedenim reakcijama dođe do mobilizacije mangana, kako teče proces denitrifikacije, tako raste i koncentracija mangana.

Kao pokazatelj dodatne denitrifikacije može da posluži povećanje koncentracije sulfata. Nažalost, koncentracija sulfata potrebna za definisanje navedene korelacije se teško definiše jer:

- postoji količina sulfata koja ne učestvuje u reakcijama denitrifikacije; ona nije tačno određena, ali se često uzima paušalna vrednost od 50 mg/L,
- kada se završi proces denitrifikacije, u daljem toku redoks procesa sulfati mogu da se redukuju; zato su sulfati nepouzdan pokazatelj dodatne denitrifikacije (Dalmacija i Ivančev Tumbas, 2004).

Jedna od bitnih stvari u kojima se gvožđe i mangan razlikuju, je činjenica da nije moguća oksidacija rastvorenog mangana pomoću nitrata. Slojevi u kojima se odvija denitrifikacija nemaju više kiseonika. Mangan posle svoje mobilizacije, po pravilu više ne može biti oksidovan i njegove šanse da opstane rastvoren u vodi su optimalne. Ako se može isključiti redukcija sulfata kao ometajući faktor, korelacija između koncentracije mangana i sulfata može da da verodostojne rezultate. Proporcionalnost između koncentracije mangana i sulfata se zasniva na mobilizaciji mangana procesom denitrifikacije.

Vode koje sadrže visoke koncentracije mangana, a praktično ne sadrže gvožđe, mogu da nastanu na sledeći način: prvo se vrši denitrifikacija gvožđe- i mangan-sulfida u podzemlju bez prisustva kiseonika, a potom se gvožđe eliminiše oksidacijom sa nitratima u formi taloga oksihidrata. Mangan ostaje u rastvoru jer ne reaguje sa nitratima. Mangan se ne može oksidovati, kao gvožđe, u slojevima bez kiseonika i ne može se redukovati kao sulfati.

Zbog svoje stabilnosti, mangan može da posluži kao merilo procesa denitrifikacije. Gvožđe- i mangan-sulfid treba posmatrati u svetlu održanja njihovih koncentracija i treba uporediti reaktivnost u podzemnom sloju. Održanje koncentracije zahteva da geohemijski maseni odnos Fe/Mn iznosi 51. Iz toga proizilazi:

$$\begin{aligned} [\text{Fe}^{2+}]_{\text{mob}} &= 51 [\text{Mn}^{2+}]_{\text{mereno}} \text{ (mg/L)} \\ [\text{SO}_4^{2-}]_{\text{mob}} &= 179 [\text{Mn}^{2+}]_{\text{mereno}} \text{ (mg/L)} \end{aligned}$$

Treba istaći da indeks "mob", znači da su koncentracije gvožđa i sulfata koncentracije koje su rezultat reakcije mobilizacije denitrifikacijom i još nisu promenjene oksidacijom gvožđa i redukcijom sulfata (Dalmacija i Ivančev Tumbas, 2004).

4.2.3. Rastvaranje jedinjenja mangana pod uticajem kiseonika

Podzemne vode koje sadrže mangan uz pH vrednost iznad 6 ne smeju da sadrže kiseonik. Ukoliko je kiseonik prisutan, a pH vrednost je ispod 6, dolazi do rastvaranja Mn iz zemljišta. Zbog uticaja poljoprivrede pH vrednost podzemne vode može dostići vrednost 5. Pri ovim uslovima Mn(II) se može sam pokrenuti pri koncentraciji kiseonika od 10 mg/l i ostati rastvoren, a da ne bude oksidovan (Dalmacija i Ivančev Tumbas, 2004).

Prilikom razgradnje ugljenih ili sulfidnih ruda dolazi do oksidacije mangan-sulfida kiseonikom, međutim, to se u podzemnoj vodi retko dešava. U specijalnim slučajevima ipak dolazi do oksidacije mangan-sulfida kiseonikom. Na primer, Matthess (1990) je objavio u "Breslauer-skoj manganskoj katastrofi" iz 1906. godine da su sulfidi prisutni u podzemnim vodenim slojevima oksidovani. Tada je koncentracija mangana bila 200 mg/l, a koncentracija gvožđa 400 mg/L. Verovatno objašnjenje za interpretaciju "Breslauer-ske manganske katastrofe" je da su, gvožđe oksidacijom sulfida, a mangan dejstvom kiselina na okside, dospeli u vodu (Matthess, 1990).

4.3 Loši uticaji mangana

Kada je mangan prisutan u vodi, čak i u niskim koncentracijama, iako ne predstavlja opasnost za zdravlje, može biti povezan sa sledećim problemima (Raveenrdan, 2001):

- Može povećati rast neželjenih bakterija koje ne uzrokuju zdravstvene probleme, ali koje dovode do problema u vodovodnom sistemu. Uginuće i propadanja tih bakterija uzrokuje dodatni problem sa ukusom i mirisom u distributivnom sistemu. Ove bakterije je teško iskoreniti.
- Pojava mutnoće, mirisa i ukusa vode pri visokim koncentracijama mangana. Voda ima gorak, metalni ukus ili ukus vinil tipa. Pri visokim koncentracijama (>0,2 mg/L), mangan će dati vodi ono što se ponekad opisuje kao slatki okus. Mangan će uzrokovati pojavu crnih depozita i mrlja i u većini slučajeva je u pratnji gvožđa i sumpor-vodonika. U kombinaciji sa gvožđem, boja vode ponekad može biti čokoladna ili smeđa.
- Mangan troši hlor u distributivnom sistemu.
- Promoviše rast određenih vrsta hlor tolerantnih mikroorganizama u vodi. Ovaj živi svet, može pružiti zaštitu i za štetne organizme, a time značajno povećati troškove čišćenja i sterilizacije sistema za vodosnadbavanje.
- Ograničenje protoka vode usled nakupljanja taloga i stvaranja biofilma prouzrokovanih prisustvom mangana. Ovi depoziti se često povezuju sa smanjenim pritiskom vode i povećanjem operativnih troškova za korišćenje i održavanje opreme. Više energije je potrebno za pumpanje vode kroz začepljene cevi i za zagrevanje vode, ako su grejači presvučeni mineralnim depozitima. Ovo povećava troškove energije. Ovi depoziti takođe mogu uzrokovati samo-zatvaranja ventila kao i ometanje rada in-line mernih uređaja.
- Mangan može uzrokovati gubitak boje industrijskih proizvoda (proizvodi kao što su papir, tekstil, koža mogu biti obezbojeni)
- Instalacije u domaćinstvu mogu biti obojene ukoliko mangan nije odstranjen iz vode. Dokaz o bojenju je obično najistaknutiji u mašinama za pranje. Deterdženti koji se koriste za pranje posuđa podižu pH vode dovoljno visoko (>8,0) što omogućava lako taloženje mangana. Drugo mesto gde se može videti problem sa manganom je na površini rezervoara vode za WC.

- Mangan će obično dovesti do smeđe-crnog bojenja rublja (odeća može postati obojena ili sivkasta), posuđa i pribora. Ovo obojenje uglavnom nije lako za uklanjanje sapunom i deterdžentima, ustvari, varikina i alkalni čistači (kao što su natrijum karbonat) mogu intenzivirati mrlje.
- Može uticati na ukus i boju hrane pripremljene sa ovom vodom. Mangan može reagovati sa taninima u čaju, kafi i nekim alkoholnim pićima i proizvesti crni mulj, što će uticati na ukus i izgled.
- Mangan će formirati film koji se ponekad čini kao ulje na vodi. Ako se dodirne površina vode ovaj film će se razbiti u pahuljice.

Koncentracija mangana u distributivnoj mreži može biti manja nego u fabrici za preradu vode, jer vodovodne cevi i rezervoari vode predstavljaju dodatni stepen uklanjanja mangana. Dospje li mangan u nižim koncentracijama u distributivni sistem, nastaju obloge, koje su dovoljno stabilne pri normalnoj upotrebi. Obloga od mangana je latentan izvor zamućenja i pojave mikroorganizama. Ako se kroz mrežu propusti voda bez mangana, doći će do povećanja koncentracije mangana zbog razgradnje deponovanog taloga u mreži. Iz tih obloga mangan se može osloboditi u količini od nekoliko $\mu\text{g/L}$. Kritična koncentracija pri kojoj se menja maseni bilans mnogo zavisi od stanja mreže i biće manja ukoliko je manje nataloženog mangan-oksida. Kada se mangan pojavi u višoj koncentraciji (više od $0,5 \text{ mg/L}$) u dvovalentnom obliku i oksiduje se u distributivnom sistemu, nastaje "siva voda". Pri ekstremnim uslovima (lom cevi, ekstremne promene brzine protoka ili pravca) može doći do pokretanja velikih delova obloga. Često se ovo događa zajedno sa pokretanjem mulja Fe(III) -oksidihidrata, tako da se mangan kreće sa "mrkom vodom".

4.4 Uticaj mangana na zdravlje

Nikakvi štetni uticaji na zdravlje nisu zabeleženi kod ljudi sa dnevnim unosom mangana koji je naveden u Tabeli 11.

Tabela 11. Dnevni unos mangana koji nema štetan efekat kod ljudi (Schroeder i sar., 1966)

	Srednja vrednost (mg)	Rang (mg)
Hrana	3,0	2,0 – 7,0
Voda	0,005	0 – 1,0
Vazduh	0,002	0 – 0,029

Hronično trovanje manganom primećeno je kod rudara, radnika na mlinovima i ostalim koji su izloženi prašini i parama ili koji piju bunarsku vodu sa visokim sadržajem mangana (obično u rudarskim selima). Klinička neurotoksičnost mangana je prijavljena kod pacijenata koji primaju dugoročnu parenteralnu ishranu (nutrijente) i kod bolesnika sa hroničnom disfunkcijom jetre ili bubrega, kao rezultat njihove nemogućnosti da eliminiše Mn iz krvi (Nagatomo i sar., 1999; Ikeda i sar., 2000). Studije su pokazale da dnevni unos visokih doza Mn može bezbedno da se toleriše od strane zdrave odrasle osobe (Finley, 2004).

Unos mangana preko pitke vode je obično znatno niži od unosa iz hrane. Pijenje mineralne vode može značajno povećati unos mangan (Dieter, 1992).

4.5 Dozvoljene količine mangana u vodi za piće

Tipične vrednosti rastvorenog mangana u podzemnim vodama su obično manje od 2,0 mg/L i vrlo retko se može naći u većim koncentracijama. Prisustvo mangana u podzemnim vodama i u vodi za piće ne predstavlja veliku opasnost za zdravlje, ali njihovo prisustvo je problematično zbog estetskih, tehničkih i ekonomskih aspekata. Zbog toga EPA nije postavila maksimalno dozvoljenje koncentracije za mangan u „*National Primary Drinking Water Regulations*” (USEPA, 2009), jer se ovi primarni standardi za pitku vodu primenjuju na kontaminante koji mogu negativno uticati na zdravlje i pravno su obavezujući za javne vodovodne sisteme.

Sekundarni maksimalni nivo onečišćenja (*Secondary maximum contaminant levels SMCL*) preporučeni u „*National Secondary Drinking Water Regulations*” (USEPA, 2009), su utvrđeni iz estetskih razloga i za mangan iznose 0,05 mg/L, ali nisu zdravstveno vezani i nisu izvršni, ali su namenjeni kao vodiči za države. Sekundarni standardi za pitke vode su neregulatorne smernice za kontaminante koji mogu izazvati probleme kao što su loš ukus, neugodan miris ili boja. Sekundarni zagađivači pitke vode ne predstavljaju rizik za zdravlje u koncentracijama u kojima se obično nalaze u vodi.

Po preporuci EU, granična vrednost za mangan iznosi 50 µg/L (Council Directive 98/83/EC). Izuzeci za kratkotrajno prekoračenje nisu predviđeni. Ista granična vrednost je propisana Pravilnikom Republike Srpske (Pravilnik, 2003).

Smernice Svetske zdravstvene organizacije (World Health Organization – WHO, 2006) za kvalitet vode za piće su za mangan postavile zdravstveno-baziranu graničnu vrednost od 0,4 mg/L. Ova vrednost je izvedena na temelju 20% ukupnog dnevnog unosa poreklom od pitke vode. Za mangan je istaknuto:

- mangan je ključni element za ljude i životinje i javlja se u mnogim izvorima hrane; do negativnih efekata može doći i usled nedostatka i prevelikog izlaganja.
- koncentracije ispod 0,05-0,1 mg/L su obično prihvatljive za potrošače, ali ponekad ipak dovode do taloženja crnog depozita u vodovodu tokom dužeg vremenskog perioda, što može varirati s lokalnim okolnostima.

4.6 Hemija uklanjanja mangana

Problemi zbog mangana u distribucionoj mreži mogu se smanjiti:

- prethodnim uklanjanjem mangana odgovarajućim tretmanom,
- zaštitom gvozdениh/čeličnih vodovodnih sistema sa bitumenskim oblogama, ili upotrebom nerđajućih (nekorozivnih) materijala,
- izbegavanjem slepih delova (eng. *dead-end*) mreže,
- izbegavanjem smetnji u protoku vode, te
- periodičnim ispiranjem mreže.

Uklanjanje mangana se može sprovesti oksidacijom Mn^{2+} u Mn^{4+} , koji se zatim taloži kao mangan dioksid (MnO_2). Precipitat se odvoji od vode filtriranjem na pesku.



U redukovanom Mn^{2+} stanju, mangan je relativno rastvorljiv najmanje do pH 8, što je prikazano na Pourbaix dijagramu (Slika 16) koji pokazuje kako oblik mangana koji preovladava zavisi od pH i redoks potencijala vode. Na nuli redoks potencijala i kiselim uslovima, pH 2 do 7, mangan jon (Mn^{2+}) dominira među različitim vrstama mangana. Dakle,

kada pH u vodi za piće opada Mn^{2+} dominira. Permanganat jon, MnO_4^- , prisutan je na povišenom redoks potencijalu na svim vrednostima pH. Alkalni uslovi su povoljniji (za niži redoks potencijal) za prinos mangan dioksida.

Na osnovu Pourbaix dijagrama, evidentno je da uklanjanje Mn zahteva ili visok pH ili jaku oksidaciju u kombinaciji sa neutralnim pH. Dakle treba dodavati jaka oksidaciona sredstva, kao što su permanganat ili hlor, da bi se povećao redoks potencijal, ili pH mora biti povećan da bi se povećao prinos mangan dioksida. Mangan dioksid je u čvrstom stanju i može se ukloniti sedimentacijom i filtracijom (Ilavskiy i sar., 2008).

Mnogi faktori utiču na brzinu oksidacije dvovalentnog mangana. Utvrđeno da se pod abiotičkim uslovima pri datom pH, brzina Mn oksidacije i precipitacije povećava sa porastom koncentracije rastvorenog Mn i sa povećanjem površine Mn-oksida i hidroksida, a prema jednačini

$$d[Mn] / dt = -k_0 [Mn] - k_1 [Mn] [MnO_2]$$

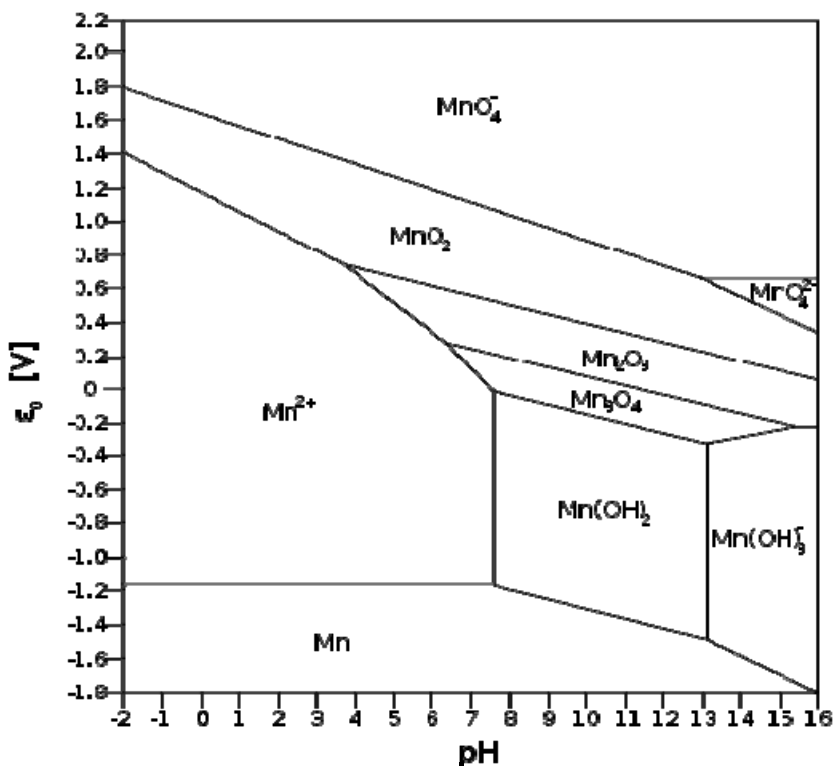
gde je

$[Mn]$ - koncentracija rastvorenog Mn^{2+} ,

$[MnO_2]$ - površina taloga Mn oksida (eng. *surface area of Mn oxide precipitate*),

t - vreme i

k_0 i k_1 - konstante.



Slika 16. Pourbaix dijagram za mangan (Rayner-Canham, 1996)

Drugim rečima, što je veća koncentracija rastvorenog Mn, veća je stopa oksidacije i uklanjanja mangana iz rastvora. Takođe, veća količina Mn-oksida ili prisustvo precipitata hidroksida ubrzava uklanjanje mangana. Dakle, oksidacija mangana je autokatalitička, jer talog Mn-oksida ubrzava oksidaciju preostalog Mn. Pored toga, površine mnogih drugih jedinjenja su takođe efikasne za uklanjanje mangana. Sung i Morgan (1981) su utvrdili da

površina Fe-oksida (lepidokrocit, tj. hidrohematit γ -FeO(OH)) povećava stopu oksidacije, ali amorfni silicijum usporava oksidaciju mangana. Junta i sar. (1992) su pokazali da je oksidacija Mn na površini minerala hematita (α -Fe₂O₃) brža nego na površini minerala albita (NaAlSi₃O₈).

4.7 Tretmani za uklanjanje mangana

Kada su u vodi prisutne koncentracije mangana veće od dozvoljenih, opcije koje bi trebalo razmotriti su:

- bušiti nove bušotine na drugoj lokaciji,
- dovršiti postojeći bunar u drugom vodonosnom sloju,
- mešati vode iz bunara sa visokim koncentracijama mangana sa vodama iz drugog izvora, koji sadrži manje mangana.
- tretirati vodu u cilju uklanjanja mangana.

Odluka o tome koja će se mogućnost razmotriti treba da se temelji na analizi vode od strane kvalifikovane laboratorije. Postoji nekoliko efikasnih metoda koje su sumirane u Tabeli 12.

Tabela 12. Tretmani gvožđa i mangana u vodi za piće (Varner i sar., 1996)

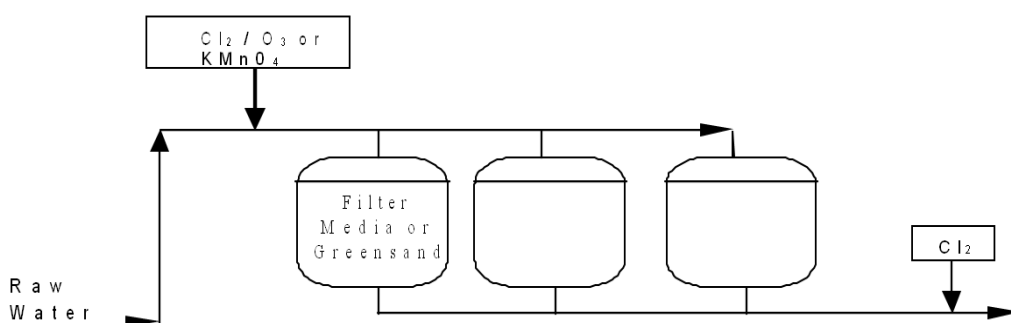
Pokazatelj	Uzrok	Tretman
Voda je čista kada izlazi iz podzemlja, ali kad voda stoji pojave se crveno-smeđe ili crne čestice. Takođe, mrlje se pojavljuju na rublju i instalaciji.	Rastvoreni mangan i gvožđe	<p>Fosfatna jedinjenja - za manje od 3 mg/L gvožđa.</p> <p>Omekšavači vode - za manje od 5 mg/L kombinovane koncentracije gvožđa i mangana.</p> <p>Oksidirajući filteri (mangan <i>greensand</i> ili zeolit) - za manje od 15 mg/L kombinovane koncentracije gvožđa i mangana.</p> <p>Aeracija/filtracija - manje od 25 mg/L koncentracije gvožđa i mangana zajedno.</p> <p>Hemijska oksidacija sa kalijum permanganatom ili hlorom nakon čega sledi filtracija - za koncentracije veće od 10 mg/L kombinovane koncentracije gvožđa i mangana.</p>
Voda koja sadrži crveno-smeđe čestice kada izlazi iz podzemlja, koje se talože kad voda stoji	Čestice gvožđa od korozije u cevima i opremi	Podignuti pH sa neutralizirajućim filterima.
Voda koja sadrži crveno-smeđe ili crne čestice kada izlazi iz podzemlja, čestice se talože kad voda stoji.	Oksidovani gvožđe ili mangan uzrokovani vodom izloženom vazduhu prije nego voda stigne do slavine	Korišćenje zrnastih filtera (peščani filteri).
Crno ili crveno-smeđi sluzavi oblici u vodokotliću ili u slavinama	Gvoždevite i manganske bakterije	Koristiti šok tretman za uništavanje mase bakterija pomoću hlora ili kalijum permanganata, a zatim vodu filtrisati. Kontinuirano dodavanje hlora ili kalijum permanganata može biti potrebno ako su bakterije nastale u bunaru. Tretman je praćen filtracijom.
Crvenkasta ili crna boja ostaje tokom razdoblja od 24 sata.	Koloidno ili organski vezano gvožđe ili mangan	Koristiti hemijsku oksidaciju sa hlorom ili kalijum permanganatom i zatim filtraciju.

4.7.1. Oksidacija i filtracija

Većina sistema za uklanjanje gvožđa i mangana koriste oksidaciju i filtraciju. Ovaj tretman je obično adekvatan za tretman vode za postizanje koncentracije mangana od 0,05 mg/L ili za tretman vode sa kombinacijom koncentracija mangana i gvožđa do 15 mg/L i relativno je jednostavan proces. Ovaj proces se sastoji iz dve faze:

- proces oksidacije u kome se rastvorljivi oblik Mn oksiduje i formira nerastvorni talog i
- proces u kojem se precipitat uklanja iz vode.

Nastali precipitati mogu da se talože u taložnom rezervoaru ili da se uklone filtracijom. Takođe, za ovaj proces se mogu koristiti tzv. oksidirajući filteri koji kombinuju oksidaciju i filtraciju i oni se mogu koristiti za tretman vode sa rastvorenim manganom i/ili česticama mangana. Na Slici 17 je prikazano jedno postrojenje za tretman vode u cilju uklanjanja mangana.



Slika 17. Postrojenje za tretman vode u cilju uklanjanja mangana pomoću procesa oksidacije i filtracije (Gagi sar., 2001)

4.7.1.1 Oksidacija mangana

Oksidacija uključuje prenos elektrona od dvovalentnog mangana na oksidirajuće sredstvo. Mn²⁺ se oksidira do Mn⁴⁺ koji gradi nerastvorljiv mangan dioksid (MnO₂). Mangan-dioksid mora biti pažljivo koagulisan kako bi se osiguralo njegovo uklanjanje.

Mangan nije tako lako oksidisati kao gvožđe. Obično je ovaj proces poboljšán podizanjem pH vode na 8,5 ili viši. Potrebno je duže vreme zadržavanja (10 do 30 minuta) nakon dodatka oksidacionog sredstva a pre filtracije, kako bi se reakcija odvila do kraja. To se obezbeđuje rezervoarom za zadržavanje. Veličina rezervoara za zadržavanje zavisi od protoka, brzine oksidacije, konfiguracije rezervoara, i prisustva drugih oksidabilnih sastojaka u vodi. Jar test ili bench test se može koristiti za odabir načina oksidacije i potrebnog vremena zadržavanja.

Elektron akceptor (oksidirajuće sredstvo) može biti:

- kiseonik ili
- jake oksidujuće supstance kao što su:
 - hlor,
 - natrijum hipohlorit,
 - hlor dioksid,
 - ozon ili
 - kalijum permanganat.

Poređenje oksidanasa prema stehiometrijski potrebnoj količini za oksidaciju mangana, je prikazano u Tabeli 13.

Oksidacija hlora ili kalijum permanganat se često primenjuje u malim sistemima. Doziranje je relativno lako, zahteva jednostavnu opremu, te je prilično jeftino. Vazduh koji se koristi kao oksidant za gvožđe, nije dovoljno jak za oksidaciju mangana.

Tabela 13. Poređenje oksidanasa za oksidaciju mangana (Raveendran i sar., 2001)

Potrebna količina oksidansa	Teorijska masa za oksidaciju 1 mg mangan jona
Kiseonik, mg	0,29
Hlor, mg	1,30
Natrijum hipohlorit, mg	1,36
Kalijum permanganat, mg	1,92

Oksidans pored toga što hemijski oksidira mangan, ubija manganske i gvožđevite bakterije i bilo koje druge bakterije koje mogu biti prisutne u vodi.

Prisustvo drugih oksidirajućih vrsta u vodi ometa oksidaciju željenog jedinjenja. Isparljiva organska jedinjenja, ostala organska jedinjenja ili jedinjenja koja uzrokuju ukus i miris mogu dovesti do potrošnje oksidansa. Ova dodatna količina oksidansa se mora uzeti u obzir prilikom doziranja.

Oksidacija kalijum permanganatom

Kao oksidans, kalijum permanganat (KMnO_4) je obično skuplji od hlora i ozona, ali je efikasniji za uklanjanje gvožđa i mangana, zahteva znatno manje opreme i kapitalnih investicija. Za razliku od hlora, reakcije kalijum permanganata sa organskim jedinjenjima neće proizvoditi trihalometane i zapravo će smanjiti njihovu koncentraciju (Singer i sar., 1980).

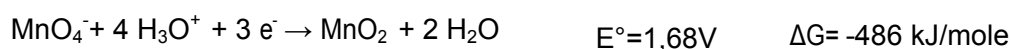
Oksidacija rastvorenog mangana sa kalijum permanganatom je osetljiva tehnika balansiranja između nedovoljne doze i predoziranja permanganatom. Ako se doda nedovoljna količina permanganata neće biti dovoljno oksidansa da oksidira mangan u mangan dioksid. Ako se permanganat predozira onda rastvoren mangan prolazi kroz filter u distributivni sistem. Doziranje kalijum permanganata dodatno komplikuje činjenica da koncentracije mangana u vodi nikada nisu konstantne i da odnos koncentracija oba oblika (tj. rastvorljivo i/ili ne-rastvorljivo) može varirati u velikoj meri. Ovaj problem posebno je izražen u toplim mesecima i periodima nestašice vode, kada dolazi do pada vodostaja i rasta temperature i veća je verovatnoća da postoji rastvorljiv mangan. Pošto su koncentracije mangana u stanju da se menjaju čak i za kratko vreme, operatori moraju imati sistem koji može brzo odgovoriti na varijacije, kako bi se osiguralo pravilno doziranje oksidirajuće hemikalije.

Postoje dve reakcije koje opisuju kako permanganat može reagovati u kiseloj sredini:

- Prva reakcija je kada se permanganatni jon redukuje sa hidronijum jonom koji gubi proton i formira vodu. Redukovani permanganat formira jon mangana koji nije lako ukloniti.



- Druga reakcija je kada se permanganatni jon redukuje sa hidronijum jonom, ali se prenose samo tri elektrona umesto pet, što dovodi do nastanka mangan dioksida.



Prva reakcija će prevladati (MWH, 2005). Jednačina Gibsove slobodne energije dovodi u vezu redoks potencijal dat kao E° , Faradejevu konstantu i broj prebačenih elektrona. Reakcija sa najnegativnijom Gibsovom slobodnom energijom će prevladati. Sledeća jednačina omogućava izračunavanje Gibbsove energije:

$$\Delta G = - n \cdot F \cdot E^\circ$$

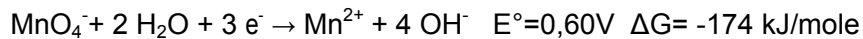
gde je:

n - broj elektrona (broj mola elektrona e⁻)

F - Faradejeva konstanta = 96485 C/mol

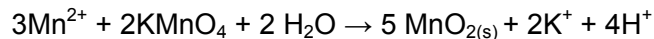
E° - oksido-redukциони potencijal (V).

U alkalnim rastvorima se javlja slična reakcija. Kalijum permanganat disocira i postaje permanganatni jon. Permanganatni jon oksiduje Mn²⁺ jone i stvara mangan dioksid. U alkalnim uslovima, postoji samo jedna reakcija. Gibsova slobodna energija za ovu reakciju je manje negativna nego reakcija koja daje mangan dioksid u kiselim uslovima (MWH, 2005).



Ukratko, ako se koristi permanganat, potrebni su alkalni uslovi za omogućavanje formiranja mangan dioksida.

Stehiometrijska jednačina za oksidaciju mangan jona kalijum permanganatom je:



Prema stehiometriji potrebno je 1,92 mg kalijum permanganata za oksidaciju 1 mg mangan jona. Iako je stehiometrijski potrebna količina hlora i hipohlorita manja od kalijum permanganata, u praksi je utvrđeno da će potrebna količina hlora biti puno veća, zbog potrošnje hlora za oksidaciju organske materije.

Za ovu vrstu oksidacije, pH treba da je viši od 7, a po mogućnosti 7,5 da bi se osigurala potpuna oksidacija i taloženje Mn. Gde je koncentracija mangana visoka preporučuje se pH veći od 8.

4.7.1.2 Filtracija

Filtracijom se mangan konačno uklanja iz vode. Stoga je filtracija kritična karika u tom procesu. Ako mangan ne oksidira od rastvorenog u nerastvorno stanje, on će proći kroz filter. U ovom procesu se uglavnom koriste sledeći filterski mediji:

- kombinacija antracit / pesak,
- mineral visokog sadržaja mangan-dioksida (npr. AD26, pyrolusite),
- različiti mediji prevučeni mangan dioksidom (oksidacioni filtri) i
- ostali specijalni mediji.

Kada je kombinovana koncentracija Fe i Mn ispod 1 ppm, može se upotrebiti običan filter. Veće koncentracije zahtevaju različite vrste filterskog materijala i različite metode rada.

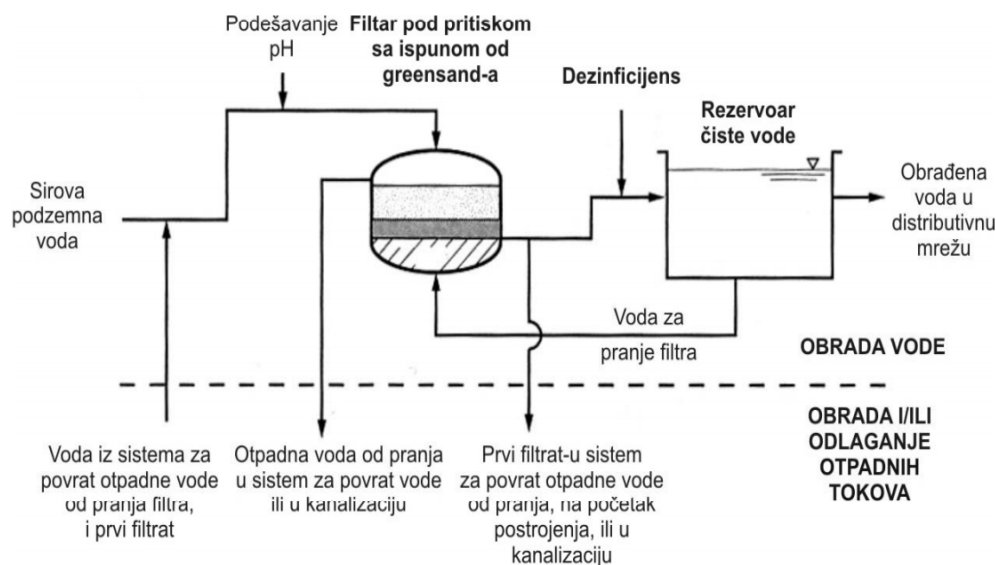
Materijali koji se najviše koriste u ovoj filtraciji su:

- Greensand,
- Aktivirani prirodni zeolit (Klinopur-Mn),
- Birm i
- Pyrolox.

4.7.2 Greensand

Greensand je granulirani ljubičasto-crni filterski medijum koji se daleko najčešće koristi kao medij za uklanjanje gvožđa i mangana pomoću filtracije pod pritiskom. Aktivan materijal u greensand-u je glaukonit. Glaukonit je mineral zelene gline koji sadrži gvožđe i ima svojstva jonskog izmenjivača. Granulirani materijal je pokriven filmom MnO_2 na površini i drugim visokim oksidima mangana. Ovaj spoj oslobađa atom kiseonika za oksidaciju rastvorenog mangana, a nerastvoreni mangan ostaje u greensand mediju.

Ovi filteri se nazivaju mangan filterima, greensand filterima ili kalijum permanganat filterima (Slika 18).



Slika 18. Uklanjanje Fe i Mn iz podzemne vode greensand-om
(<http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2009/Uklanjanje%20Fe%20i%20Mn.pdf>)

Kada se pravilno koristi, greensand može ukloniti i do 99 posto gvožđa, mangana i vodonik sulfida u vodi, iako će njegov stvarni kapaciteti uklanjanja varirati zavisno od karakteristika svakog jedinjenja.

Potrebni su vrlo specifični uslovi da bi filteri radili ispravno. pH vrednost vode je važan faktor koji utiče na efikasnost filtera. Voda mora imati pH od 6,7 do 8,8. Voda ne bi trebala sadržavati tanine ili ulja. Sadržaj organske materije, ulja i hidrogen sulfida ima negativan efekat na njegovu efikasnost

Prednost je da voda sa niskim sadržajem kiseonika ne mora biti unaprijed oksidovana. Greensand se može koristiti za obradu vode sa visokim sadržajem mangana. Kada je visok nivo mangana, dodatak rastvora hlora može poboljšati uklanjanje mangana. Nedostatak ovog materijala je to što sistemi mogu lako otpuštati mangan u vodu.

Razlika između greensand-plus i greensand-a je u supstratu koji čini jezgro medija i načina na koji sloj mangan dioksida oblaže taj supstrat (podlogu). Greensand-plus ima jezgro od silikatnog peska. Jezgra od silikatnog peska greensand-plus-a omogućavaju bolje izdržavanje radnih uslova u vodama koje imaju nizak sadržaj silikata, ukupnih rastvorenih materija i tvrdoću. Greensand-plus ne zahteva dodatak kalijum permanganata, ali zahteva

dodavanje hlora. Ako se planira korištenje hlorisanja obično se preporučuje greensand-plus filter, ako se ne planira hlorisanje (ili korištenje ozona) ispred sistema za filtriranje, običan greensand filter radi bolje (Gilles, 2012).

Veličina sistema je direktno proporcionalna brzini protoka vode. Sistem prikladne veličine, proizvodi vrlo nizak pad pritiska, obično oko 5 psi. Filter mediji mogu trajati 4 do 8 godina, zavisno od korištenja i uslova rada. Lako ih je zameniti. Preporuke proizvođača uvek treba proveriti.

Regeneracija greensand-a

Greensand filteri zahtevaju regeneraciju kalijum-permanganatom pri čemu treba slediti preporuke proizvođača. Postoje dva procesa regeneracije:

- Diskontinualna (eng. *intermittent regeneration - IR*) i
- Kontinualna regeneracija (eng. *continuous regeneration - CR*).

IR se preporučuje za vode koje zahtevaju uklanjanje mangana, sa ili bez prisustva gvožđa. IR postupak radi jednako dobro za oba oblika i rastvorenog gvožđa i nerastvorenog, iako je ograničen na vodu sa maksimalnim kombinacijama koncentracije gvožđa i mangana od 10-15 mg/L, i najviše koncentracije sulfida od 2-5 mg/L. Ako voda sadrži značajne količine gvožđa, dodatak hlora ili aeracija trebaju biti uključene kao pred-oksidacioni korak u tretmanu. Prednosti IR su duži period rada, niži operativni pad pritiska i manje otpadne materije u vodi od povratnog pranja, jer se mangan deponuje direktno na zrna.

CR metoda uključuje oksidaciju gvožđa i mangana do čvrstih čestica, praćeno filtriranjem pomoću greensand ili antracita. CR metoda se obično koristi kada gvožđe dominira u koncentracijama do 15 mg/L ili više, a prisutne su samo male količine mangana. Stoga se ne odnosi na tretman vode u kojoj je uklanjanje mangana glavni cilj.

Potrebne su velike brzine vode za povratno pranje ($8 \text{ L/m}^2 \cdot \text{min}$) za uklanjanje istaloženog gvožđa i mangana. Takođe, u nekim slučajevima je potrebno dodatno čišćenje kao što je hidraulično, mehaničko i vazdušno čišćenje da bi se lakše oslobodio precipitat iz medija.

I nakon regeneracije će kuglice greensand-a ostati obložene materijalom koji adsorbuje rastvoreno gvožđe i mangan.

5. MATERIJAL I METODE

5.1. Materijal

Uzorkovanja i ispitivanja podzemnih voda opštine Laktaši vršena su jednom mesečno u periodu od 10. maja 2012. do 17. aprila 2013. godine. Monitoring podzemnih voda je vršen na izvorištima:

- Maglajani,
- Laktaši i
- Kriškovci.

Uzorcji podzemnih voda su analizirani u Institutu za vode u Bijeljini.

Za analizu kvaliteta podzemnih voda ispitivanih izvorišta uzeti su svi faktori koji na to mogu imati uticaj (položaj izvorišta, sastav okolnog terena i aktivnosti koje se na njemu odvijaju, klimatski uslovi, padavine, režim reke Vrbas itd).

5.1.1. Geografski položaj istražnog područja, hidrografske i meteorološke karakteristike

Laktaši su naseljeno mesto u severozapadnom delu Bosne i Hercegovine. U opštini Laktaši, koja pripada entitetu Republika Srpska, danas živi oko 40.000 stanovnika. Poznato su banjsko lečilište, 19 km severno od Banja Luke (Slika 19). Opština Laktaši u administrativnom smislu graniči se sa gradom Banja Luka, te opštinama Gradiška, Srbac, Prnjavor i Čelinac.



Slika 19. Geografski položaj opštine Laktaši

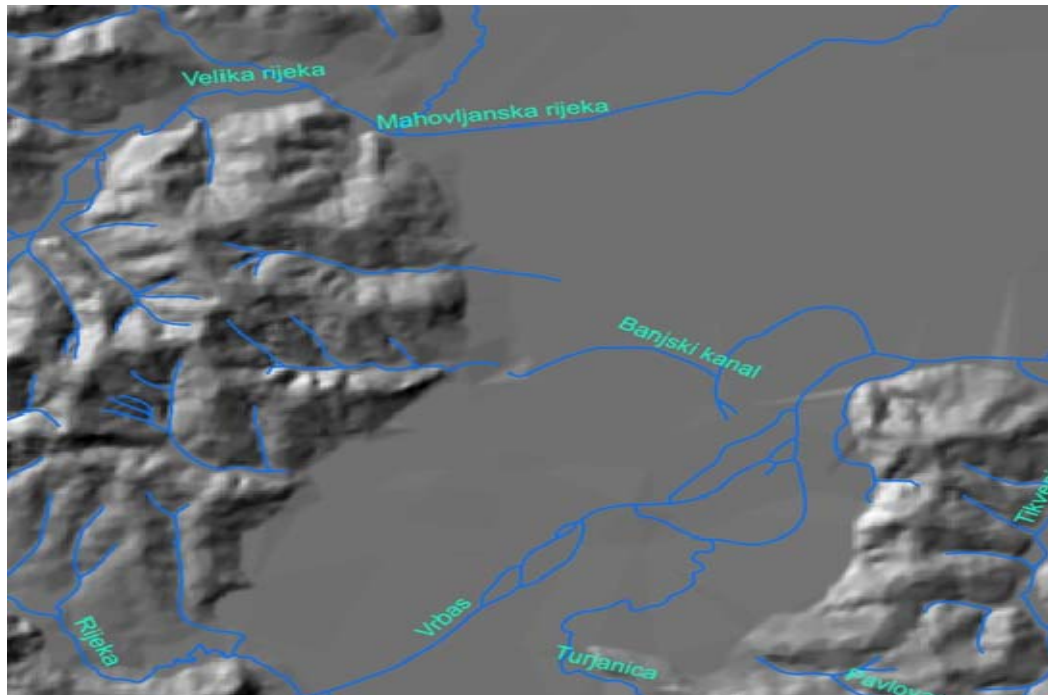
Područje opštine presecaju važni putevi: auto put Banja Luka - Gradiška, magistralni put Banja Luka - Gradiška (izlazak na auto put Beograd - Zagreb), Klašnice-Prnjavor i Laktaši - Srbac.

U laktaškoj opštini se nalazi Lijevče polje, geografski deo peripanonske regije. Na zapadnom obodu polja teren iz klasičnog ravničarskog postepeno prelazi u brežuljkast, a potom brdovit. Dominira vrh Banjalučke Kozare (421 mnm), dok je istočni obod predstavljen niskim pobrđem (Čardačani 242 mnm). Reka Vrbas koja protiče sredinom opštine Laktaši deli je na župski (desna obala Vrbasa) i potkozarsko-lijevčanski dio (leva obala Vrbasa). Reka Vrbas (Slike 20 i 21) je desna pritoka reke Save, koja je tokom vremena u ovom delu ravničarskog terena menjala svoj tok i formirala niz meandara i mrtvaja. Prosečan višegodišnji protok iznosi $132 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je definisani biološki minimum $26,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Razlikuju se tri glavna dela toka Vrbasa: gornji tok, srednji tok i donji tok. Donji tok Vrbasa, koji je od najvećeg značaja za istražno područje (Slika 20) zauzima potez od Banja Luke do ušća u Savu kod Srbca, ukupne dužine oko 70 km. Pored Vrbasa, na istraživanom terenu prisutni su i manji vodotoci, uglavnom pritoke Vrbasa, kao što su Turjanica, Mahovljanska reka itd. (Slika 21).



Slika 20. Reka Vrbas – donji tok kod Kriškovaca

Za potrebe ovog rada očitavani su nivoi Vrbasa na vodomernoj letvi kod mosta u Klašnicama (Tabela 14 i Slika 22) te letvi u Razboju Ljevčanskom (Tabela 15 i Slika 22). Merno mesto u Klašnicama se nalazi uzvodno od položaja sva tri izvorišta, a merno mestu u Razboju Ljevčanskom nizvodno od sva tri izvorišta. Dakle posmatrana izvorišta se nalaze u području između dva praćena profila na reci Vrbas. Mernom mestu u Klašnicama je najbliže izvorište u Laktašima. Izvorišta u Kriškovcima i Maglajanima su podjednako udaljena od mernog mesta u Razboju Ljevčanskom i mernom mestu u Klašnicama.



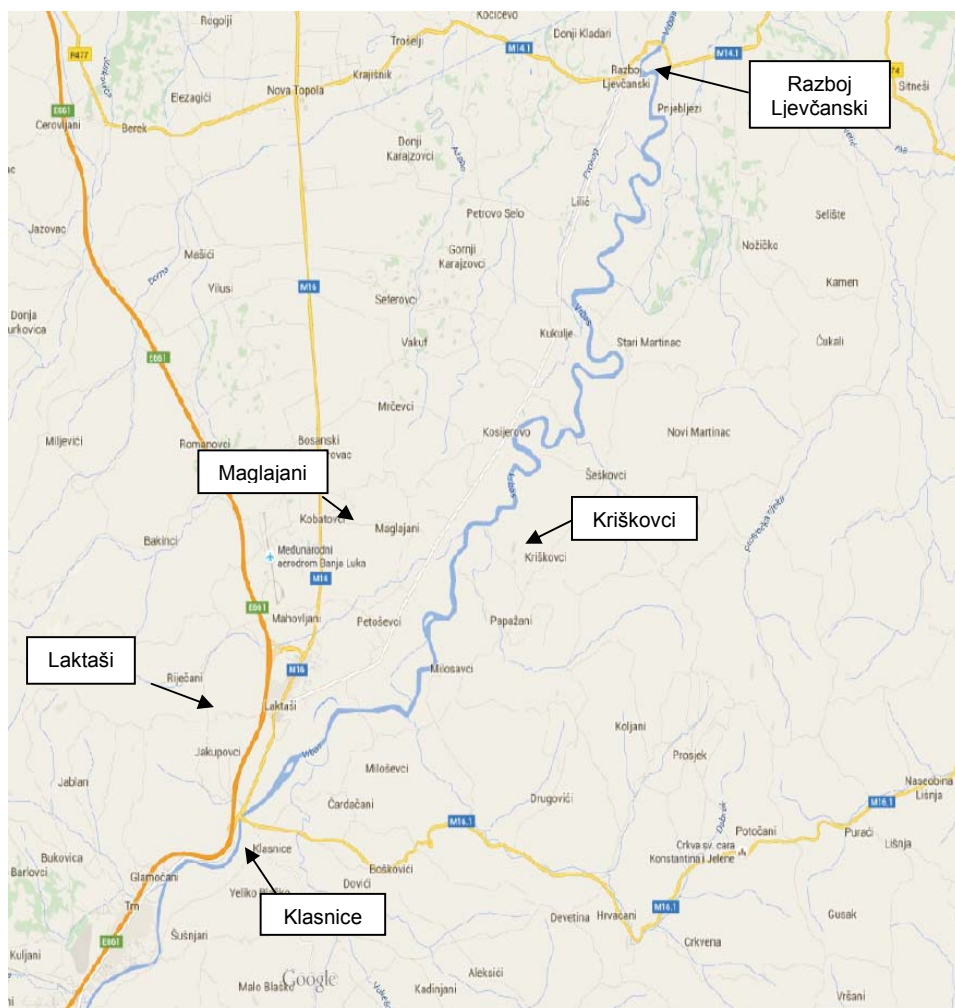
Slika 21. Hidrografska mreža istražnog područja

Tabela 14. Osmatranja nivoa i protoka Vrbaša na profilu u Klašnicama

Vodotok	Profil	Protok – Q (m ³ /s)	Nivo - H (m)	Datum
Vrbaš	Klašnice	51,50	85	23.05.2012.
		18,52	52	14.06.2012.
		14,30	40	17.07.2012.
		38,73	66	06.08.2012.
		50,65	85	25.09.2012.
		14,89	42	09.10.2012.
		58,27	76	07.11.2012.
		80,19	90	05.12.2012.
		58,37	80	30.01.2013.
		45,98	70	19.02.2013.
		87,38	100	21.03.2013.
		25,55	58	16.04.2013.

Tabela 15. Osmatranja nivoa i protoka Vrbaša na profilu u Razboju Ljevčanskom

Vodotok	Profil	Protok – Q (m ³ /s)	Nivo - H (m)	Datum
Vrbaš	Razboj Ljevčanski	113,72	0	23.05.2012.
		38,20	-20	14.06.2012.
		29,92	-60	17.07.2012.
		19,73	-90	06.08.2012.
		39,40	-20	25.09.2012.
		17,31	-30	09.10.2012.
		46,71	0	07.11.2012.
		37,88	-30	05.12.2012.
		150,03	20	30.01.2013.
		47,28	-20	19.02.2013.
		234,93	115	21.03.2013.
		122,30	60	16.04.2013.

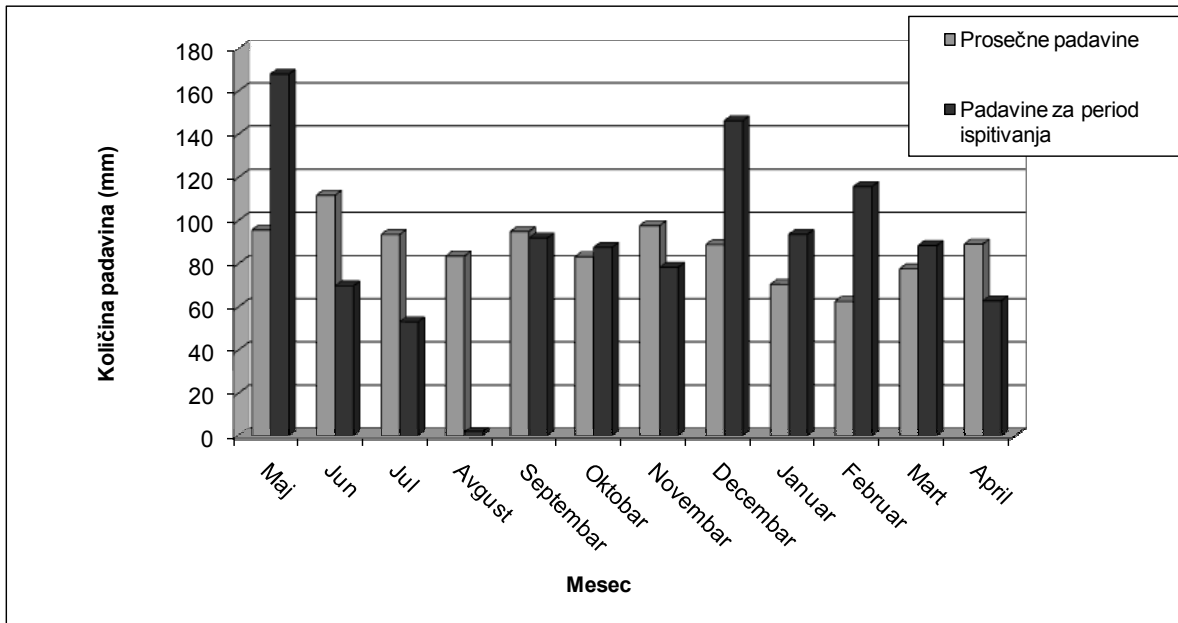


Slika 22. Položaj vodomerne letve Klašnice i vodomerne letve Razboj Ljevčanski, u odnosu na izvorišta Laktaši, Maglajani i Kriškovci

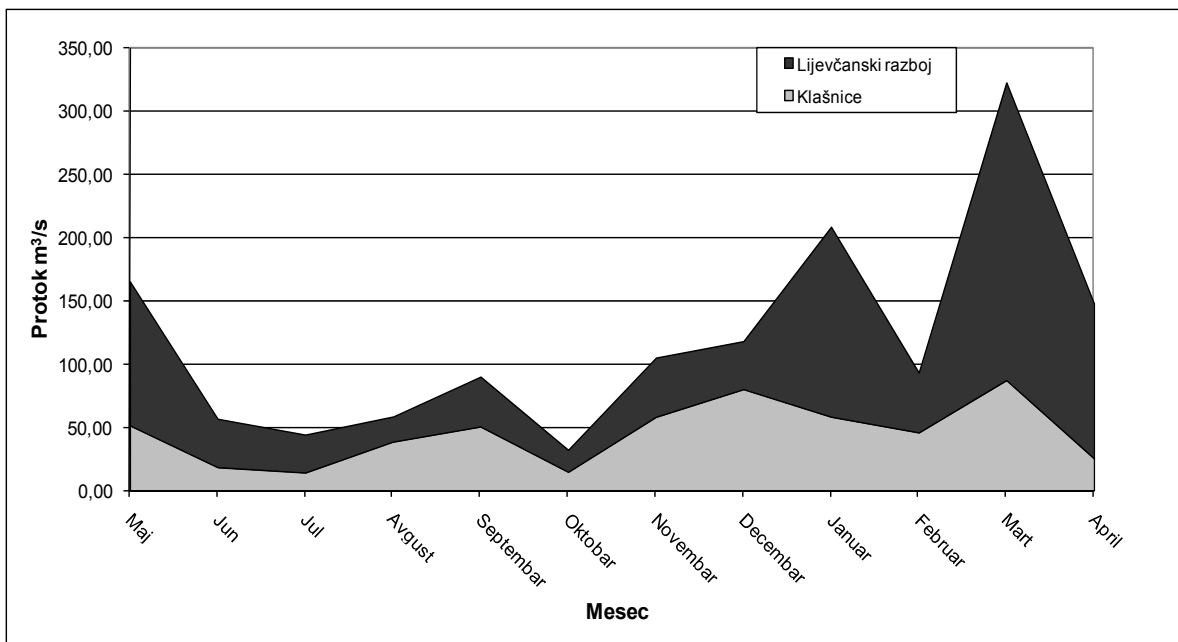
Istražno područje pripada umereno kontinentalnom klimatskom pojasu. Prosečna višegodišnja temperatura za Laktaše iznosi $10,5^{\circ}\text{C}$. Višegodišnji prosek padavina po m^2 uzet je za najbližu kišomernu stanicu sa dugim periodom osmatranja režima padavina, konkretno za kišomernu stanicu Banja Luka i iznosi 1026 mm. Mesečni prosek iznosi 85,5 mm. Najviše prosečne mesečne padavine karakteristične su za period maj-avgust (93-111 mm), a najmanje za period januar-mart (63-79 mm). Prosečne mesečne padavine registrovane na pomenutoj hidrometeorološkoj stanici u periodu ovog istraživanja u odnosu na višegodišnje prosečne padavine prikazane su na Slici 23. Sa Slike 23 se može videti da je period merenja od maja do septembra bio jedan od najsušnijih perioda u posljednjih pedeset godina.

Na slici 24 su grafički prikazani protoci Vrbasa na profilu u Razboju Ljevčanskom i Klašnicama. Na Slici 25 su grafički prikazani nivoi Vrbasa na profilu u Razboju Ljevčanskom i Klašnicama. Na Slici 24 je vidljivo da je nakon maja zabeležen nagli pad protoka do meseca novembra što je u skladu i sa gore pomenutim sušnim periodom. Na oba merna mesta je uočen najveći protok u mesecu martu. Takođe se može uočiti da protok vode

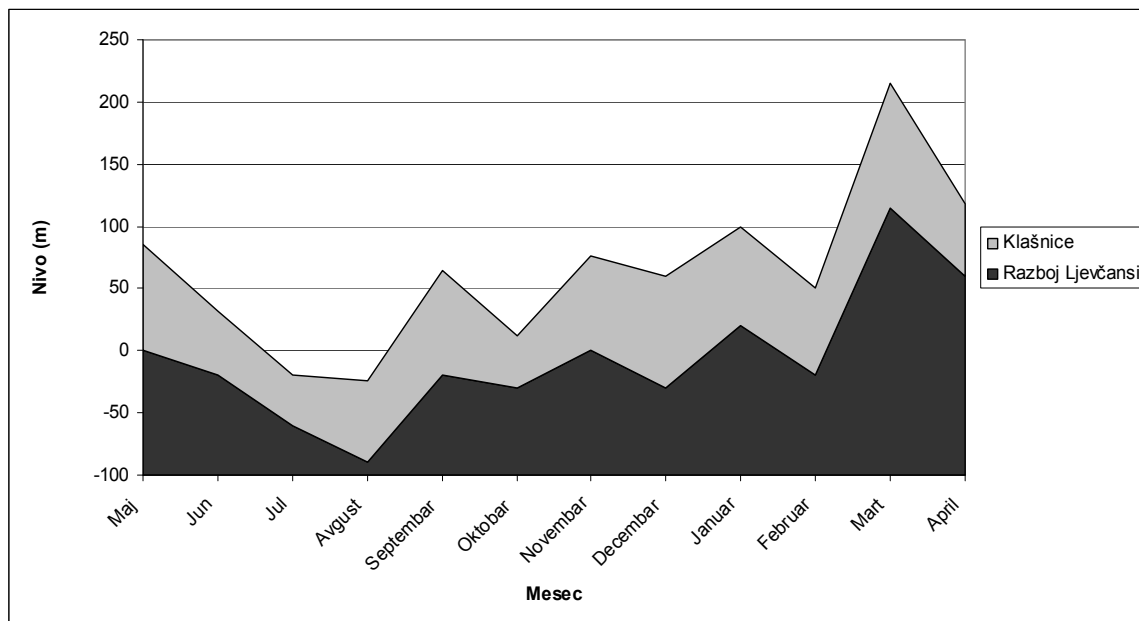
značajnije varira na mernom mestu Razboj Ljevčanski zbog uticaja pritoka Vrbasa nizvodno og mernog mesta Klašnice, o čemu govori i veći protok vode na ovom mernom mestu. Odnos maksimalnog protoka i srednje vrednosti protoka za ispitivani period na mernom mestu Razboj Ljevčanski iznosi čak 3,14, a na mernom mestu Klašnice 1,93. Dakle, količina padavina ima uticaj na protok i nivo Vrbasa, što može imati uticaj i na kvalitet vode u ispitivanim izvorištima.



Slika 23. Odnos prosečne mesečne padavine za meteorološku stanicu Banja Luka i mesečne padavine za ispitivani period od maja 2012. do aprila 2013.



Slika 24. Protok reke Vrbasa na profilima u Razboju Ljevčanskom i Klašnicama



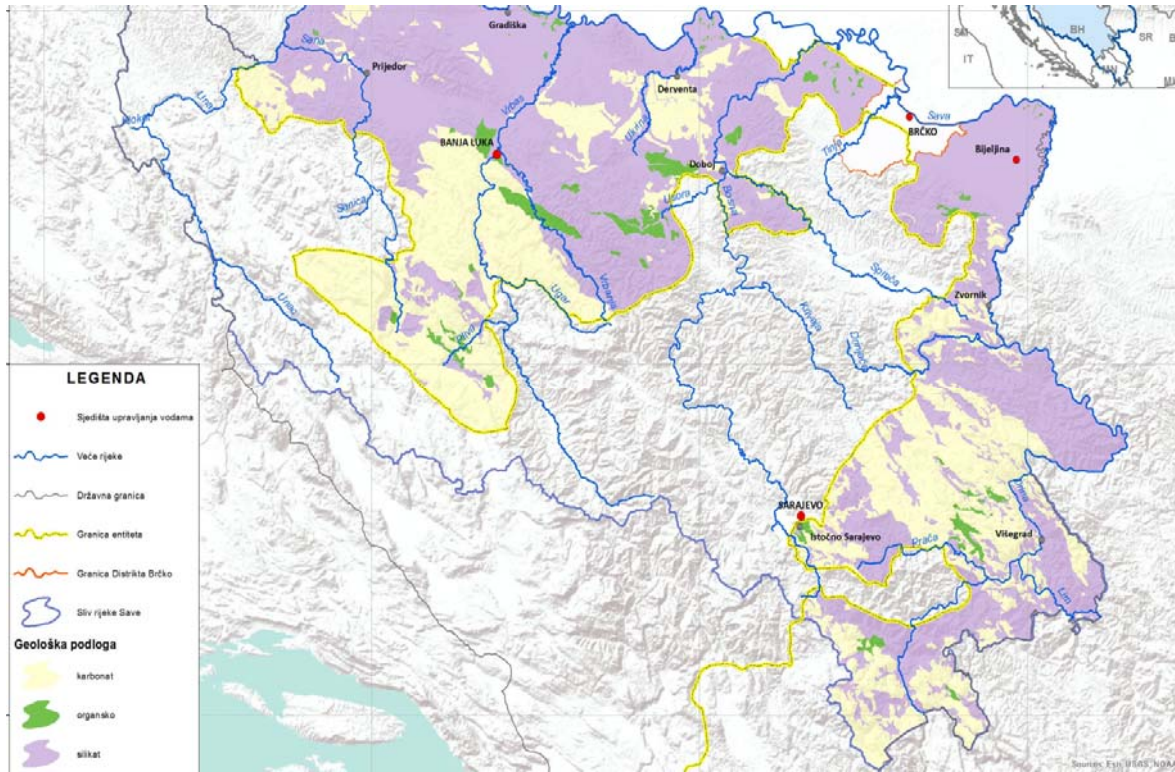
Slika 25. Nivoi Vrbasa na profilima u Razboju Ljevčanskom i Klačnicama

5.1.2. Hidrogeološke karakteristike ispitivanog terena

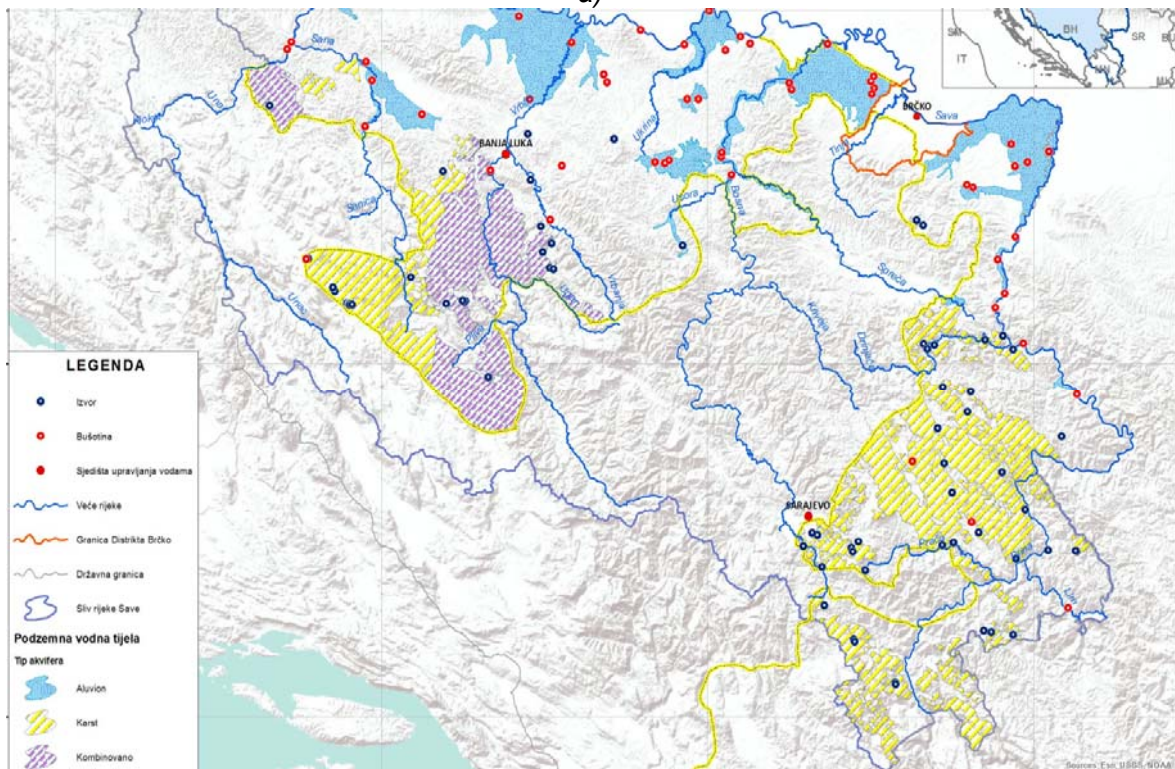
Prostor šire okoline Laktaša u geotektonskom pogledu pripada unutrašnjem dinarskom pojasu, odnosno zoni paleozojskih škriljaca i mezozojskih krečnjaka. Najstarije stene registrovane na ispitanom području jesu donjetrijaski klastiti. Stene ofiolitske zone imaju veliko površinsko rasprostranjenje na prostoru severoistočno od Banja Luke. Naslage neogena u široj okolini banje Laktaši predstavljaju obodne delove neogenskog kompleksa panonskog basena. Ove naslage su predstavljene sedimentima miocenske i pliocenske starosti.

Sa aspekta geološkog sastava terena Lijeve polje obuhvata najvećim delom rečne sedimente Vrbasa, u manjoj meri Save i Jablanice (Slika 26). Razvijeni su uglavnom svi genetski oblici i to: sedimenti rečnih terasa, aluvijalno-plavni sedimenti, barski sedimenti, sedimentni mrtvaja, sprudovi, ade i plaže. Najvećim delom radi se o sedimentima prve rečne terase reke Vrbasa, potom sedimentima druge terase istog vodotoka, te aluvijalno-plavnim sedimentima. Sedimenti prve terase dominantni su u istočnom i centralnom delu Lijeve polja, sedimenti druge terase u zapadnom delu (prema planini Kozari), a aluvijalno-plavni sedimenti od linije Nova Topola-Razboj, pa do reke Save. U litološkom pogledu reč je dominantno o šljunkovima i peskovima, povremeno zaglinjenim.

Zbijena izdan formirana u terasnim naslagama - šljunkovima reke Vrbasa, koja se pruža od Klačnica do ušća Vrbasa u Savu, odnosno na kompletnom području Lijeve polja, od ključnog je značaja za kvalitet voda ispitivanih u ovom radu. U drugim stenskim masama nema značajnijih formiranih akumulacija pitkih podzemnih voda. Takođe, pored pomenutih, veoma je značajan kolektor termalnih voda koji zaleže na značajno većim dubinama, ali se njegovo izlivanje vrši i u okviru plićih horizonata (područje Laktaša). Na Slici 27 su na hidrogeološkoj karti prikazane vrste izdani u širem ispitanom području (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015).

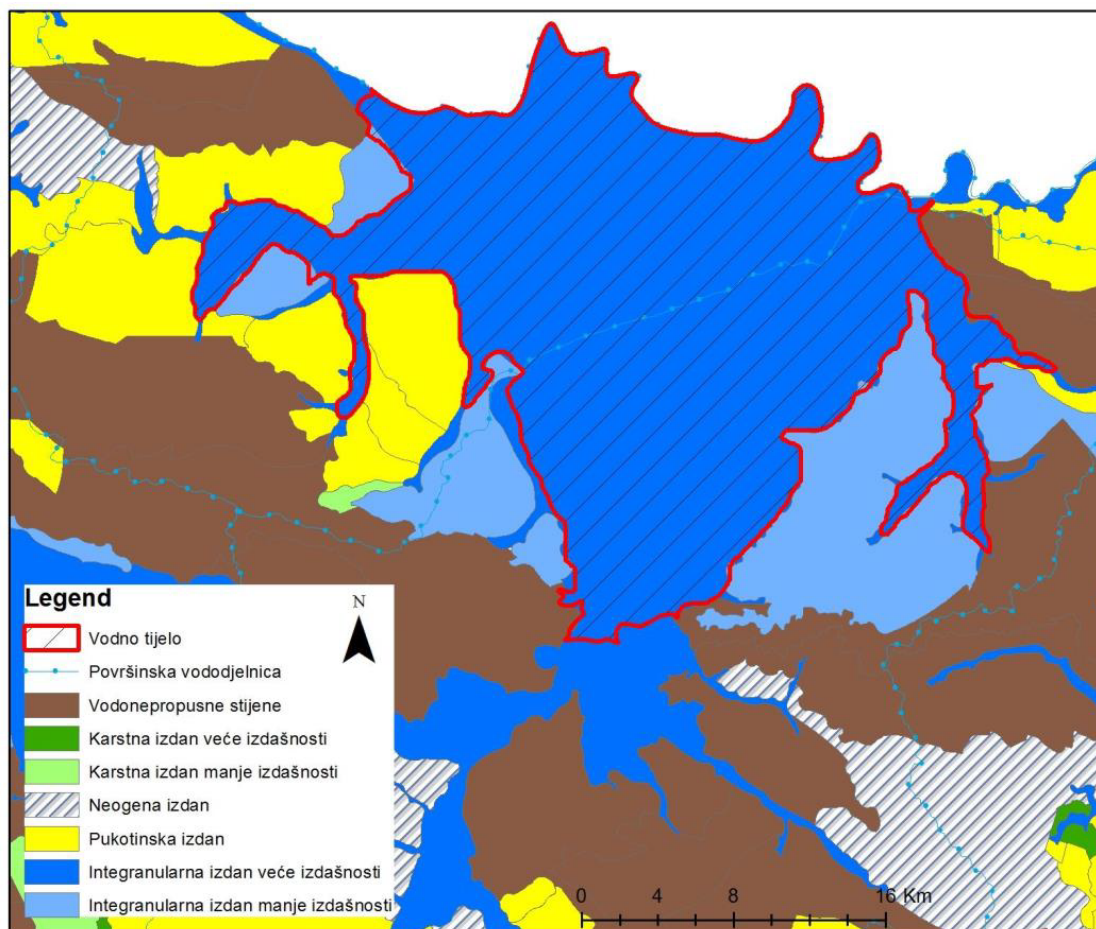


a)



b)

Slika 26. a) Geološka podloga Lijevče polja; b) Podzemna vodna tela Lijevče polja (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)



Slika 27. Prikaz grupe vodnih tela (GVT) – „Lijevče polje” na hidrogeološkoj karti BiH (prema originalima OGK (osnovna geološka karta) 1:100.000) (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

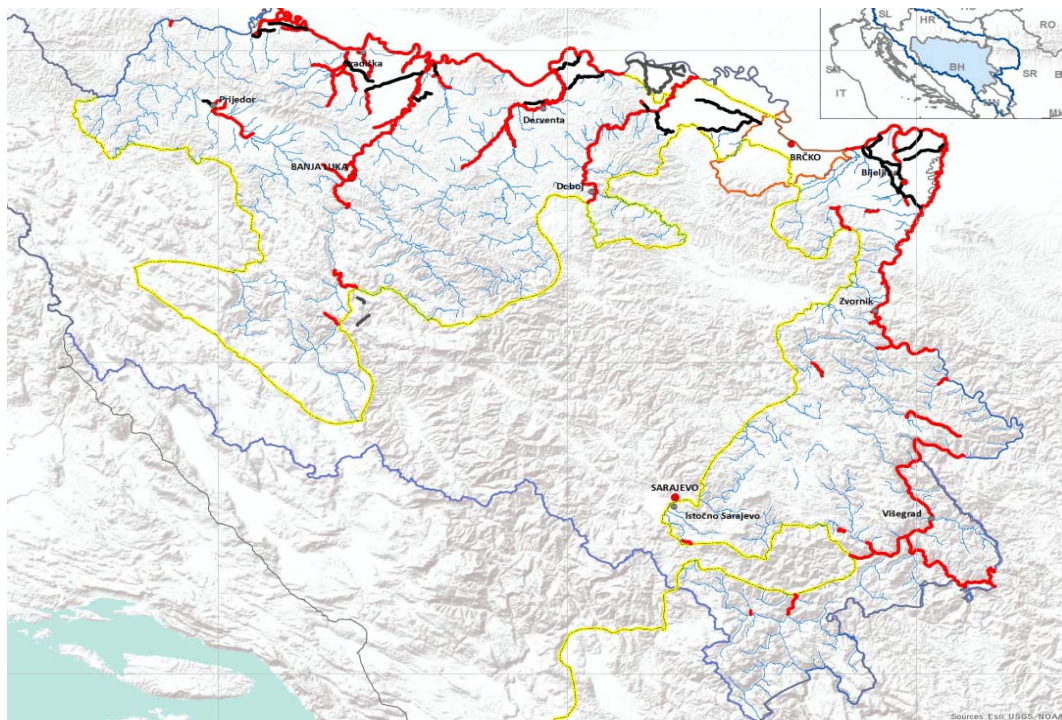
Sa intergranularnim strukturnim tipom poroznosti dobru vodopropusnost imaju terasni sedimenti Vrbasa. Ove tvorevine kvartara zauzimaju veliki prostor na užem i širem području oko Laktaša u Lijevče polju, u dolini reke Vrbasa, te manjih vodotoka. Zastupljeni su aluvijalni šljunkovi, peskovite i muljevite gline, sprudni peskovi i šljunkovi, odnosno ade i plaže, facije mrtvaja, barski sedimenti, proluvijalni i deluvijalno-proluvijalni sedimenti, deluvijalni zastori i terase. Na levoj strani, u području Laktaša, odnosno izvorišta u području grada registrovane debljine peskovito-šljunkovitog kolektora kreću se od 9,10 m do oko 13 m. Na području Maglajana ova debljina je veća (oko 18 m) s tim da se u okviru stuba javljaju i jače zaglinjeni šljunkovi (Bunar BM-2, interval 7,5-16,4). Podinu ove izdani u Maglajanima čine nepropusne glinovite stene uglavnom glinovito-loporovitog karaktera.

Na desnoj strani Vrbasa je, u području Kriškovaca, najmanja debljina šljunkovitog sloja na analiziranom području (3,60 m), što je i očekivano obzirom da se nalazi u rubnom delu terase. Podinu izdani čine nepropusne naslage miocena, tačnije meota uglavnom glinovito-laporovitog karaktera. U okviru ove izdani je situirano više eksploatacionih bunara na ukupno tri izvorišta koja pripadaju opštini Laktaši. Putem njih vrši se vodosnabdevanje naseljenih mesta opštine Laktaši pitkom vodom.

Režim ove akumulacije u zavisnosti je od režima reke Vrbasa, odnosno hidrološke situacije tokom godine, kao i pluviometrijskog režima, odnosno vrednosti efektivne infiltracije

od padavina tokom godine, te delom i od dotoka na zapadnoj i istočnoj granici izdani formiranih na levoj i desnoj strani Vrbasa. Prema Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015), glavni vid prihranjivanja akvifera podzemnih voda u ovom regionu je infiltracija površinskih voda, dominantno reke Vrbasa, čiji režim proticaja (odnosno nivoa) najviše utiče na dinamiku akvifera. Manjim delom prihranjivanje se vrši infiltracijom padavina (procena je da količina efektivne infiltracije iznosi oko 18% padavina na godišnjem nivou). Generalni pravac kretanja podzemnih voda je J-S (ka reci Savi). Brzina podzemnih tokova nije određivana traserskim istraživanjima ali se analogijom sa susjednim akviferima može pretpostaviti da je do 10 m/dan.

Na Slici 28 su date grupe vodnih tela sliva reke Save. Sa Slike 28 se može videti da su i Vrbas i Sava jako izmenjena vodna tela, a sa obzirom da na istraživanom području ova vodna tela, a najviše reka Vrbas, ima uticaj na podzemnu vodu, može se pretpostaviti loš kvalitet podzemnih voda Lijeve polja.



Slika 28. Jako izmenjena vodna tela sliva reke Save (crvenom bojom su označena jako izmenjena vodna tela) (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

Granični uslovi zbijene izdani razmatraju se kao spoljašnji i unutrašnji. Spoljašnji granični uslovi vezani su za isticanja i prihranjivanje na konturama izdani, a unutrašnji za isticanje, odnosno prihranjivanje u prostoru unutar spoljašnjih kontura. U slučaju izvorišta Maglajani i Laktaši

- spoljašnji granični uslovi su:

zapadnu granicu čine stene dijabaz rožne-formacije jurske starosti (kao praktično vodonepropusne) i tercijarni sediment te u manjem delu reka Osorna, istočnu granicu predstavlja reka Vrbas, severnu i južnu granicu čini reka koja je jako udaljena od predmetnih izvorišta,

- unutrašnji granični uslovi su:

doticaj u model koji predstavlja vertikalnu infiltraciju vode od padavina sa pozitivnim bilansom, oticaj iz modela - bunari izvorišta u Laktašima (4 bunara, uobičajeno 3 aktivna) i Maglajanima (2 bunara, uobičajeno jedan aktivan), kao i bunar južno od Laktaša (BU-1) i bunar Instituta za poljoprivredu RS severozapadno od izvorišta u Maglajanima.

Granični uslovi zbijene izdani na prostoru Kriškovaca su:

- spoljašnji granični uslovi:

zapadnu granicu čini reka Vrbas, istočnu granicu predstavljaju tercijarni peskovi i šljunkovi,

- unutrašnji granični uslovi:

doticaj - predstavlja efektivna infiltracija vode od padavina.

Obzirom na geološku građu može se pretpostaviti da se prihranjivanje u manjem obimu vrši i iz podinskih ili kontaktnih karbonatnih stena srednjeg i gornjeg trijasa. Formiran akvifer u području Lijeve polja je sa slobodnim nivoom, a oscilacije nivoa su pod uticajem vodostaja Vrbasa, manjim delom zavise i od nivoa Save, postojećih kanala, te padavina. Generalno posmatrano nivoi podzemnih voda su uglavnom na dubinama 4-6 m ispod površine terena, sa amplitudom oscilacija na godišnjem nivou do 2 m. Navedeno je da je debljina zaštitnog glinovitog pokrivača zbijenog akvifera debljine uglavnom 3-5 m (mada je u jugoistočnom delu uglavnom oko 2 m), sa koeficijentom filtracije reda veličine 10^{-6} - 10^{-7} m/s (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015).

5.1.3. Izvorišta vode

Opština Laktaši se snabdeva pitkom vodom iz podzemnih vodonosnih slojeva koji se nalaze na dubinama između 12-25 m. Vodovodni sistem opštine Laktaši obuhvata tri izvorišta. Izvorište u Laktašima i Maglajanima, na levoj dolinskoj strani reke Vrbas i izvorište Kriškovci na desnoj dolinskoj strani reke Vrbas (Slika 29).



Slika 29. Pregledna geografska karta šireg područja opštine Laktaši, sa ucrtanim mestima izvorišta vodosnabdevanja

Prvo formirano izvorište na prostoru opštine Laktaši ujedno i danas najznačajnije je izvorište Laktaši preko koga se vertikalno bušenim bunarima pitkom vodom snabdeva stanovništvo opštinskog centra, dok se manje količine vode zahvataju na bunaru izvorišta Maglajani i bunaru izvorišta Kriškovci. Laktaški vodovod trenutno ima 4.410 priključaka, dok vodovod Maglajani trenutno ima 49 priključaka, a po izgradnji sekundarne mreže planira se priključak još 3.000 domaćinstava, odnosno 10.000 stanovnika. Trenutni maksimalni kapacitet crpljenja na izvorištu u Laktašima iznosi 52 l/s, a u Maglajanima 10 l/s. Kapacitet izvorišta u Laktašima je praktično blizu maksimalnog sa postojećim objektima, dok je u Maglajanima moguće sa dva eksploataciona objekta zahvatiti veće količine vode ili isti može biti uvećan bušenjem novog/novih eksploatacionih objekata za što trenutno nema potreba. Vodovod u Kriškovcima trenutno ima 185 priključaka, a po izgradnji sekundarne mreže planira se priključak za 560 domaćinstava, odnosno oko 2.000 stanovnika. Trenutno definisani maksimalni kapacitet crpljenja na izvorištu u Kriškovcima je 10 l/s.

Na ovom izvorištu su izbušena četiri bunara sa oznakama B-1, B-2, B-8 i B-9 koji se nalaze u neposrednoj blizini centra grada (Slika 30). Na osnovu hidrogeoloških ispitivanja u periodu od 1974-1976. godine u eksploataciju su stavljena dva bušena bunara B1 (dubine 18 m), i B2 (dubine 14 m), a tadašnja izdašnost oba bunara je iznosila 55-60 l/s. Prema litološkom sastavu na izvorištu Laktaši uočljivo je da je izvršeno jasno zoniranje sedimenata u vertikalnom pravcu u nekoliko slojeva na ova dva bunara:

0,00-2,00 m	sloj gline
2,00-4,00 m	sitnozrni do srednjezrni peskovi sa šljunkom
4,00-9,50 m	srednjezrni do krupnozrni šljunak sa peskom
9,50-12,8 m	sitnozrni do srednjezrni peskovi sa šljunkom
13 m pa naniže	glinoviti sedimenti

Vremenom je dolazilo do smanjenja nivoa vode u postojećim bunarima, posebno u sušnom periodu. Izdašnost bunara je značajno opala (B1 – 5 l/s, B2 – 12 l/s) i nije zadovoljavala kontinuirano snabdevanje stanovnika opštine Laktaši sa pitkom vodom. Da bi se rešio ovaj problem, krajem 2007. godine počeli su istražni radovi na novim izvorištima, a već sredinom 2008. godine u eksploataciju su pušteni bunari B8 (dubine 22 m) i B9 (dubine 19 m). Optimalna izdašnost bunara B-8 je 18 l/s, a bunara B-9 je 45 l/s, razmatrano samo sa aspekta dozvoljenog bunarskog sniženja. Prilikom bušenja bunara B8 ustanovljen je sledeći litološki sastav:

0,00 - 2,80 m	glina
2,80 - 7,00 m	šljunak, pesak, sitni, zbijeni
7,00 - 12,0 m	šljunak, krupni
12,0 - 14,9 m	šljunak, peskoviti, zaglinjeni
14,9 – 15,2 m	glina, prašinasta
15,2 – 16,3 m	šljunak, peskoviti, zaglinjeni
16,3 – 22,0 m	lapor, sivi i crvenkasti

i određena je transmisivnost u iznosu od $4,62 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ i koeficijent filtracije od $6,6 \cdot 10^{-3}$ m/s.

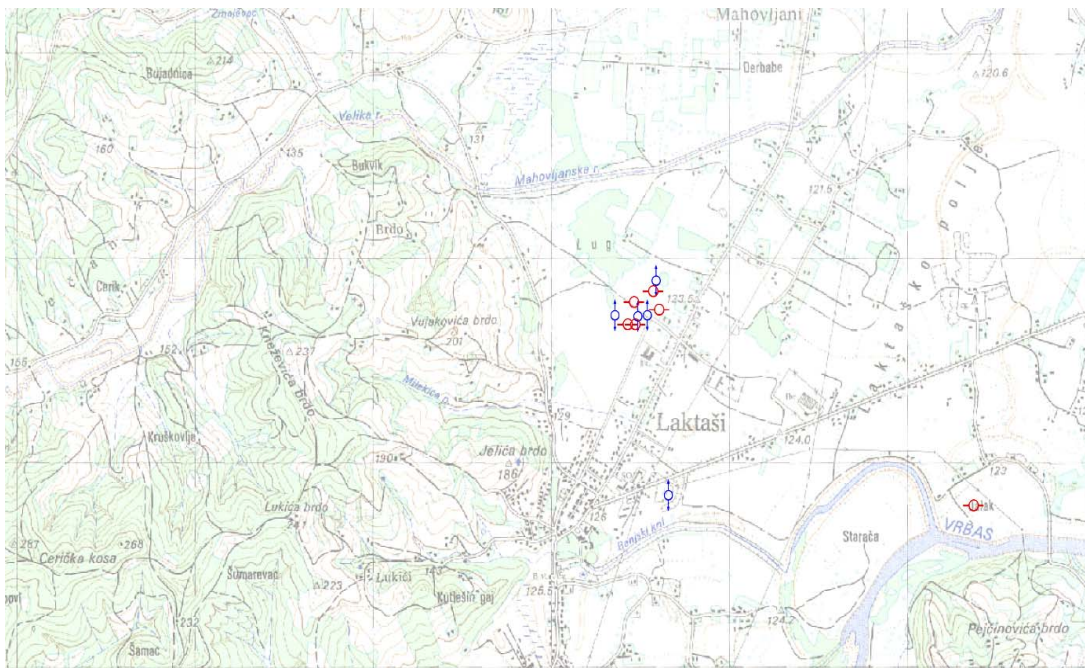
Prilikom bušenja bunara B9 ustanovljen je sledeći litološki sastav:

0,00 - 2,80 m	glina
2,80 - 7,00 m	šljunak, pesak, sitni, zbijeni
7,00 - 12,0 m	šljunak, krupni
12,0 - 14,0 m	šljunak, u bazi zaglinjen
14,0 – 14,5 m	šljunak, trošan, glinovit
14,5 – 16,0 m	lapor
16,0 – 17,0 m	pješčenjak
17,0 – 18,0 m	lapor
18,0 – 18,5 m	pješčenjak

18,5 – 20,0 m lapor
i određena je transmisivnost u iznosu od 0,014 m²/s i koeficijent filtracije od $1,99 \cdot 10^{-2}$ m/s što pokazuje da je bunar B9 puno boljih hidrauličkih karakteristika od bunara B8.



(a)



(b)

Slika 30. Pozicija eksploatacionih i osmatračkih bušotina na izvorištu Laktaši, a) eksploatacioni objekti - oznaka B i osmatrački objekti - oznaka P, b) eksploatacioni objekti - plava oznaka i osmatrački objekti - crvena oznaka

Dakle može se zaključiti da se transmitivnost i koeficijent filtracije na ova dva bunara znatno razlikuje kao i litološki sastav nakon 14-og metra dubine.

Tokom bušenja bunara u naselju Maglajani (Slika 31) vršeno je kartiranje jezgra i konstatovano je da povratni sloj predstavljen glinom, nakon čega su zastupljivi šljunkoviti sedimenti, u nižim intervalima zaglinjeni. Izvršeno je bušenje dva bunara BM-1 i BM-2. Podinu izvedenog bunara čine glinoviti sedimenti i lapori. Izvorište je urađeno 2003. godine. Bušeni bunari se nalaze na dubini od 30 m. Maksimalni kapacitet bunara BM-1 je 15 l/s kao i bunara BM-2.

Podaci o litološkom sastavu za bunar BM-1 poznati su na osnovu rezultata bušenja bunara i pijezometara PM-1 i PM-2. Tokom bušenja bunara BM-1 dobijen je sledeći litološki sastav:

0,00 – 4,00 m	gline
4,00 – 9,50 m	krupnozrni šljunak, suvi
9,50 – 10,5 m	glina
10,5 – 24,0 m	krupnozrni šljunak, slabo zaglinjen
24,0 – 26,0 m	zaglinjeni šljunkovi
26,0 – 27,0 m	sitnozrni šljunkovi
27,0 – 29,0 m	sitni zaglinjeni šljunkovi, peskoviti
29,0 – 35,0 m	glina

i određena je transmisivnost bunara BM-1 u iznosu od $3,97 \cdot 10^{-3}$ m²/s i koeficijent filtracije od $2,48 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Tokom bušenja bunara BM-2 dobijen je sledeći litološki sastav ovog bunara:

2,40 – 3,00 m	šljunak, slabo zaglinjeni, suv
3,00 – 3,60 m	šljunak, čist, krupnozrni
3,60 – 7,50 m	šljunak, krupnozrni, čist, suv
7,50 – 16,4 m	šljunak, jako zaglinjeni, vlažan
16,4 – 18,0 m	šljunak, slabije zaglinjeni
18,0 – 20,5 m	šljunak, krupnozrni, dosta čist
20,5 – 21,0 m	gline, žute boje
21,0 – 29,5 m	šljunak, slabo zaglinjeni, nejednorodan, peskovit
29,5 – 30,6 m	pesak, krupnozrn
30,6 – 32,0 m	pesak, sitnozrn
32,0 – 36,5 m	peskovi, laporoviti, sitnozrni (zaglinjeni)
36,5 – 54,0 m	lapori

i određena je transmisivnost ovog bunara iznosu od $7,57 \cdot 10^{-2}$ m²/s i koeficijent filtracije od $5,41 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Takođe i za ovo izvorište se može zaključiti da se transmitivnost i koeficijent filtracije na ova dva bunara znatno razlikuje kao i litološki sastav bunara.

U sklopu izvorišta Kriškovci izbušena su tri bunara (BK-2, BK-3 i BKE-1) u periodu 2001-2009. godine, od kojih je samo jedan trenutno u eksploataciji, bunar BKE-1. Dubina bušotine na izvorištu je 12 m. Kapacitet ovog bunara je 10 l/s.

Prilikom bušenja bunara na izvorištu Kriškovci (Slika 32) konstatovan je sledeći litološki profil:

0,00-3,10 m	glina i humus
3,10-3,60 m	peskovita glina
3,60-7,20 m	šljunak srednjezrni do krupnozrn
7,20-81,0 m	lapor i laporovita glina

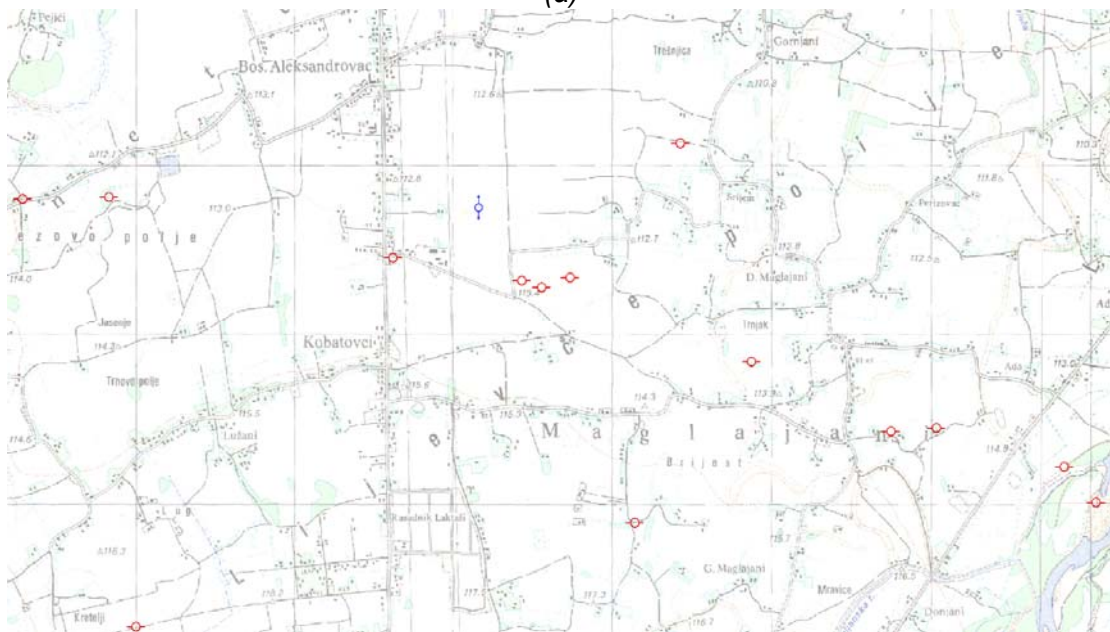
U bunaru BKE-1 određena je transmisivnost (koeficijent vodopropusnosti) od $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s i koeficijent filtracije od $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Iz svega gore navedenog se može zaključiti da je bunar u Kriškovcima najplići bunar, da bunar BM-2 u Maglajanima ima najveću **transmisivnost** i bunar u Laktašima (B9) najveći **koeficijent filtracije**.

Podzemne vode ovih izvorišta su detaljno ispitivane po svim parametrima kvaliteta. Prva analiza je urađena 10.05.2012.godine dok je poslednja urađena 17.04.2013.god (Prilog I-IV).

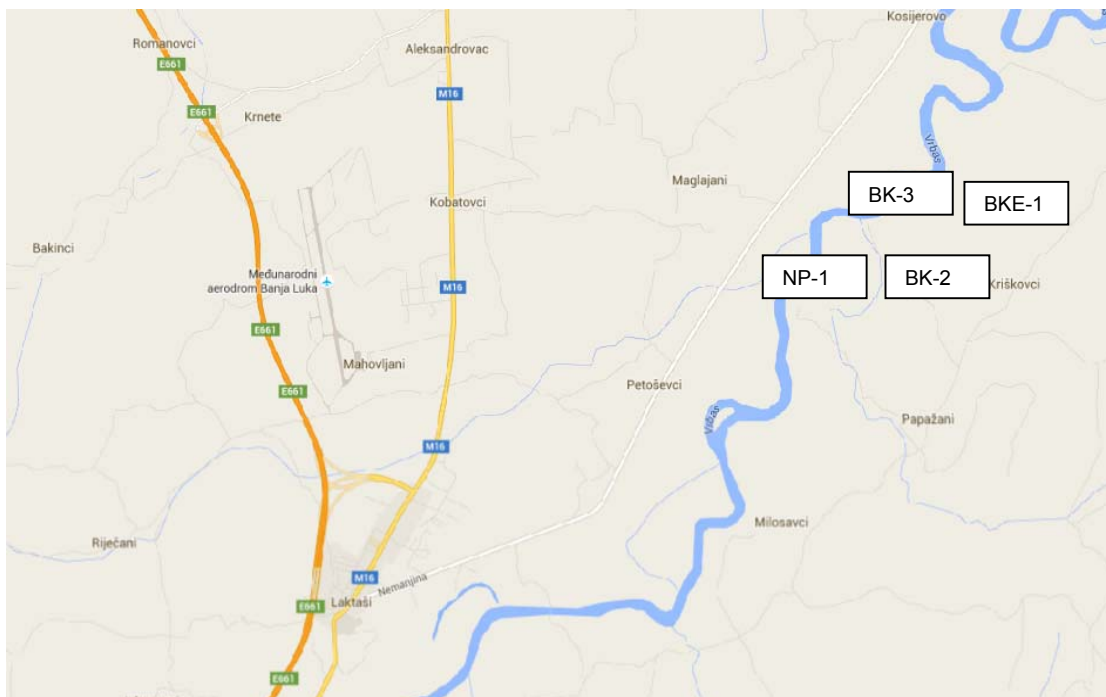


(a)

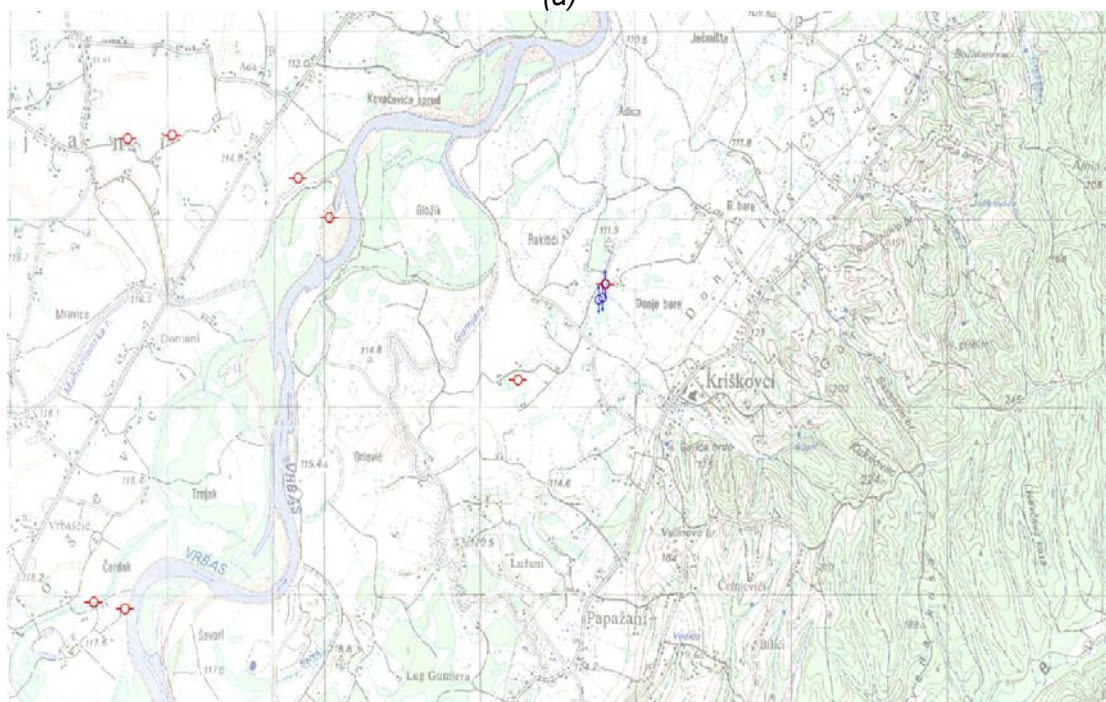


(b)

Slika 31. Pozicija eksploatacionih i osmatračkih bušotina na izvorištu Maglajani, a) eksploatacioni objekti - oznaka B i osmatrački objekti - oznaka P, b) eksploatacioni objekti - plava oznaka i osmatrački objekti - crvena oznaka



(a)



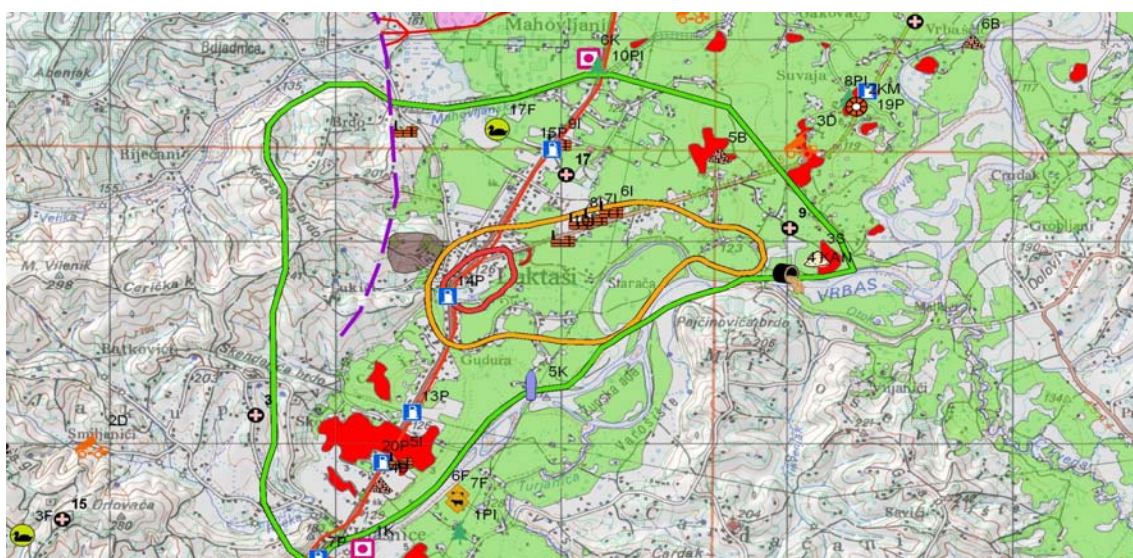
(b)

Slika 32. Pozicija eksploatacionih i osmatračkih bušotina na izvorištu Kriškovci, a) eksploatacioni objekti - oznaka B i osmatrački objekti - oznaka P, b) eksploatacioni objekti - plava oznaka i osmatrački objekti - crvena oznaka

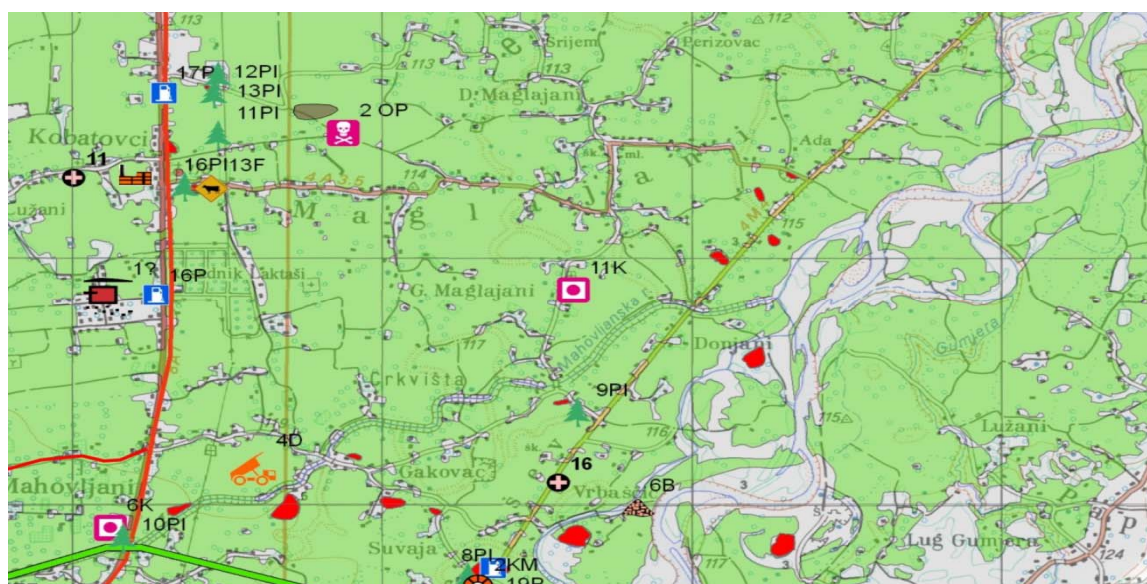
5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta

Sa aspekta rizika od zagađenja, neophodno je obratiti pažnju na sve tačkaste i difuzne zagađivače koji predstavljaju opasnost po kvalitet vodnih tela istražnog područja. Na konkretnom području utvrđeni su brojni difuzni zagađivači u vidu poljoprivredne proizvodnje, brojnih septičkih jama sa ponekad direktnim upojem u zbijeni akvifer, mreže lokalnih i regionalnih puteva, poljoprivredna domaćinstva i pašnjaci. Od tačkastih izvora zagađenja, potencijalnu opasnost predstavljaju brojne pumpe, radionice, stočarske farme kao i različiti prerađivački kapaciteti (drvoprerađivački, poljoprivredni, stočarski itd).

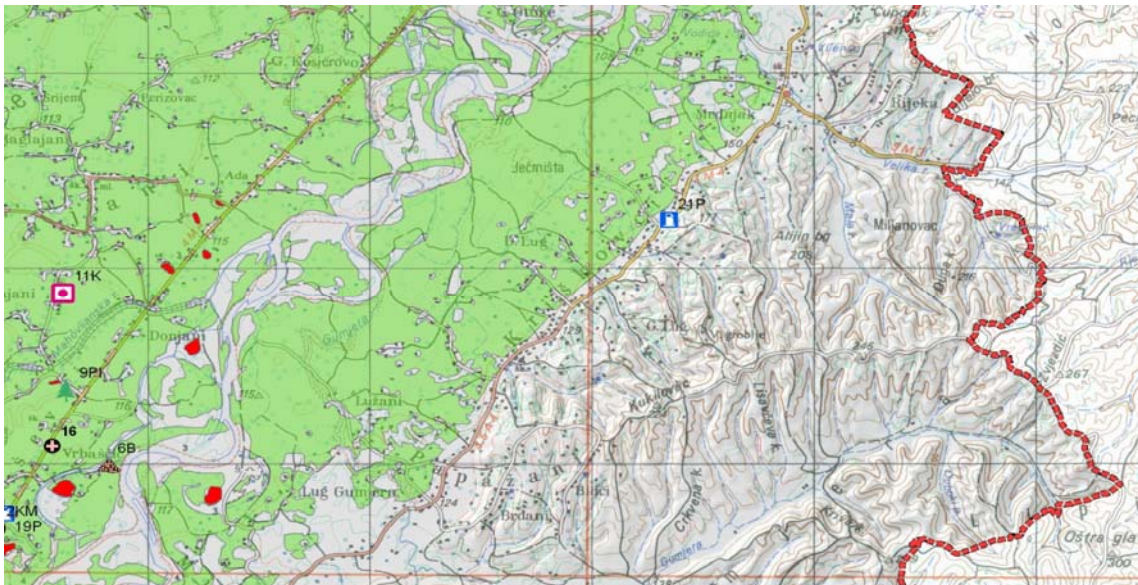
Potencijalni zagađivači na izvorištu u Laktašima, Maglajanima i Kriškovicima su prikazani na Slikama 33, 34 i 35, sledstveno. Na Slici 36 je legenda zagađivača. Sa Slika 33, 34 i 35 se može videti da je najveći broj potencijalnih zagađivača smešten oko izvorišta u Laktašima.



Slika 33. Potencijalni zagađivači izvorišta Laktaši (Jolović, 2013)



Slika 34. Potencijalni zagađivači izvorišta Maglajani (Jolović, 2013)

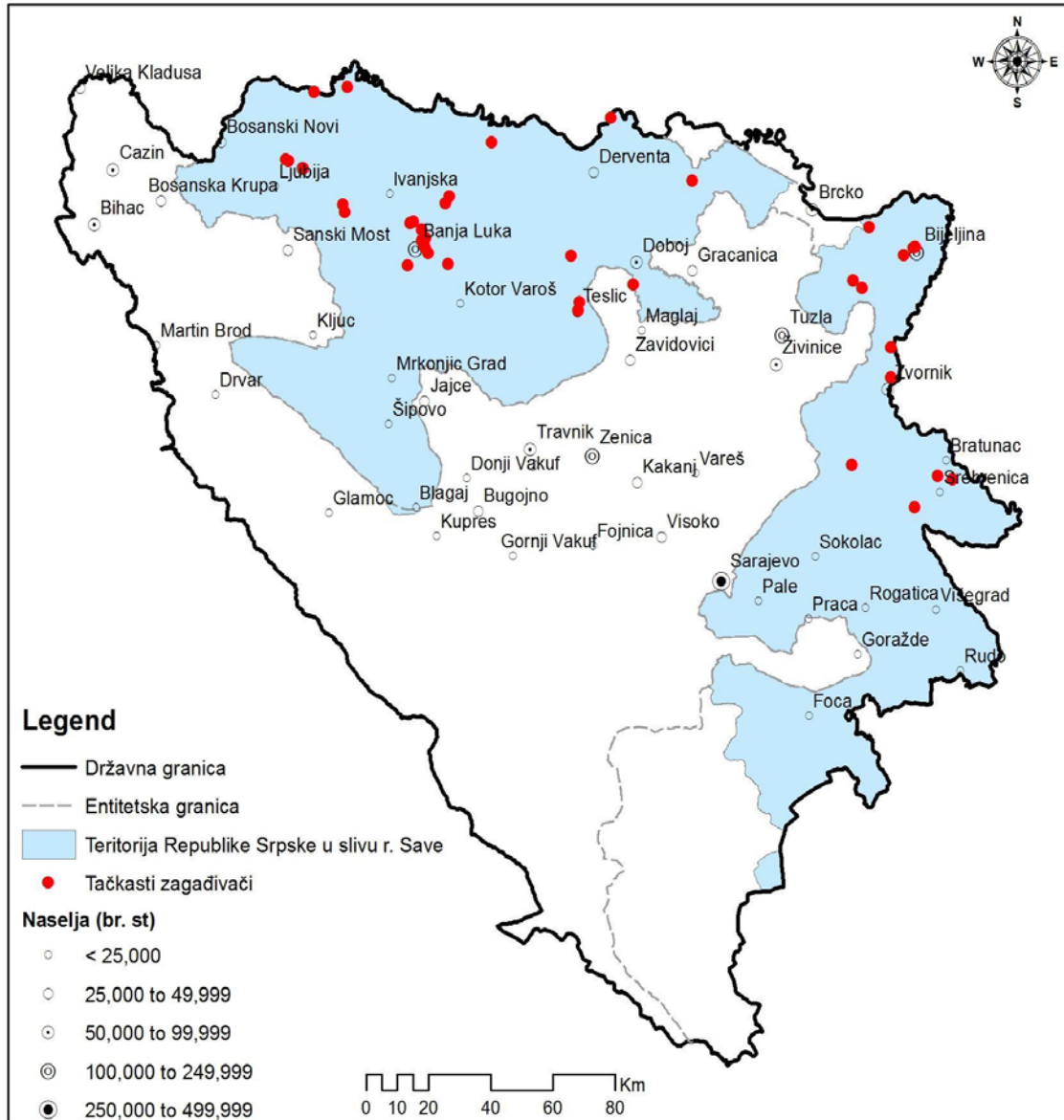


Slika 35. Potencijalni zagađivači izvorišta Kriškovci (Jolović, 2013)



Slika 36. Legenda potencijalnih tačkastih zagađivača na Slikama 33, 34 i 35 (Jolović, 2013)

Osim zagađivača koji se nalaze u okviru opštine Laktaši i mogu imati direktni uticaj na kvalitet podzemnih voda koje služe za javno vodosnabdevanje, na kvalitet vode reke Vrbas, i time podzemnih voda, uticaj mogu imati i zagađivači uzvodno od Laktaša. Na prvom mestu su to privredne aktivnosti u opštini Banja Luka (Slika 37 i Tabela 16).



Slika 37. Lokacije tačkastih industrijskih zagađivača na teritoriji Republike Srpske u slivu Save (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

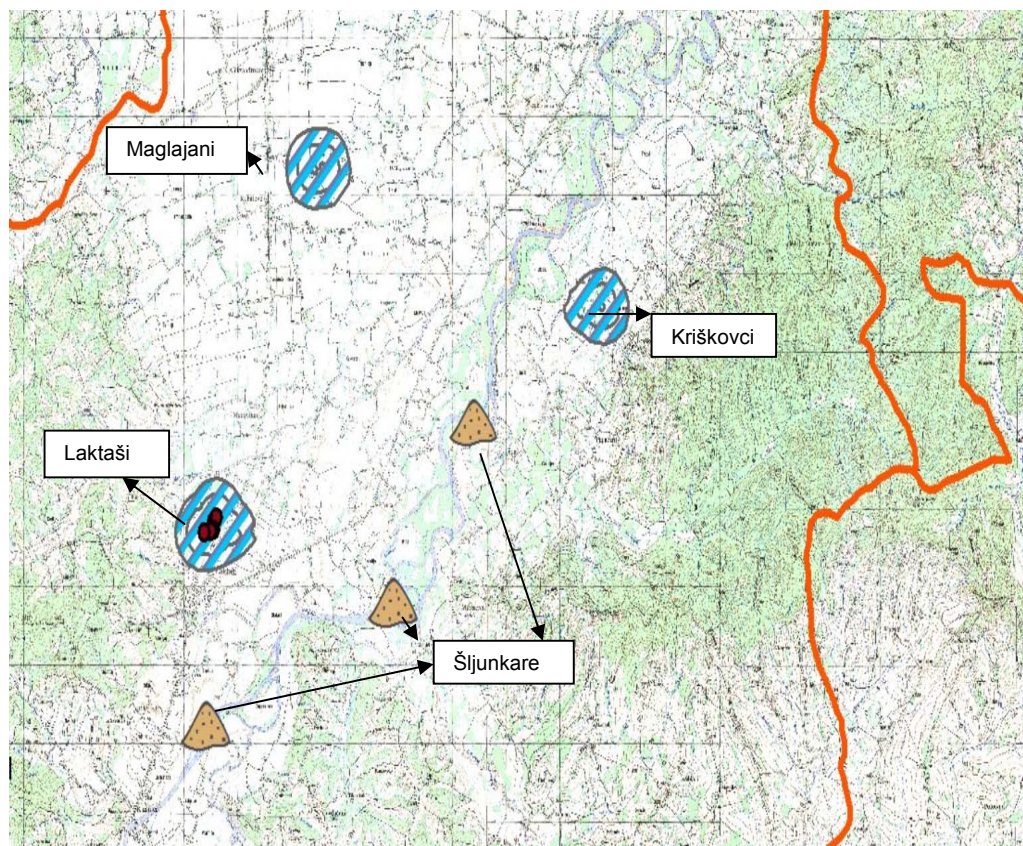
**Tabela 16. Pregled tačkastih industrijskih zagađivača na teritoriji Republike Srpske u slivu Save
(Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)**

Naziv	Tip industrije	Mesto	EBS	Naziv	Tip industrije	Mesto	EBS
Rafinerija nafte Brod a.d.	Hemijska	Brod	932.192	Orao a.d.	Metalna	Bijeljina	2.850
Rafinerija ulja Modriča a.d.	Hemijska	Modriča	6.417	Fabrika za pocinčavanje	Metalna	Srebrenica	1.580
Destilacija Teslić a.d.	Hemijska	Teslić	4.207	Boksit a.d.	Mineralna	Milići	12.570
RITE Ugljevik	Energetika	Ugljevik	88.373	Eko Dep JP	Otpad	Bijeljina	N/A
Rudnik olova i srebra GROSS doo	Mineralna	Srebrenica	9.538	Tropik ribarstvo	Prehrambena	Banja Luka	N/A
Fabrika gline Alumina a.d.	Hemijska	Zvornik	72.010	Krajina petrol	Benz. pumpa	Banja Luka	N/A
Alpro a.d.	Metalna	Vlasenica	677	Dević tekstil d.o.o.		Teslić	16.305
Mlijekoprodukt d.o.o.	Prehrambena	Koz. Dubica	11.394	EFT Stanari d.o.o.	Energetika	Stanari	4.255
Arcelor Mittal doo	Mineralna	Prijedor	10.111	HPK Draksenić a.d.	Prehrambena	Koz. Dubica	4.325
Mira a.d.	Prehrambena	Prijedor	2.630	Fabrika kreča Carmeus a.d.	Mineralna	Doboj	583
Banjalučka pivara a.d.	Prehrambena	Banja Luka	29.364	Prijedorčanka a.d.	Prehrambena	Prijedor	6.340
Hemofarm d.o.o.	Hemijska	Banja Luka	2.500	Robne rezerve RS		Banja Luka	N/A
Depot j.p.	Otpad	Banja Luka	2.614	Robne rezerve JP		Prijedor	N/A
Vitaminka a.d.	Prehrambena	Banja Luka	8.245	Vitinka a.d.	Prehrambena	Zvornik	5.581
Celex d.o.o.	Papir/celuloza	Banja Luka	20.792	ZP Komerc d.o.o.	Prehrambena	Bijeljina	21.123
Tulumović d.o.o.	Prehrambena	Laktaši	1.440	Bimal d.d.	Prehrambena	Brčko	1.026
Marbo d.o.o.	Prehrambena	Laktaši	8.906	V Group Palas d.o.o.	Hemijska	Brčko	0
Perutnina Ptuj pp	Prehrambena	Srbac	5.685	GAS petrol d.o.o.	Mineralna	Brčko	N/A
Jelšingrad livnica a.d.	Metalna	Banja Luka	1.837	Gramos d.o.o.	Mineralna	Brčko	N/A
General still d.o.o.	Metalna	Čelinac	307	Žitopromet d.d.	Prehrambena	Brčko	N/A
PI Sava Semberija a.d.	Prehrambena	Bijeljina	4.799	PI Savasemberija a.d.	Prehrambena	Bijeljina	N/A

EBS (Ekvivalentan broj stanovnika)

N/A - not applicable – nije primenljivo

Napuštene šljunkare - Jedan od potencijalnih zagađivača na teritoriji izvorišta Laktaši predstavljaju divlje šljunkare (Slika 38). Iste su ukopane u šljunkoviti sloj skoro (ili čak do) vodonosnog sloja i u određenoj meri mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta. Uzimajući u obzir definisanu strujnu sliku i položaj šljunkara istočno od Laktaša moguć je određen uticaj šljunkare na vode bunara B-9 (Jolović, 2013). Tok vode od šljunkare do izvorišta u Laktašima koji je izmeren tokom rada na ispitivanju izvorišta je dosta dug (najmanje 3,5 godine) te u tom smislu eventualno infiltriranje zagađujućih materija iz ovog dela pratiće brojni procesi koji utiču na smanjenje njihove koncentracije, ali u svakom slučaju postoji određeni vid opasnosti posebno od opasnih i teško razgradivih materija. Stoga je bitno sprečiti bilo kakvo dalje uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja (skinut prilikom eksploatacije šljunka) jer je na taj način značajno olakšan put potencijalnom zagađivaču sa površine terena ka izdanskoj zoni (ili direktan ulazak) i onemogućeno smanjenje koncentracije istog pri vertikalnom kretanju naniže.



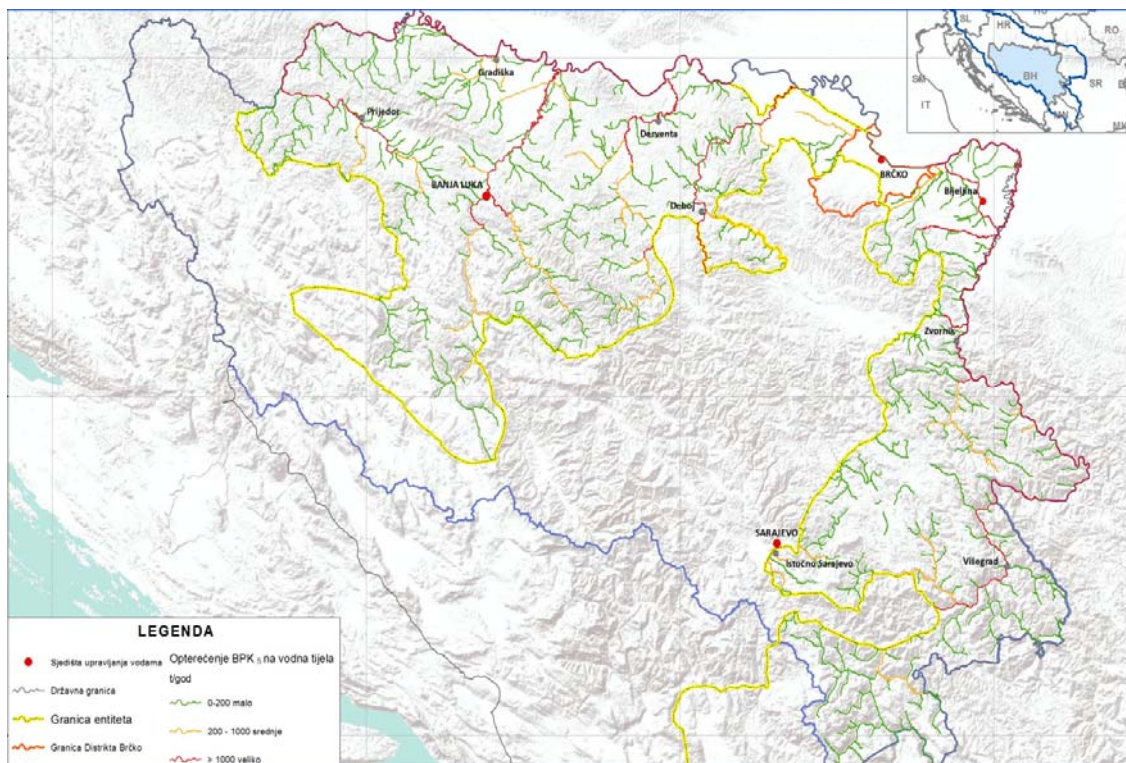
Slika 38. Položaj šljunkara u odnosu na izvorišta u opštini Laktaši

Lokalni i magistralni putevi - Potencijalnu opasnost kao zagađivač predstavljaju saobraćajnice (teški metali iz izduvnih gasova, nafta i naftni derivati, različita ulja, te mogućnost zasoljavanja terena u toku zimskog perioda). Uzevši u obzir prisustvo i debljinu povlatnog sloja na najvećem delu izdani duž saobraćajnica realno je očekivati da ovaj vid zagađenja nije od posebnog značaja za razmatranja. Značajnija karakteristika ovog zagađivača jeste kao potencijalnog ekscenog zagađivača (u smislu eventualnog prevrtanja vozila koja prevoze naftu i naftne derivate, toksične materije i sl.).

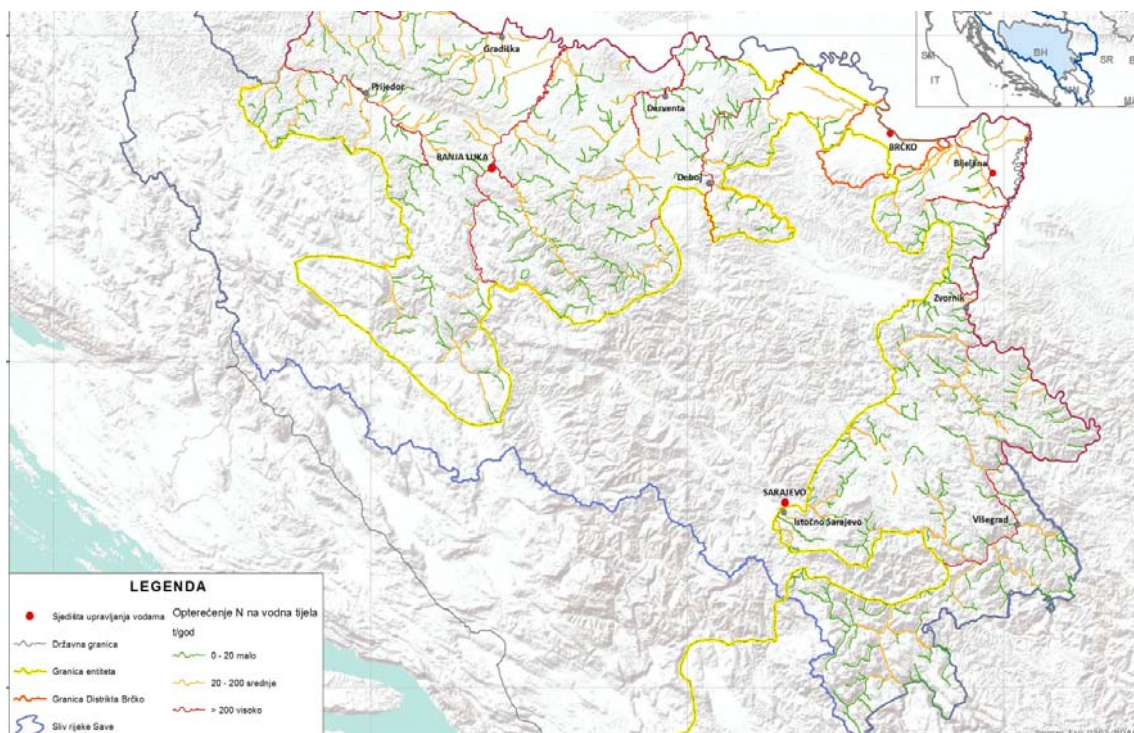
Poljoprivredna proizvodnja - Poljoprivredna proizvodnja (gajenje biljaka i manje farme) odvija se neposredno uz eksploatacione objekte, te na znatnoj površini u okviru zone

uticaja na vodozahvate. Na Slikama 39, 40 i 41 je prikazano opterećenje organskim materijama (izraženo preko BPK_5), N (azota) i P (fosfora), sledstveno, na vodna tela sliva Save, na kojima se vidi da je tok reke Vrbas u ispitivanom području značajno opterećen ovim materijama.

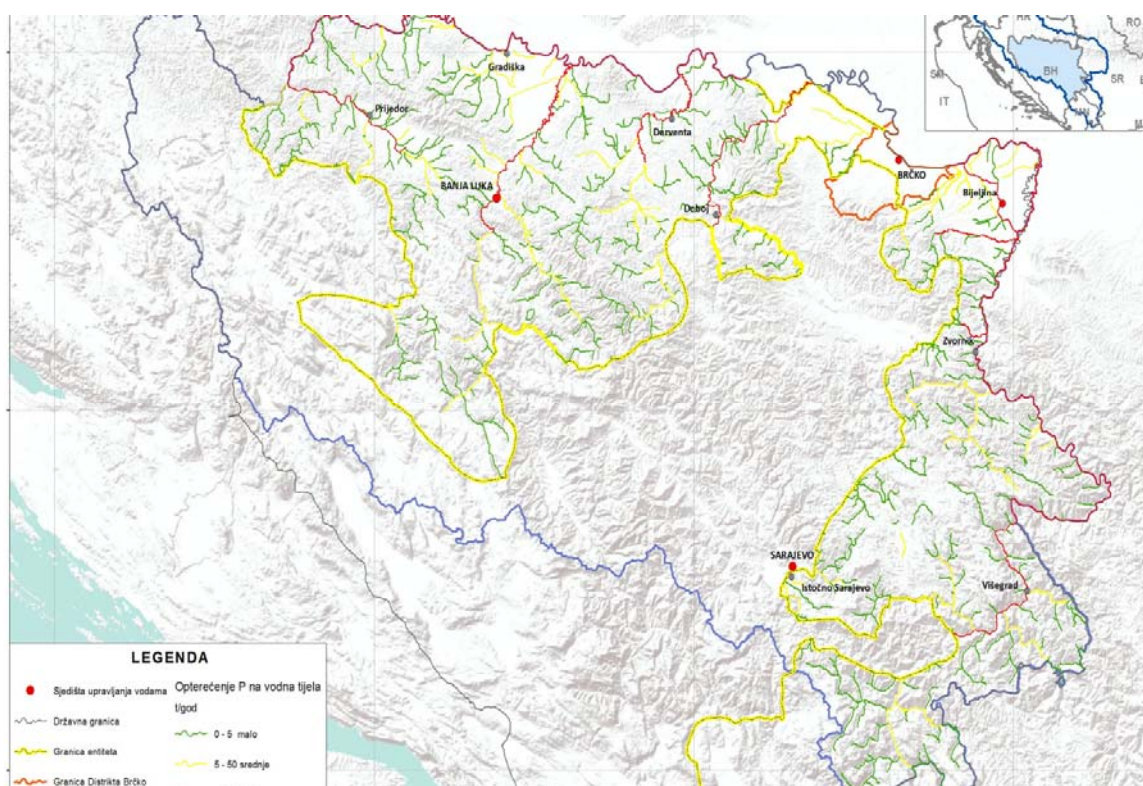
Za kvalitet podzemnih voda eksploatazione izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti. Opasnost od ove vrste zagađenja delom je umanjena pošto je na izvorištu Kriškovci zaštitni glinoviti sloj debljine oko 2,5-3 m, na izvorištu Laktaši zaštitni glinoviti sloj je debljine 2,8 m, a na izvorištu Maglajani oko 1,3 m. Međutim, kao što je navedeno u poglavlju 3.4.1., u sloju gline, u toku sušnog perioda, javljaju se duboke pukotine koje se mogu zadržati u većem delu godine. Pukotine predstavljaju favorizovane putanje toka vode sa površine tla, koja na taj način zaobilazi ukupnu zapreminu zemljišta. Na taj način se pukotine ponašaju kao „vodovi“ za transport zagađujućih materija do podzemnih voda. To pogotovo može biti problem kod bunara BKE-1 u Kriškovcima, koji je najmanje dubine, a zemljište sadrži najviše gline od svih ispitivanih izvorišta (poglavlje 5.1.3.). Na isti način su pod rizikom, ali nešto manjim, izvorišta BM-1 i BM-2 u Maglajanima.



Slika 39. Opterećenje BPK_5 (t/god) na vodna tela Oblasnog rečnog sliva reke Save (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)



Slika 40. Opterećenje N (t/god) na vodna tela Oblasnog rečnog sliva reke Save (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)



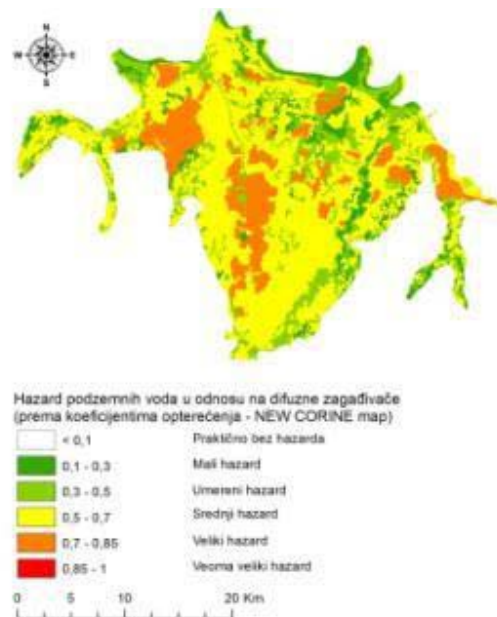
Slika 41. Opterećenje P (t/god) na vodna tela Oblasnog rečnog sliva reke Save (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

Neregulisana kanalizaciona mreža - U sklopu naselja u neposrednoj blizini izvorišta Kriškovci i Maglajani nije urađena vodonepropusna kanalizacija. Fekalne vode se prikupljaju u septičke jame koje predstavljaju potencijalnu opasnost za kvalitet vode izvorišta.

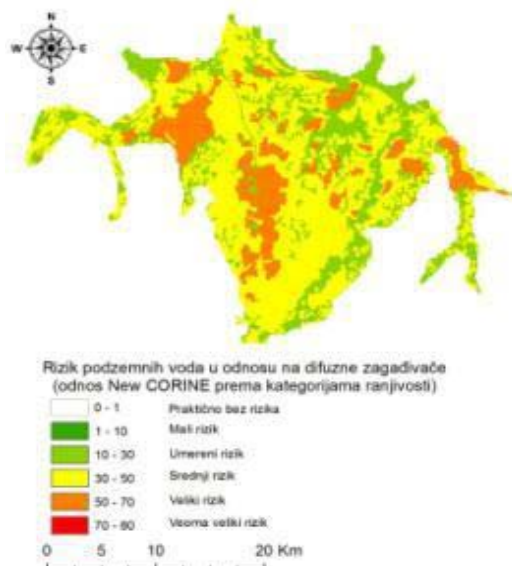
Grad Laktaši ima izgrađenu kanalizacionu mrežu koja nema sistem prečišćavanja. Osim toga, dio stambenih objekata u užoj i široj okolini izvorišta Laktaši nije povezan na centralni kanalizacioni sistem opštine. Tako se u naselju Jelića Brdo, lociranom iznad izvorišta Laktaši, nalazi veći broj privatnih kuća sa pratećim objektima, septičkim jamama i stajama. Naselje nema rešen problem vodonepropusne kanalizacije, kao ni pravilnog odlaganja stajskog otpada.

Na području Lijevče polja se nalaze zagađivači sa ukupnim EBS opterećenjem od 210216 (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015). To doprinosi zaključku da su vodna tela ovog područja uslovno pod kvalitativnim pritiskom (Slike 42 i 43).

Sa druge strane, prosečna eksploatacija podzemnih voda za potrebe vodosnabdevanja (do 500 l/s), ne predstavlja kvantitativni pritisak na vodna tela Lijevče polja, čije rezerve vode se procenjuju na 12,92 m³/s. Međutim, ova procena se odnosi na ceo region Lijevče polja, što ne znači da lokalno podzemne vode možda nisu pod kvantitativnim pritiskom. Zbog kvalitativnog pritiska na vode je neophodno u budućnosti formirati monitoring mrežu koja će imati istraživački i operativni karakter, na osnovu kojih će se ostvariti direktan uvid u eventualne promene kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika podzemne vode. Uvidom u ove podatke, biće omogućeno preduzimanje potrebnih mera preventivne ili sanacione zaštite.



Slika 42. Karta hazarda podzemnih voda u okviru GVTPV (grupe vodnih tela podzemnih voda) "Lijevče polje" (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)



Slika 43. Karta rizika podzemnih voda u okviru GVTPV (grupe vodnih tela podzemnih voda) "Lijevče polje" (Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, 2015)

5.2. Postupak uklanjanja mangana

Na izvorištu u Kriškovcima je instalirana kolona za uklanjanje mangana (Slika 44). Korišten je demanganizator sa filterskom ispunom Greensand BlueSoft 3672 GT-RX (Tabela 17), koji je obogaćen sa KMnO_4 i osušen. Greensand se regeneriše 3% rastvorom kalijum permanganata. Regeneraciju je po preporuci proizvođača potrebno vršiti jednom u dve godine (s obzirom da voda nema povećani sadržaj gvožđa i vodoniksulfida). Filter u kome se vrši izdvajanje četverovalentnog manganoksihidrata treba veoma oprezno prati, ali nikad do kraja, kako se iz filtera ne bi isprao sav MnO_2 koji deluje katalitički. Demanganizator je automatski, sa svojom posudom za reagens.



Slika 44. Kolone za demanganizaciju instalirane na izvorištu u Kriškovcima

Tabela 17. Tehničke karakteristike kolone sa Greensand-om instalirane na izvorištu u Kriškovicima

Model	BlueSoft 3672 GT-RX
Greensand	566 litara
Masa greensand-a	1016 kg
Protok	6,4-12,8 m ³ /h
Površina	0,64 m ²
Protok vode za ispiranja/vreme	19,3 m ³ /h (85 GPM)
Dimenzije kolone	950 x 950 x 2600 mm
Kontrolna glava /Priključak	RX-77A-DTF / 2"
Broj filtera	2
Radni kapacitet kolone	36,0 L vode/s
Radni pritisak	4 bar
Rastvor za aktiviranje filterske ispune	2-4 g/L KMnO ₄

Izvršeno je ispitivanje sadržaja mangana u vodi na ovom izvorištu nakon tretmana u periodu od 28. avgusta 2012. do 17. aprila 2013. Na početku postupak nije davao dobre rezultate, pa se izvršilo ispitivanje na laboratorijskom nivou u novembru mesecu u cilju otkrivanja najboljih uslova za otklanjanja mangana pomoću date kolone.

5.3. Metode analize

Uzorci za analizu fizičko-hemijskih i bioloških parametara su uzeti na slavinama unutar objekata izgrađenih na izvorištima. Pri uzorkovanju se rukovalo sledećim standardima:

- BAS EN 5667-1:2008 Uputstvo za dizajniranje programa uzorkovanja i tehnika uzorkovanja;
- BAS ISO 5667-3:2014 Očuvanje i rukovanje uzorcima vode;
- BAS ISO 5667-11:2010 Smernice za uzorkovanje podzemnih voda.

Dakle, uzorkovanje je izvršeno u skladu sa zahtevima standarda za određivanje pojedinih parametara.

Transport uzoraka se obavio u frižideru za transport uzoraka i na taj način se izvršila njihova zaštita od moguće kontaminacije i oštećenja. U frižideru je temperatura podešena na -1⁰C, i nakon što su uzorci smešteni u frižider za transport uzoraka aktiviran je digitalni termometar, koji je merio temperaturu na 60 minuta.

Za analizu fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih parametara podzemne vode korištene su analitičke metode prikazane u Tabeli 18.

Organohlorni pesticidi, policiklični aromatični ugljovodonici i polihlorovani bifenili (PCB) koji su određivani metodama navedenim u Tabeli 18 su dati u Tabeli 19.

Za analizu mikrobioloških parametara podzemne vode su korištene analitičke metode date u Tabeli 20.

Tabela 18. Metode fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih analiza vode sa korištenim tehnikama

Parametar	Tehnika	Metoda
Temperatura vode	Termometrom	Standard Methods, 2005. Metoda 2550(A)
pH vrednost vode	Elektrohemijska	BAS ISO 10523:2002
Elektroprovodljivost	Konduktometrijska	BAS EN 27888:2002
Boja	Kolorimetrijski (Vizuelna komparacija)	Standard methods, 2005. Metoda 2120 (B)
Potrošnja kalijum-permanganata	Volumetrijska	Voda za piće, 1990. Metoda P-IV-9a
Određivanje mutnoće	Turbidimetrijska	BAS EN ISO 7027:2002
Određivanje alkaliteta	Volumetrijska	BAS EN ISO 9963-2:2000
Suspendovane materije	Gravimetrijska	BAS ISO 11923:2002
Određivanje amonijum jona	Spektrofotometrijska (UV/VIS)	BAS ISO 7150-1:2002
Određivanje nitrita	Spektrofotometrijska (UV/VIS)	BAS EN 26777:2002
Određivanje rastvorenih nitrata, hlorida i sulfata	Jonski hromatograf	BAS EN ISO 10304-1:2010
Određivanje sume kalcijuma i magnezijuma	Volumetrijska-kompleksometrijska	ISO 6059:1984
Određivanje kalcijuma	Volumetrijska	Standard methods, 2005. Metoda 3500 (B)
Određivanje magnezijuma	Računski	
Ukupne čvrste materije sušene na 105°C	Gravimetrijska	Standard Methods, 2005. Metoda 2540(B)
Ostatak posle žarenja	Gravimetrijska	Standard Methods, 2005. Metoda 2540(B)
Gubitak žarenjem	Računski	
Određivanje sulfida	Volumetrijski	Standard methods, 2005. Metoda 4500- S ²⁻ (F),
Određivanje fosfora	Spektrofotometrijska (UV/VIS)	ISO 6878:2004
Određivanje ukupnog (TOC) i rastvorenog (DOC) organskog ugljenika	TOC analizator	ISO 8245:1999
Određivanje ulja i masti	FTIR	Standard Methods, 2005. Metoda 5520-C
Određivanje anjonskih surfaktanata kao MBAS	Spektrofotometrijska (UV/VIS)	Standard Methods, 2005. Metoda 5540-C
Određivanje natrijuma	AAS-plamena tehnika	BAS ISO 9964-1:2002
Određivanje kalijuma	AAS-plamena tehnika	BAS ISO 9964-2:2002
Određivanje rastvorenih metala (Fe, i Mn) plamenom AAS	AAS-plamena tehnika (vazduh-C ₂ H ₂)	Standard Methods, 2005. Metoda 3111-B
Određivanje rastvorenih metala (As, Cd, Cu, Ni, Pb i Zn) elektrotermalnom AAS	AAS-GFA (grafitna tehnika)	Standard Methods, 2005. Metoda 3113-B
Određivanje hroma	AAS-GFA (grafitna tehnika)	BAS ISO 9174:2002
Određivanje žive	AMA	AMA 254, Advanced Mercury Analyser, Operating Manual
Određivanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika	Tečna hromatografija HPLC	EPA 550.1:1994
Određivanje organohlornih pesticida	Gasna hromatografija GC ECD	EPA 508.1:1994
Određivanje PCB	Gasna hromatografija GC ECD	EPA 525.1:1994

AAS- atomska apsorbciona spektrofotometrija, FTIR- infracrveni spektrofotometar sa Furijevom transformacijom

Tabela 19. Određivani organohlorni pesticidi, policiklični aromatičnih ugljovodonici i polihlorovani bifenili (PCB)

Organohlorni pesticidi (EPA 508.1:1994)	Policiklični aromatičnih ugljovodonici (EPA 550.1:1994)	Polihlorovani bifenili (PCB) (EPA 525.1:1994)
α – BHC	acenaftelin	2,2', 3,4,4', 5,5'- heptahlorobifenil
β – BHC	fluoren	
γ – BHC (Lindan);	fenantren	2,2', 3, 4', 4', 5'- heptahlorobifenil
δ – BHC	antracen	
Heptahlor	piren	2,2', 4,4', 5,5'- heptahlorobifenil
Aldrin	Benzo (a) antracen	
Heptahlor Epoksid (B);	hrizen	2,2', 5, 5'- tetrahlorobifenil
Endosulfan I	Benzo(b)fluoranten	2, 4, 4'- trihlorobifenil
Dieldrin	Benzo(k)fluoranten	
4,4' DDE	Benzo(a)piren	
Endrin	di-Benzo(ah) antracen	
4,4' DDD	Benzo(ghi)perilen	
Endrinaldehid	Indeno(1,2,3-cd)piren	
Endrosulfan sulfat		
4,4' DDT		
Metoksihlor		
Endosulfan II		

Tabela 20. Metode analize za mikrobiološke parametre

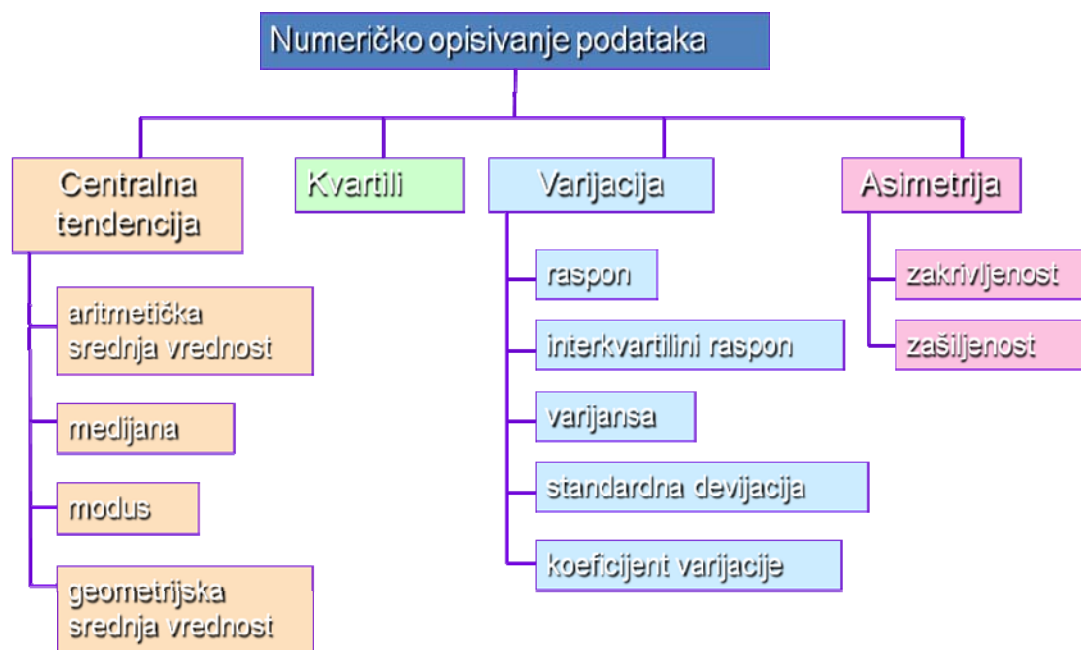
PARAMETAR	TEHNIKA	METODA	JEDINICA
Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (22±2)°C u toku (68±4) h	metoda sipanja (<i>Pour plate</i>)	BAS EN ISO 6222:2003	cfu/mL
Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (36±2)°C u toku (44±4) h	metoda sipanja (<i>Pour plate</i>)	BAS EN ISO 6222:2003	cfu/mL
Najvjerovatniji broj koliformnih bakterija	MPN	BAS ISO 9308-2:2004	MPN/100mL
Najvjerovatniji broj termotolerantnih bakterija	MPN	ISO 9308-2:2004	MPN/100mL
Najvjerovatniji broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla	MPN	ISO 9308-2:2004	MPN/100mL
Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> i koliformnih bakterija ((37°C/48h)	membranska filtracija	BAS ISO 9308-1:2003	cfu/100mL
Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> i koliformnih bakterija (44°C/24h)	membranska filtracija	BAS ISO 9308-1:2003	cfu/100mL
Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka	membranska filtracija	BAS ISO 7899-2:2003	cfu/100mL
Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	membranska filtracija	BAS EN ISO 16 266:2009	cfu/100mL
Izolacija i određivanje brojnosti sulfito-redukujućih klostridija	membranska filtracija	BAS EN 26461-2:2003	cfu/100mL
Određivanje prisustva <i>Proteus</i> vrsta	iz kolimetrije	Voda za piće, NIP Privredni pregled, 1990	prisutno/odsutno

5.4. Statističke metode obrade podataka

Deskriptivna statistička analiza je upotrebljena za kvantitativno (numeričko) opisivanje podataka (Slika 45) radi početnog opisivanja podataka i sagledavanja njihovog međusobnog odnosa. Univarijantna analiza je urađena da bi se utvrdila raspodela promenljivih uključujući centralnu tendenciju i disperziju.

Centralna tendencija je težnja ka okupljanju podataka skupa oko jedne centralne vrednosti, koja je opšta i reprezentativna za celu distribuciju. U centralnu tendenciju spadaju:

- **Aritmetička srednja vrednost** (\bar{x}) ili samo srednja vrednost. Ponaša se kao "ravnotežna tačka" u skupu, a nedostatak joj je što na njenu vrednost utiču ekstremne vrednosti (eng. outliers). Aritmetička sredina predstavlja prosečnu vrednost nekog kontinuiranog niza brojeva.
- **Medijana** (Me) je vrednost koja deli statistički skup, u kome su podaci uređeni po veličini, na dva jednaka dela. Ako statistički niz ima neparan broj onda je medijana srednja vrednost srednja dva broja.
- **Modus** (Mo) je najčešća vrednost koja se pojavljuje u jednom setu brojeva. Na modus ne utiču ekstremne vrednosti. U skupu može biti jedan ili više modusa ali je isto tako moguće da u jednom statističkom skupu ne može uopšte da se odredi modus.



Slika 45. Numeričko opisivanje podataka

(<https://www.docsity.com/sr/deskriptivne-velicine-sljadovi-statistika-medicina/389500>)

Mere odstupanja ili mere disperzije (varijacija) pokazuju oko koje vrednosti se grupišu članovi serije i ne daju informaciju o odstupanju pojedinih članova skupa od srednje vrednosti, kao ni o međusobnom odstupanju tih članova. U mere disperzije spadaju:

- **Standardna devijacija (Sd)** se računa da bi se videlo kako su pojedinačne vrednosti raspoređene oko srednje vrednosti. U tu svrhu standardna devijacija ima istu dimenziju kao i srednja vrednost.

- **Koeficijent varijacije (K_v)**. Standardna devijacija ima istu dimenziju kao i članovi statističkog skupa za koje se izračunava, pa se zato pomoću standardne devijacije ne može vršiti upoređivanje dve ili više statističkih populacija, koje imaju različite dimenzije. Za takvo upoređivanje se koristi koeficijent varijacije, koji je izražen u procentima, a izračunava se prema izrazu:

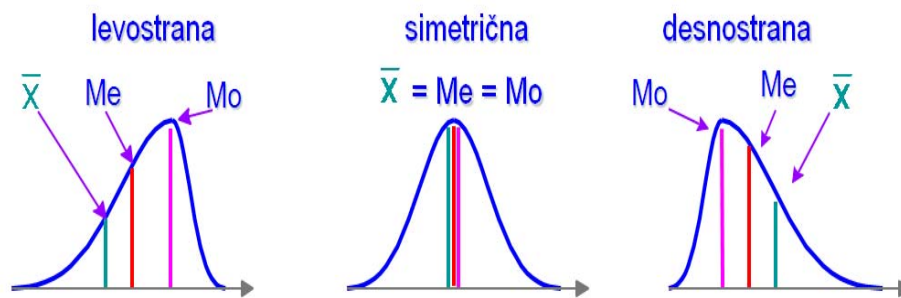
$$K_v = \frac{S_d}{\bar{x}} \cdot 100$$

gde je:

\bar{x} - srednja vrednost

S_d - standardna devijacija

Asimetrija raspodele (Slika 46) pokazuje kako su podaci distribuirani (zakrivljenost i zašiljenost, odnosno spljoštenost). Asimetrična distribucija je onaj tip distribucije u kome se aritmetička sredina ne poklapa sa vrhom distribucije. Distribucija može biti asimetrična u dva smera: ona može biti iskrivljena u desno (pozitivna asimetrija) ili može biti iskrivljena u levo (negativna asimetrija). Najgori mogući slučaj asimetrične distribucije jeste ukoliko je ona nakrivljena istovremeno i u lijevo i u desno - ona ima dva vrha. Kada aritmetička sredina, modus i medijana imaju istu vrednost onda je reč o normalnoj (simetričnoj) distribuciji.



Slika 46. Načini distribuiranja podataka

(<https://www.doccity.com/sr/deskriptivne-velicine-sljadovi-statistika-medicina/389500>)

Pored toga je urađena i intervalna procena srednje vrednosti koji se izražava kao:

$$\bar{x} \pm \frac{3 \cdot S_d}{\sqrt{n}}$$

gde je:

\bar{x} - srednja vrednost

S_d - standardna devijacija

n - broj merenja

Deskriptivna statistička analiza urađena je uz pomoć *Microsoft Excel 2007* softvera.

Kvalitet vode se procenjuje hemijskom analizom velikog broja parametara. Grafička i numerička tumačenja su osnovni način u hidrohemijским studijima i koriste se kao sredstva za predstavljanje kvaliteta vode. Značajan broj tehnika i metoda su na raspolaganju za klasifikaciju, poređenje i sumiranje velike količine podataka, na osnovu razlike u fizičkim i hemijskim svojstvima vode. Ove tehnike uključuju upoređivanje rezultata hemijskih analiza, primenom grafikona, i još mnoge druge, opsežne statističke analize.

Principi grafičkih i numeričkih interpretacija hemijske analize vode se temelji na odnosu jona, ili grupe jona, formirajući hemijsku vrstu vode. Jedan grafikon neće dati sve

informacije, kao što su koncentracija jona, poređenja proporcija jona, klasifikacija tipova vode, identifikacija mešovitenih voda različitog sastava, identifikacije nekih od hemijskih procesa koji se mogu odvijati u podzemnim vodama, odnosno odnosa hemijskog sastava vode i tipa stena. Izbor prezentacije zavisi od očekivane upotrebe i vrste i kvaliteta analitičkih podataka. Izazov mnogih istraživanja u kojima se radi sa velikim brojem podataka upravo je identifikovanje i grupisanje elemenata u manje grupe na osnovu neke povezanosti (Otto, 1999).

Procena stanja kvaliteta voda zahteva praćenje širokog spektra fizičkih, hemijskih i bioloških parametara. Stoga je za procenu kvaliteta vode potrebna kompleksna matrica podataka (Adamu i sar., 2011). Klasifikacija, modelovanje i tumačenje podataka monitoringa predstavljaju najvažnije korake u postupku procene kvaliteta vode. Poseban problem kod monitoringa kvaliteta vode je kompleksnost povezana sa analizom velikog broja varijabli i visoka varijabilnost usled antropogenih i prirodnih uticaja (Boyacioglu i Boyacioglu, 2007). Primena različitih **multivarijacionih tehnika** pomaže u interpretaciji kompleksnih matrica podataka u cilju boljeg razumevanja stanja kvaliteta vode ispitivanog područja. Ove multivarijacione statističke metode se koriste za karakterizaciju i evaluaciju kvaliteta vode vodnih tela i predstavljaju koristan alat za utvrđivanje međuzavisnosti merenih parametara, vremenskih i sezonskih varijacija vrednosti parametara usled prirodnih i antropogenih pritisaka.

U ovom radu su primenom multivarijacionih statističkih analiza:

- analiza glavnih komponenti (eng. Principal Component Analysis - PCA) i
- faktor analiza (eng. Factor Analysis - FA)

obrađeni rezultati analiza podzemnih voda na teritoriji opštine Laktaši. Na osnovu dobijenih rezultata statističke analize mogu se identifikovati glavni faktori koji imaju uticaj na ekološki status i ekološki potencijal vodnih tela i unaprediti postojeća mreža monitoringa i zaštite izvorišta.

Analiza glavnih komponenti (PCA) je matematički postupak koji vrši ortogonalnu transformaciju eventualno korelisanih podataka u skup linearno nekorelisanih promenljivih koje se nazivaju glavne komponente. Faktorske koordinate se dobijaju na osnovu linearnih transformacija originalnih promenljivih, tako da prvih nekoliko osnovnih komponenti sadrže veći deo varijabilnosti originalnog seta podataka. Transformacija je definisana tako da prva glavna komponenta ima najveću moguću varijansu (odnosno najveću moguću varijabilnost podataka), a svaka naredna komponenta zauzvrat ima najveću moguću varijansu pod uslovom da bude ortogonalna (tj. u korelaciji) u odnosu na prethodne komponente. Najjednostavnija vrsta PCA deli kovarijansne (odnosno korelacione) matrice na tzv. svojstvene vrednosti (eng. eigenvalues), obično posle centriranja srednjih vrednosti (i normalizacije) matrica za svaku promenljivu. Sopstvena vrednost meri količinu varijacije koja je opisana pomoću faktorskih koordinata, pri čemu najveći uticaj ima prva osnovna komponenta, a svaka sledeća manji. Sopstvena vrednost veća od 1 ukazuje da PCA uračunava više varijansi nego originalne promenljive, tako da se obično za tumačenje koriste samo te faktorske koordinate. Rezultati PCA analize se obično tumače na osnovu doprinosa (engl. score) promenljivih u komponentama. PCA je najzastupljenija multivarijaciona analiza koja otkriva međusobni odnos podataka na način koji najbolje objašnjava njihovu varijansu (Abdi, 2010).

Analiza glavnih komponenti (PCA) ima sposobnost da prepoznaje i eliminiše suvišne podatke iz eksperimentalnih rezultata. Primenom analize glavnih komponenti redukuje se veliki broj raspoloživih podataka, a kao rezultat se dobija različiti broj novih promenljivih tzv. glavne komponente (eng. principal components - PC). Glavna komponenta je u stvari linearna kombinacija originalnih promenljivih. Druga glavna komponenta, PC2, ne korelira se sa PC1, a predstavlja maksimalni udeo od rezidualnih promenljivih. Na istom principu se formiraju i ostale glavne komponente, sve dok se ukupna varijansa ne izračuna. U praktičnom radu obično je dovoljno zadržati samo

nekoliko glavnih komponenti, čiji zbir obuhvata veliki procenat ukupne promenljive (Vastag i sar., 2013).

Faktor analiza koristi se za opis međusobne zavisnosti velikog broja promenljivih korištenjem manjeg broja osnovnih, ali neopažljivih slučajnih promenljivih povezanih kao faktori. Ova metoda takođe se koristi za redukciju velikog broja podataka, ali i za otkrivanje strukture povezanosti među promenjivim (varijable), odnosno za njihovu klasifikaciju (Vandeginste i sar., 1998). 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 verovatnost da su podaci pod uticajem istih faktora, dok su relativno nekorelisani podaci pod uticajem različitih faktora, što je i aksiom faktorske analize (Adamu i Aris, 2011, Boyacioglu i Boyacioglu, 2007).

Analiza glavnih komponenti i faktor analiza rađene su primenom softverskog programa *Statistica* (StatSoft Inc., USA; verzija 13.0 za Windows).

6. REZULTATI I DISKUSIJA

6.1. Rezultati analize kvaliteta podzemnih voda ispitivanih bunara

Kompletni rezultati analiza podzemne vode, prikupljeni u periodu od maja 2012. do aprila 2013. godine su dati u Prilogu u Tabelama I, II i III. Pored određivanja *in situ* parametara (temperatura vode, elektroprovodljivost i pH, kao i miris i ukus), uzimani su trenutni uzorci za analizu sedamdest i dva fizičko-hemijska parametra u laboratoriji. U Prilogu su u Tabelama V i VI dati rezultati analize vode reke Vrbas na profilu u Klašnicama i Razboju Ljevčanskom. U Prilogu, u Tabelama VII, VIII i IX su prikazani kompletni rezultati mikrobiološke analize uzoraka podzemne vode, a u Tabeli X rezultati mikrobiološke analize vode reke Vrbas na profilu Klašnice.

Tabelarno prikazani podaci daju samo opštu informaciju o prirodi skupa. Da bi se uočile sve karakteristike jednog statističkog skupa i da bi se utvrdile sve karakteristike u nastajanju promena u tom skupu, potrebno je da se ti podaci kondenzuju u takve oblike koji će omogućiti njihovu lakšu analizu. Zbog toga je u ovom radu urađena deskriptivna statistika i u Tabelama 21, 22 i 23 su prikazani: maksimalna, minimalna i srednja vrednosti pojedinih parametara, njihova medijana, modus, zakrivljenost, standardna devijacija, koeficijent varijacije i intervalna procena srednje vrednosti, za sva tri izvorišta.

Upoređivanjem rezultata prikazanih u Tabelama 21, 22 i 23 se može videti da su srednje vrednosti većine parametara na izvorištu u Maglajanima i Kriškovcima veoma bliske, a izvorište u Laktašima se u najvećem broju slučajeva razlikuje od ova dva izvorišta po srednjim vrednostima parametara. Takođe, maksimalne i minimalne vrednosti su za većinu parametara na izvorištu u Maglajanima i Kriškovcima veoma bliske, a izvorište u Laktašima se u najvećem broju slučajeva razlikuje od ova dva izvorišta. Iz Tabela 21, 22 i 23 se može videti da za većinu parametara imamo asimetričnu raspodelu podataka sa desnostranom zakrivljenošću, odnosno da je srednja vrednost veća od medijane i modusa, i da normalnu raspodelu imamo samo u slučajevima kada su svi ili većina rezultata u periodu merenja bili ispod granice detekcije. U nekim slučajevima imamo asimetričnu raspodelu podataka sa levostranom zakrivljenošću. Dakle, može se zaključiti da većina parametara u periodu merenja ima velika variranja merenih vrednosti. Takođe se iz tabela može videti da u većini slučajeva nema modusa, odnosno da se za dosta parametara u toku merenja nisu ponavljale iste očitane vrednosti, ako se izuzmu parametri koji su u toku perioda merenja bili uvek ispod granice detekcije metode merenja.

Rezultati analiza fizičko-hemijskih parametara su upoređeni sa MDK propisanim Pravilnikom (2003), lista III-a, IV i VI. Od ukupno 1632 merenja ovih parametara, 26 merenja ne zadovoljava vrednosti date Pravilnikom (2003). Od ovih 26 merenja 15 merenja je u vodi sa izvorišta Kriškovci, 7 sa izvorišta Maglajani i 4 sa izvorišta Laktaši. Odstupanja od vrednosti date Pravilnikom (2003) javila su se kod mutnoće, nitrita, mangana, ulja i masti.

Tabela 21. Parametri deskriptivne statistike za izvorište Kriškovci

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Temperatura vode	°C		16,0	9,2	12,78	12,60	12,2	desnostrana	1,596	12,49	12,78±1,38
pH	pH	6,8-8,5	8,0	7,1	7,53	7,56	/	levostrana	0,261	3,46	7,53±0,23
Elektroprovodljivost	µS/cm	1000	706,0	524,0	640,7	648,5	677	levostrana	57,31	8,94	640,7±49,63
Boja	°PtCo	5	<5,0	<5,0	<5,0	5,00	<5	simetrična	0	0	0
Utrošak KMnO4	mg/L	8	4,7	2,5	3,60	3,66	2,94	desnostrana	0,779	21,65	3,60±0,68
TOC	mg/L		2,41	0,84	1,43	1,30	1,42	levostrana	0,464	32,38	1,43±0,42
DOC	mg/L		1,97	0,64	1,19	1,22	/	desnostrana	0,396	33,25	1,19±0,36
Mutnoća	NTU	1	3,0	0,1	0,443	0,20	0,20	desnostrana	0,816	184,31	0,443±0,706
Ukupne čvrste materije	mg/L		523,0	393,0	438,4	428,0	440	levostrana	47,65	10,87	438,4±50,5
Ostatak posle žarenja	mg/L		417,0	320,0	364,7	363,0	/	desnostrana	36,99	10,14	364,7±41,9
Gubitak žarenjem	mg/L		160,0	33,0	99,14	73,00	/	desnostrana	89,579	51,36	99,14±101,57
Suspendovane materije	mg/L		5,0	<1,0	1,86	1,00	<1,0	desnostrana	1,468	79,07	1,86±1,67
Alkalitet	mg/L		306,0	286,0	294,7	294,0	294	desnostrana	6,46	2,19	294,7±5,85
Ukupna tvrdoća	mg/L		448,0	316,0	349,1	348,0	/	desnostrana	37,65	10,79	349,1±34,1
Bikarbonati	mg/L		373,0	349,0	359,5	359,0	359,0	desnostrana	7,84	2,18	359,0±7,09
Hloridi	mg/L	200	55,7	4,0	19,08	16,68	/	desnostrana	13,47	70,61	19,08±11,67
Sulfidi	mg/L	bez	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	<0,04	simetrična	0	0,00	0
Sulfati	mg/L	250	41,38	18,81	30,37	31,48	/	desnostrana	8,36	27,53	30,37±7,56
Nitriti	mg/L	0,03	0,039	0,016	0,028	0,03	0,026	simetrična	0,005	19,41	0,028±0,005
Nitrati	mg/L	50	27,9	8,8	15,08	12,33	/	desnostrana	6,843	39,90	15,08±5,93
Orto fosfati	mg/L	0,15	0,05	0,01	0,035	0,04	0,038	simetrična	0,012	35,01	0,035±0,011
Ukupni fosfor	mg/L		0,09	0,03	0,050	0,05	/	simetrična	0,016	32,51	0,050±0,015
Amonijak	mg/L	0,1	0,07	<0,012	0,031	0,02	<0,012	desnostrana	0,022	70,52	0,031±0,019
Kalcijum	mg/L	200	137,0	94,4	121,4	122,0	122	levostrana	11,15	9,19	121,4±10,09
Magnezijum	mg/L	50	25,8	4,8	11,47	8,60	/	desnostrana	7,09	61,78	11,47±6,41
Kalijum	mg/L	12	3,7	0,95	2,37	2,32	/	desnostrana	0,849	35,77	2,37±0,81
Natrijum	mg/L	150	10,7	5,9	8,88	9,14	/	levostrana	1,601	18,02	8,88±1,52
Gvožđe	mg/L	0,3	0,05	<0,03	0,033	0,03	<0,03	desnostrana	0,007	21,75	0,033±0,006
Mangan	mg/L	0,05	0,86	0,38	0,669	0,80	0,82	levostrana	0,172	24,55	0,669±0,149
Aluminijum	µg/L	200	138,0	5,11	40,12	13,35	/	desnostrana	46,446	115,78	40,12±42,01
Arsen	µg/L	10	1,19	<0,23	0,481	0,37	<0,23	desnostrana	0,321	66,82	0,481±0,278
Cink	µg/L	3000	36,75	5,78	20,0	15,41	/	desnostrana	19,24	47,93	20,0±17,40
Nikl	µg/L	20	9,07	0,50	3,31	2,78	/	desnostrana	2,393	72,35	3,31±2,07
Kadmijum	µg/L	3	0,64	<0,03	0,133	0,03	<0,03	desnostrana	0,204	153,15	0,133±0,177
Hrom	µg/L	50	5,53	<1,00	1,38	1,00	1,0	desnostrana	1,306	94,48	1,38±1,13
Olovo	µg/L	10	3,33	0,18	1,08	0,95	/	desnostrana	0,838	77,74	1,08±0,73
Bakar	µg/L	2000	7,120	0,600	3,73	3,92	/	desnostrana	2,037	54,68	3,73±1,76
Živa	µg/L	1	0,070	<0,040	0,045	0,04	<0,04	desnostrana	0,012	27,22	0,045±0,015

Nastavak **Tabela 21**. Parametri deskriptivne statistike za izvorište Kriškovci

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Ulja i masti	mg/L	0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10	<0,1	simetrična	0	0	0
Deterdženti	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	simetrična	0	0	0
Benzo(b)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0	0
Benzo(k)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0	0
Benzo(a)piren	µg/L	0,01	<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0	0
Benzo(ghi)perilen	µg/L		0,006	<0,001	0,002	0,001	<0,001	desnostrana	0,002	98,83	0,002±0,002
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L		0,020	<0,001	0,008	0,004	<0,001	desnostrana	0,008	94,52	0,008±0,008
Antracen	µg/L		<0,013	<0,013	<0,013	0,013	<0,013	simetrična	0	0	0
Hrizen	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,010	<0,01	simetrična	0	0	0
di-Benzo(ah) antracen	µg/L		0,017	<0,012	0,013	0,012	<0,012	desnostrana	0,002	14,00	0,013±0,002
Acenaftilen	µg/L		0,348	<0,010	0,069	0,010	<0,010	desnostrana	0,121	174,03	0,069±0,128
Piren	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0,00	0
Benzo(a) Antracen	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0,00	0
Fenantren	µg/L		0,017	<0,010	0,011	0,010	<0,010	desnostrana	0,002	24,05	0,011±0,003
Fluoren	µg/L		0,023	<0,012	0,014	0,012	<0,012	desnostrana	0,004	28,75	0,014±0,004
2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
2,2',3,4',4',5,5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
2,2',4,4',5,5' heptahlorobifenil	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
2,2',5,5'-tetrahlorobifenil	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
2,4,4'-trihlorobifenil	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
α-BHC	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
γ-BHC- Linda	µg/L	0,2	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
β – BHC	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Aldrin	µg/L	0,03	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Dieldrin	µg/L	0,03	<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Endrin	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Heptahlor	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Endosulfan I	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
δ-BHC	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
4,4'-DDE	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
4,4'-DDD	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Endosulfan II	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
4,4'-DDT	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Endrin aldehid	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Endosulfan sulfat	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0
Metoksihlor	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,01	<0,010	simetrična	0	0	0

Tabela 22. Parametri deskriptivne statistike za izvorište Maglajani

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Temperatura vode	°C		15,1	10,4	13,2	13,45	11	desnostrana	1,580	12,01	13,2±1,368
pH	pH	6,8-8,5	8,25	7,14	7,57	7,61	7,62	levostrana	0,306	4,04	7,57±0,265
Elektroprovodljivost	µS/cm	1000	728	560	658	663,5	/	levostrana	45,259	6,88	658±39,196
Boja	°PtCo	5	<5,0	<5,0	<5,0	5	<5	simetrična	0	0	0
Utrošak KMnO4	mg/L	8	4,24	1,58	2,58	2,34	1,58	desnostrana	0,948	36,81	2,58±0,821
TOC	mg/L		2,22	<0,35	0,80	0,6	<0,35	desnostrana	0,554	69,36	0,8±0,501
DOC	mg/L		1,49	<0,35	0,56	0,45	<0,35	desnostrana	0,344	61,25	0,56±0,311
Mutnoća	NTU	1	3,07	<0,05	1,31	0,97	/	desnostrana	1,02	78,22	1,31±0,884
Ukupne čvrste materije	mg/L		570	425	474	449,5	/	desnostrana	53,3	11,26	474±56,6
Ostatak posle žarenja	mg/L		442	329	367	358	/	desnostrana	38,3	10,45	367±43,5
Gubitak žarenjem	mg/L		207	50	101	86	/	desnostrana	52,7	52,40	101±59,8
Suspendovane materije	mg/L		5,8	<1,0	2,6	2,6	2,6	simetrična	1,637	62,96	2,6±1,856
Alkalitet	mg/L		339	308	319	317	317	desnostrana	10,403	3,26	319±9,41
Ukupna tvrdoća	mg/L		405	348	371	369	/	desnostrana	17,7	4,78	371±16,05
Bikarbonati	mg/L		414	376	389,5	387	387	desnostrana	387	12,80	389,5±11,6
Hloridi	mg/L	200	28,5	1,84	9,9	8,345	3,74	desnostrana	7,36	74,07	9,9±6,37
Sulfidi	mg/L	bez	<0,04	<0,04	0,04	0,04	<0,04	simetrična	0,000	0	0,04±0
Sulfati	mg/L	250	44,99	4,77	25,77	27,15	/	levostrana	9,58	37,16	25,77±8,66
Nitriti	mg/L	0,03	0,086	<0,007	0,014	0,007	<0,007	desnostrana	0,023	164,41	0,014±0,02
Nitrati	mg/L	50	30	9,93	19,2	19,79	20,8	levostrana	5,50	28,70	19,2±4,767
Orto fosfati	mg/L	0,15	0,024	<0,003	0,007	0,005	<0,003	desnostrana	0,006	87,80	0,007±0,006
Ukupni fosfor	mg/L		0,034	<0,003	0,014	0,013	0,013	desnostrana	0,009	62,05	0,014±0,008
Amonijak	mg/L	0,1	0,05	<0,012	0,020	0,013	<0,012	desnostrana	0,013	64,06	0,02±0,011
Kalcijum	mg/L	200	131	114	120	118	118	desnostrana	5,08	4,24	120±4,596
Magnezijum	mg/L	50	20,5	13,6	17,6	18,4	/	levostrana	2,36	13,40	17,6±2,135
Kalijum	mg/L	12	2,64	0,58	1,34	1,135	/	desnostrana	0,621	46,38	1,34±0,589
Natrijum	mg/L	150	6,93	4,14	5,46	5,26	/	desnostrana	0,953	17,47	5,46±0,904
Gvožđe	mg/L	0,3	0,08	0,017	0,04	0,03	<0,03	desnostrana	0,017	48,06	0,04±0,015
Mangan	mg/L	0,05	0,03	0,006	0,02	0,01	<0,01	desnostrana	0,009	63,52	0,02±0,008
Aluminijum	µg/L	200	60,2	2,6	18,31	10,52	/	desnostrana	18,31	100,03	18,31±16,57
Arsen	µg/L	10	0,67	<0,23	0,30	0,23	<0,23	desnostrana	0,135	45,88	0,3±0,117
Cink	µg/L	3000	36,5	5,38	18,12	18,07	/	desnostrana	307,7	52,74	109,03±278,3
Nikl	µg/L	20	6,93	0,52	2,11	1,05	/	desnostrana	2,255	106,73	2,11±1,953
Kadmijum	µg/L	3	0,13	<0,03	0,04	0,03	<0,03	desnostrana	0,029	75,31	0,04±0,025
Hrom	µg/L	50	2,07	<1,00	1,46	1,46	<1,0	desnostrana	0,377	25,87	1,46±0,327
Olovo	µg/L	10	4,31	<0,05	1,13	0,86	/	desnostrana	1,152	102,42	1,13±0,998
Bakar	µg/L	2000	5,4	0,7	3,55	3,71	3,82	levostrana	1,370	38,64	3,55±1,187
Živa	µg/L	1	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	<0,04	simetrična	0	0	0

Nastavak Tabela 22. Parametri deskriptivne statistike za izvorište Maglajani

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Ulja i masti	mg/L	0,10	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	simetrična	0	0	0
Deterdženti	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	simetrična	0	0	0
Benzo(b)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0	0
Benzo(k)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0	0
Benzo(a)piren	µg/L	0,01	<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0	0
Benzo(ghi)perilen	µg/L		0,002	<0,001	0,001	0,001	<0,001	simetrična	0,0004	37,27	0,001±0,001
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L		0,012	<0,001	0,006	0,004	/	levostrana	0,005	84,82	0,006±0,007
Antracen	µg/L		<0,013	<0,013	<0,013	0,013	<0,013	simetrična	0	0	0
Hrizen	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,010	<0,010	simetrična	0	0	0
di-Benzo(ah) antracen	µg/L		0,02	<0,012	0,014	0,012	<0,012	desnostrana	0,004	26,31	0,014±0,005
Acenaftilen	µg/L		0,048	<0,012	0,019	0,012	/	desnostrana	0,016	87,03	0,019±0,022
Piren	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0	0
Benzo(a) Antracen	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0	0
Fenantren	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,010	<0,010	simetrična	0	0	0
Fluoren	µg/L		0,023	<0,012	0,014	0,012	<0,012	desnostrana	0,005	34,64	0,014±0,007
2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
2,2',3,4',4',5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
2,2',4,4',5,5' heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
2,2',5,5'- tetrahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
2,4,4'- trihlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
α-BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
γ-BHC- Linda	µg/L	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
β – BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Aldrin	µg/L	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Dieldrin	µg/L	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endrin	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Heptahlor	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan I	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
δ-BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDE	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDD	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan II	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDT	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endrin aldehid	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan sulfat	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Metoksihlor	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0

Tabela 23. Parametri deskriptivne statistike za izvorište Laktaši

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Temperatura vode	°C		19,2	11,5	15,8	16,4	/	levostrana	2,69	17,03	15,8±2,33
pH	pH	6,8-8,5	8,05	7,06	7,5	7,40	7,39	desnostrana	0,252	3,38	7,5±0,219
Elektroprovodljivost	µS/cm	1000	866	694	820,8	834,5	866	levostrana	51,5	6,27	820,8±44,6
Boja	°PtCo	5	<5,0	<5,0	<5,0	5	<5	simetrična	0	0	0
Utrošak KMnO4	mg/L	8	4,34	1,58	2,64	2,58	1,58	desnostrana	0,862	32,69	2,64±0,746
TOC	mg/L		2,02	<0,35	0,72	0,52	<0,35	desnostrana	0,517	71,57	0,72±0,467
DOC	mg/L		1,32	<0,35	0,53	0,35	<0,35	desnostrana	0,302	57,28	0,53±0,273
Mutnoća	NTU	1	1,6	0,06	0,45	0,29	0,5	desnostrana	0,427	95,06	0,45±0,37
Ukupne čvrste materije	mg/L		692	501	563	552,5	/	desnostrana	63,4	11,26	563±67,2
Ostatak posle žarenja	mg/L		461	310	410	417	417	levostrana	50,2	12,25	410±56,9
Gubitak žarenjem	mg/L		235	51	149,7	169	/	levostrana	78,0	52,11	149,7±88,5
Suspendovane materije	mg/L		5,8	<1,0	3,2	2,4	2,4	desnostrana	1,60	57,94	3,2±1,82
Alkalitet	mg/L		418	384	405,5	408,0	408	levostrana	10,25	2,53	405,5±9,27
Ukupna tvrdoća	mg/L		454	409	432	432	438	levostrana	14,27	3,31	432±12,91
Bikarbonati	mg/L		510	468	495,7	498,0	498,0	levostrana	13,31	2,69	495,7±12,04
Hloridi	mg/L	200	44,3	4,11	15,8	14,19	/	desnostrana	10,57	67,01	15,8±9,15
Sulfidi	mg/L	bez	<0,04	<0,04	<0,04	0,04	<0,04	simetrična	0	0	0
Sulfati	mg/L	250	41,7	19,63	26,29	25,3	/	desnostrana	8,39	24,50	26,29±5,98
Nitriti	mg/L	0,03	0,013	<0,007	0,008	0,007	<0,007	desnostrana	0,002	23,09	0,008±0,002
Nitrati	mg/L	50	16,59	4,64	10,14	9,79	/	desnostrana	3,19	31,41	10,14±2,76
Orto fosfati	mg/L	0,15	0,035	0,003	0,018	0,019	0,019	levostrana	0,009	58,76	0,018±0,008
Ukupni fosfor	mg/L		0,046	0,011	0,025	0,024	0,024	desnostrana	0,009	37,87	0,025±0,008
Amonijak	mg/L	0,1	0,1	<0,012	0,033	0,025	<0,012	desnostrana	0,026	80,58	0,033±0,023
Kalcijum	mg/L	200	138	132	134	134,4	133	simetrična	1,85	1,38	134±1,68
Magnezijum	mg/L	50	28,9	17,8	23,5	24,5	24,8	levostrana	3,84	16,34	23,5±3,47
Kalijum	mg/L	12	4,69	1,52	2,64	2,335	/	desnostrana	0,948	35,98	2,64±0,9
Natrijum	mg/L	150	16,59	11,18	13,12	12,55	/	desnostrana	1,76	13,42	13,12±1,67
Gvožđe	mg/L	0,3	0,07	<0,03	0,03	0,03	<0,03	simetrična	0,012	37,89	0,03±0,01
Mangan	mg/L	0,05	0,06	<0,01	0,02	0,01	<0,01	desnostrana	0,015	88,33	0,02±0,013
Aluminijum	µg/L	200	45	1,66	17,10	16,4	/	desnostrana	11,94	69,83	17,1±10,8
Arsen	µg/L	10	1,63	<0,23	0,48	0,23	<0,23	desnostrana	0,424	88,67	0,48±0,367
Cink	µg/L	3000	33,2	3,08	16,21	14,13	/	desnostrana	7,50	46,25	16,21±6,78
Nikl	µg/L	20	6,08	0,35	1,613	0,76	0,66	desnostrana	1,8811	116,66	1,61±1,63
Kadmijum	µg/L	3	0,51	<0,03	0,083	0,03	0,03	desnostrana	0,1385	166,15	0,09±0,119
Hrom	µg/L	50	6,08	<1,00	2,164	1,86	/	desnostrana	1,3358	61,72	2,16±1,16
Olovo	µg/L	10	4,86	<0,05	1,562	1,495	/	desnostrana	1,2271	78,58	1,56±1,06
Bakar	µg/L	2000	11,34	2,69	5,299	5,12	/	desnostrana	2,1080	39,78	5,3±1,83
Živa	µg/L	1	0,42	<0,04	0,103	0,04	0,04	desnostrana	0,1551	150,13	0,1±0,19

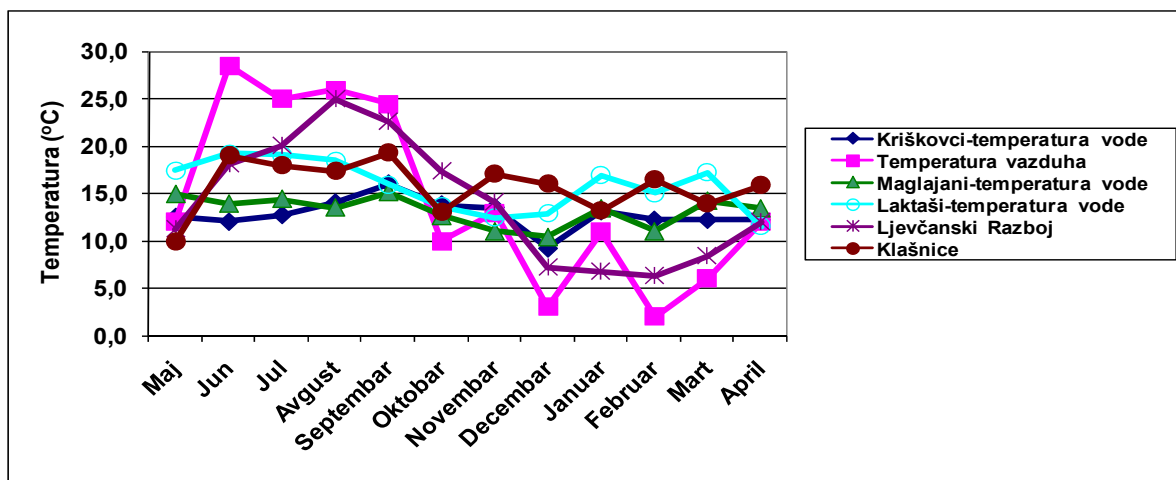
Nastavak **Tabela 23.** Parametri deskriptivne statistike za izvorište Laktaši

Parametar	Jedinica	Pravilnik (2006)	Maksimalna vrednost	Minimalna vrednost	Srednja vrednost	Medijana	Modus	Zakrivljenost	Standardna devijacija	Koeficijent varijacije (%)	Intervalna procena srednje vrednosti
Ulja i masti	mg/L	0,10	0,24	<0,1	0,14	0,1	<0,1	desnostrana	0,063	45,18	0,14±0,077
Deterdženti	mg/L	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	simetrična	0	0	0
Benzo(b)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0,000	0
Benzo(k)fluoranten	µg/L		<0,008	<0,008	<0,008	0,008	<0,008	simetrična	0	0,00	0
Benzo(a)piren	µg/L	0,01	0,016	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0,0004	2,94	0,015±0,001
Benzo(ghi)perilen	µg/L		0,003	<0,001	0,002	0,001	<0,001	desnostrana	0,0009	55,90	0,002±0,001
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L		0,027	<0,001	<0,008	0,004	<0,001	desnostrana	0,0110	144,62	0,008±0,015
Antracen	µg/L		<0,013	<0,013	<0,013	0,013	<0,013	simetrična	0	0,00	0
Hrizen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,010	0,010	<0,01	simetrična	0	0,00	0
di-Benzo(ah) antracen	µg/L		<0,012	<0,012	<0,012	0,012	<0,012	simetrična	0	0,00	0
Acenaftilen	µg/L		<0,01	<0,01	<0,010	0,010	<0,01	simetrična	0	0,00	0
Piren	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0,00	0
Benzo(a) Antracen	µg/L		<0,015	<0,015	<0,015	0,015	<0,015	simetrična	0	0,00	0
Fenantren	µg/L		<0,010	<0,010	<0,010	0,010	<0,010	simetrična	0	0,00	0
Fluoren	µg/L		0,015	<0,012	0,013	0,012	<0,012	desnostrana	0,0013	10,19	0,013±0,002
2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0,00	0
2,2',3,4',4',5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0,00	0
2,2',4,4',5,5'-heptahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0,00	0
2,2',5,5'-tetrahlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0,00	0
2,4,4'-trihlorobifenil	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0,00	0
α-BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
γ-BHC- Linda	µg/L	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
β - BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Aldrin	µg/L	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Dieldrin	µg/L	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endrin	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Heptahlor	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan I	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
δ-BHC	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDE	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDD	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan II	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
4,4'-DDT	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endrin aldehid	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Endosulfan sulfat	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0
Metoksihlor	µg/L		<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	simetrična	0	0	0

6.2 Fizičko-hemijski parametri vode za piće

U Pravilniku (2003), u listi VI date su MDK (maksimalno dozvoljene koncentracije) koje se odnose na *in situ* parametre: temperaturu vode, elektroprovodljivost i pH, kao i za miris i ukus. Na svim izvorištima u periodu praćenja, analizirani su ovi *in situ* parametri i oni zadovoljavaju kriterijume propisane listom VI navedenog Pravilnika (2003). Takođe, na sva tri izvorišta voda je bez ukusa (određivanje rađeno nakon dezinfekcije). Na sva tri izvorišta voda je bez mirisa pre dezinfekcije, a nakon dezinfekcije je prisutan miris na hlor.

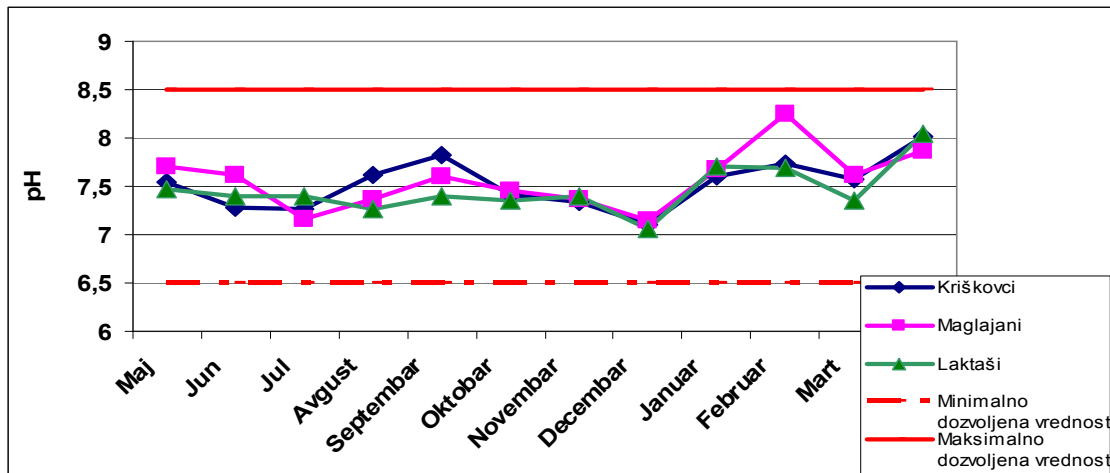
Izvorišta vode imaju relativno konstantnu temperaturu, sa minimalnim varijacijama. Ovakvo male varijacije ukazuju na relativno dobru fizičku zaštićenost izvorišta vode, sa zatvorenim podzemnim rezervoarima, povezanim sa izvorom podzemnog porekla ili dubokim površinskim rezervoarom (Dalmacija i Agbaba, 2006). Na slici 47 se može videti da temperature vode izvorišta sa teritorije opštine Laktaši imaju male varijacije u zavisnosti od sezonskih promena. Najmanju varijaciju temperature vode sa sezonskim promenama ima izvorište u Maglajanima gde se temperatura vode kreće od 10,4°C u decembru mesecu do 15,1°C u septembru mesecu (Sd 1,58°C). Takođe na izvorištu u Kriškovcima je izmerena najniža temperatura vode u decembru mesecu (9,2°C) i najveća u septembru mesecu (16,0°C) (Sd 1,60°C), tako da se na osnovu ovog parametra može zaključiti da su ova dva izvorišta fizički zaštićena od sezonskih promena temperature. Najveće varijacije temperature su zabeležene na izvorištu u Laktašima koje je ujedno i izvorište sa najvećom temperaturom što može ukazivati na blisku vezu ovog izvorišta sa površinom. Na izvorištu u Laktašima najniža temperatura vode je zabeležena u aprilu mesecu i iznosila je 11,5°C a najveća u junu mesecu (19,2°C) (Sd 2,69°C).



Slika 47. Prikaz temperature vode izvorišta i sezonske promene temperature vazduha

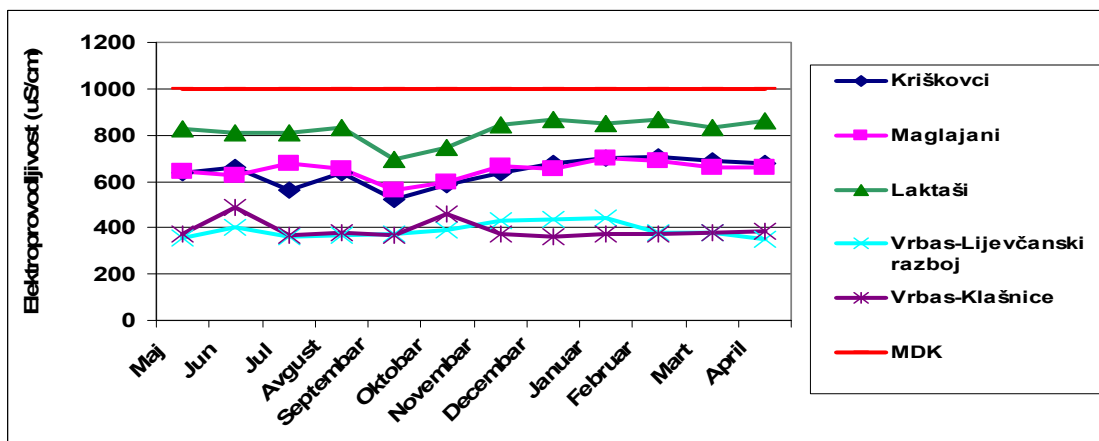
Iako pH obično nema direktan uticaj na potrošače vode, to je jedan od najvažnijih operativnih parametara kvaliteta vode. pH se u vodama u ovom istraživanju kreće od 7,05-8,25 pa se može reći da su to neutralne, do blago alkalne vode. Po WHO (2011) nema zdravstveno-bazirane preporučene vrednosti predložene za pH. US EPA (2009) propisuje optimalni pH u rasponu 6,5-8,5, a Direktive Evropske Unije (Council Directive, 1998) 6,5-9,5. Po Pravilniku (2003) pH vrednost treba da bude u rasponu od 6,8-8,5. Prema tome, pH vrednost na ispitivanim izvorištima, u svim uzorcima vode je unutar ovih granica. Najniža pH vrednost je izmerena u decembru mesecu na izvorištu Laktaši, a najveća u februaru mesecu u Maglajanima. Sa Slike 48 i iz Tabela 21, 22 i 23 (Sd(Kriškovci)=0,261; Sd(Maglajani)=0,306; Sd(Laktaši)=0,252), se može videti da pH vrednost sva tri izvorišta

nije podložna većoj varijaciji i da se uočavaju slične promene pH na svim izvorištima u većini merenja. Dakle, javlja se pad pH vrednosti na sva tri izvorišta u decembru i martu mesecu i porast pH vrednosti u septembru i aprilu mesecu, a u vodi izvorišta Maglajani je zabeleženo i značajno povećanje pH vrednosti u februaru.



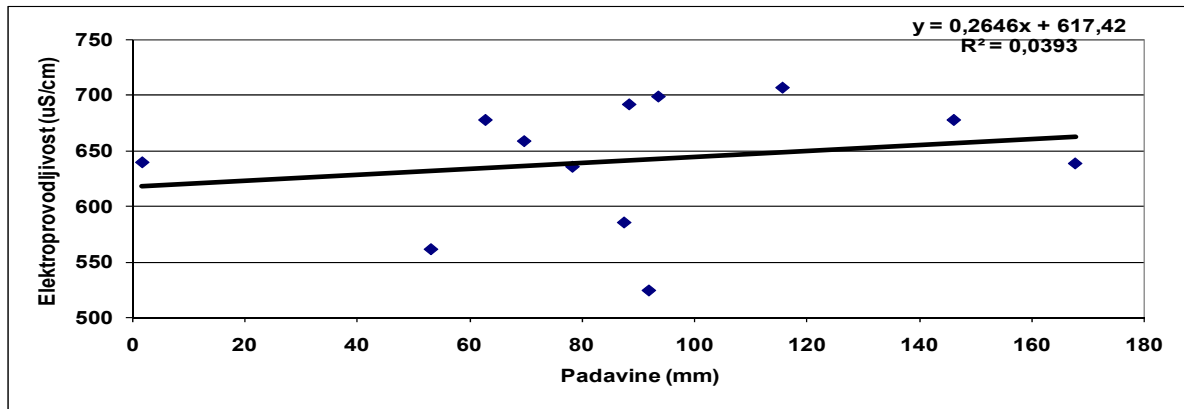
Slika 48. Promene pH vrednosti vode na izvorištima u toku perioda merenja

Povećana **provodljivost** može biti indikator problema sa mineralizacijom ili slanošću vode, što može uticati na fizička svojstva poput boje, ukusa i mirisa (Detay, 1997). Voda sa elektroprovodljivošću ispod 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se smatra prikladnom za piće (Pravilnik, 2003), odnosno sa elektroprovodljivošću ispod 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ po Direktivi Evropske Unije (Council Directive, 1998). Elektroprovodljivost kao mera sadržaja mineralnih materija progresivno raste u vodama prilikom velikih kiša i doticaja vode druge vrste (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Svi analizirani uzorci podzemnih voda istraživanog područja su srednje mineralizovani. Elektroprovodljivost im se kreće u rasponu od 524 do 866 $\mu\text{S}/\text{cm}$, što znači da su u skladu sa zahtevima Pravilnika (2003). Sa Slike 49 se može videti da je nakon sušnog perioda u avgustu mesecu (Slika 23) u septembru došlo do naglog pada elektroprovodljivosti na sva tri izvorišta, a da je nakon toga došlo do rasta vrednosti elektroprovodljivosti i zatim ustaljivanja ove vrednosti.

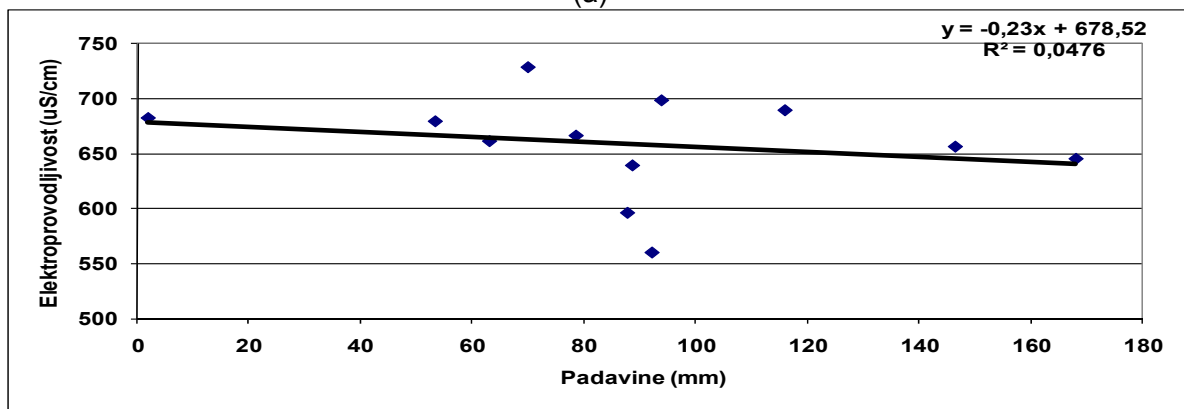


Slika 49. Promene vrednosti elektroprovodljivosti vode na izvorištima i vode reke Vrbas u toku perioda merenja

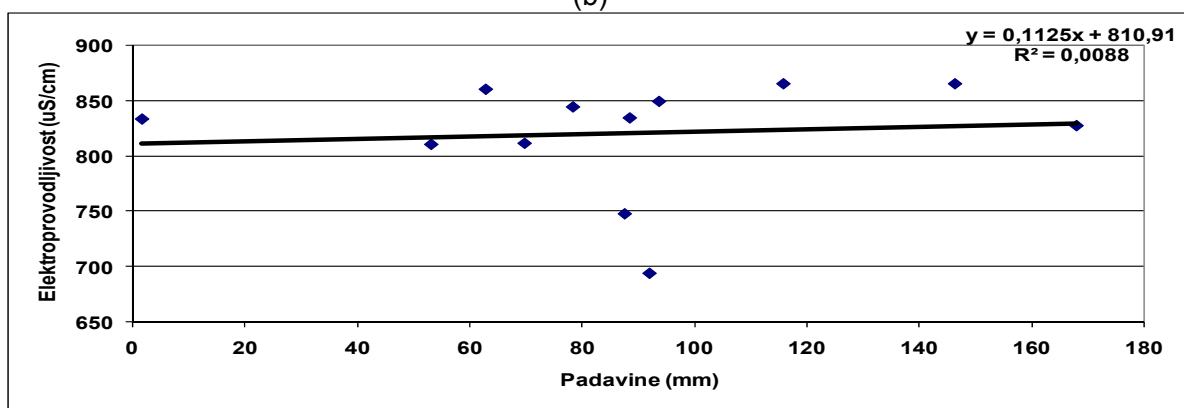
Sa Slike 49 se vidi da je provodljivost vode Vrbasa, kao što se i očekuje za rečnu vodu, manja od provodljivosti vode na izvorištima i da se provodljivost reke Vrbas menja drugačije u odnosu na podzemne vode, jer je u direktnom kontaktu sa dešavanjima na površini. Količina padavina u ispitivanom periodu nije u korelaciji sa elektroprovodljivošću podzemnih voda (Slika 50). Međutim, sa Slika 51 i 52 se vidi da protok i vodostaj reke Vrbas u Klačnicama pokazuje izvesnu korelaciju sa vrednostima elektroprovodljivosti vode na izvorištima Kriškovci, Maglajani i Laktaški. To se slaže sa pretpostavkom da se vode izvorišta u određenoj meri prihranjuju vodom reke Vrbas.



(a)

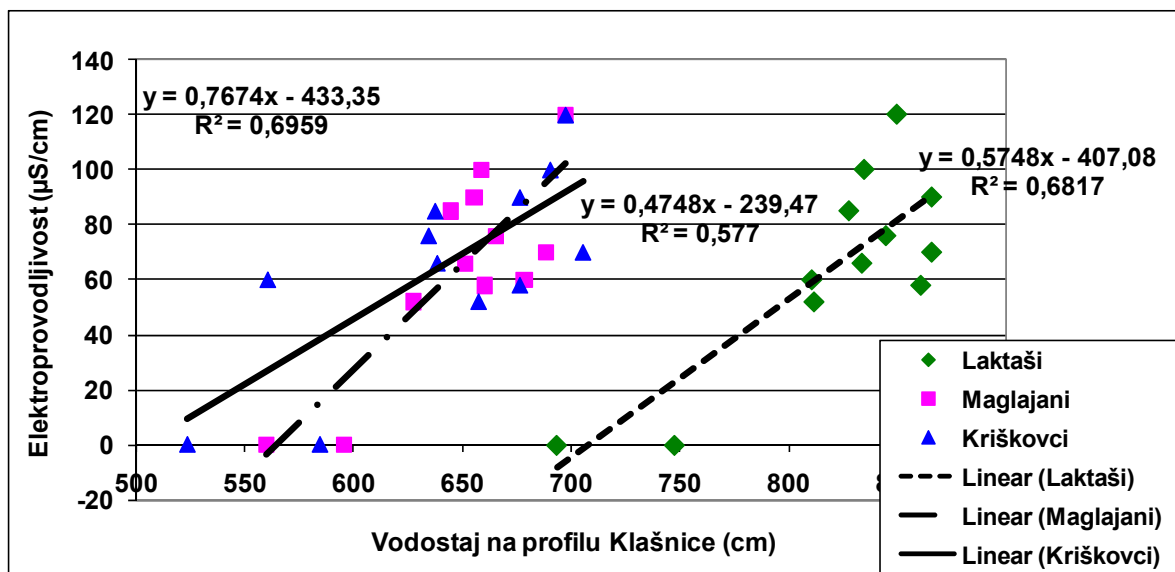


(b)

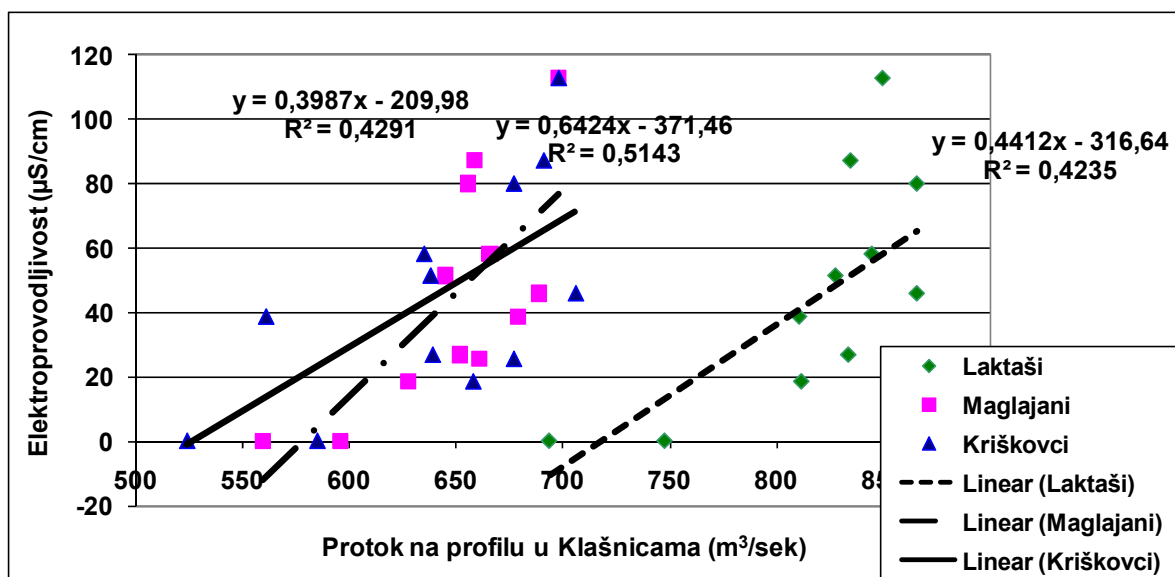


(c)

Slika 50. Uticaj količine padavina na vrednost elektroprovodljivosti vode na izvorištima
a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši



Slika 51. Zavisnost vrednosti elektroprovodljivosti na izvorištima Kriškovci, Maglajani i Laktaši od vodostaja reke Vrbas u Klašnicama

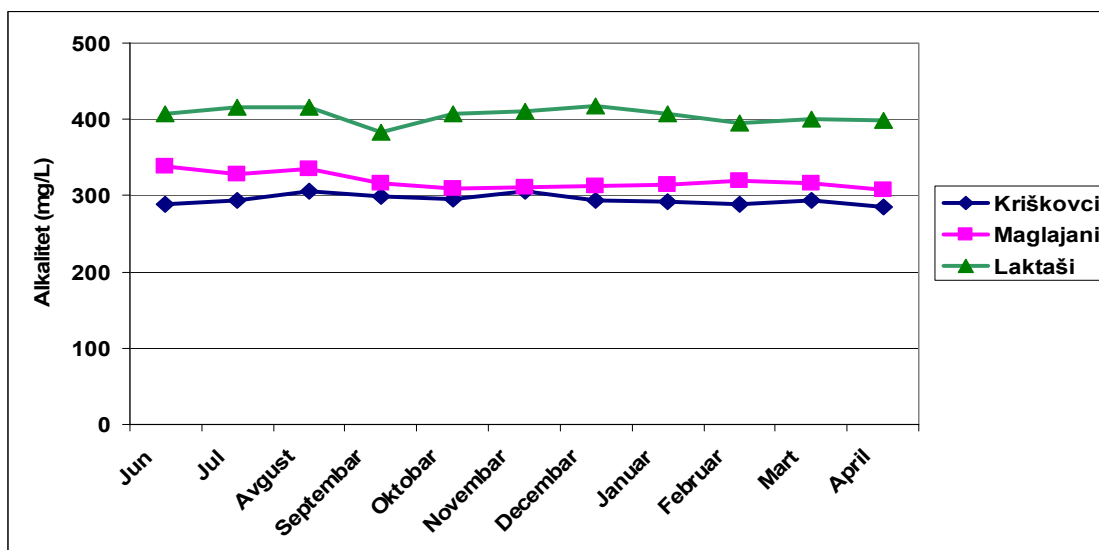


Slika 52. Zavisnost vrednosti elektroprovodljivosti na izvorištima Kriškovci, Maglajani i Laktaši od protoka reke Vrbas u Klašnicama

Pored parametara merenih in situ, u laboratoriji su u sklopu fizičko-hemijskih parametara još određeni: boja, alkalitet, ukupna tvrdoća vode, ukupne rastvorljive materije, gubitak žarenjem, ostatak nakon žarenja, suspendovane materije i mutnoća.

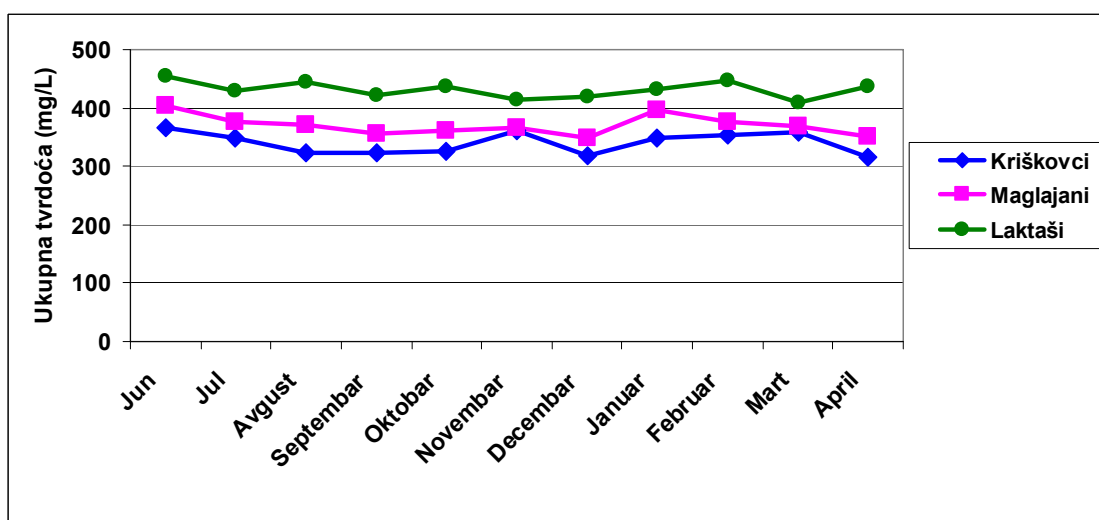
Vode sa sva tri izvorišta su imale vrednost ispod granice detekcije za **boju** (<5.0 $^{\circ}\text{PtCo}$), odnosno nisu bile obojene.

Vrednosti za **alkalitet vode** (Slika 53) su imale male varijacije tokom perioda merenja. Izvorište u Laktašima je imalo veće vrednosti alkaliteta od preostala dva izvorišta. Vrednost alkaliteta nije definisana regulativom, ali kao i pH vrednost ima značaj sa tehničko-tehnološkog aspekta obrade i primene vode.



Slika 53. Alkalitet vode na izvorištima tokom perioda merenja

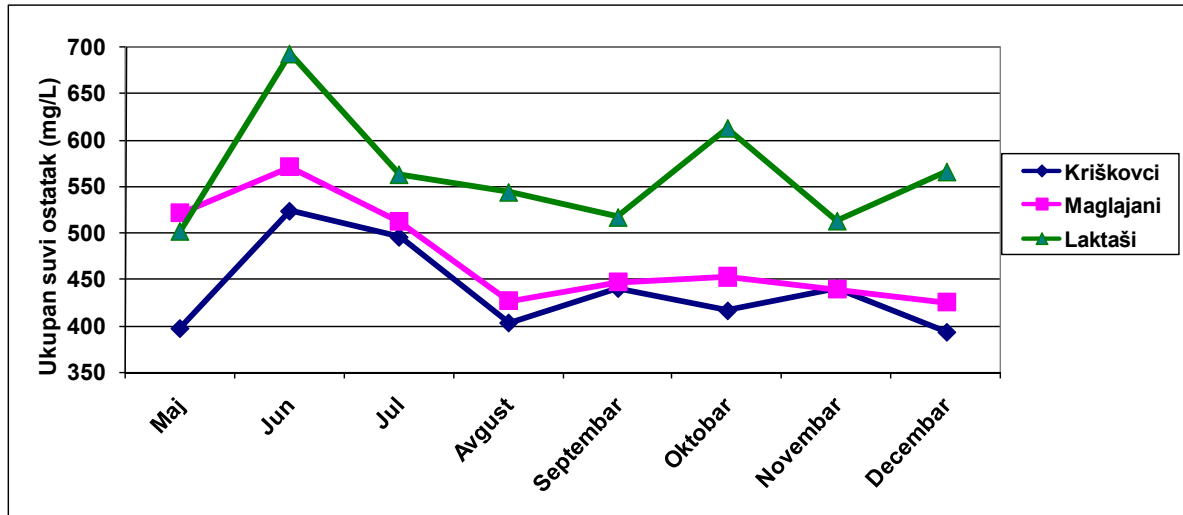
Sa Slike 54, na kojoj su predstavljene izmerene **tvrdooe vode** tri izvorišta, se opaža da vode sa sva tri izvorišta spadaju u veoma tvrde vode (veoma tvrda voda ima izračunatu vrednosti tvrdoće >300 mgCaCO₃/L (Dalmacija i Agbaba, 2006)). Tvrdoća vode je manje podložna sezonskim varijacijama u izvorištima Maglajani i Laktaši (K_v=4,78 i 3,31%, respektivno), dok su u izvorištu Kriškovci varijacije nešto veće (K_v=10,79%). Najveću tvrdoću vode ima izvorište u Laktašima. Najveća tvrdoća vode je izmerena u junu mesecu na izvorištu u Laktašima i iznosila je 454 mgCaCO₃/L, a najniža u aprilu mesecu na izvorištu Kriškovci 316 mgCaCO₃/L.



Slika 54. Variranje vrednosti tvrdoće vode na izvorištima u toku perioda merenja

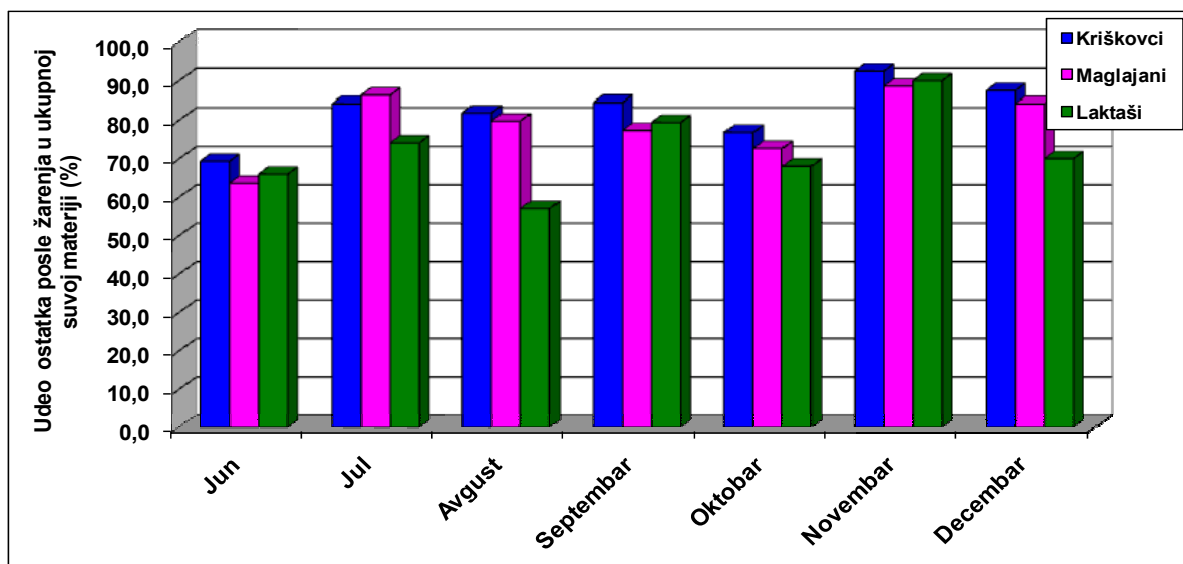
U uzorcima vode su određeni i **ukupni suvi ostatak** na 105°C i **gubitak žarenjem** na 550°C. Vode sva tri izvorišta (Slika 55) mogu se svrstati u vodu dobrog kvaliteta, jer se voda za piće svrstava u vodu dobrog kvaliteta kad je vrednost suvog ostatka 300-600 mg/L (Dalmacija, 2000). Voda sa izvorišta u Laktašima ima vrednosti suvog ostatka koje su veće od druga dva izvorišta, a u nekim mesecima spada u vodu dovoljnog kvaliteta. Udeo soli

tvrdiće vode u suvom ostatku je nešto manji u vodi izvorišta Laktaši (prosečno 0,76), zatim u vodi iz Maglajana (prosečno 0,78) i najveći u vodi izvorišta Kriškovci (prosečno 0,82). Pravilnikom (2003) nisu propisane MDK vrednosti za ukupni suvi ostatak i gubitak žarenjem.



Slika 55. Sadržaj suvog ostatka vode na izvorištima u toku perioda merenja

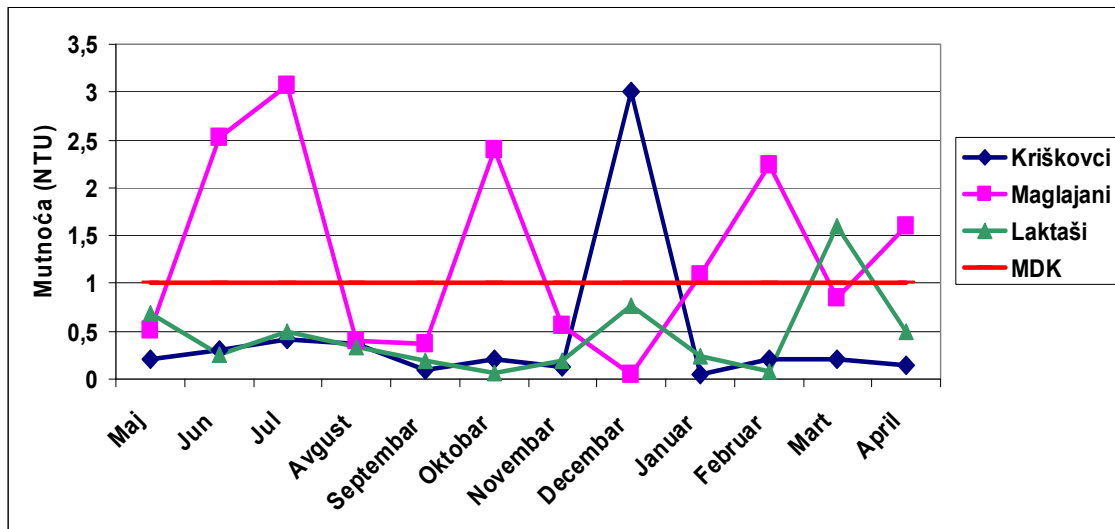
Na Slici 56 je predstavljen procenat ostatka posle žarenja (pepela) u ukupnoj suvoj materiji za sva tri izvorišta. Sa Slike 56 se vidi da je udeo pepela u ukupnoj suvoj materiji uglavnom sličan kod sva tri izvorišta. Najveća razlika između tri izvorišta je primećena u avgustu. Takođe se sa Slike 56 može videti da ovaj procenat varira tokom godine, što se i očekuje jer na izvorištima varira sadržaj i organske i neorganske materije. Udeo ostatka posle žarenja (pepela) u ukupnoj suvoj materiji, u ispitivanim uzorcima se kreće od 57,1% (u Laktašima u avgustu mesecu), do 92,5% (u Kriškovcima u novembru mesecu).



Slika 56. Udeo ostatka posle žarenja (pepela) u ukupnoj suvoj materiji

Od ukupno 36 merenja **mutnoće vode**, osam merenja (22,2%) ne zadovoljava

kriterijum propisan Pravilnikom (2003) od 1 NTU. Najveća vrednost od 3,07 NTU zabeležena je 30.07.2012. u vodi izvorišta Maglajani. Od osam merenja kod kojih je utvrđena povećana mutnoća, šest je u uzorcima sa izvorišta Maglajani (Slika 57). Dakle, od ukupno 12 merenja na izvorištu Maglajani, čak 6 (50%) ne zadovoljava ove kriterijume. Na izvorištu Kriškovci samo jedno merenje u decembru mesecu, kada je i zabeležena i najveća količina padavina, nije zadovoljavalo date kriterijume i iznosilo je 3,01 NTU, kao i jedno merenje na izvorištu Laktaši u martu mesecu (1,60 NTU).



Slika 57. Vrednosti mutnoće vode na izvorištima u toku perioda ispitivanja

Mutnoća vode je uzrokovana prisustvom suspendovanih materija, kao što su glina, mulj, i fine čestice organske i neorganske materije, različitih mikroskopskih organizama. Mutnoću izazivaju čestice prečnika preko 100 nm. Visoke vrednosti mutnoće su neprihvatljive ne samo iz estetskih, nego i drugih razloga. Gline ili druge inertne suspendovane čestice u vodi za piće ne mogu negativno uticati na zdravlje, ali mogu izazvati potrebu za dodatnim tretmanom i zaštiti patogene od dejstva sredstava za dezinfekciju. Korelacije između mutnoće i suspendovanih materija na sva tri izvorišta su loše a dati parametri koreliraju najbolje na izvorištu u Maglajanima (Kriškovci $R^2=0,0329$; Maglajani $R^2=0,4099$ i Laktaši $R^2=0,0002$).

Ukoliko mutnoća potiče od koloidno rastvorenih organskih materija, to može negativno uticati na efikasnost dezinfekcije vode jer će se deo sredstva za dezinfekciju trošiti na oksidaciju organske materije. Sa druge strane, organska materija može predstavljati hranu za mikroorganizme i povećavati mikrobiološku nestabilnost vode. Korelacije između mutnoće i organske materije (izražene kao ukupni organski ugljenik TOC i rastvoreni organski ugljenik DOC) na sva tri izvorišta su loše (Kriškovci TOC $R^2=0,141$, DOC $R^2=0,169$; Maglajani TOC $R^2=0,106$, DOC $R^2=0,092$ i Laktaši TOC $R^2=0,121$, DOC $R^2=0,083$).

Do pojave mutnoće vode može dovesti samo jako veliki broj mikroorganizama u vodi, što u ispitivanim izvorištima svakako nije slučaj, međutim mutna voda predstavlja jako dobru sredinu za preživljavanje mikroorganizama. Zbog toga su na datim izvorištima rađeni i mikrobiološki parametri i to četiri puta u toku godine: u maju, junu, julu i avgustu mesecu. Mikrobiološki parametri su određivani u sirovoj vodi, pre nego se ona podvrgne dezinfekciji pomoću hlora (Prilog Tabele VII-IX).

Na izvorištu Laktaši je u maju detektovano 2 cfu/100ml *Pseudomonas aeruginosa*, u junu 3 cfu/100ml i avgustu mesecu 1 cfu/100ml i sulfito-redukujućih klostridija u maju

mesecu 9 cfu/100ml. Dakle u maju mesecu su na ovom izvoru detektovani *Pseudomonas aeruginosa*, sulfito-redukujuće klostridije i povišena vrednost mutnoće.

Na izvoru Kriškovci, koje je najmanje dubine, je u maju mesecu detektovano 740 cfu/100ml aerobnih heterotrofa na $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ u toku 44 ± 4 h. Takođe, na ovom izvoru je u julu mesecu detektovano 22 cfu/100ml, a u avgustu mesecu 75 cfu/100ml *Escherichia coli* i koliformnih bakterija, intestinalne (fekalne) streptokoke su detektovane u avgustu mesecu 36 cfu/100ml, sulfito-redukujuće klostridije su detektovane u maju mesecu 6 cfu/100ml, a *Pseudomonas aeruginosa* je detektovan pri svakom određivanju (maj mesec - 43 cfu/100ml, jun mesec - 15 cfu/100ml, jul mesec - 1 cfu/100ml i avgust mesec - 23 cfu/100ml).

Na izvoru Maglajani, koje je najveće dubine, su u maju mesecu detektovani aerobni heterotrofi na $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ u toku 68 ± 4 h 501 cfu/100ml i aerobni heterotrofi na $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ u toku 44 ± 4 h 1200 cfu/100ml. *Pseudomonas aeruginosa* je na ovom izvoru detektovan pri svakom određivanju (maj mesec - 20 cfu/100ml, jun mesec - 23 cfu/100ml, jul mesec - 4 cfu/100ml i avgust mesec - 2 cfu/100ml).

Iz napred pomenutih rezultata mikrobiološke analize vode se može zaključiti da se *Pseudomonas aeruginosa* javlja na sva tri izvorišta u toku celog perioda merenja osim u julu mesecu na izvoru u Laktašima. Međutim *Pseudomonas aeruginosa* nije od posebnog značaja sa zdravstvenog aspekta pošto ingestija ove bakterije ne uzrokuje obolenje ljudi, ali može uticati na povećanje mutnoće vode i promene ukusa i mirisa vode (Dalmacija i Agbaba, 2006). Ovo prisustvo *Pseudomonas aeruginosa* se podudara sa variranjem mutnoće na izvorima. Najmanje variranja je zabeleženo na izvoru u Laktašima gde je i najmanji broj *Pseudomonas aeruginosa* bakterija nađen u periodu praćenja. *Pseudomonas* se dovodi u vezu sa stvaranjem biofilma u vodovodnoj mreži, tako da se može naslutiti da je njegovo poreklo možda biofilm u konstrukciji bunara, a ne sama voda.

Može se zaključiti da je izvoru u Laktašima sa zdravstvenog aspekta ispravno, dok je izvoru u Kriškovicima mikrobiološki u najlošijem stanju. Na izvoru u Maglajanima se u maju mesecu javlja veliki broj aerobnih heterotrofa i na $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ i na $36\pm 2^{\circ}\text{C}$, ali se može pretpostaviti da se najveći deo ovih mikroorganizama uklanja hlorisanjem. Takođe, u vodi ovog izvorišta nisu detektovane bakterije indikatori fekalnog zagađenja.

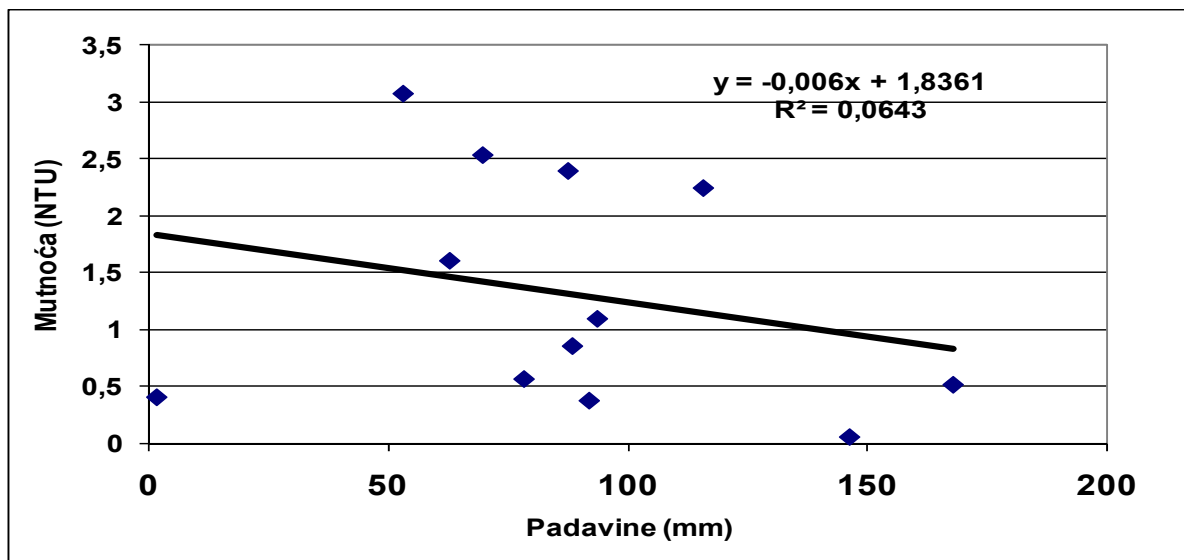
Na izvoru u Kriškovicima su detektovane *Escherichia coli* i streptokoke koji su indikator fekalnog zagađenja. Postoje tumačenja da ukoliko je odnos fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka manji od 4, tada je reč o animalnom (a ne ljudskom) fekalnom zagađenju (Dalmacija i Agbaba, 2006). Na izvoru u Kriškovicima tokom perioda merenja nisu detektovani fekalni koliformi, a fekalne streptokoke su detektovane u avgustu mesecu. Na osnovu svega gore pomenutog se može zaključiti da je izvoru u Kriškovicima pod uticajem fekalnog zagađenja životinjskog porekla. Može se osim toga primetiti da je veliki broj vrsta bakterija utvrđen u maju mesecu, koji je bio karakterističan po velikim padavinama (Slika 23), pa to može ukazati na vezu površine okolnog zemljišta i podzemnih voda. Međutim, u Tabeli X u Prilogu se može videti da mikrobiološki kvalitet vode na profilu Vrbasa u Klačnicama u toku merenja u julu i septembru mesecu tokom 2012. i u julu i avgustu 2013. godine u 87,5% slučajeva svrstavao Vrbasa u treću, četvrtu ili čak petu klasu vodotoka, prema Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka (2001). Dakle, može se zaključiti da je voda reke Vrbasa jako lošeg kvaliteta u mikrobiološkom smislu i da ovo može imati uticaj na kvalitet vode ispitivanih izvorišta.

Suspendovane materije i mutnoća kao rezultat prisustva suspendovanih materija nisu uobičajeno prisutne u podzemnim vodama. Podzemne vode iz pravilno izgrađenih bunara obično imaju vrlo nisku mutnoću (Nightingale i Bianchi, 1977). Pojavu mutnoće u podzemnoj vodi je proučavao Ramaswamy (1971) čija je studija, kao i studije koje su objavili Rausch i Curry (1963), i Kovenya i saradnici (1972), pokazala da se većina suspendovanih čestica zadržava na površini prihranjivanja i ne prodire do podzemne vode,

ali da neke koloidne čestice (posebno one sa promerom oko 0,1 - 1,0 mm) mogu prodreti do značajnih udaljenosti u porozne medije, kao što je zemljište. Stupanj prodiranja zavisi od veličine čestica, poroznosti medija, brzine protoka vode i koncentracije datih čestica.

Suspendovane materije su u vodi ispitivanih izvorišta određivane od juna do decembra meseca i u većini ispitivanja su imale vrednosti ispod 2,0 mg/L. Samo su u julu mesecu zabeležene nešto više vrednosti od 5,8 mg/L (Maglajani i Laktaši) što odgovara i najvećoj vrednosti za mutnoću na izvorištu u Maglajanima u julu mesecu. U julu mesecu je zabeležena i nešto povećana mutnoća u vodi izvorišta Laktaši, u odnosu na prethodne mesece, ali je bila ispod maksimalno dozvoljene vrednosti prema Pravilniku (2003). Međutim, u vodi izvorišta Kriškovci nije utvrđeno povećanje sadržaja suspendovanih čestica u decembru mesecu kada je izmerena vrlo visoka vrednost mutnoće vode. U decembru mesecu je bila povećana količina padavina što je moglo uticati na kvalitet vode ovog izvorišta koje je najmanje dubine od tri ispitivana, ali sa druge strane, još veća količina padavina je bila u maju mesecu, a to se nije očitavalo u povećanju mutnoće vode. Naprotiv, mutnoća vode je u maju bila vrlo niska, tako da se ne može sa sigurnošću tvrditi da padavine imaju uticaj na kvalitet vode izvorišta u Kriškovcima. Korelacije između mutnoće i suspendovanih materija na sva tri izvorišta su loše, a ovi parametri koreliraju najbolje na izvorištu u Maglajanima (Kriškovci $R^2=0,0329$; Maglajani $R^2=0,4099$ i Laktaši $R^2=0,0002$).

U mnogim studijama je prikazano da je vrednost mutnoće obično veća tokom kišne sezone što bi moglo biti povezano sa uticajem površinskih voda na podzemne vode. Takođe, nakon kiše varijacije u mutnoći podzemnih voda mogu biti pokazatelj kontaminacije površine (Sanjoy i Rakesh, 2013). U studiji koju su izveli Zamxaka i saradnici (2004) bilo je razlika u mutnoći vode s obzirom na vremenske uslove. Na izvorištu Maglajani, gde je mutnoća vode često bila veća od maksimalno dozvoljene vrednosti, nije utvrđen uticaj padavina na vrednost mutnoće (Slika 58).

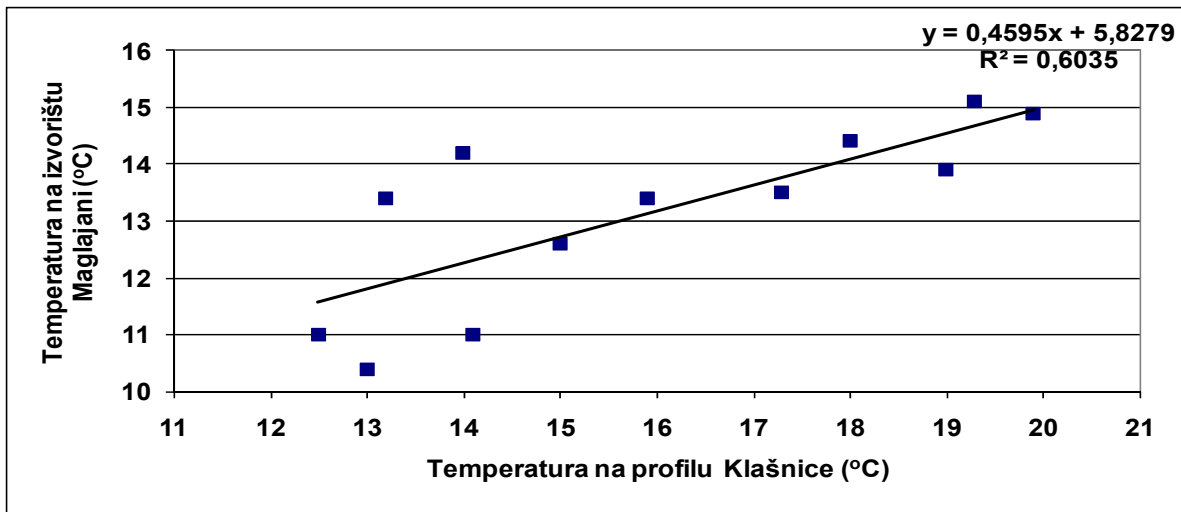


Slika 58. Uticaj količine padavina na vrednost mutnoće vode na izvorištu Maglajani

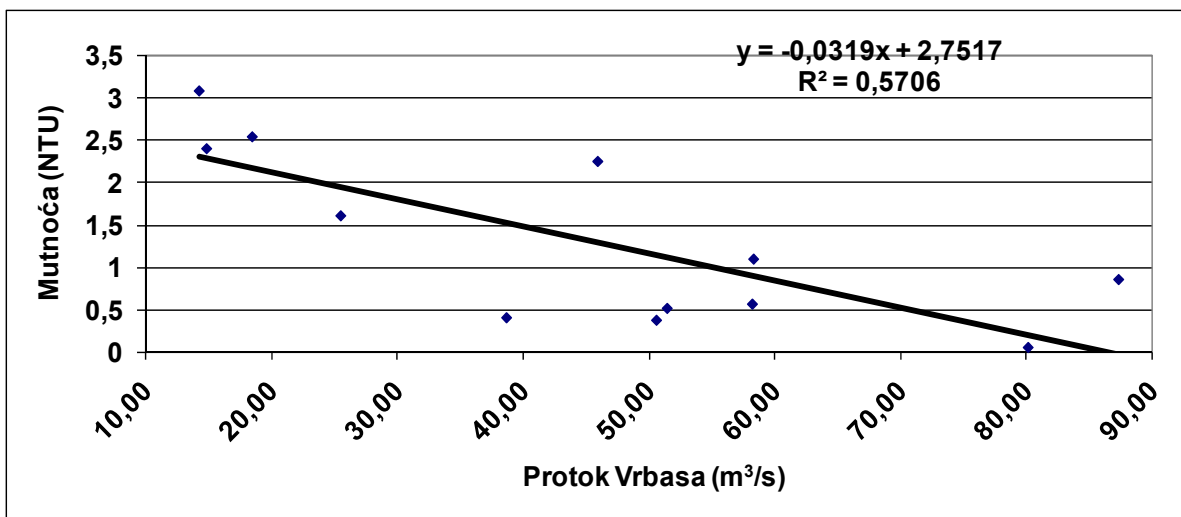
Geologija, ljudski faktor (tj. poljoprivreda ili urbani razvoj), topografija, vegetacija i padavine mogu znatno uticati na mutnoću površinskih voda. Mutnoća je obično visoka tokom oluje kao posledica erozije površine tla u reke (Zamxaka i sar., 2004). Na mutnoću vode u bunarima duž reka je uticaj ovih faktora smanjen, usled uticaja okoline prirodnog akvifera kao filtera. Ipak ako je bunar u blizini ili ispod reke ili jezera može doći do promene mutnoće vode u datom bunaru, usled uticaja vodnog tela. Međutim, bunar koji se nalazi na

značajnoj udaljenosti od površinskih voda se takođe može brzo zamutiti pod uticajem površinske vode zbog geoloških uslova koji pogoduju brzom transportu vode od reke do bunara. Osim toga, ako mutnoća ili temperatura podzemne vode rastu ili padaju kao i u reci, to može biti pokazatelj veze između površinske vode i bunara. Sa Slike 59 se može videti da temperatura vode reke Vrbas i temperatura vode izvorišta Maglajani imaju dobru korelaciju što ukazuje na vezu između ovog izvorišta i reke Vrbas. Dakle stepen do koje mere su vode u bunaru podložne promenama mutnoće su obično zavisne od toga koliko je bunar daleko od izvora površinskih voda i vrste zemljišta oko izdani.

U slučaju izvorišta Maglajani izraženija je zavisnost mutnoće vode na izvorištu i režima reke Vrbas (protoka i nivoa reke Vrbas – Slike 60 i 61, sledstveno), nego zavisnost mutnoće od količine padavina (Slika 58), što dodatno dokazuje uticaj reke Vrbas na ovo izvorište. Iako su bunari na izvorištu Maglajani dubine oko 30 metara, što je znatno dublje od bunara druga dva izvorišta, očigledno da je izvorište Maglajani povezano sa rečnom vodom Vrbasa sedimentima koji imaju veću vodopropusnost.

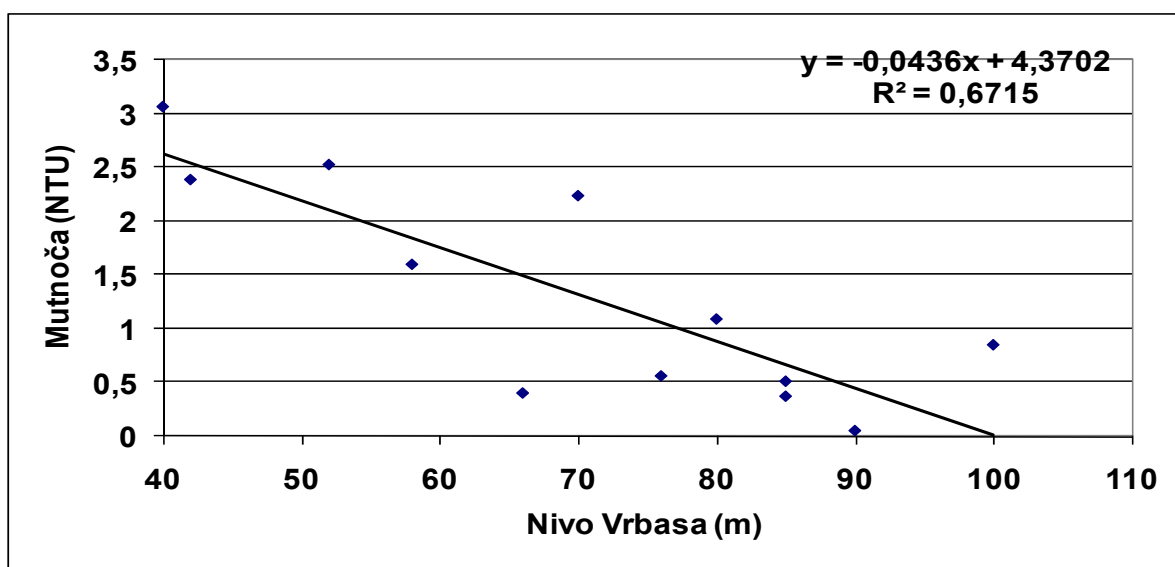


Slika 59. Korelacija između temperature vode na izvorištu u Maglajanima i reci Vrbas



Slika 60. Odnos mutnoće vode na izvorištu u Maglajanima i protoka reke Vrbas na profilu Klačnice

Reka Vrbas je planinska reka na čiji kvalitet antropogeni faktori imaju manje značajan i manje učestao uticaj, već su povećane vrednosti mutnoće vode u reci najčešće posledica velikih padavina, erozije zemljišta, spiranja sa poljoprivrednih površina (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Sa Slika 60 i 61 se može zaključiti da postoji izvesna korelacija između mutnoće vode na izvorištu u Maglajanima i protoka i nivoa Vrbasa na profilu Klašnice. U području opštine Laktaši korito reke Vrbas je usečeno u vodopropusne šljunkove deponovane kroz geološku istoriju od strane Vrbasa, te postoji direktna veza podzemne-površinske vode. Za slučaj minimalnih voda izdan Lijeve Polje se dominantno prihranjuje rečnom vodom Vrbasa, kanala Osorna i viših delova Jablanice i kanala Jurkovića, dok Sava i nizvodni dio Vrbasa (oko ušća u Savu) dreniraju izdan, a što je direktna posledica viših kota Osorne, Jurkoviće i uzvodnog toka Vrbasa u odnosu na Savu i nizvodni tok Vrbasa (Mineralne sirovine Republike Srpske, 2012).



Slika 61. Odnos mutnoće vode na izvorištu u Maglajanima i nivoa Vrbasa na profilu Klašnice

Sa Slika 24, 25 i 57 se može uočiti da postoji zavisnost između variranja nivoa i protoka Vrbasa i vrednosti izmerene mutnoće. Naime u mesecu junu, julu, oktobru, februaru i aprilu su zabeleženi niski vodostaji kao i niski protoci i u tim mesecima dolazi do povećanja vrednosti mutnoće na izvorištu Maglajani. U mesecima u kojima je protok visok kao i nivoi Vrbasa, očitane su niske vrednosti mutnoće na izvorištu u Maglajanima. Jedini izuzetak je januar mesec kada je zabeležen jedan od najvećih nivoa, ali je protok na profilu u Klašnicama nizak, a na izvorištu Maglajani se pojavljuje vrednost mutnoće od 1,09 NTU, koja nije mnogo veća od dozvoljene Pravilnikom (2003), koja iznosi 1 NTU.

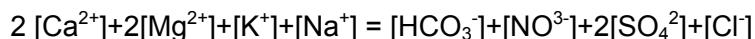
Kao što je pokazano u predhodom poglavlju količina padavina ima uticaj na protok i nivo Vrbasa i tim putem može imati indirektni uticaj i na kvalitet vode u ispitivanim izvorištima. Međutim iz analize elektroprovodljivosti (Slika 50) i mutnoće (Slika 58) se vidi da ne postoji direktna zavisnost između padavina i datih parametara na izvorištima.

6.3 Neorganski parametri kvaliteta vode

Devet glavnih hemijskih konstituenata (natrijum, kalijum, kalcijum, magnezijum, bikarbonati, hloridi, sulfati, nitrati i silicijum) čine 99% rastvorenog sadržaja u prirodnim podzemnim vodama. Udeo svakog od konstituenata i odgovarajućih pratećih elemenata u tragovima, oslikava preovlađujuće puteve pod-površinskog kretanja podzemne vode i hidrogeohemijsku evoluciju podzemne vode. Tip stena akvifera je takođe važan, pošto, na primer, kretanje podzemne vode kroz stene teče relativno brzo kroz spojeve i pukotine, a same stene generalno nisu posebno rastvorljive. Podzemna voda u oblastima njenog dopunavanja u vlažnim regionima će verovatno imati nizak sadržaj minerala, u poređenju sa sušnim ili polu-sušnim regijama gde će kombinacija koncentrisanja isparavanjem i sporije kretanje podzemne vode usloviti mnogo veće koncentracije. Povišene koncentracije specifičnih rastvoraka mogu se desiti pri određenim hidrogeološkim uslovima, kao što su visoke koncentracije sulfata usled izmene (raspada) nekih podzemnih stena ili rastvaranjem gipsa u sedimentacionoj oblasti, tvrdoće povezane sa karbonatnim stenama ili veze sa nekim tipovima geotermalne aktivnosti (Bečelić-Tomin i Dalmacija, 2015).

Za tačno razumevanje analize vode i za pravilnu ocenu i klasifikaciju vode potrebno je dobro poznavanje hemijskih procesa i analitičkih metoda, kao i promena koje su moguće u uzorku i posledica koje one imaju na rezultat, koji se zatim koristi za ocenu kvaliteta vode. Promene koje se mogu odvijati utičaće na rezultat, a moguće su u svim fazama analize, od uzorkovanja, pripreme uzorka, čuvanja uzorka i izvođenja analize. Provera tačnosti urađene analize izvodi se na osnovu kriterijuma prihvatljivosti kontrole kvaliteta. Za to postoji nekoliko načina. Jedan od njih je utvrđivanje ravnoteže katjona i anjona u vodi. Za svaku vodu važi da je elektroneutralna, odnosno:

$$\Sigma \text{ anjona} = \Sigma \text{ katjona}$$



Simboli u zagradama predstavljaju molarne koncentracije. Obe sume izražavaju se u meq/L. Koncentracija u meq/L se računa po sledećoj formuli:

$$\text{Koncentracija u meq/L} = \frac{\text{Koncentracija (mg/L) Valenca}}{\text{Molekulska masa}}$$

U Tabeli 24 definisani su kriterijumi prihvatljivosti za razlike koje se dobijaju (%) između zbira anjona i katjona (<http://www.lenntech.com/calculators/accuracy/accuracy-water-analysis.htm>).

Tabela 24. Kriterijumi prihvatljivosti za razlike koje se dobijaju između zbira anjona i katjona (<http://www.lenntech.com/calculators/accuracy/accuracy-water-analysis.htm>)

Σ anjona (meq/L)	Prihvatljive razlike
0 – 3,0	± 0,2 %
3,0 -10, 0	± 2 %
10 – 800	± 5 %

Za sva tri izvorišta su izračunate sume katjona i anjona korišćenjem kalkulatora na sajtu <http://www.lenntech.com/calculators/accuracy/accuracy-water-analysis.htm> i vrednosti su prikazane u Tabeli 25.

Tabela 25. Suma katjona i anjona i procenat razlike suma anjona i katjona za izvorište u a) Kriškovcima, b) Maglajanima i c) Laktašima

a)	Kriškovci			
	Srednja koncentracija (mg/l)	Molekulska masa	Valenca	meq/L
Kalcijum	121,44	40,1	2	6,06
Magnezijum	11,47	24,3	2	0,944
Natrijum	8,89	23,0	1	0,387
Kalijum	2,37	39,1	1	0,0606
Bikarbonati	359,57	61,0	1	5,89
Sulfati	30,37	96,1	2	0,631
Hloridi	19,078	35,5	1	0,537
Nitrati	15,079	62,0	1	0,243
Σ katjona	7,45			
Σ anjona	7,31			
Procenat razlike	0,979			

b)	Maglajani			
	Srednja koncentracija (mg/l)	Molekulska masa	Valenca	meq/L
Kalcijum	119,73	40,1	2	5,97
Magnezijum	17,62	24,3	2	1,45
Natrijum	5,46	23,0	1	0,237
Kalijum	1,34	39,1	1	0,0343
Bikarbonati	389,51	61,0	1	6,39
Sulfati	25,77	96,1	2	0,536
Hloridi	9,93	35,5	1	0,280
Nitrati	19,18	62,0	1	0,309
Σ katjona	7,70			
Σ anjona	7,51			
Procenat razlike	1,22			

c)	Laktaši			
	Srednja koncentracija (mg/l)	Molekulska masa	Valenca	meq/L
Kalcijum	134,4	40,1	2	6,71
Magnezijum	23,49	24,3	2	1,93
Natrijum	13,12	23,0	1	0,057
Kalijum	2,64	39,1	1	0,0675
Bikarbonati	497,77	61,0	1	8,11
Sulfati	26,99	96,1	2	0,561
Hloridi	15,77	35,5	1	0,444
Nitrati	10,14	62,0	1	0,164
Σ katjona	9,278			
Σ anjona	9,279			
Procenat razlike	0,0108			

Iz Tabele 25 se može videti da su procenti razlike sume katjona i anjona u zadovoljavajućim granicama i da je analiza vode ovih izvorišta izvedena sa dovoljno tačnosti. Procenat razlike se računa po formuli:

$$\text{Procenat razlike} = 100 \cdot \frac{\sum \text{katjona} - \sum \text{anjona}}{\sum \text{katjona} + \sum \text{anjona}}$$

6.3.1 Klasifikacija ispitivanih podzemnih voda

U članu 31 Pravilnika o higijenskoj ispravnosti vode za piće (2003), stoji da prema sadržaju karakterističnih sastojaka prirodna mineralna voda može biti: bikarbonatna (sadržaj bikarbonata veći od 600 mg/L), sulfatna (sadržaj sulfata veći od 200 mg/L), hloridna (sadržaj hlorida veći od 200 mg/L), kalcijumova (sadržaj kalcijuma veći od 150 mg/L), magnezijumova (sadržaj magnezijuma veći od 50 mg/L), gvožđevita (sadržaj gvožđa veći od 1 mg/L), fluoridna (sadržaj fluorida veći od 1 mg/L), natrijumova (sadržaj natrijuma veći od 200 mg/L) i kisela (sadržaj slobodnog ugljen-dioksida veći od 250 mg/L). U okviru ovog rada nisu vršene analize sadržaja fluorida i slobodnog ugljen-dioksida. Dakle sadržaj ostalih gore navedenih parametara je tokom svih merenja bio ispod vrednosti za prirodne mineralne vode što se može videti u Tabelama I, II i III, datim u Prilogu, iz čega je zaključeno da ove vode ne spadaju ni u jednu grupu prirodnih mineralnih voda, odnosno nisu vode posebnih karakteristika.

6.3.2 Korozivnost ispitivanih podzemnih voda

Za ispitivanje korozivnosti, stabilnosti vode i kao indikator taloženja ili rastvaranja CaCO_3 najčešće se primenjuje Langelier-ov indeks zasićenja (eng. Langelier stability index – LSI) (Milanović, 2006). U vodi u zavisnosti od koncentracije CaCO_3 postoje tri slučaja:

- tendencija vode da se taloži CaCO_3 (prezasićena),
- tendencija vode da se rastvori CaCO_3 (nezasićena),
- tendencija vode da bude u ravnoteži sa CaCO_3 .

Ovaj indeks razmatra vodu samo sa aspekta ravnoteže između koncentracija sledećih komponenata: karbonata, bikarbonata sa jedne strane i ugljene kiseline sa druge strane. Ostali parametri koji utiču na koroziju nisu uzeti u razmatranje i zato se ova metoda može koristiti za određivanje približnih vrednosti korozivnosti i stabilnosti vode.

Da bi se odredila stabilnost vode mora se odrediti nekoliko kvalitativnih karakteristika vode. Minimalni zahtevi koji se traže su pH vrednost, temperatura, elektroprodljivost, sadržaj bikarbonata i koncentracija kalcijuma.

Stabilnost vode računa se pomoću izraza:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

gde je:

pH - izmerena pH vrednost uzorka, a

pH_s - izračunata vrednost pH kod kojeg bi voda datog sastava bila u ravnoteži; vrednost pH_s se računa na temelju sadržaja Ca^{2+} i HCO_3^- , ukupnog mineralnog sadržaja i temperature.

Za ispitivana izvorišta su određene srednje vrednosti za period merenja za pH, koncentraciju kalcijum jona i bikarbonata, za elektroprovodljivost i temperaturu vode, zatim je izračunata vrednost pH_s i LSI indeks, korišćenjem kalkulatora na sajtu <http://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>, i vrednosti su prikazane u Tabeli 26.

Tabela 26. Langelierov indeks za vodu sa ispitivanih izvorišta

Izvorište	pH	Elektro-provodlj. (TDS)	Ukupna tvrdoća (mg/L)	Ca (mg/L)	Temp. vode (°C)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	pH _s	LSI
Kriškovci	7,53	409,92	349,09	121,45	12,78	425,89	7,2	0,35
Maglajani	7,57	421,17	370,82	119,73	13,15	0,46	7,2	0,42
Laktaši	7,46	525,42	431,73	134,40	15,78	526,71	7,0	0,46

U Tabeli 27 se može videti da vrednosti LSI iznad 0 upućuju na taloženje kamenca u vodi, a negativne vrednosti na tendenciju rastvaranja kamenca i potencijalnu koroziju, te je za obe ove krajnosti potrebno vodu posebno tretirati. Što je veća razlika između izmerenog pH i izračunatog pH_s to je nestabilnost veća, a vrednosti se kreću prema agresivnim područjima, bilo kiselim, bilo baznim. Dakle, iz vrednosti u Tabeli 26 za pH_s i LSI se može videti da vode sa tri ispitivana izvorišta imaju mogućnost za formiranje kamenca. Takođe svojim vrednostima Langelierova indeksa spadaju u korozivne vode mada njihove vrednosti nisu ekstremne te ne teže područjima kisele ili bazne agresivnosti. Takođe se vidi da je razlika između pH i pH_s vrednosti relativno mala tako da vode spadaju u stabilne vode. Prema LSI, sličnije su vode izvorišta Maglajani i Laktaši u odnosu na vodu izvorišta Kriškovci.

Tabela 27. Vrste indikacija stabilnosti vode u zavisnosti od LSI vrednosti
<http://www.lenntech.com/calculators/langelier/index/langelier.htm>

LSI	Indikacija
od -2,0 do -0,5	Jako korozivna voda
od -0,5 do 0	Blago korozivna voda i ne stvara kamenac
LSI = 0	Voda je u ravnoteži sa CaCO ₃ ali postoji mogućnost za stvaranje kamenca
od 0 do 0,5	Voda je korozivna i postoji blago stvaranje kamenca
od 0,5 do 2	Formira se kamenac ali voda nije korozivna

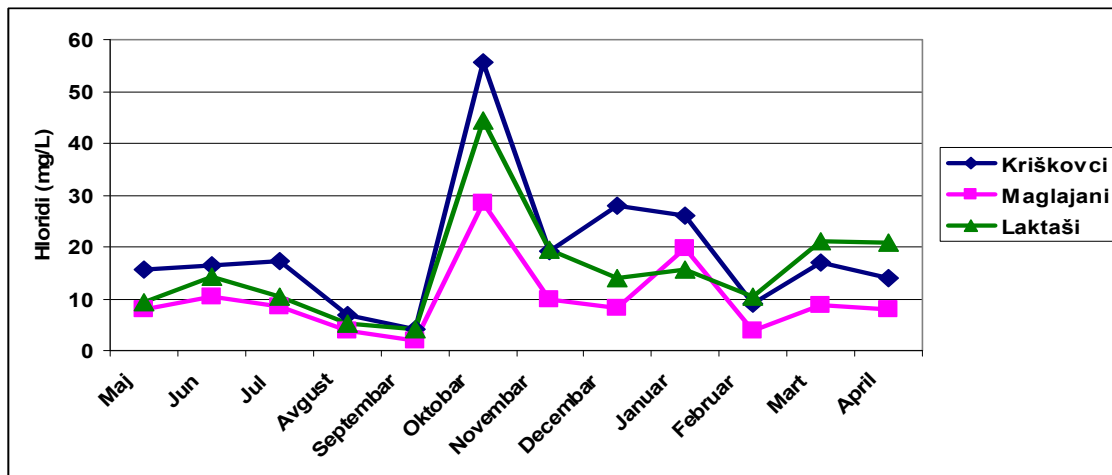
6.3.3 Anjoni (hloridi, sulfati, sulfidi)

Po klasičnoj higijensko-hemijskoj analizi vode za piće, kao hemijski indikatori zagađenja služe hloridi, sumporna jedinjenja i nutrijenti, fosfati i azotna jedinjenja.

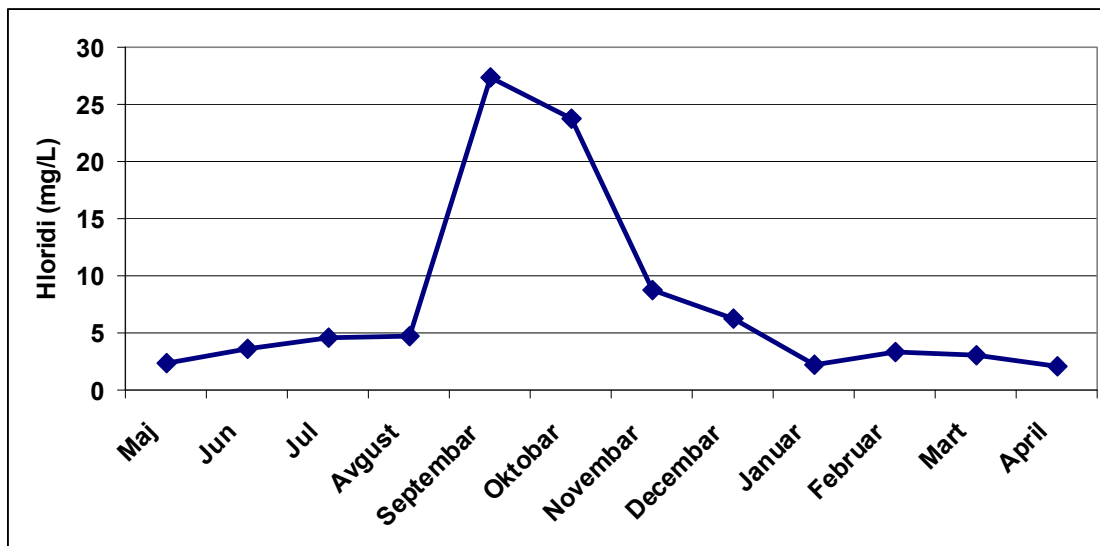
Do promene koncentracije **hlorida** u vodi može doći zbog ulivanja otpadnih voda, ili đubrenja veštačkim i stajskim đubrivom. Iz navedenih razloga koncentracija hlorida u podzemnim vodama ispod poljoprivrednog zemljišta je uvek povišena. Podzemna voda, zavisno od korišćenja đubriva u poljoprivredi obično sadrži do 100 mg/l hlorida (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Sa Slike 62 se može videti da koncentracija hlorida u vodi ispitivanih izvorišta nije prešla ovu koncentraciju, iz čega se može zaključiti da na sadržaj hlorida u vodama ispitivanih izvorišta verovatno nema uticaj poljoprivredna proizvodnja na zemljištu iznad izvorišta. Koncentracija hlorida je na sva tri izvorišta dostigla najveću koncentraciju u oktobru mesecu, na kraju poljoprivredne sezone, u toku kišnog perioda. U

tom periodu je najveće povećanje sadržaja hlorida utvrđeno u vodi izvorišta Kriškovci. Najmanje povećanje sadržaja hlorida je u vodi izvorišta Maglajani, na kome je utvrđen problem mutnoće vode. Desnostrana zakrivljenost raspodele rezultata (Tabele 21-23) ukazuje na male vrednosti koncentracije hlorida u vodi uz retko, ali značajno povećanje koncentracije.

Sa Slike 63 se vidi da je u istom periodu godine došlo do porasta koncentracije hlorida u vodi reke Vrbas na profilu u Razboju Ljevčanskom, što dodatno potvrđuje uticaj reke Vrbas na vodu ispitivanih izvorišta. Dakle, koncentracija hlorida je dostigla najveću koncentraciju u septembru i oktobru mesecu, na kraju poljoprivredne sezone, u toku kišnog perioda što je dovelo do povećane koncentracije hlorida u reci Vrbas kao i indirektno povećanje koncentracije hlorida na sva tri izvorišta usled uticaja reke Vrbas na izvorišta.



Slika 62. Koncentracija hlorida u vodi na izvorištima u toku perioda merenja



Slika 63. Koncentracija hlorida u vodi reke Vrbas na profilu Razboj Ljevčanski

Sumpor se može naći u većini podzemnih voda kao sulfat, bisulfid ili hidrogen sulfid. U kojem obliku će se naći zavisi od količine kiseonika u vodi i, u manjoj meri, od pH vrednosti. Sumpor se može pojaviti u dva oblika: kao S^{2-} i kao S^{6+} . Kada je nivo rastvorenog

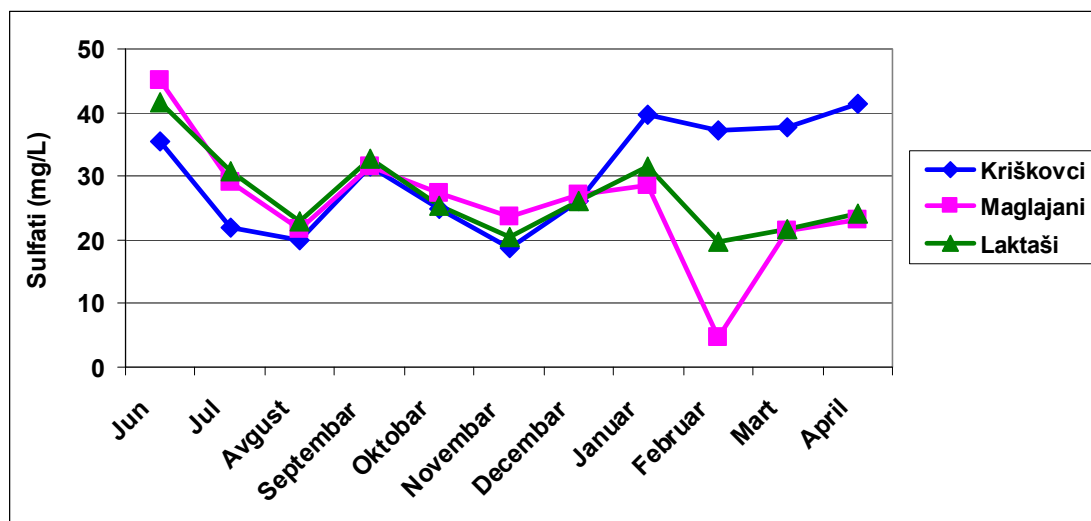
kiseonika u podzemnoj vodi veći od 1-2 mg/L, sumpor se javlja kao S^{6+} i sulfatni molekul je dominantan. Na nižim nivoima kiseonika, sumpor se javlja kao S^{2-} i to kao HS^- (na pH vrednosti većim od 7) ili H_2S (na pH manjim od 7).

Sadržaj **sulfata** u podzemnoj vodi obično je niži od 100 mg/L. Prolazeći kroz geološke slojeve gipsa voda se prirodno obogaćuje sulfatima, tako da u ekstremnim slučajevima može dostići zasićenje ($1,35 \text{ gSO}_4^{2-}/\text{L}$). Prilikom obrazovanja podzemne vode sulfati dospevaju u vodu i iz atmosfere. Rastvoreni sulfati se mogu naći u kapljicama kiše u koncentraciji do 5 mg/L (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Poreklo sulfata može biti i usled upotrebe đubriva koja sadrže sumpor u formi sulfata (amonijum-sulfat ili kalijum-sulfat). U Tabeli 28 su date vrednosti za sulfate u različitom okruženju, koje se dobijaju u praksi (Kölle, 2001).

Tabela 28. Koncentracije sulfata koje se sreću u praksi (Kölle, 2001)

Medijum	Koncentracija sulfata
Redukovane podzemne vode posle završetka desulfurizacije	< 5 mg/L
Podzemne vode posle jonske adsorpcije i izvorska voda	do 25 mg/L
Vode u vodojazu, podzemne vode van antropogenog uticaja	5-15 mg/L
Podzemne vode iz neredukujućih slojeva u oblasti poljoprivrede	70-100 mg/L
Podzemne vode iz redukujućih slojeva posle krčenja	do 600 mg/L
Podzemne vode iz geoloških slojeva gipsa	do 1350 mg/L
Morska voda	2700 mg/L

Sa Slike 64 se vidi da su koncentracije sulfata u ispitivanim uzorcima vode značajno manje od MDK (Pravilnik, 2003) i da su varirale uglavnom između 15 i 40 mg/L, na osnovu čega se, uz podatke iz Tabele 28 opet može zaključiti da poljoprivreda nema uticaj na kvalitet vode ispitivanih izvorišta. Vrednosti koncentracije sulfata su jako bliske, i najveće variranje koncentracija je zabilježeno na izvorištu Maglajanima ($S_d=9,58\%$). Kao što je rečeno u poglavlju 4.2.2, kao pokazatelj dodatne denitrifikacije u kojoj nastaju i povišene koncentracije mangana može da posluži povećana koncentracija sulfata. Međutim, koncentracija sulfata je ipak nepouzdan pokazatelj dodatne denitrifikacije (Dalmacija i Ivančev Tumbas, 2004).



Slika 64. Koncentracija sulfata u vodi izvorišta u toku perioda merenja

Sulfidi su često prisutni u podzemnoj vodi, a naročito u toplim izvorima.

U dobro aerisanoj vodi vodonik-sulfid se oksiduje do sulfata i biološki do elementarnog sumpora, a u anaerobnoj vodi se sulfati redukuju do sulfida (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004).

Widrogen sulfid je bezbojan gas koji može postojati prirodno u podzemnim vodama ili poticati od raspadanja organske materije pod zemljom (raspada biljnog materijala) ili hemijskom redukcijom pod dejstvom sulfito-redukujućih bakterija. Sumporovodik se najčešće pojavljuje u škriljcima i peščarama, u blizini tresetnih depozita i u blizini naftnih polja.

U laboratoriji su određivani sulfidi (mgS^{2-}/L) iz kojih se po datoj metodi (Standard methods, 2005. Metoda 4500- S^{2-} (F)) računskim putem izračunava koncentracija vodonik sulfida:

$$\text{H}_2\text{S} = \text{mgS}^{2-}/\text{L} \cdot 1,06$$

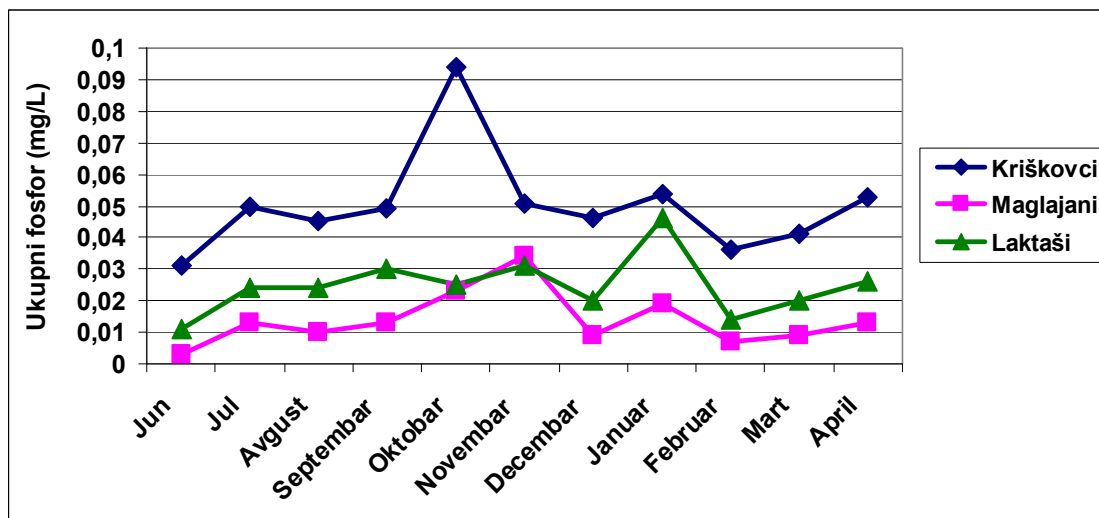
Pojava vodoniksulfida gasa se može povezati sa podzemnim vodama sa niskim pH i podzemnim vodama koje imaju visok nivo gvožđa i/ili mangana. Ustanovljeno je da vode ispitivanih izvorišta ne sadrže vodonik sulfid. S obzirom da u ovom ispitivanju podzemne vode nemaju nizak pH i pored visokog sadržaja mangana u vodi izvorišta Kriškovci, vodonik-sulfid nije prisutan. Ako se pogledaju razmatranja u poglavlju 4.2.2 za vezu mangana i oksidoredukcionih uslova može se zaključiti da vodonik-sulfid u slučaju ispitivanih podzemnih voda ne utiče na povećan sadržaj mangana.

6.3.4 Nutrijenti

Fosfati dospevaju u vodene tokove tako što ih kiša polako ispira i rastvara iz stena. Međutim, fosfati češće dospevaju u vodu iz biološkog nego iz mineralnog kruga, pa mogu biti "hemijski indikatori zagađenja". U neutralnoj pH oblasti podzemna voda obično ne sadrži više od 30 $\mu\text{g}/\text{L}$ fosfata. Ova granica odgovara rastvorljivosti hidroksilapatita ($\text{Ca}_5[\text{OH}(\text{PO}_4)_3]$) u neutralnoj vodi sa srednjom koncentracijom kalcijuma (Matthess, 1990). Međutim, podzemne vode mogu da poseduju veće koncentracije fosfata (15-30 mg/L PO_4^{3-}) usled prirodnog kontakta sa mineralima ili putem zagađenja usled primene veštačkih đubriva i otpadnih voda naselja i industrijskog otpada (Dalmacija, 2006).

Fosfati u vodi se određuju kao orto-, kondenzovani, organski vezan i ukupni fosfat izražen preko fosfora. U ispitivanim uzorcima je određivan fosfor kao ukupni i kao ortofosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$). Ortofosfati ($\text{PO}_4\text{-P}$) su neorganski fosfati, rastvorljivi u vodi. Primenuju se na poljoprivrednom i kultivisanom zemljištu.

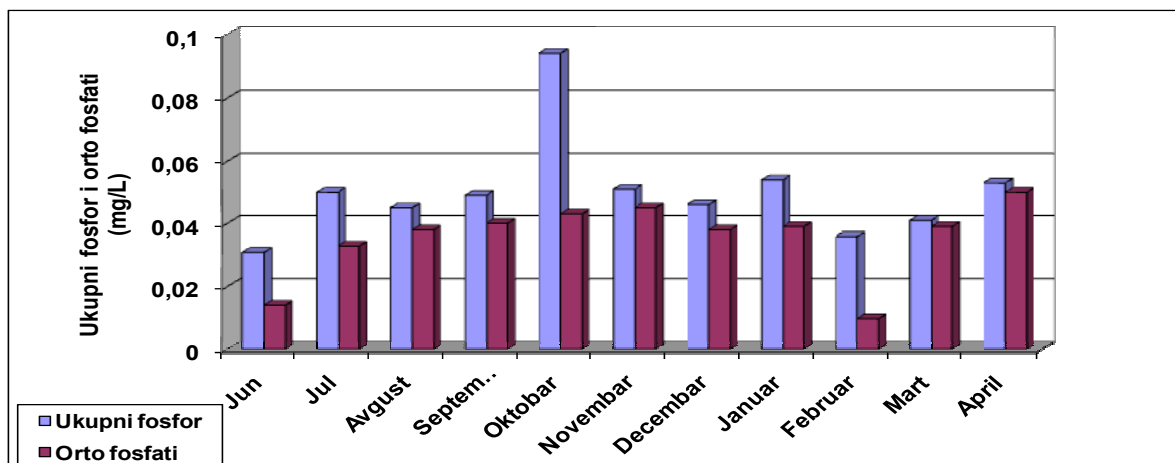
Na Slici 65 se može videti da su u svim uzorcima ustanovljene koncentracije ukupnog fosfora koje su značajno manje od MDK vrednosti propisane Pravilnikom (2003). Koncentracija ukupnog fosfora u vodi na izvorištima u Laktašima i Kriškovcima manje varira (K_v oko 32), odnosno koeficijenti varijacije su manji, nego u vodi izvorišta u Maglajanima ($K_v = 62,05$). Voda izvorišta Kriškovci sadrži veću količinu ukupnog fosfora u odnosu na vodu druga dva izvorišta i pored toga ima jedno značajno povećanje koncentracije ukupnog fosfora, ali ne i ortofosfata, u oktobru mesecu.



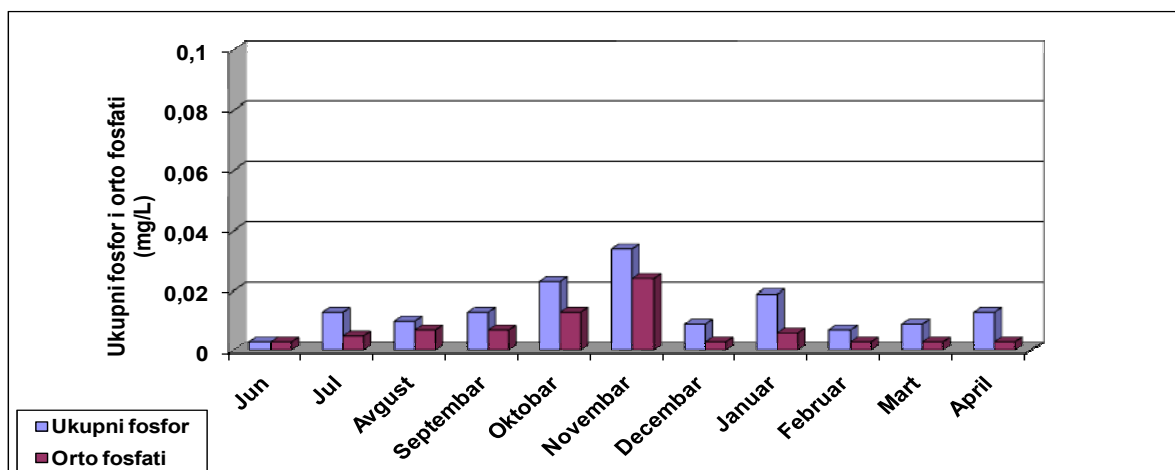
Slika 65. Koncentracija ukupnog fosfora na izvorištima u toku perioda merenja

Na Slikama 66, 67 i 68 se vidi da uglavnom veći deo ukupnog fosfora čine ortofosfati. Za izvorište Kriškovci od 27,78% do 95,12% ukupnog fosfora predstavljaju ortofosfati, na izvorištu Maglajani od 23,08% do 70,59% (ako zanemarimo jun mesec kada su vrednosti za ukupni fosfor i ortofosfor bile ispod granice detekcije) i za izvorište Laktaši od 21,43% do 95,00% ukupnog fosfora predstavljaju ortofosfati. Dakle, može se zaključiti da na sva tri izvorišta udeo ortofosfora u ukupnom fosforu nije ujednačen. Takođe se može primetiti da je koncentracija ortofosfata u vodi izvorišta Kriškovci u većini slučajeva nešto veća od 30 µg/L, a koncentracija ukupnog fosfora pri svim merenjima veća od ove vrednosti, što ukazuje na mogućnost zagađenja ovog izvorišta usled primene veštačkih đubriva i otpadnih voda naselja u odnosu na druga dva izvorišta. Najveća koncentracija fosfora utvrđena je u mesecu oktobru na ovom izvorištu (0,094 mg/L), kada je voda sadržala oko dva puta veću količinu ukupnog fosfora u odnosu na ostale mesece. Ovo povećanje nastupa kada je, nakon sušnog letnjeg perioda, u septembru i oktobru mesecu palo kiše u količini višegodišnjih prosečnih padavina. U istom periodu su povećani i nitriti, hloridi, aluminijum i cink. Takođe, u vodi izvorišta Maglajani se očituje povećanje fosfora u oktobru i novembru, a u vodi izvorišta Laktaši u januaru mesecu. Sve ovo potvrđuje moguću vezu između podzemne vode ovih izvorišta i površine zemljišta.

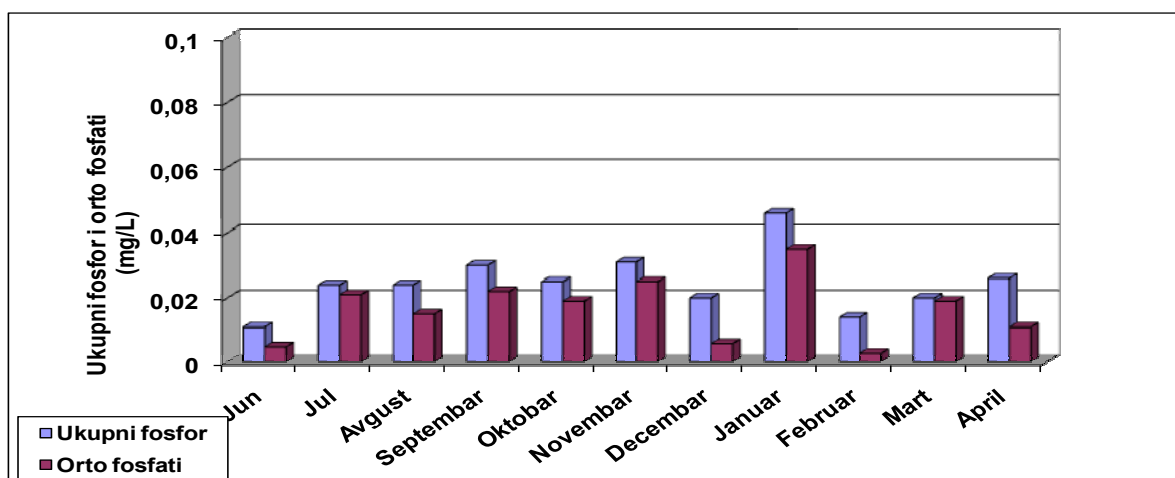
Ovaj povećan sadržaj koncentracije fosfora se poklapa sa povećanim sadržajem hlorida na izvorištima u Kriškovcima što takođe može biti indicacija zagađenja usled primene veštačkih đubriva (Slika 69).



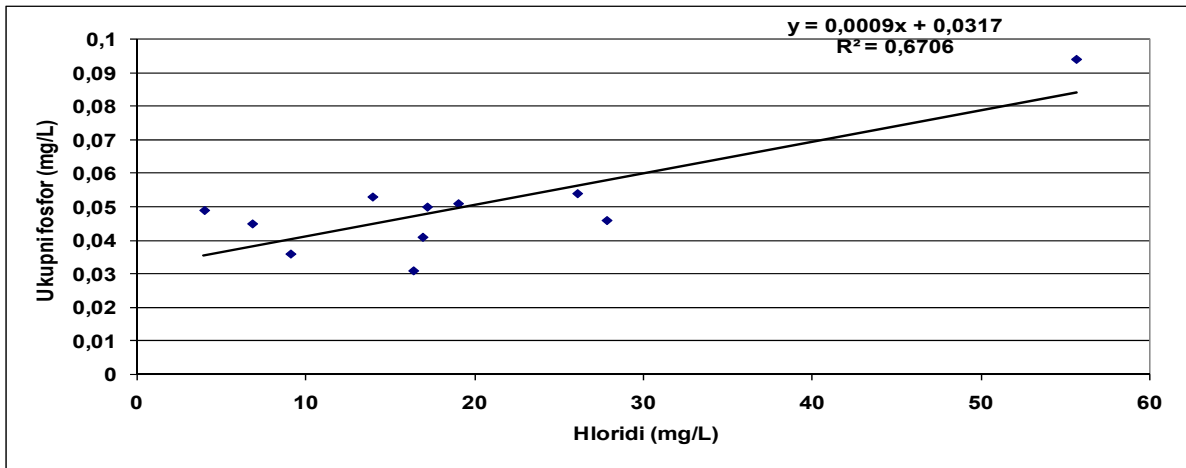
Slika 66. Odnos koncentracije ortofosfata i koncentracije ukupnog fosfora na izvorištu u Kriškovicima u toku perioda merenja



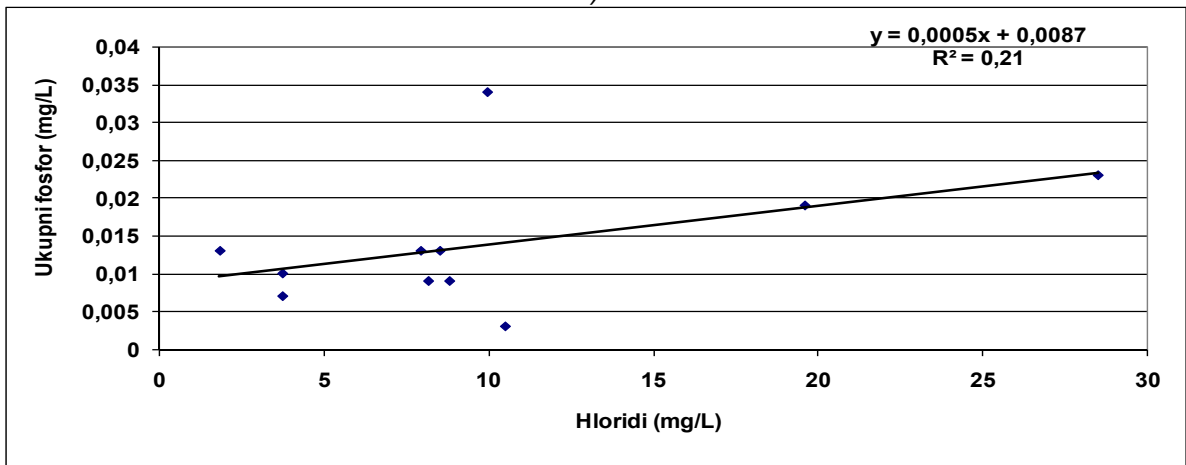
Slika 67. Odnos koncentracije ortofosfata i koncentracije ukupnog fosfora na izvorištu u Maglajanima u toku perioda merenja



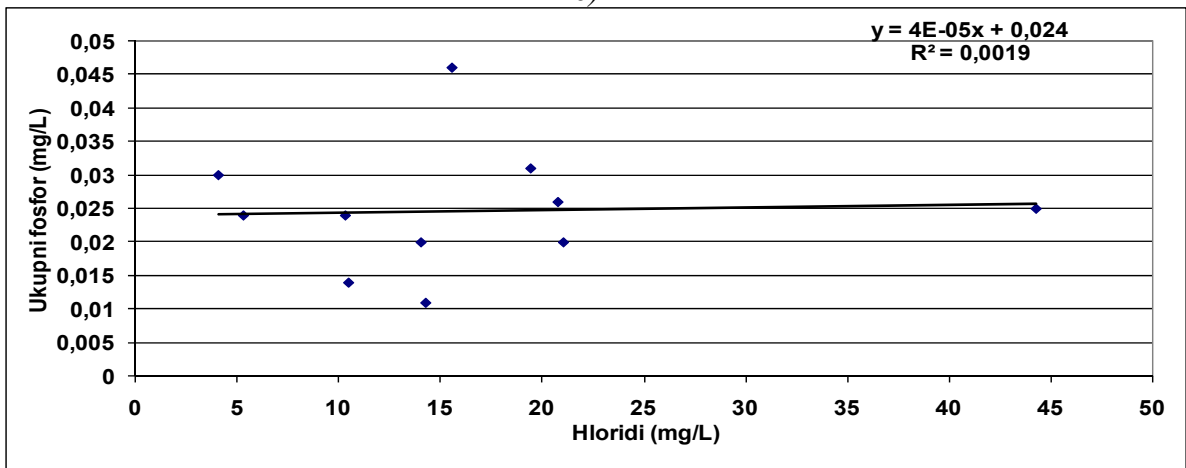
Slika 68. Odnos koncentracije ortofosfata i koncentracije ukupnog fosfora na izvorištu u Laktašima u toku perioda merenja



a)



b)

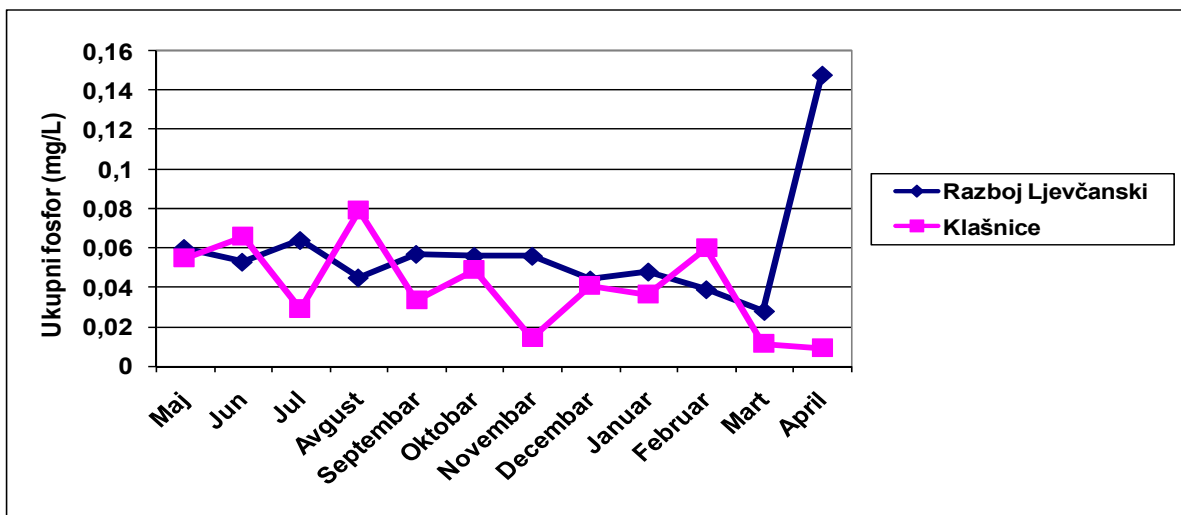


c)

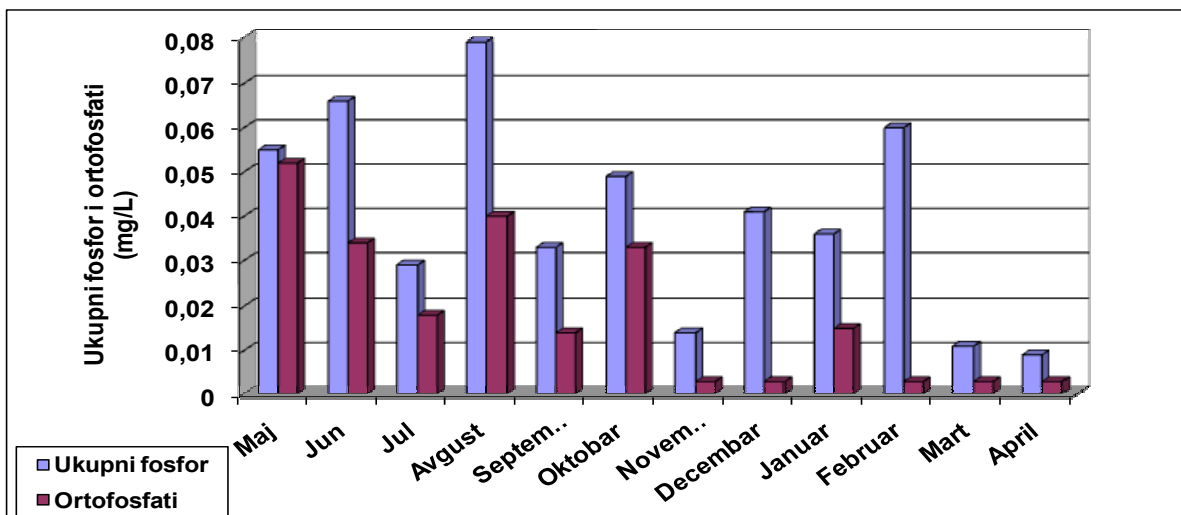
Slika 69. Odnos koncentracije ukupnog fosfora i hlorida na izvorištu u a) Kriškovicima, b) Maglajanima i c) Laktašima

U vodi Vrbasa, na profilima Razboj Ljevčanski i Klašnice je vršeno merenje ukupnog fosfora (Slika 70) i ortofosfata u toku istražnog perioda. Na Slici 70 se može videti da

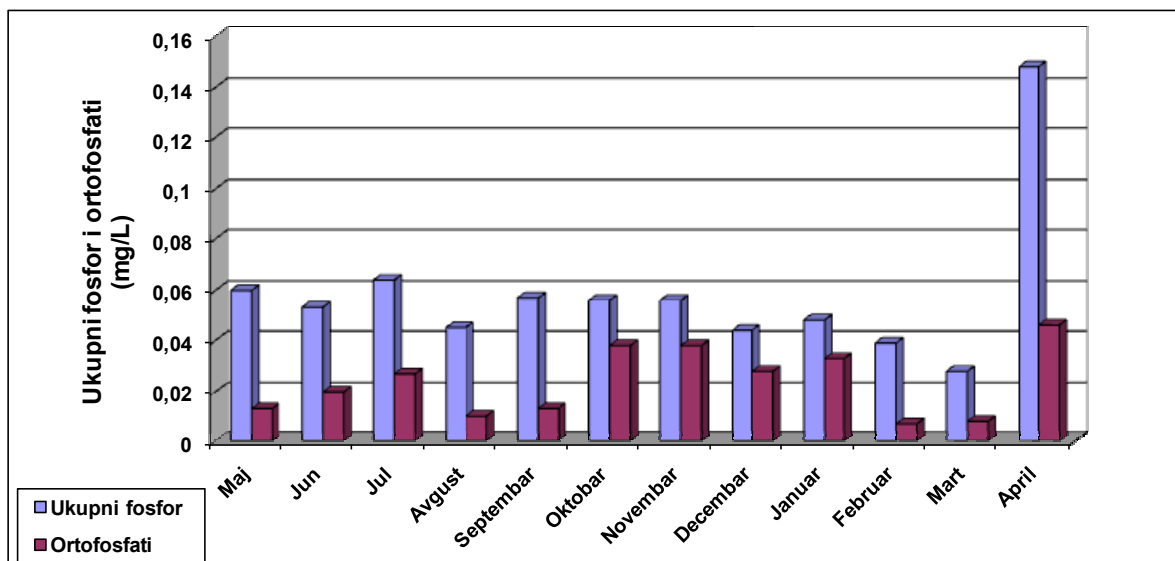
koncentracija ukupnog fosfora na profilu Klašnice varira u većim intervalima u odnosu na profil u Razboju Ljevčanskom. Međutim, najveća koncentracija fosfora je izmjerena u mesecu aprilu na profilu u Razboju Ljevčanskom (0,148 mg/L), kada je koncentracija ukupnog fosfora povećana za preko pet puta u odnosu na mart. Na Slikama 71 i 72 se vidi da udeo ortofosfora u ukupnom fosforu u vodi Vrbasa takođe varira kao i na izvorištima (Kriškovci, Maglajani i Laktaši), ali u većim intervalima što se i očekuje, jer je voda u reci u direktnom kontaktu sa dešavanjima na površini. Za profil u Razboju Ljevčanskom udeo ortofosfora u ukupnom fosforu varira od 17,95% do 68,75%, a u vodi Vrbasa na profilu Klašnice od 5,0% do 94,55%. Korelacija između koncentracije fosfora u reci i vodi izvorišta je jako loša, dakle, prema ovom pokazatelju ne postoji uticaj reke Vrbas na koncentraciju fosfora u izvorištima.



Slika 70. Koncentracija ukupnog fosfora na reci Vrbasa na profilima Klašnice i Razboj Ljevčanski u toku perioda merenja



Slika 71. Odnos koncentracije ortofosfata i koncentracije ukupnog fosfora na reci Vrbasa na profilu u Klašnicama u toku perioda merenja



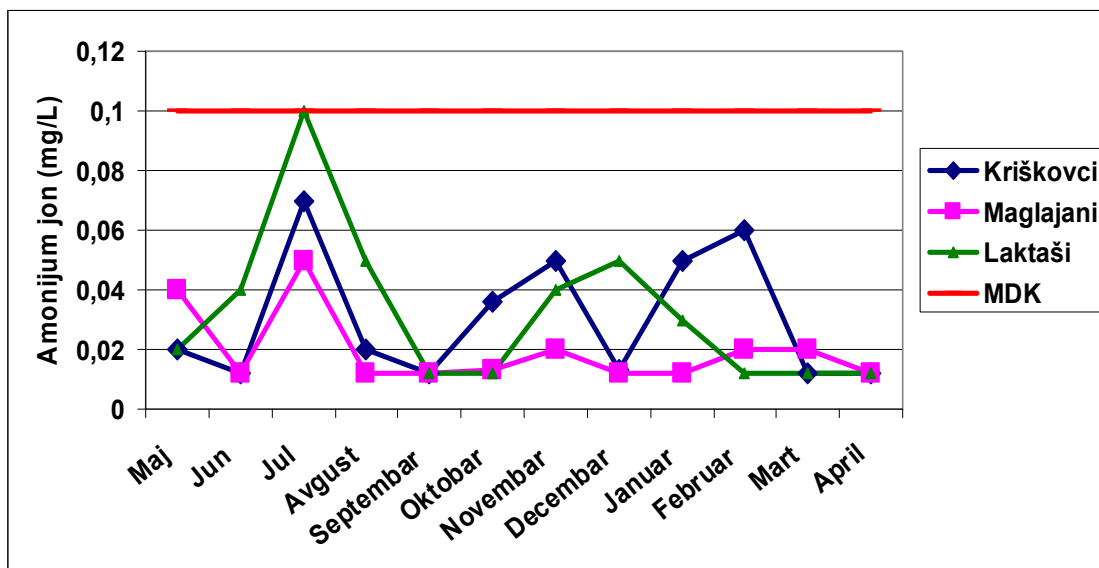
Slika 72. Odnos koncentracije ortofosfata i koncentracije ukupnog fosfora na reci Vrba na profilu u Razboju Ljevčanskomu u toku perioda merenja

Azotne materije: U klasičnoj "higijensko-hemijskoj analizi pijaće vode", NO_3^- , NO_2^- i NH_4^+ predstavljaju hemijske indikatore zagađenja, koji mogu da ukazuju na prisustvo fekalnog zagađenja. Iako je amonijum jon katjon biće razmatran u ovom poglavlju, zajedno sa dugim nutrijentima.

Amonijak nastaje kao proizvod raspadanja organskih azotnih jedinjenja (proces "mineralizacije"). Ljudi i životinje organski azot obično izbacuju u vidu mokraće, koja se brzo i potpuno razgrađuje u amonijak i CO_2 . Veliki deo amonijum jona je vezan za zemljište. Nosioci fiksiranog amonijum jona su kalijum-feldspati, liskuni i gline. Veći deo je ireverzibilno fiksiran, a manji deo je u rastvorenom stanju te je stoga amonijak prirodno prisutan kako u površinskim, tako i u podzemnim vodama. Dakle, koncentracija amonijaka u podzemnoj vodi je generalno niska, jer se amonijum joni adsorbuju na čestice zemlje odakle se ne ispiraju lako. Pored toga, u gornjim slojevima zemljišta, u zoni u kojoj ima kiseonika, dolazi do nitrifikacije, prevođenja amonijaka do nitrata pomoću nitrifikujućih bakterija. Stoga je prirodni nivo amonijaka u podzemnim vodama najčešće ispod 0,2 mg/L. U podzemnim vodama koje sadrže kiseonik izmerena je vrednost amonijum-jona <0,05 mg/L (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Veće koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi ukazuju na moguće direktno zagađenje različitim otpadnim vodama ili azotnim đubrivima.

Na Slici 73 su date vrednosti amonijaka u vodi ispitivanih izvorišta. Može se videti da koncentracija amonijum jona ni u jednom slučaju nije bila veća od MDK propisane Pravilnikom (2003), a da je u samo 8,3% slučajeva bila veća od 0,05 mg/L. Međutim, takođe se vidi da koncentracija amonijaka dosta varira tokom godine, tako da se koeficijent varijacije kretao od 64,06 za izvorište Maglajani do 80,58 za izvorište Laktaši (Tabele 21, 22 i 23).

Zavisnost koncentracije rastvorenog amonijaka od uticaja poljoprivrede (Kölle, 2001) se može pratiti preko njegove korelacije sa koncentracijom sulfata. Za ispitivane uzorke vode ne postoji linearna zavisnost između koncentracije amonijaka i sulfata, što može navesti na zaključak da poljoprivredna proizvodnja u regionu izvorišta nema uticaj na sadržaj amonijaka u podzemnoj vodi (Slika 74). Međutim, kao što je gore rečeno, amonijak koji prođe gornju zonu zemljišta gde još ima kiseonika i gde će doći do njegove oksidacije, adsorbovaće se na glini i teško da može kao takav prodreti do podzemnih voda. Ispitivana izvorišta su zaštićena slojevima gline od prodora amonijaka sa površine zemljišta.



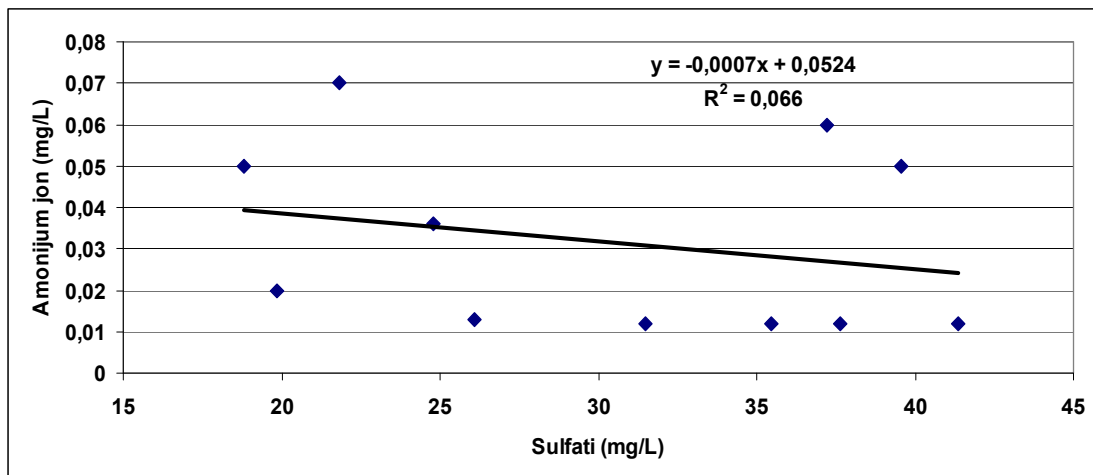
Slika 73. Koncentracije amonijum jona u vodi ispitivanih izvorišta u toku perioda merenja

Nitrati su krajnji produkti redoks procesa u kojima učestvuju azotna jedinjenja, ukoliko ima dovoljno kiseonika u vodi. U prisustvu kiseonika nitrati će nastati oksidacijom amonijaka pomoću nitrifikacionih bakterija. Pošto nitrati imaju dobru rastvorljivost u vodi, lako bivaju isprani iz zemljišta i mogu brzo dospeti u vodu. Na primer, kalcijum-nitrat ima rasvorljivost u vodi oko 1 kg na litar (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004).

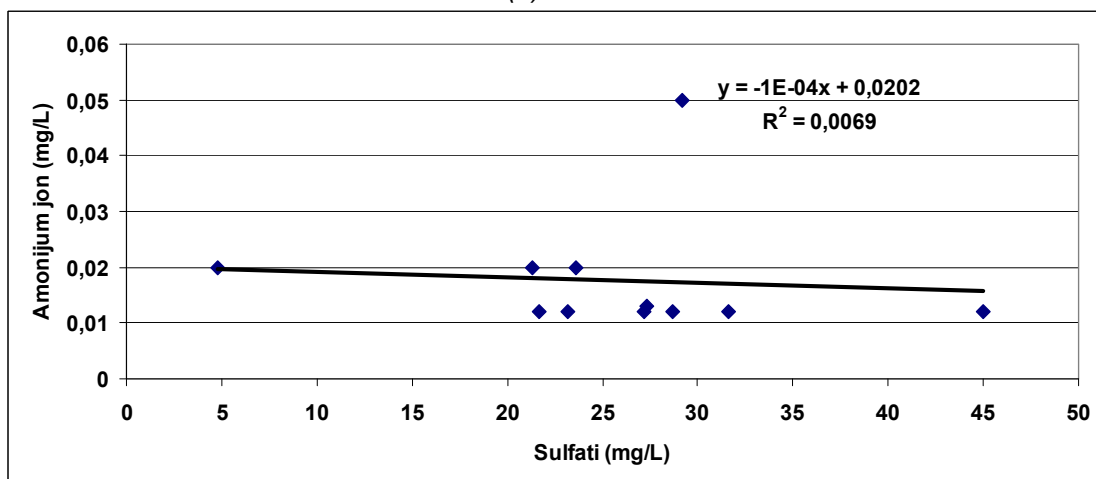
U toku vlažnog perioda, naročito dok su biljke još uspavane, kiša i topljenje snega izazivaju spiranje ogromnih količina nitrata u vodene tokove. U periodu rasta, najveći deo nitrata iz zemljišta ili koriste biljke ili ostaje u zemljištu zbog nedostatka vlažnosti u njoj, a posle žetve nitrati mogu ponovo da kontaminiraju plitke akvifere. Niska koncentracija nitrata u vodi u letnjem periodu ukazuje da se pri manjoj količini atmosferskih padavina (što je evidentno u letnjem periodu), nitrati koji dospevaju ispiranjem poljoprivrednog zemljišta, više zadržavaju u zemljištu i na taj način se smanjuje njihov priliv u podzemne vode.

U vodi izvorišta Kriškovci i Maglajani koncentracija nitrata je više podložna sezonskim promenama, a u vodi izvorišta Laktaši manje, što se može videti na Slici 75. Maksimalno dozvoljena koncentracija nitrata u vodi za piće je 50 mg/L (Pravilnik, 2003) i sa Slike 75 se vidi da vode sva tri izvorišta zadovoljavaju ovaj kriterijum.

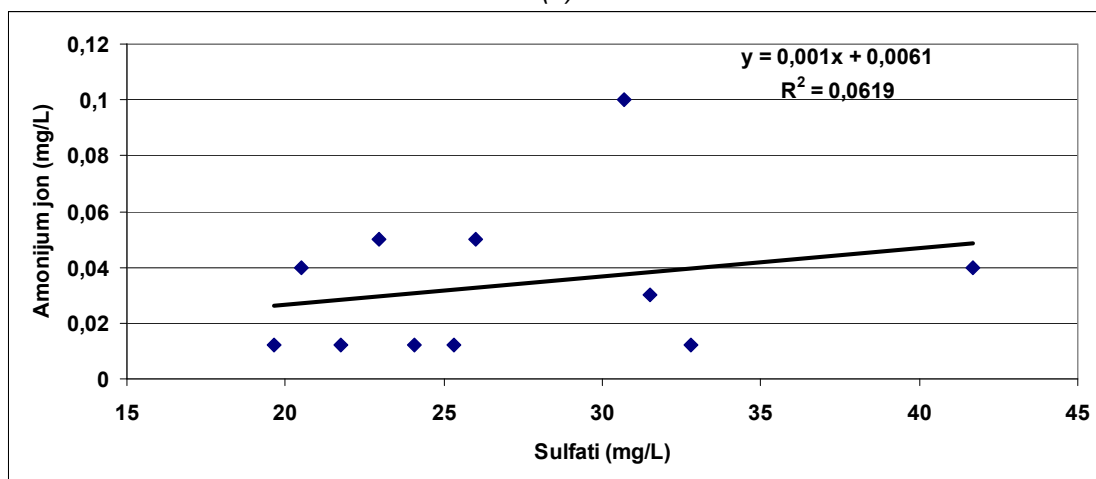
Koncentracija nitrata (NO_3^-) u podzemnim vodama najčešće je veoma niska. Uobičajen sadržaj nitrata u podzemnim vodama je ispod 10 mg/L NO_3^- (Ljubisavljević i Rajaković-Ognjenović, 2012). Na izvorištu u Kriškovcima tokom perioda merenja je samo u dva meseca (u avgustu 8,81 mg/L i u decembru 9,28 mg/L) koncentracija nitrata bila ispod 10 mg/L NO_3^- . Kod izvorišta Kriškovci se primećuje skok koncentracije nitrati nakon decembra meseca (nakon velikih padavina) koja ostaje dosta visoka u odnosu na prvu polovinu godine (Slika 75). Na izvorištu u Maglajanima tokom perioda merenja je samo u septembru koncentracija nitrata bila ispod 10 mg/L NO_3^- , dakle u vodi u Maglajanima su koncentracije nitrata visoke i jako variraju (Slika 75). Na izvorištu u Laktašima tokom perioda merenja je koncentracija nitrata stalno varirala oko vrednosti od 10 mg/L NO_3^- , uz izvestan blagi porast u toku zimskog perioda godine.



(a)

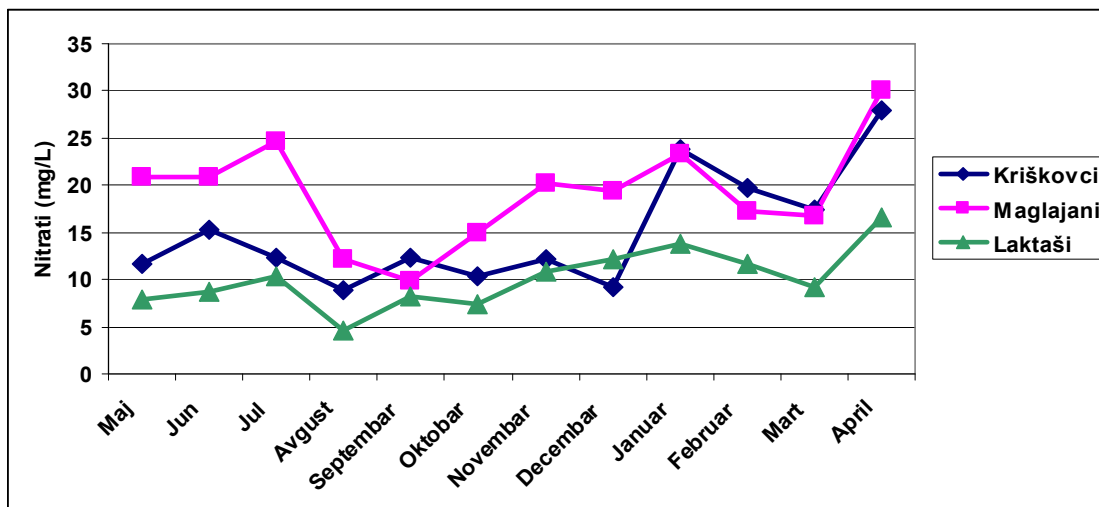


(b)



(c)

Slika 74. Zavisnost koncentracije NH_4^+ od koncentracije SO_4^{2-} u podzemnoj vodi u a) Kriškovcima, b) Maglajanima i c) Laktašima



Slika 75. Koncentracija nitrata na izvorištima u toku perioda merenja

Rezerve nitrata u zemljištima zavise od debljine tla, klime, sadržaja gline i stabilizacije organskog materijala (Stahr i sar, 1994). Od tih rezervi, 95-98% su vezani joni nitrata u humusnim frakcijama i na mrtvoj biomasi i nisu ni mobilni, ni direktno dostupni biljkama. Preostali postotak se distribuira preko žive biomase u obliku amonijaka i nitrata, koji su direktno na raspolaganju za biljke. Mikrobna nitrifikacija, oksidacija amonijaka preko nitrita u nitrate, pomoću mikroorganizama pod aerobnim uslovima, jedini je proces u kojem se formira nitrat u prirodnim sistemima (Anderson, 1990).

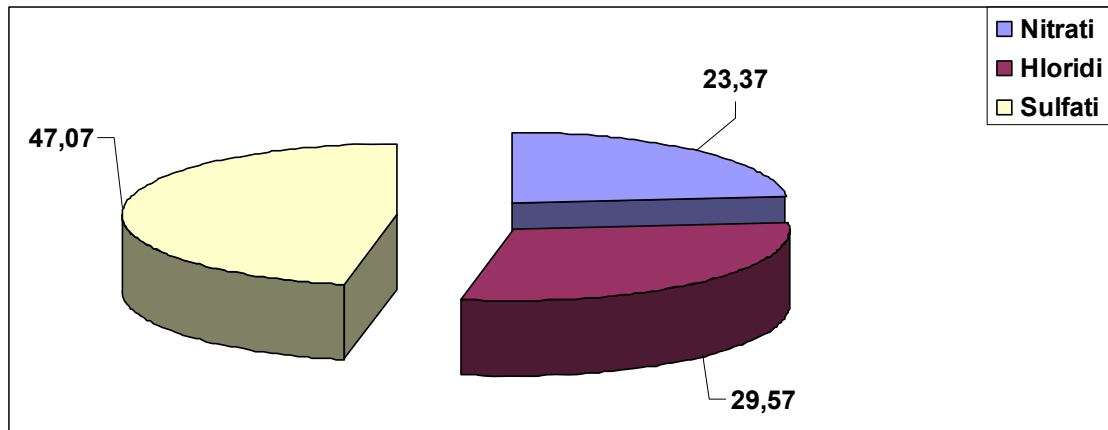
Osim raspadanja organske materije, veštačka đubriva su značajan izvor nitrata u vodi (Ledoux i sar, 2007.). Ako se ne primenjuju na adekvatan način, đubriva povećavaju količine nitrata u podzemnim vodama. Azotna đubriva sadrže azot u obliku nitrata, amonijuma ili njihove kombinacije. Nitratni joni nemaju sposobnost vezanja za tlo te su zbog toga podložni ispiranju u dublje slojeve tla i podzemnu vodu (Mkandawire, 2008), dok se amonijum zadržava na česticama zemljišta i teže se ispira. Tokom zime češće se đubri nitratnim nego amonijumovim đubrivima. Većina voćnih vrsta lakše usvaja nitrate od amonijuma, ali kada temperatura zemljišta poraste i koren postane aktivan, amonijum se u zemljištu transformiše u nitrate.

Razlike u ispiranja nitrata iz zemljišta koje se đubri se javljaju zbog razlika u vrsti tla i vrsti useva, količini đubriva i navodnjavanja. Visok nivo ispiranja azota iz tla može se očekivati u područjima u kojima je zemljište dobro vodopropusno i aerobno, a azotna đubriva se koriste za useve koji su kratkog veka vegetacije, kao što je povrće ili pšenica. Velika količina azota se pojavljuje tamo gde postoji intenzivan uzgoj i obilno navodnjavanje, koje nije pažljivo kontrolisano (BGS i sar, 1996).

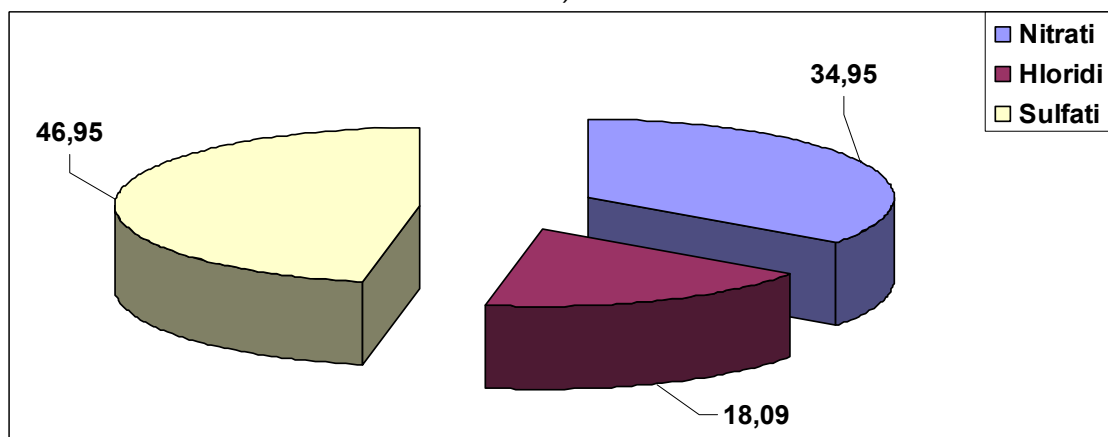
Osim toga, koncentracija nitrata u podzemnoj vodi može široko da fluktuiira od jedne do druge sezone. Pauwels i sar. (2000) su proveli istraživanja i utvrđeno je i da se s povećanjem količina padavina povećava koncentracija nitrata, što su u svojim istraživanjima potvrdili Mesić i sar. (2007), međutim u prethodno navedenim istraživanjima je utvrđeno da pri ekstremnim padavinama dolazi do smanjenja koncentracije nitrata u podzemnoj vodi, što navode i Schmalz i sar. (2008) u svojim istraživanjima na području nizinskih slivova u Njemačkoj. Mesić i sar. (2002) ističu u svom radu kako promene u načinu korištenja tla mogu uticati na povećanje ili smanjenje ispiranja azota, pri čemu su naročito značajni procesi mineralizacije organske materije. Nadalje, navode kako su vrlo važni faktori

raspored i intenzitet padavina koji u velikoj meri mogu uticati na proces ispiranja nitrata. Proceđivanje onečišćenja uveliko zavisi o vremenskoj varijabilnosti.

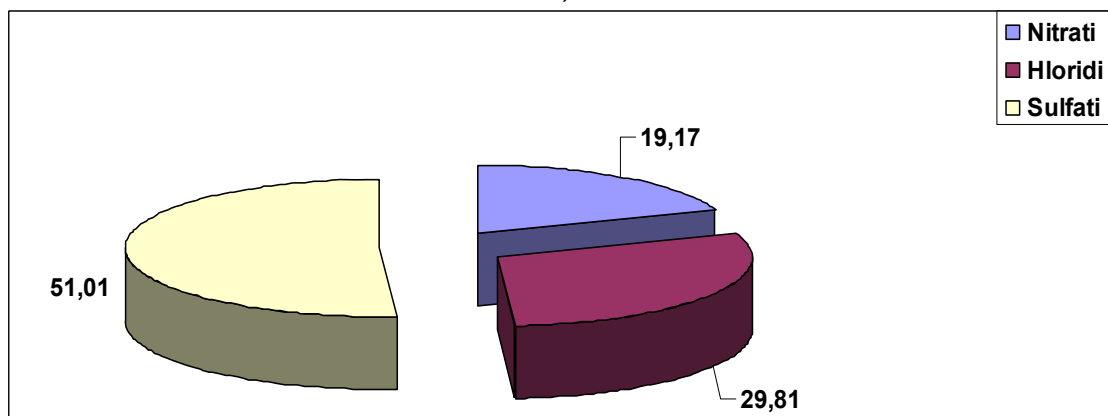
Zbog mogućih međusobnih interakcija, na Slici 76 su upoređeni odnosi nitrata, hlorida i sulfata u procentualnoj zastupljenosti, u vodi ispitivanih izvorišta, sa koje se može videti da se odnosi koncentracija ovih anjona razlikuju između ova tri izvorišta.



a)



b)



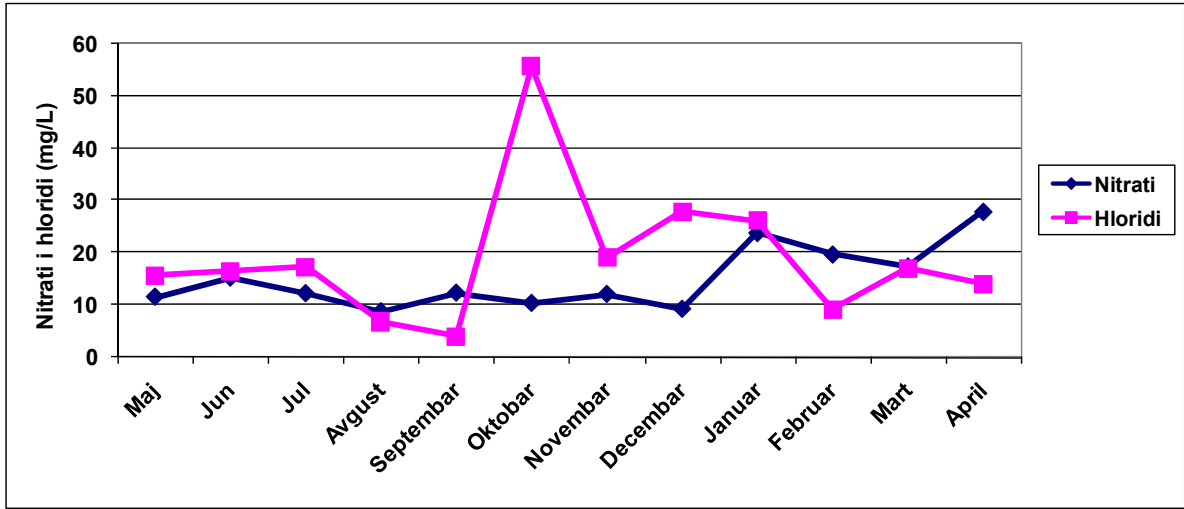
c)

Slika 76. Međusobni odnos nitrata hlorida i sulfata izraženih u % u vodi na izvorištu
a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši

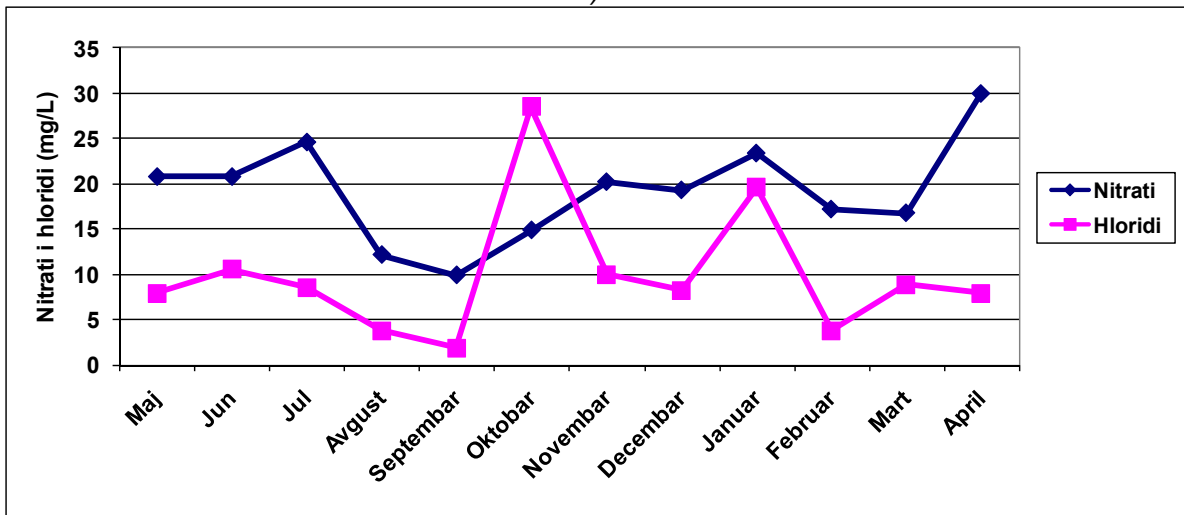
Zbog velikog broja izvora azota može biti teško odrediti poreklo nitrata u podzemnim vodama. Najjednostavnija indikacija može doći iz odnosa koncentracije nitrata sa drugim otpadnim komponentama, kao što je hlorid.

Do povećane koncentracije nitrata u podzemnoj vodi može doći i curenjem kanalizacione mreže i septičkih jama, ili usled industrijskog zagađenja (Wakida i Lerner, 2005). Plitke podzemne vode, vode prve izdani su naročito osetljive na zagađivanje nitratima. Plitko iskopani ili izbušeni bunari, naročito mogu da imaju visok sadržaj nitrata ako su nepropisno sagrađeni, tako da u njih može da utiče površinska voda ili ako se nalaze pored septičkih jama i izliva sa seoskog dvorišta. Ako zagađenje potiče od ljudskog ekskrementa, voda može da sadrži visoku koncentraciju hlorida pored nitrata, što u ispitivanim uzorcima vode nije slučaj. Studije Barrett i sar., (1999) i Yang i sar., (1999) su identifikovale kanalizaciju kao izvor zagađenja nitratima u urbanim podzemnim vodama putem odnosa nitrata i hlorida. Iznosi azota i hlorida koji nastaju u fekalijama su oko 4 kg N po stanovniku godišnje i 2 kg Cl po glavi stanovnika godišnje. Dakle ovaj odnos između NO_3^- i Cl^- ukazuje da izvor zagađenja može biti kanalizacija. Ovo nije slučaj u vodama izvorišta u Kriškovcima i Laktašima (Slike 77 a i c i 78 a i c), što umanjuje mogućnost da su za povećanu koncentraciju nitrata odgovorni doprinosi iz septičkih jama. Međutim, za Maglajane se može reći da je odnos nitrata i hlorida često bio 2 : 1 (na Slici 77b), tako da postoji sumnja na zagađenje izvorišta u Maglajanima od strane septičkih jama, iako korelacija prikazana na Slici 78 b to ne potvrđuje.

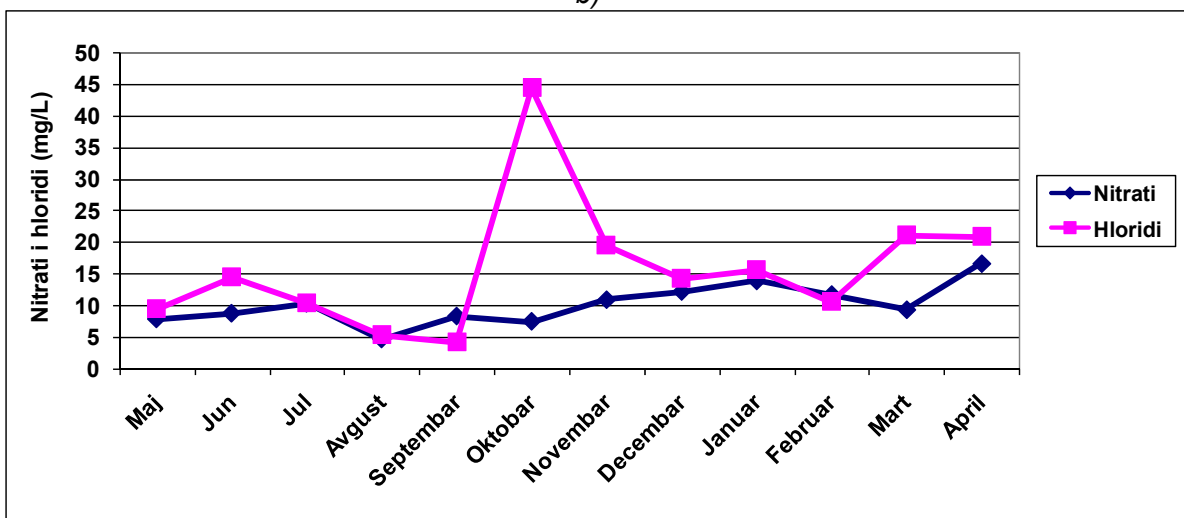
Sa obzirom da se dešava skok koncentracije nitrata nakon velikih padavina i ostaje dosta visok u odnosu na prvu polovinu godine, može se pretpostaviti da dolazi do spiranja nitrata poreklom iz đubriva u podzemnu vodu, pogotovo izvorišta Kriškovci i Maglajani. S obzirom na sve gore navedeno i predpostavke izvedene iz koncentracija ukupnog fosfora (Slika 65) i odnosa ukupnog fosfora i ortofosfora (Slike 66, 67 i 68) kao i odnosa ukupnog fosfora i hlorida (Slika 69) na izvorištu u Kriškovcima može se donijeti zaključak da na ovo izvorište osim uticaja reke Vrbas postoji i uticaj đubrenja i da su nitrati u vodi ovog izvorišta poreklom iz đubriva. Za izvorište u Maglajanima ostaje sumnja da, osim đubrenja, uticaj na pojavu nitrata u podzemnoj vodi imaju i septičke jame.



a)

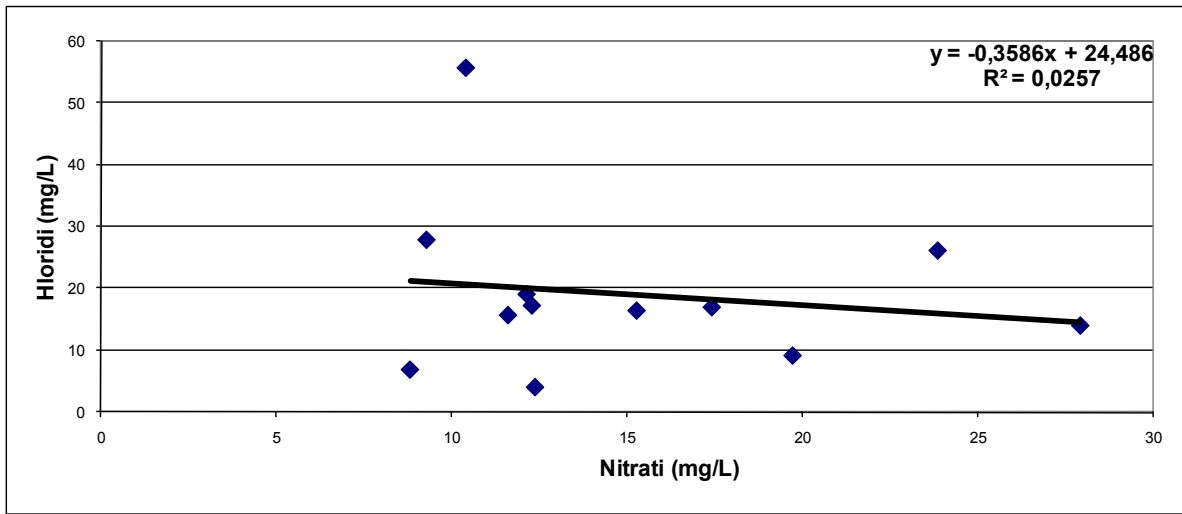


b)

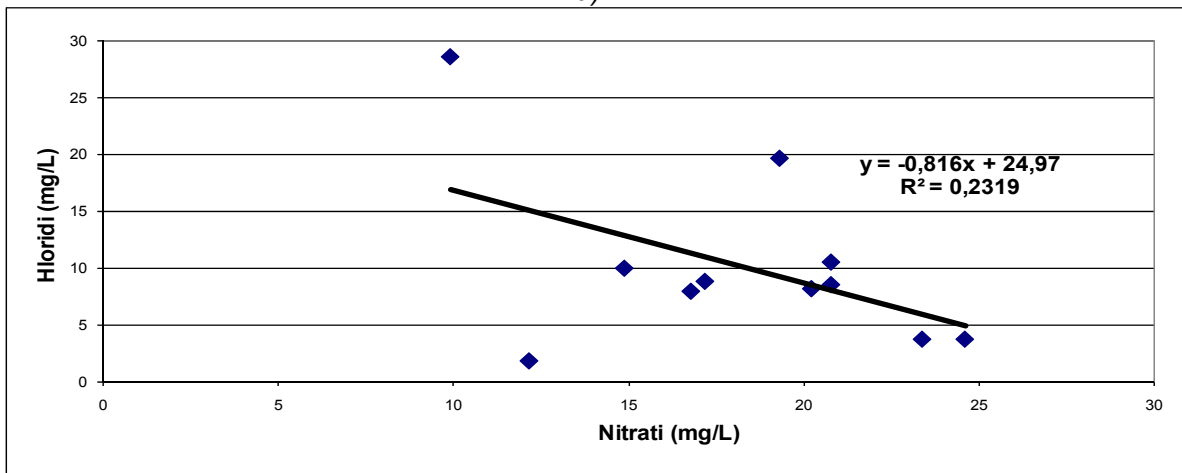


c)

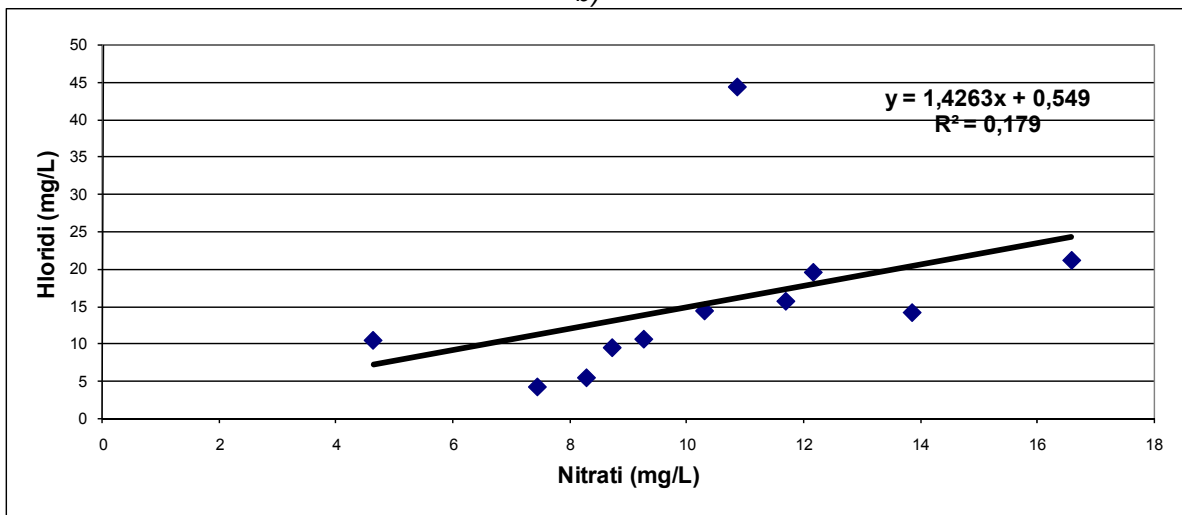
Slika 77. Koncentracija nitrata i hlorida na izvorištu a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši



a)



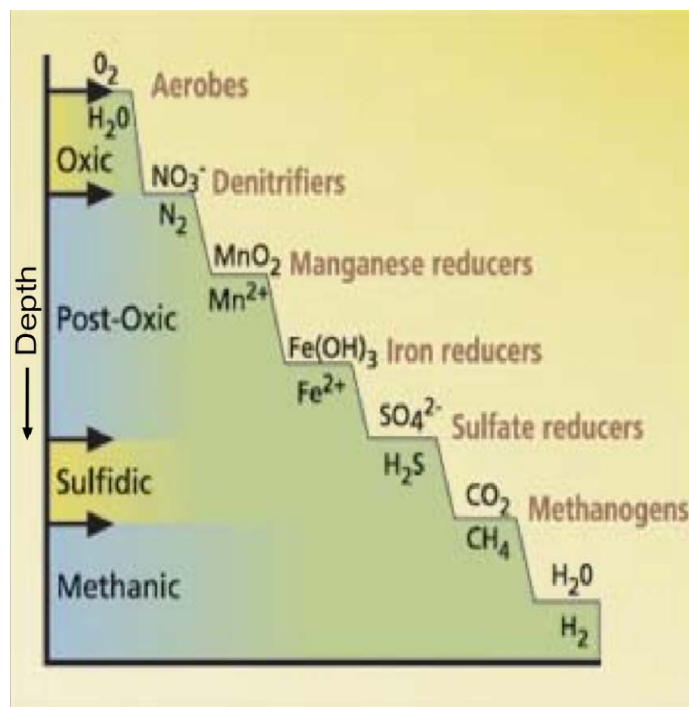
b)



c)

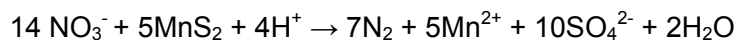
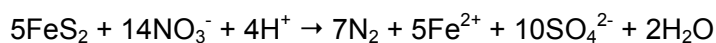
Slika 78. Odnos koncentracija nitrata i hlorida na izvorištu a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši

Kada je u podzemlju koncentracija kiseonika smanjena do tačke gde redukcija kiseonika nije termodinamički povoljna, doći će do niza zajedničkih redoks reakcija koje uključuju NO_3^- , MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, SO_4^{2-} , CO_2 (Slika 79). Konačna redoks faza, metanogeneza, nastaje kada metan (CH_4) deluje kao elektron akceptor i kada je prisutna velika količina organskog ugljenika (Kehew, 2000).

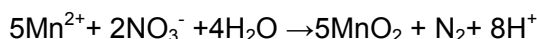


Slika 79. Redoks reakcija u okruženju podzemne vode (Gao i sar., 2003)

Prisustvo nitrata u vodi je moguće isključivo ako nisu prisutne redukujuće komponente ($\text{Fe}(\text{II})$, H_2S , CH_4). Vodonik-sulfid i metan mogu samo mešanjem različitih voda doći u kontakt sa nitratima (Dalmacija i Ivančević-Tumbas, 2004). Nitrati mogu da se denitrifikuju pomoću gvožđe-sulfida ili mangan disulfida MnS_2 (mineral Hauerit), pri čemu se približno u odnosu 1:1 obrazuje sulfat, kao što pokazuje sledeća reakcija:

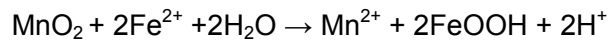


Aller (1990) je dokumentovao redukciju nitrata pomoću $\text{Mn}(\text{II})$ oblika u sedimentu basena Paname na većim dubinama, na osnovu čega je predložio reakcije u kojoj se redukcija nitrata u N_2 i oksidacija mangana odvijaju istovremeno:



Slični rezultati su dobijeni za sedimente Južnog Atlantika u kojima je reoksidacija $\text{Mn}(\text{II})$ značajno uticala na redukciju nitrata (Schulz i sar., 1994). Schulz i sar. (1994) su utvrdili da je ovo dokaz reoksidacije $\text{Mn}(\text{II})$ sa nitratima, što bi moglo ukazati da mangan igra potencijalno važnu ulogu u denitrifikaciji. U novije vreme, u istraživanjima u anaerobnim

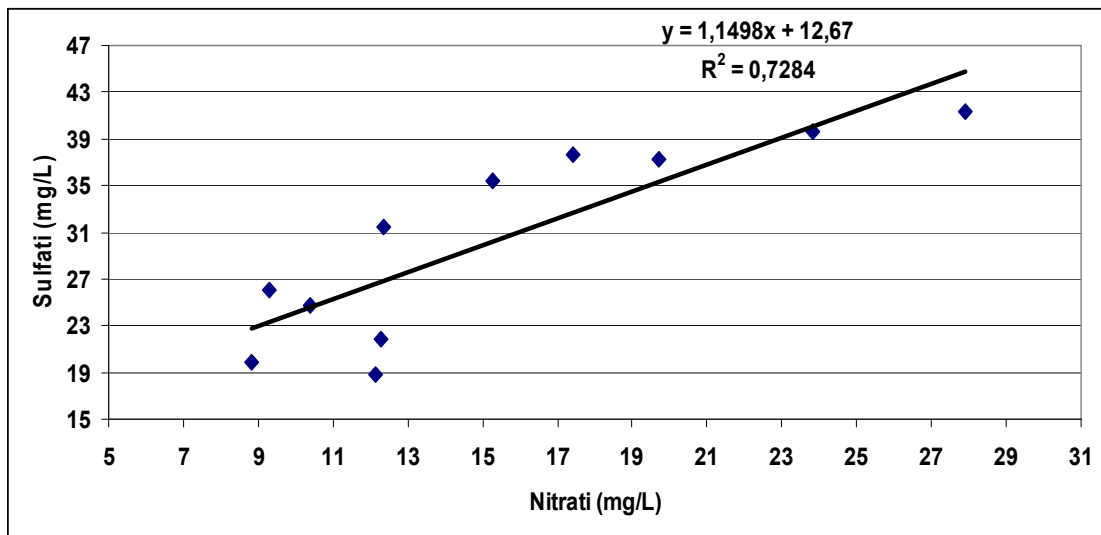
uslovima u sedimentnim zonama je otkriveno da je redukcija NO_3^- do N_2 sa Mn(II) moguća, ali u prisustvu mikroorganizama (Luther i sar., 1997). Tebo (1991) je takođe pratio mangan (II) oksidaciju u anoksičnim uslovima u Crnom moru, gde je otkrio nestanak mangana, navodno zbog Mn(II) adsorpcije ili eventualno Mn(II) oksidacije sa nitratima pomoću mikroorganizama. Pyszola (2013) je potvrdio vezu oksidacije Fe(II) sa Mn(III, IV) redukcijom u prisustvu nitrata na primeru poljoprivrednog zemljišta. Nakon oksidacije Mn(II) u MnO_2 pomoću nitrata, MnO_2 redukuje Fe(II) do Fe(III) koji se taloži, prema reakciji:



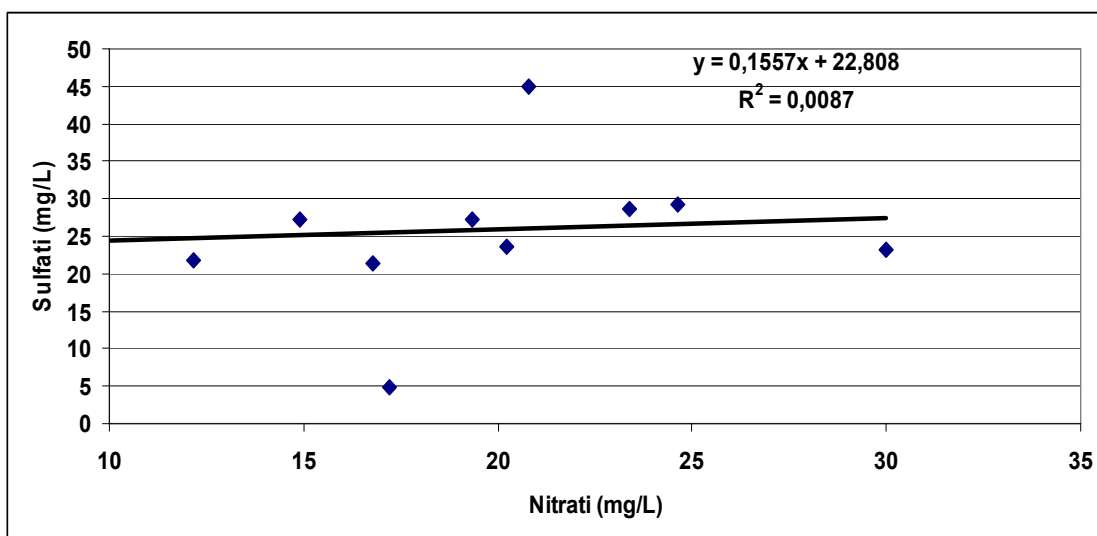
Iako mangana ima oko 20 puta manje u zemljištu od gvožđa, njegova oksidacija značajno utiče na smanjenje koncentracije nitrata (Pyszola, 2013). Trend za delovanje nitrata kao oksidansa Mn(II) , kada kiseonik nije prisutan, je prikazan u mnogim studijama (Aller, 1990; Luther i sar. 1997, Schulz i sar. 1994). Na žalost, nisu uspostavljeni doprinosi Mn(II) oksidacije za smanjenja nitrata (Pyszola, 2013).

Pretpostavlja se da su gore opisane reakcije razlog nastanka velike koncentracije mangana u vodi izvorišta u Kriškovcima. Ukoliko se dešavaju ove reakcije, voda mora biti bez, ili sa vrlo malom koncentracijom gvožđa, što je upravo slučaj u ovoj vodi. Mangan posle svoje mobilizacije (iz njegovog disulfida) u prisustvu nitrata više ne može biti oksidovan bez prisustva kiseonika, tako da ostaje rastvoren u vodi. Pri ovom procesu sulfati pretežno (oko 90%) ponovo učestvuju u procesu denitrifikacije, pri čemu masena koncentracija produkta NO_3^- odgovara otprilike koncentraciji završnih produkata SO_4^{2-} (Kölle, 2001).

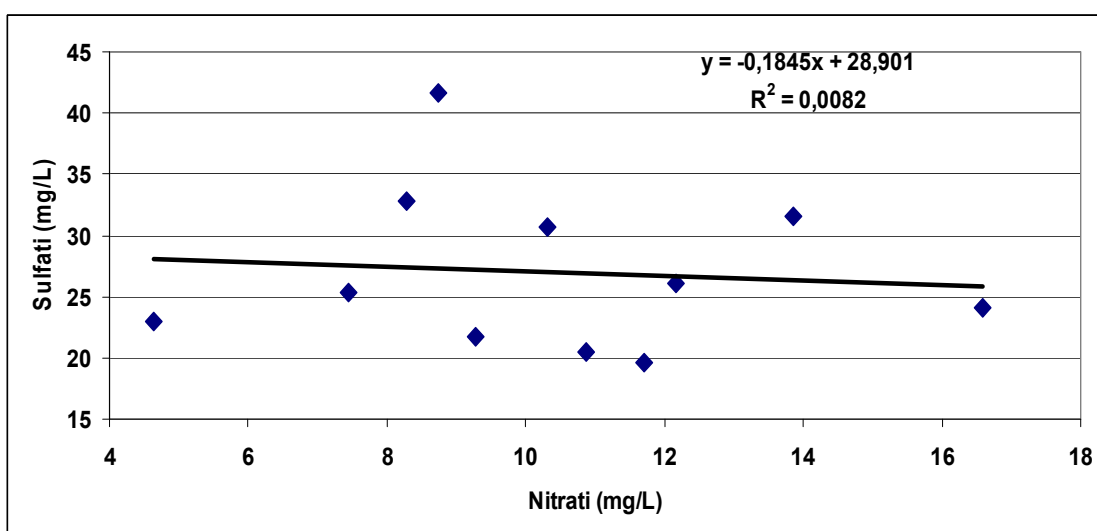
Na Slikama 80, 81 i 82 je predstavljen odnos koncentracija sulfata i nitrata na izvorištima. Sa Slika 80, 81 i 82 može se videti da koncentracija sulfata i nitrata dobro koreliraju samo u vodi izvorišta Kriškovci, što je potvrda pojave mangana u ovoj vodi uzrokovane gore navedenim reakcijama mangana, gvožđa i nitrata.



Slika 80. Korelacija koncentracije nitrata i sulfata u podzemnoj vodi u Kriškovcima



Slika 81. Korelacija koncentracije nitrata i sulfata u podzemnoj vodi u Maglajanima

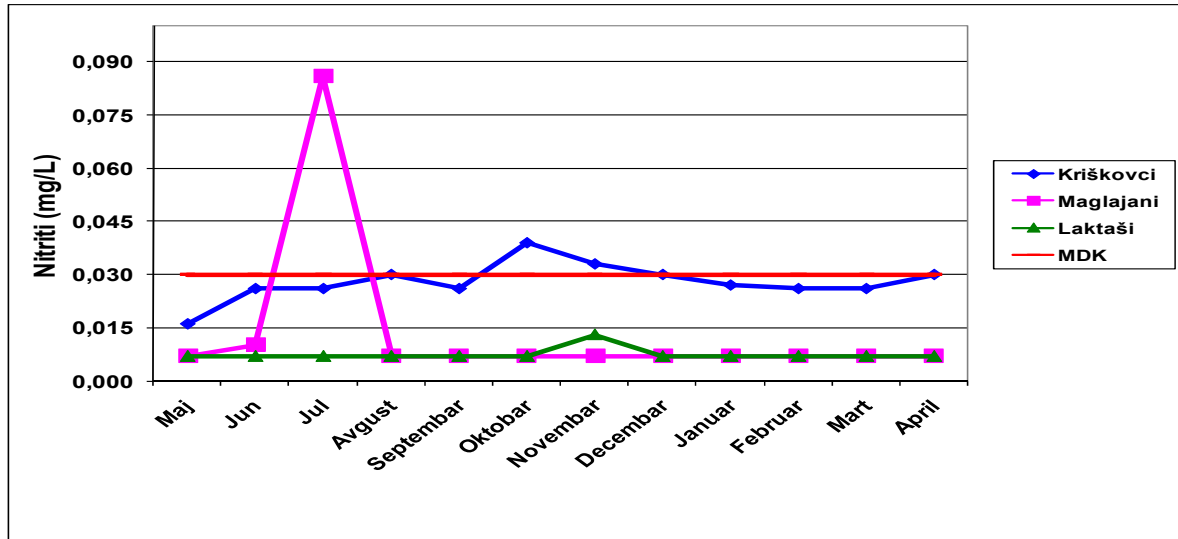


Slika 82. Korelacija koncentracije nitrata i sulfata u podzemnoj vodi u Laktašima

Nitriti mogu nastati kao međuprodukt oksidacije amonijaka (nitrifikacije) i prilikom redukcije nitrata (denitrifikacije). Stoga je prisustvo nitrita dobar pokazatelj da redoks procesi još uvek nisu završeni.

Nitriti (Slika 83) su sledeći parametar koji po brojnosti ne zadovoljava MDK vrednost propisanu Pravilnikom (2003), i to na 2 lokaliteta. Najveća vrednost od 0,086 mgNO₂/L zabeležena je u podzemnoj vodi na lokalitetu Maglajani u julu mesecu, kada je utvrđena povećana koncentracija i nitrata i amonijaka. Vrednosti od 0,039 mgNO₂/L (u oktobru) i 0,033 mgNO₂/L (u novembru) su zabeležene u podzemnoj vodi na lokalitetu Kriškovci. Dozvoljena vrednost za nitrite po Pravilniku (2003) iznosi 0,03 mgNO₂/L, ali se smatra da je voda ispravna u slučaju da u 20% merenja, koja nisu uzastopna, u toku godine vrednost koncentracije nitrita dostigne 0,1 mg/L. Tri povećane vrednosti koncentracije nitrita iznad 0,03 mg/L nisu ni jednom u toku godine dostigla vrednost veću od 0,1 mg/L i samim tim se za vode izvorišta u Maglajanima i Laktašima može reći da zadovoljavaju zahteve Pravilnika (2003). U Kriškovcima vrednost od 0,03 mg/l pređena je dva puta uzastopno, a takođe je

bilo i 3 merenja od 0,030 mg/l pa se za ovo izvoriste može reći da ne zadovoljava Pravilnik (2003) za nitrite.



Slika 83. Vrednost koncentracija nitrita u vodi na izvoristima tokom perioda ispitivanja i MDK vrednost propisana Pravilnikom (2003)

Prema smernicama EU (Council Directive 98/83/EC) granična vrednost za nitrite iznosi 0,1 mg/L, uz napomenu da se granica za nitrite može povećati na 0,5 mg/L kada se obavlja hloraminisanje vode i za uslove kada je zbir $[NO_3^-]/50 + [NO_2^-]/3$ manji ili jednak sa 1. USEPA (2009) u „National Primary Drinking Water Regulations” daje vrednost MCL (Maximum Contaminant Level) od 1 mg/L nitrita merenih kao azot, dok je preporučena vrednost u smernicama Svetske zdravstvene organizacije (WHO, 2011) 3 mg/L za nitrite. Iz svega gore navedenog se može videti da koncentracije nitrita u svim ispitivanim uzorcima vode nisu iznad granične vrednosti prema smernicama EU (Council Directive 1998), MCL po USEPA (2009) i preporučenih vrednosti od strane WHO (2011).

Nitritni-jon je najčešće u neznatnim količinama rasprostranjen u podzemnim vodama. Nitriti nastaju potpunom oksidacijom amonijumovog jona pomoću mikroorganizama, a nitrit je intermedijer u toj reakciji. U vodama koje imaju dosta kiseonika nitrit se brzo oksiduje u nitrat. Nitrit je takođe intermedijer i u reakciji denitrifikacije pomoću denitrifikacionih bakterija koje deluju u anaerobnim uslovima sredine, kakvi uglavnom vladaju u podzemnim vodama. Kada se nitriti nađu u vodi u značajnoj količini, to je znak zagađenja otpadnim vodama. Takođe povišenje koncentracije nitrita može biti neposredna posledica crpljenja vode, čime se skraćuje vreme reakcije tako da nema dovoljno vremena za završetak redoks procesa.

Pronađeno je da pH, rastvoreni kiseonik, isparljive masne kiseline i fosfati utiču na akumulaciju nitrita, što proizlazi iz diferencijalne inhibicije ili narušavanja povezanosti različitih koraka u nitrifikaciji i denitrifikaciji (Philips i sar., 2002). Glavni izvor nitrita u vodi iz bunara je ispiranje sa zemljišta na kojem se upotrebljava đubrivo i proceđivanje iz septičkih jama. Azotna đubriva se mogu pretvoriti u nitrite neposredno nakon primene na tlo sa pH između 7,0 i 7,3. U ovom slučaju, koncentracija nitrita može dostići i 100 mg/L (De Miguel i Vasquez, 2006). Nitriti se mogu naći u sredinama sa niskim sadržajem kiseonika, zbog ispiranja vodom zemljišta kontaminiranog azotnim đubrivima (Feigenbaum i sar., 1987; Arauzo i sar., 2003). Nitriti u vodi mogu takođe da budu dokaz svežeg fekalnog zagađenja (Standard Methods, 2005)

Poznato je da nitriti rastvoreni u podzemnoj vodi koja se koristi za piće, mogu izazvati štetne zdravstvene efekte, dok se za nitrata smatra da su vrlo malo toksični za čoveka, odnosno da su prvenstveno štetni kao polazno jedinjenje za obrazovanje nitrita. Toksičnost nitrita se manifestuje vazodilatatornim/kardiovaskularnim efektima pri visokim dozama i methemoglobinemijom, tzv. "sindromom plave dece", pri nižim dozama. Nitriti oksiduju Fe(II) iz hemoglobina u Fe(III), čime nastaje methemoglobin, koji ne može da vezuje kiseonik. Iako enzimi redukuju nastali Fe(III) do Fe(II), kod male dece je ta reakcija vrlo spora te su nitriti pogotovo štetni za njih.

Kao što je već spomenuto u naseljima u neposrednoj blizini izvorišta u Kriškovcima i Maglajanima ne postoji vodonepropusna kanalizacija tako da septičke jame predstavljaju potencijalnu opasnost za kvalitet vode izvorišta preko povećanja nivoa nitrita

U okolini izvorišta u Kriškovcima su privatne obradive površine na kojima se vrši đubrenje. Povišen sadržaj nitrita u oktobru i novembru mesecu može biti posledica jesenjeg đubrenja obradivih površina, pogotovo što je u oktobru mesecu u vodi utvrđen i povećani sadržaj ukupnog fosfora. Analizom je utvrđeno prisustvo ortofosfata i fosfata u vodi izvorišta u Kriškovcima što može ukazati na uticaj đubrenja zemljišta (Slika 66).

U blizini izvorišta u Maglajanima se nalaze obradive površine Instituta za poljoprivredu RS. U vodi ovog izvorišta su u julu mesecu utvrđene povišene koncentracije amonijaka i nitrata, ali ne i ukupnog fosfora i hlorida. Ovakvi rezultati navode na zaključak da je manja verovatnoća da je stajnjak uzrok ovim povišenim koncentracijama, ali da se ne isključuje eventualno đubrenje poljoprivrednih površina azotnim đubrivima (bez fosfata) kao uzrok pojave povećane koncentracije svih azotnih komponenti. Međutim, pri analizi ostalih parametara (hloridi, sulfati i amonijak) je zaključeno da aktivnosti na površine iznad izvorišta (stočarstvo) i septičke jame nemaju uticaj na kvalitet vode izvorišta u Laktašima i Kriškovcima, dok postoji sumnja da septičke jame mogu imati uticaj na kvalitet podzemne vode na izvorištu u Maglajanima.

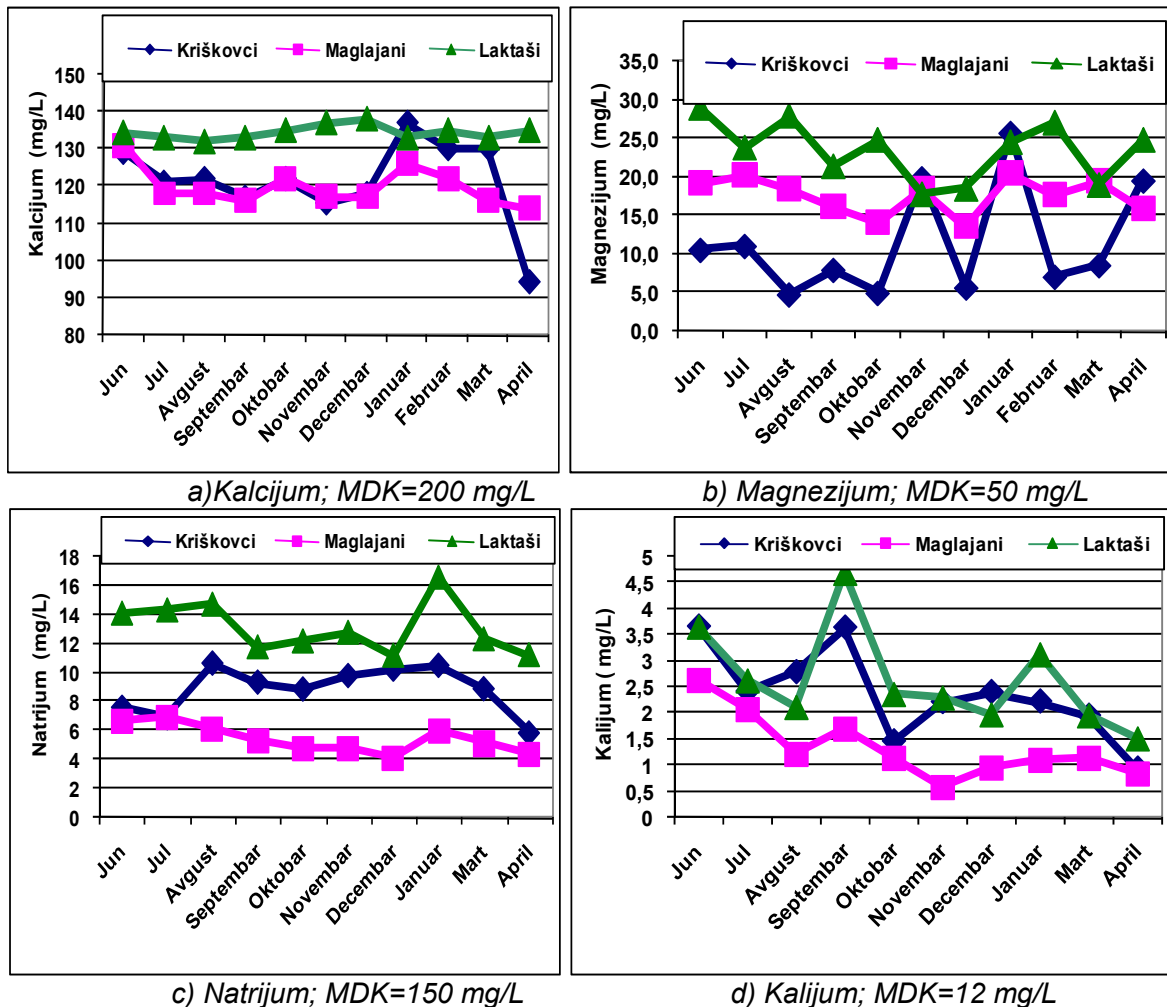
U Prilogu su u Tabelama V i VI prikazani rezultati određivanja fizičko-hemijskih parametara u vodi reke Vrbas na profilu u Klašnicama i Razboju Ljevčanskom. Iz datih rezultata se može videti da je u reci Vrbas na profilu Razboj Ljevčanski povećan sadržaj nitrita u mesecima julu i novembru i da prema ovom parametru u tim mesecima Vrbas spada u treću i četvrtu klasu vodotoka po Uredbi o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka Republike Srpske (2001). Ovaj povećan sadržaj nitrita se poklapa sa povećanim sadržajem nitrita u vodi na izvorištu Kriškovci, takođe u novembru mesecu. Dakle, može se pretpostaviti da je povećana koncentracija nitrita na ovom izvorištu u izvesnoj meri posledica kako jesenjeg đubrenja zemljišta, tako i povećane koncentracije nitrita u reci Vrbas. Takođe, povećan sadržaj nitrita na izvorištu u Maglajanima se poklapa sa povećanim sadržajem u reci Vrbas u julu mesecu. Može se pretpostaviti da je ovo posledica nekog tačkastog ili difuznog izvora zagađenja, koji je prouzrokovao povećanje koncentracije u reci Vrbas i zatim uticao na podzemnu vodu izvorišta Maglajani, što je dodatni dokaz uticaja reke Vrbas na ovo izvorište, kao i u slučaju povećane vrednosti mutnoće.

6.3.5 Katjoni

U sklopu fizičko-hemijskih parametara, urađeno je određivanje katjona 15 metala. Od 15 analiziranih metala, samo mangan ne zadovoljava kriterijume propisane Pravilnikom (2003).

Vrednosti koncentracije natrijuma, kalijuma, kalcijuma i magnezijuma (Slika 84) su na ovim izvorištima podložni variranju, ali su im vrednosti uvek daleko ispod dozvoljenih granica. Kalijum spada u nutrijente, jer se često koristi u formulacijama veštačkih đubriva.

Nizak sadržaj kalijuma u vodama ispitivanih izvorišta potvrđuje ranije iznetu konstataciju da je mala verovatnoća da obradive površine iznad ispitivanih izvorišta imaju značajniji uticaj na kvalitet podzemnih voda. Međutim, s obzirom da se kalijum čvrsto vezuje za glinu, moguće je da pri primeni đubriva, on bude zadržan u zemljištu, a da ostali nutrijenti prođu kroz slojeve zemljišta do podzemnih voda. Ako se kalijum pojavi u podzemnoj vodi znači da je ili u tlu prisutno malo gline ili da je sorpcioni kapacitet gline iscrpljen, što se može desiti pri dugotrajnom korišćenju đubriva sa kalijumom na terenu iznad izvorišta. To kod ispitivanih izvorišta nije bio slučaj.

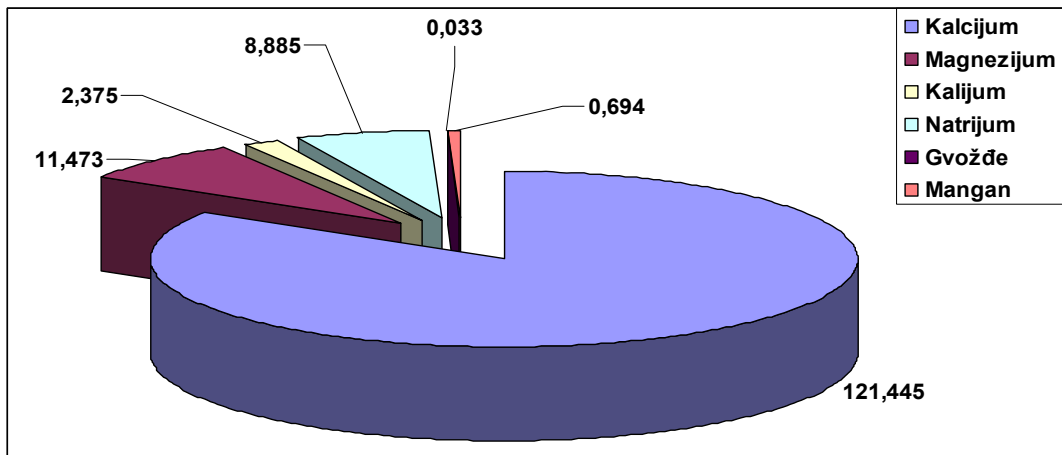


Slika 84. Koncentracije kalcijuma (a), magnezijuma (b) natrijuma (c) i kalijuma (d) u vodi ispitivanih izvorišta

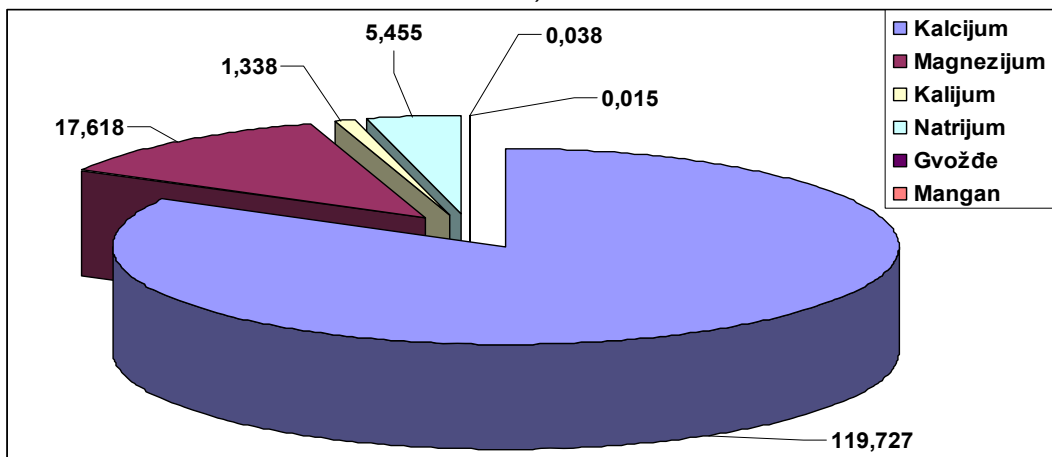
Odnos molarnih koncentracija magnezijuma i kalcijuma u vodi za piće treba da se kreće između 0,1 i 0,4 (Dalmacija i Agbaba, 2008). U vodi izvorišta Laktaši i Maglajani taj odnos je oko 0,3. Međutim, u vodi izvorišta Kriškovci, koncentracija kalcijuma i magnezijuma je jako varirala u jesenjem i zimskom periodu (koeficijent varijacije za kalcijum je 9,19, a za magnezijum čak 61,78), a odnos $[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$ se kretao od 0,07 do 0,36, što sve ukazuje na izvesne poremećaje u ovom izvorištu u zimskom periodu.

Na Slici 85 su prikazane srednje izmerene vrednosti za jone metala rađene plamenom atomskom apsorpcionom spektrofotometrijom i njihove vrednosti su date u mg/L. Na Slici 85

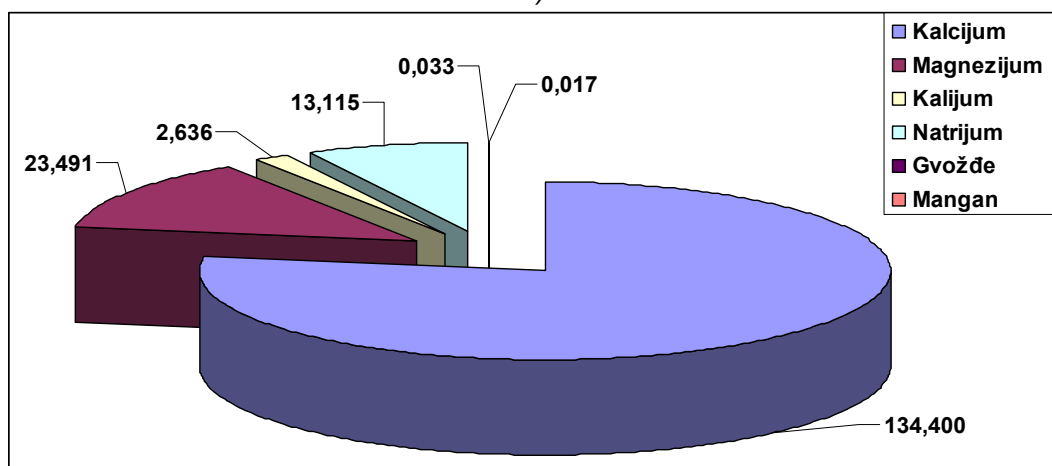
se može videti da su na sva tri izvorišta najviše zastupljeni kalcijum, zatim magnezijum, pa natrijum, i to u sličnim odnosima.



a)



b)

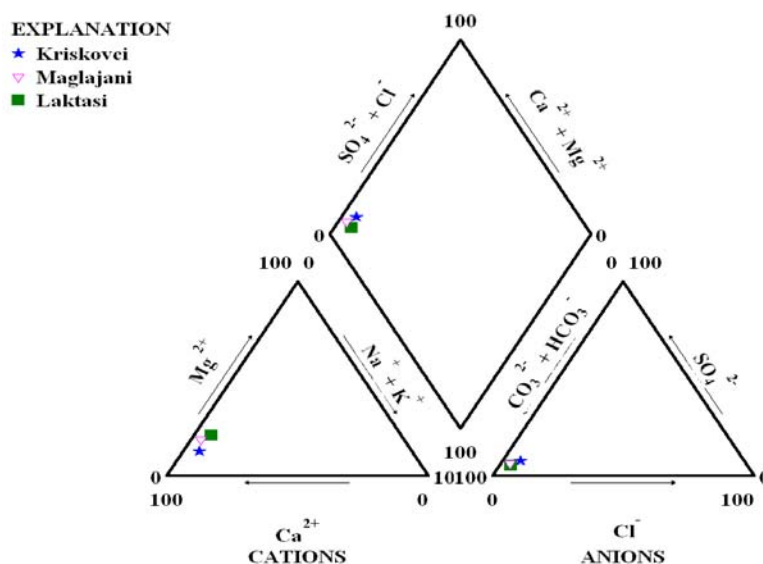


c)

Slika 85. Srednje vrednosti sadržaja katjona zemnoalkalnih i alkalnih metala, gvožđa i mangana, izraženih u µg/L, u vodi izvorišta a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši

Odnos osnovnih jona u vodama ispitivanih izvorišta je analiziran preko Piper dijagrama koji predstavlja način vizualizacije hemije uzorka vode (Piper, 1944). Sastoji se od tri dela: dijagram u donjem levom delu predstavlja katjone, dijagram u donjem desnom delu predstavlja anjone, dok romboid u sredini predstavlja kombinaciju predhodna dva dijagrama. U katjonskom dijagramu su predstavljeni kalcijum, magnezijum i natrijum plus kalijum. U anjonskom dijagramu su sulfatni, hloridni i karbonatni plus hidrogen karbonatni anjoni. Ova dva dijagrama se projektuju na romboidni dijagram. Piper dijagrami su nacrtani u programu GW.Chart (http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW_Chart/GW_Chart.html).

U dijagramu su unijete srednje vrednosti koncentracije katjona i anjona svakog od ispitivanih izvorišta, nakon čega su dobijene tačke u gornjem romboidu koje predstavljaju kombinaciju katjona i anjona na izvorištima (Slika 86).



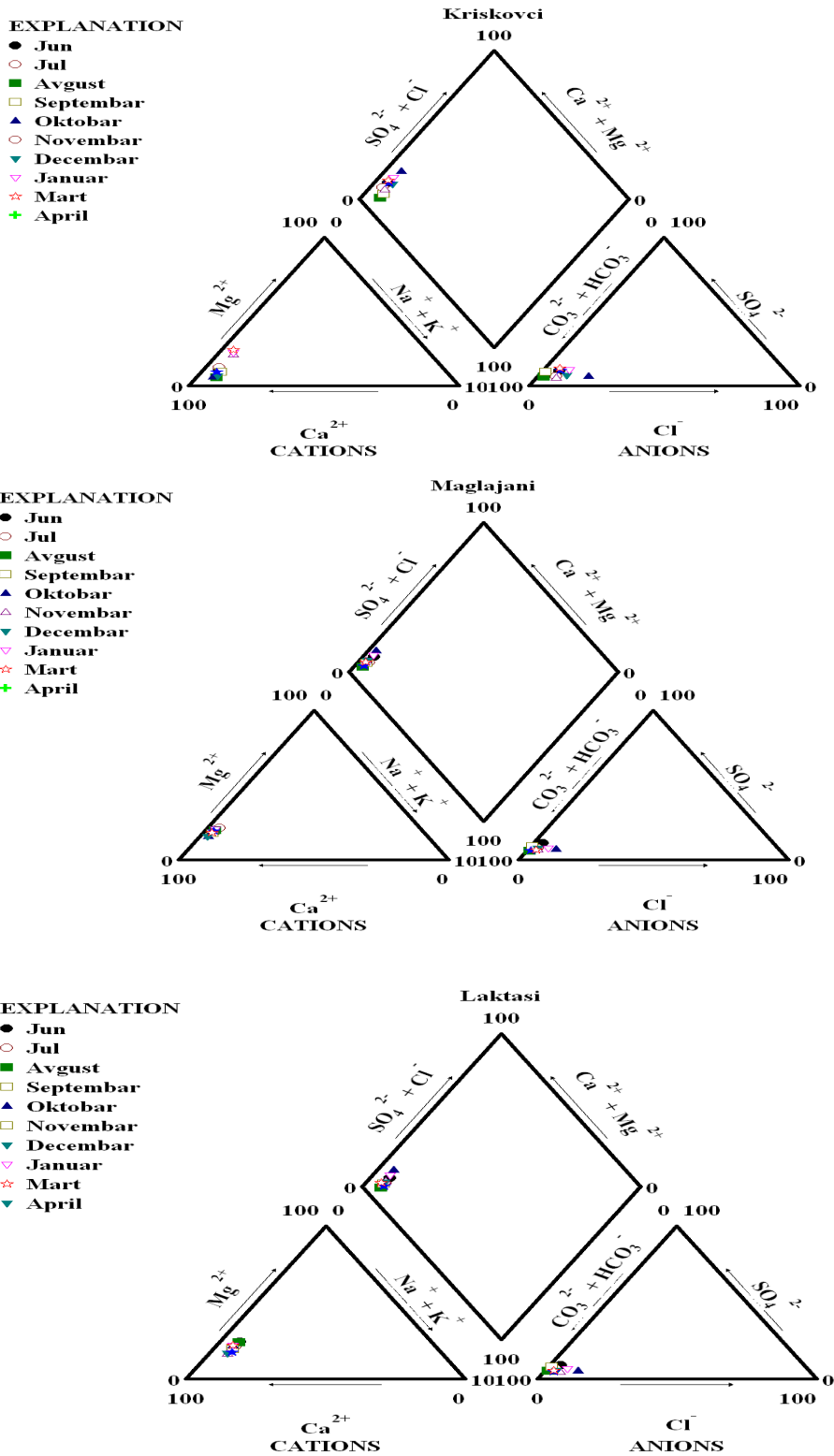
Slika 86. Piper dijagram za izvorišta u Kriskovcima, Maglajanima i Laktašima

Sa romboidnog dela Piper dijagrama za ispitivane podzemne vode se može videti kojem tipu vode odgovara ispitivana voda. Na primer, ako je tačka iscrtana na vrhu romboida voda je kalcijum-sulfatnog tipa (gipsane podzemne vode ili drenažne vode iz rudnika), ako je ucrtana sa leve strane u pitanju je kalcijum-bikarbonatna voda (sveža podzemna voda sa malih dubina), u desnom kvadrantu je natrijum-hloridna voda (morske ili stogodišnje podzemne vode sa velikih dubina), a donji kvadrant je natrijum-bikarbonatna voda (podzemne vode na velikim dubinama pod uticajem jonske izmene). Sa Slike 86 se može videti da vode sa sva tri ispitivana izvorišta predstavljaju kalcijum-bikarbonatnu vodu, to jeste da se radi o podzemnoj vodi sa malih dubina.

Na Slici 87 su date kombinacije anjona i katjona za izvorište u Kriškovcima (a), Maglajanima (b) i Laktašima (c) u toku perioda merenja od godinu dana.

Sa Slike 87 se može videti da vode sa sva tri izvorišta, u Kriškovcima, Maglajanima i Laktašima, u toku celog perioda merenja, predstavljaju kalcijum-bikarbonatnu vodu, to jeste da se radi o podzemnoj slatkoj vodi sa malih dubina. Sa piper dijagrama se takođe može videti da su vode sva tri izvorišta jako sličnog sastava što se tiče glavnih katjona i anjona.

Međutim, srednji trendovi katjona i anjona tokom istraživanja se razlikuju za tri istraživana izvorišta (Tabela 29).



Slika 87. Piper dijagram za izvorišta u Kriskovcima, Maglajanima i Laktašima u toku perioda merenja od godina dana

Tabela 29. Srednji trendovi katjona i anjona tokom istraživanja

Laktaši	Bikarbonati>Kalcijum>Sulfati>Magnezijum>Natrijum>Hloridi>Nitrati>Kalijum>Gvožđe
Maglajani	Bikarbonati>Sulfati>Kalcijum>Nitrati>Magnezijum>Hloridi>Natrijum>Kalijum>Gvožđe
Kriškovci	Bikarbonati>Kalcijum>Sulfati>Hloridi>Nitrati>Magnezijum>Natrijum>Kalijum>Gvožđe

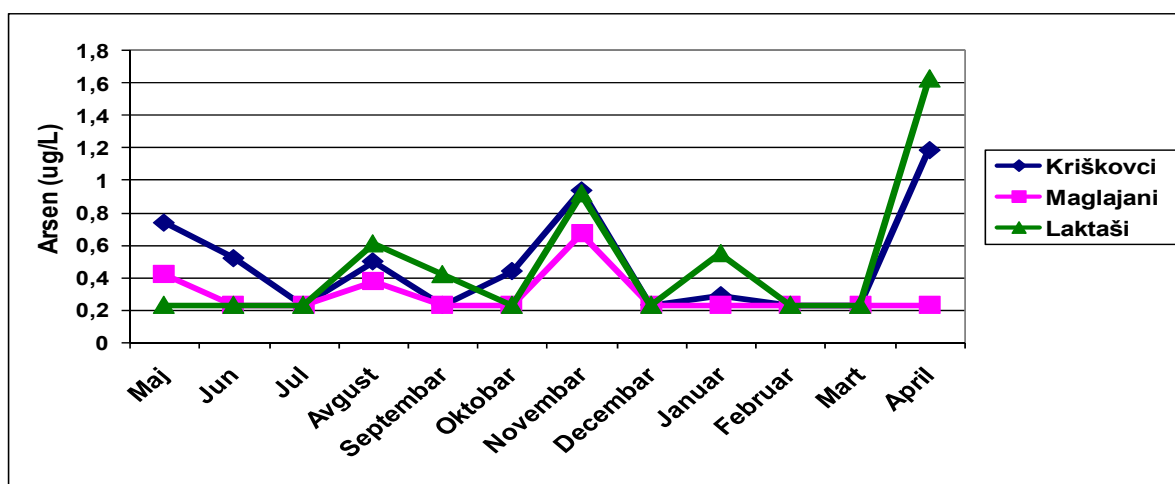
Od ostalih jona metala koji su određivani u vodi ispitivanih izvorišta, treba obratiti pažnju na one za koje je utvrđeno da imaju značajniji uticaj na zdravlje, a to su arsen, olovo, kadmijum i živa.

Arsen je dokazano kancerogen (izaziva rak kože), verovatno već pri koncentraciji od 0,2 µg/L, ali kako je praktična donja granica određivanja 10 µg/L, ta se vrednost uzima kao dozvoljena. Kadmijum se nakuplja prvenstveno u bubrežima, za koje i jeste najopasniji. Unošenje olova vodom predstavlja, u savremenoj praksi, najveći deo dnevnog unosa olova u organizam. Olovo je opšti toksikant, a nakuplja se u kostima. Pogotovo je olovo opasno za malu decu (do 6 godina) i trudnice. Olovo je toksično za centralni i periferni nervni sistem. U ovim ispitivanjima vrednosti arsena (Slika 88), kadmijuma (Slika 89) i olova (Slika 90) su oscilirale tokom godine, ali nikada nisu bile iznad dozvoljene vrednosti, odnosno bile su značajno ispod njih. Najviše oscilacija vrednosti za sva tri metala se pojavljuju kod izvorišta u Laktašima. Variranja ova tri metala se ne dešavaju u istim periodima godine.

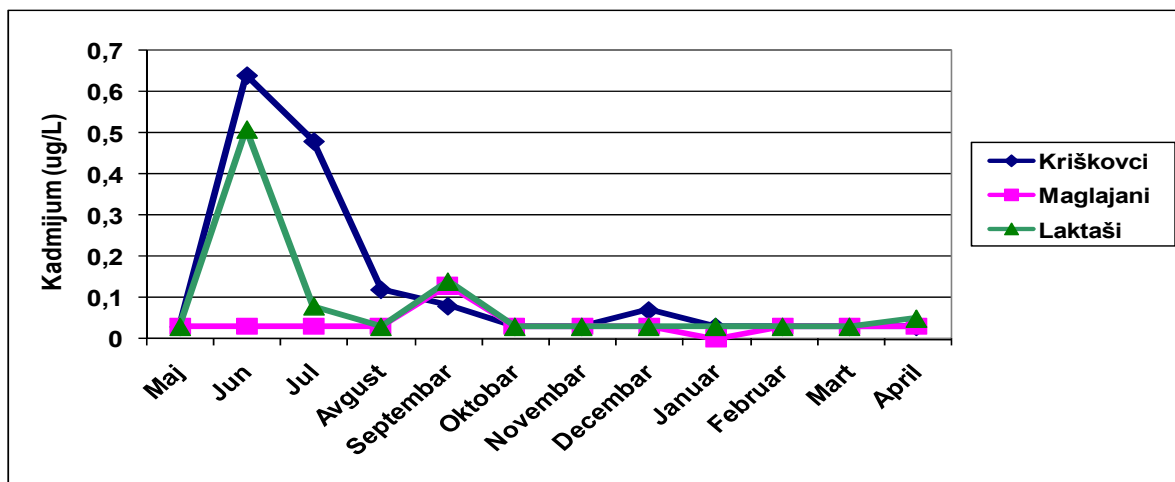
Živa je najopasnija za bubrege, dok metil-živa najviše šteti centralnom nervnom sistemu (naročito su u opasnosti trudnice i dojilje). Tokom ovog ispitivanja vrednost žive je u 87,5% slučajeva bila ispod granice detekcije primenjene metode i ni pri jednom merenju nije bila veća od dozvoljene granice.

Pored gore pomenutih katjona metala u vodi su još određivani sledeći teški metali: nikel, cink, aluminijum i bakar. Na Slici 91 se može videti da su na primer, koncentracije nikla, cinka, aluminijuma i bakra u vodi ispitivanih izvorišta podložne variranju, ali da su im vrednosti uvek daleko ispod dozvoljenih granica.

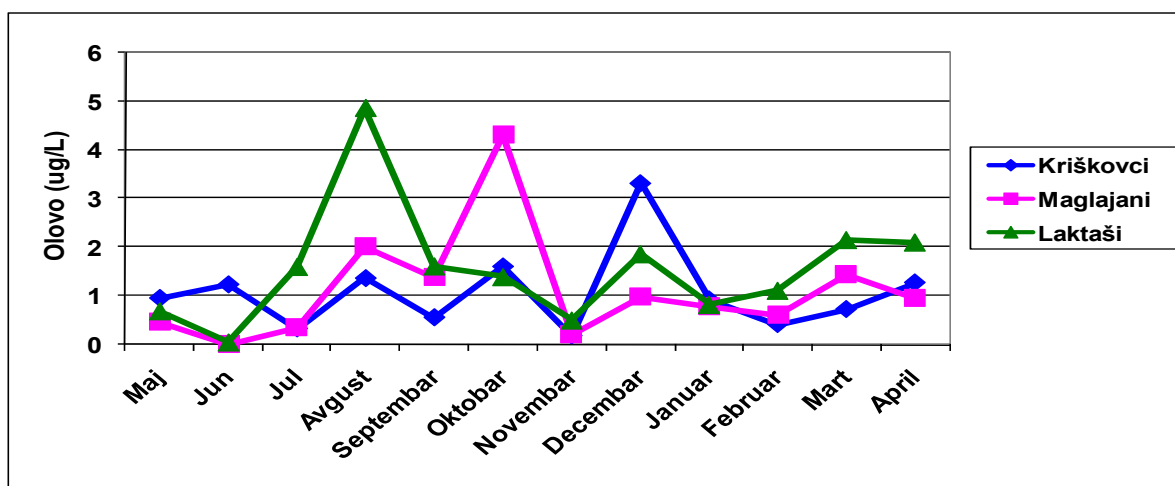
Iz svega gore pometunog kao i iz Tabele 30 se može videti da koncentracije jona metala na sva tri izvorišta u toku perioda merenja variraju u manjoj ili većoj meri, ali da istovremeno zadovoljavaju zahteve Pravilnika (2003).



Slika 88. Koncentracija arsena u toku ispitivanja u vodi izvorišta (MDK=10 µg/L)



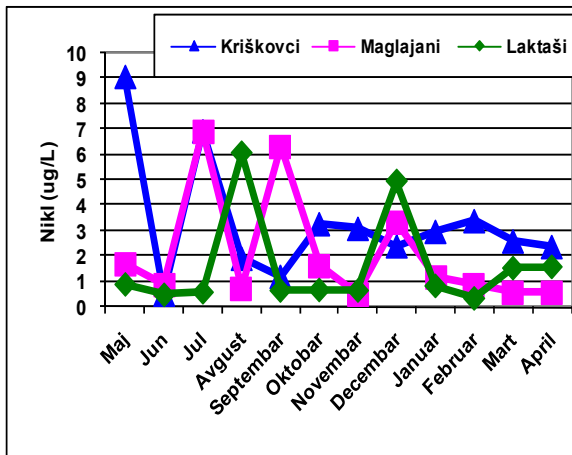
Slika 89. Koncentracija kadmijuma u toku ispitivanja u vodi izvorišta (MDK=3 µg/L)



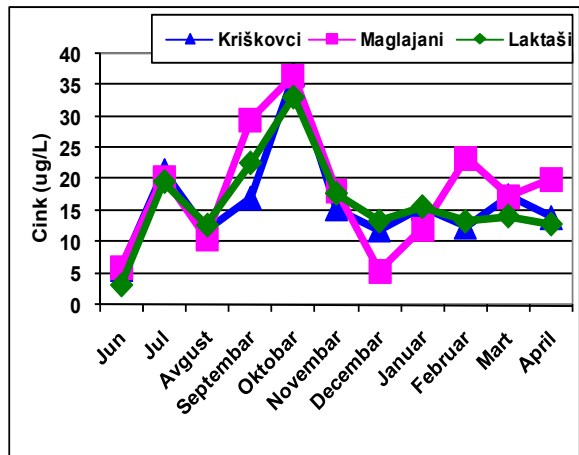
Slika 90. Koncentracija olova u toku ispitivanja u vodi izvorišta (MDK=10 µg/L)

Na Slici 92 su prikazane srednje vrednosti katjona teških metala (izraženih u µg/L) na izvorištima. Može se zaključiti da je mineralni sastav ovih izvorišta što se tiče teških metala jako sličan. Ako se posmatraju Slike 76, 85 i 92 može se zaključiti da su vode sa sva tri izvorišta jako sličnog mineralološkog sastava iz čega se može zaključiti da su poreklom iz istih geoloških naslaga.

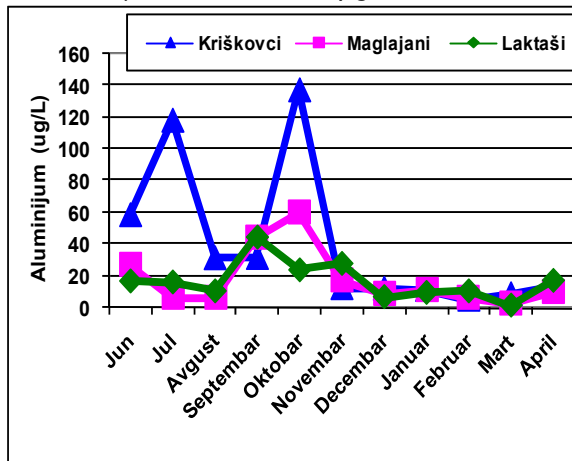
Urađene su korelacije između koncentracija svih određivanih jona metala i iz Tabela 31, 32 i 33 se može videti da su korelacije između koncentracija metala u većini slučajeva loše. U navedenim tabelama su značajnije međuzavisnosti koncentracije jona metala označene boldom (masnim slovima). Na izvorištu u Laktašima gde su najveća variranja koncentracija metala je ustanovljen i najveći broj korelacija i to između bakra i cinka; mangana i bakra; gvožđa i hroma. Na izvorištu Kriškovci je dobra korelacija samo između bakra i cinka, a za gvožđe i živu nisu rađene korelacije jer su njihove vrednosti pri svim merenjima bile ispod ili jako blizu granice detekcije. Na izvorištu u Maglajanima je dobra korelacija samo između natrijuma i kalijuma, a za kadmijum i živu nisu rađene korelacije jer su njihove vrednosti pri svim merenjima bile ispod granice detekcije. Ove male razlike su neminovne i očekivane s obzirom da sastav terena ne može biti identičan na različitim izvorištima.



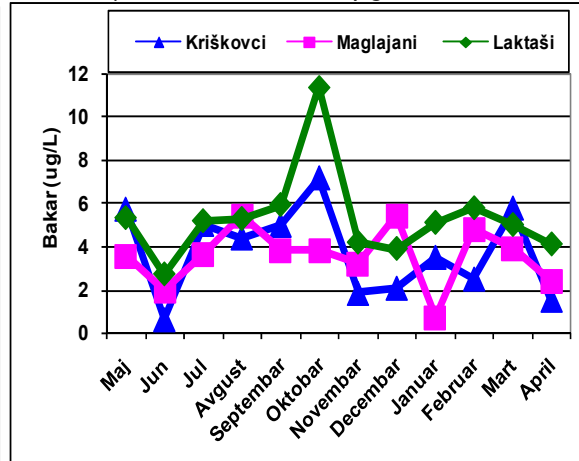
a) Nikl; MDK=20 µg/L



b) Cink; MDK=3000 µg/L



c) Aluminijum; MDK=200 µg/L

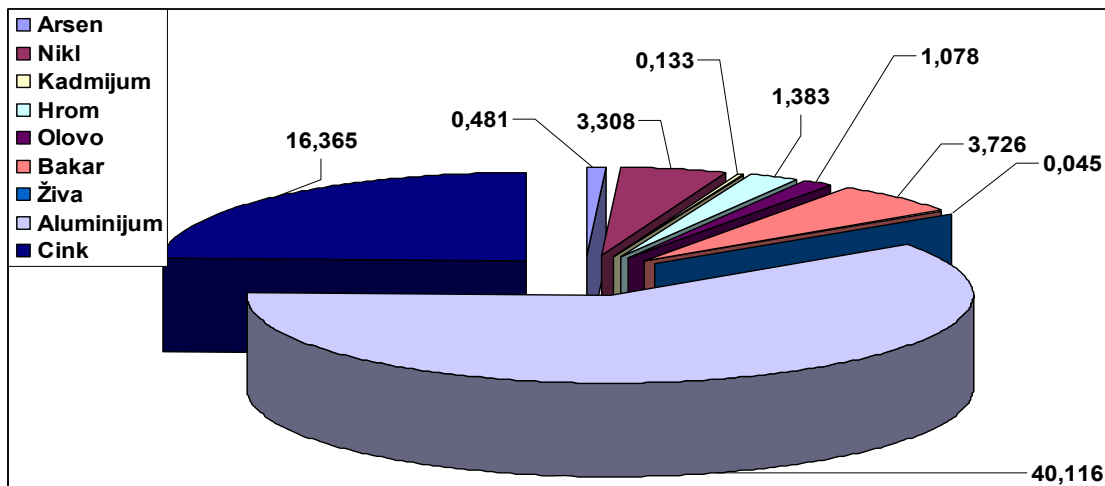


d) Bakar; MDK=2000 µg/L

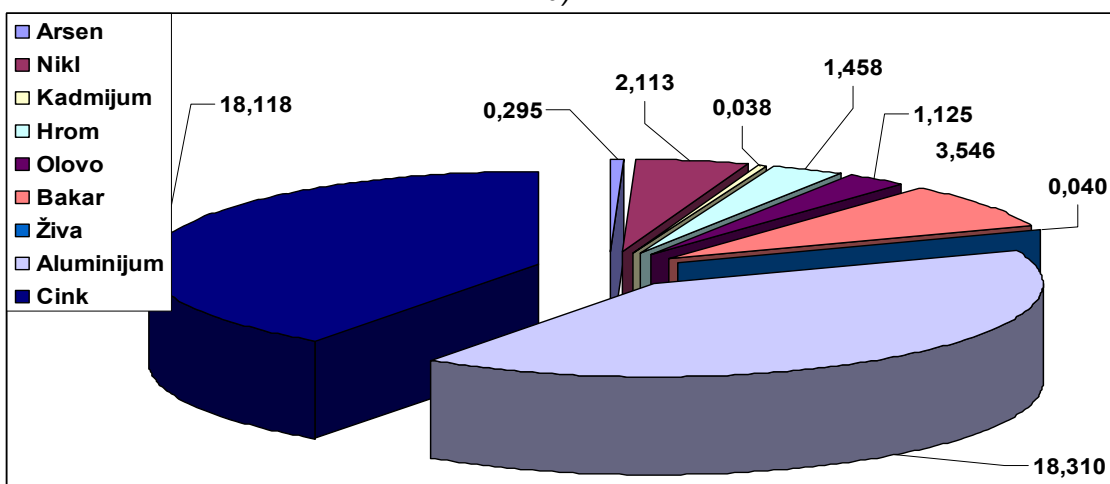
Slika 91. Koncentracije nikla (a), cinka (b), aluminijuma (c) i bakra (d) u vodi ispitivanih izvorišta

Tabela 30. Koeficijenti varijacije za koncentraciju jona metala u vodi ispitivanih izvorišta

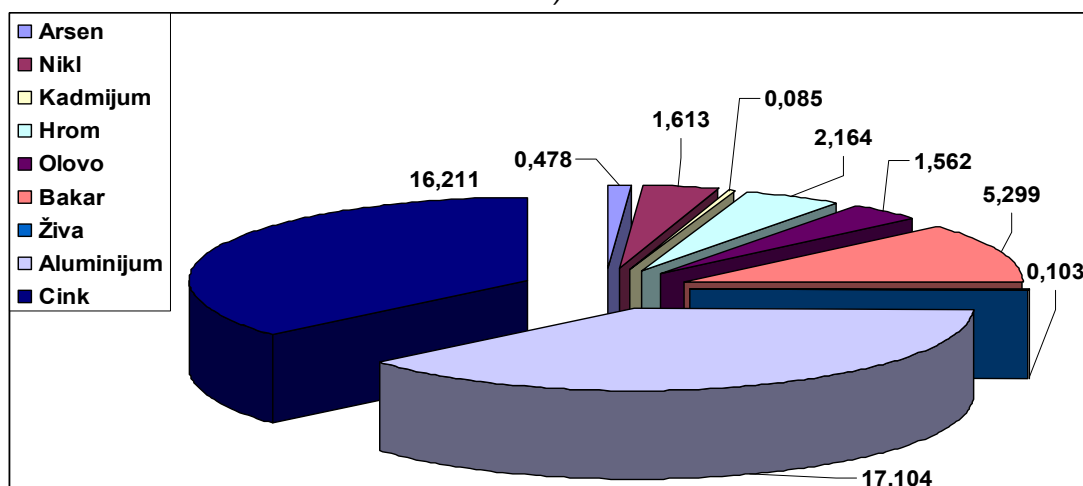
Parametar	Kriškovci	Maglajani	Laktaši
	Koeficijent varijacije (%)		
Kalcijum	9,19	4,24	1,38
Magnezijum	61,78	13,40	16,34
Kalijum	35,77	46,38	35,98
Natrijum	18,02	17,47	13,42
Gvožđe	21,75	48,06	37,89
Mangan	24,55	63,52	88,33
Aluminijum	115,8	100,0	69,83
Arsen	66,82	45,88	88,67
Cink	47,93	52,74	46,25
Nikl	72,35	106,7	116,7
Kadmijum	153,2	75,31	166,2
Hrom	94,48	25,87	61,72
Olovo	77,74	102,4	78,58
Bakar	54,68	38,64	39,78
Živa	27,22	0	150,1



a)



b)



c)

Slika 92. Srednje vrednosti katjona teških metala, izraženih u µg/L, u vodi izvorišta
a) Kriškovci, b) Maglajani i c) Laktaši

Tabela 31. Korelacije između koncentracije metala u vodi izvorišta u Laktašima

	Kalcijum	Magnezijum	Kalijum	Natrijum	Aluminijum	Cink	Gvožđe	Mangan	Arsen	NIKI	Kadmijum	Hrom	Olovo	Bakar
Magnezijum	0,2058	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Kalijum	0,3033	0,0319	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Natrijum	0,0951	0,2507	0,0511	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Aluminijum	0,001	0,0123	0,4134	0,0753	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cink	0,001	0,072	0,0025	0,00514	0,220	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Gvožđe	0,1395	0,0043	0,4838	0,0297	0,5054	0,0552	/	/	/	/	/	/	/	/
Mangan	0,0115	0,0128	0,0097	0,0356	0,038	0,5648	0,0243	/	/	/	/	/	/	/
Arsen	0,0155	0,0009	0,1403	0,0399	0,0272	0,0142	0,0002	0,0613	/	/	/	/	/	/
Niki	0,0017	0,0008	0,183	0,003	0,1492	0,0517	0,0041	0,0382	0,0044	/	/	/	/	/
Kadmijum	0,0063	0,1912	0,2955	0,0213	0,031	0,2604	0,0075	0,0284	0,032	0,0594	/	/	/	/
Hrom	0,0862	0,0649	0,5221	0,0186	0,5804	0,2885	0,7391	0,0005	0,0058	0,0703	0,0043	/	/	/
Olovo	0,1689	0,0173	0,1487	0,0003	0,0586	0,0004	0,0685	0,0164	0,0334	0,6347	0,01446	0,0004	/	/
Bakar	0,0134	0,0071	0,0001	0,0141	0,0603	0,7794	0,0077	0,7491	0,0627	0,0287	0,01448	0,0906	0,009	/
Živa	0,0799	0,0027	0,0166	0,1714	0,0175	0,0112	0,0697	0,04	0,0857	0,0999	0,0218	0,0012	0,0088	0,0080

Tabela 32. Korelacije između koncentracije metala u vodi izvorišta u Maglajanima

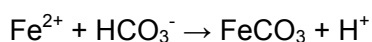
	Kalcijum	Magnezijum	Kalijum	Natrijum	Aluminijum	Cink	Gvožđe	Mangan	Arsen	NIKI	Kadmijum	Hrom	Olovo	Bakar
Magnezijum	0,1012	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Kalijum	0,3325	0,5689	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Natrijum	0,3046	0,116	0,6046	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Aluminijum	0,0485	0,2456	0,0285	0,0148	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cink	0,0702	0,0972	0,0192	0,0411	0,4034	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Gvožđe	0,0882	0,0606	0,0005	0,0335	0,0005	0,0141	/	/	/	/	/	/	/	/
Mangan	0,0412	0,0382	0,001	0,0003	0,5016	0,2835	0,3722	/	/	/	/	/	/	/
Arsen	0,0447	0,0221	0,1963	0,0274	0,0081	0,008	0,0771	0,0839	/	/	/	/	/	/
Niki	0,0623	0,0057	0,1702	0,0694	0,0374	0,0656	0,0107	0,0633	0,0865	/	/	/	/	/
Kadmijum	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Hrom	0,0526	0,1132	0,1567	0,0494	0,2275	0,0904	0,008	0,2076	0,1388	0,0488	/	/	/	/
Olovo	0,0117	0,2818	0,0655	0,082	0,390	0,3462	0,0127	0,2934	0,0557	0,0033	/	0,3387	/	/
Bakar	0,2359	0,198	0,0352	0,0839	0,0116	0,0071	0,1377	0,1136	0,0041	0,0305	/	0,0887	0,0812	/
Živa	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tabela 33. Korelacije između koncentracije metala u vodi izvorišta u Kriškvcima

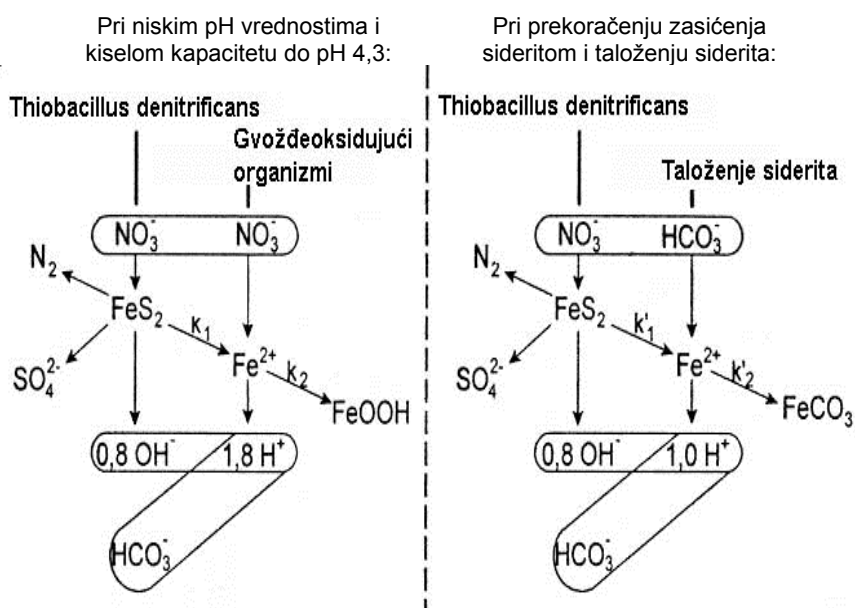
	Kalcijum	Magnezijum	Kalijum	Natrijum	Aluminijum	Cink	Gvožđe	Mangan	Arsen	NiKI	Kadmijum	Hrom	Olovo	Bakar
Magnezijum	0,0122	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Kalijum	0,1843	0,0862	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Natrijum	0,2793	0,015	0,0851	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Aluminijum	0,001	0,1014	0,0021	0,1105	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Cink	0,0124	0,0316	0,2268	0,0019	0,4961	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Gvožđe	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Mangan	0,0352	0,0824	0,1687	0,1207	0,2748	0,0345	/	/	/	/	/	/	/	/
Arsen	0,5431	0,2364	0,2177	0,1727	0,024	0,0135	/	0,0136	/	/	/	/	/	/
Niki	0,0007	0,0084	0,1444	0,0646	0,206	0,2009	/	0,0768	0,0062	/	/	/	/	/
Kadmijum	0,0302	0,0129	0,292	0,1964	0,2043	0,0802	/	0,1556	0,0232	0,0042	/	/	/	/
Hrom	0,0002	0,0005	0,0002	0,1845	0,3262	0,0516	/	0,0957	0,0608	0,2277	0,2842	/	/	/
Olovo	0,0218	0,1097	0,0118	0,0513	0,0003	0,0024	/	0,0502	0,0087	0,0508	0,0062	0,0777	/	/
Bakar	0,0533	0,154	0,0262	0,0314	0,2845	0,6457	/	0,0606	0,1243	0,1933	0,0797	0,0404	0,0199	/
Živa	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Gvožđe učestvuje u sastavu zemljine kore sa 5% i stoga se često nalazi u vodama u prirodi, pogotovo u podzemnim vodama gde u redukcionim uslovima egzistira kao dobro rastvoran Fe(II) jon. Na sva tri izvorišta je u toku merenja koncentracija gvožđa bila jako niska i u većini slučajeva ispod granice detekcije. Kao što je ranije pomenuto rastvoreno Fe(II) može da dospe u vodu oksidacijom gvožđe-sulfida u prisustvu nitrata. Međutim, ne sme se zanemariti ni drugi mehanizam da Fe(II) može nastati i redukcijom FeOOH, mada su to retki slučajevi. Jedna od osobina FeOOH je da se pri podzemnoj deferizaciji pored Fe(II) adsorbuju i Mn(II) i amonijak. Prema tome može se pretpostaviti da se pri redukciji i rastvaranju FeOOH oslobađa adsorbovani amonijak (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004). Na izvorištima Kriškovci, Maglajani i Laktaši je tokom svih merenja bio zabeležen nizak nivo amonijaka iz čega se može zaključiti da se ovaj mehanizam može zanemariti.

Oslobodeni Fe²⁺ joni imaju tri opcije: mogu ostati u rastvoru, mogu se preko nitrata dalje oksidovati do Fe(III)-oksidrata ili se istaložiti kao siderit (FeCO₃). Visoka koncentracija bikarbonata predstavlja preduslov za taloženje Fe(II) u obliku karbonata prema reakciji:



Na Slici 93 su prikazani mogući putevi uklanjanja gvožđa u obliku taloga.



Slika 93. Šema reakcije denitrifikacije pomoću Fe-disulfida npr. za mobilizaciju Fe(II) oksidacionim uticajem nitrata (Dalmacija i Ivančev-Tumbas, 2004)

Dakle, obzirom da na izvorištima Laktaši, Maglajani i Kriškovci nije prisutno gvožđe može se zaključiti da verovatno nije prisutno u većoj meri u geološkim slojevima ili, što je verovatnije, da je došlo do njegovog ponovnog taloženja kao siderit (FeCO₃) ili kao Fe(III)-oksidrat nakon oksidacije sa MnO₂.

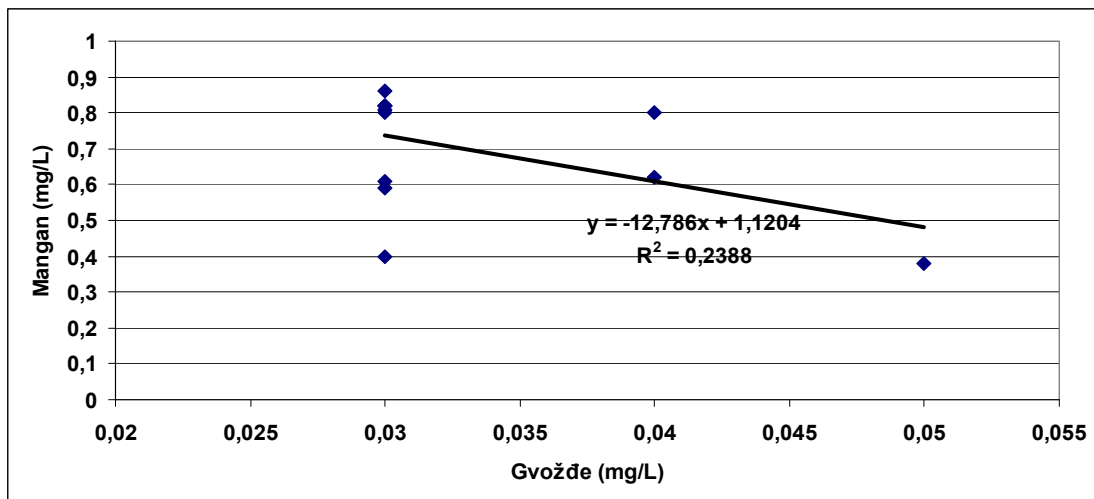
Iz Tabele 34 se može videti da su koncentracije amonijaka približno iste u vodi izvorišta i reci Vrbas, a da je mnogo veća koncentracija nitrata prisutna u podzemnim vodama nego u reci Vrbas, što dodatno potvrđuje mogućnost da se rastvoreni oblik gvožđa ponovo taloži pod dejstvom nitrata usled čega nije prisutan u podzemnoj vodi. Na sva tri

izvorišta nisu nađene korelacije između gvožđa, amonijum jona, nitrata niti sulfata.

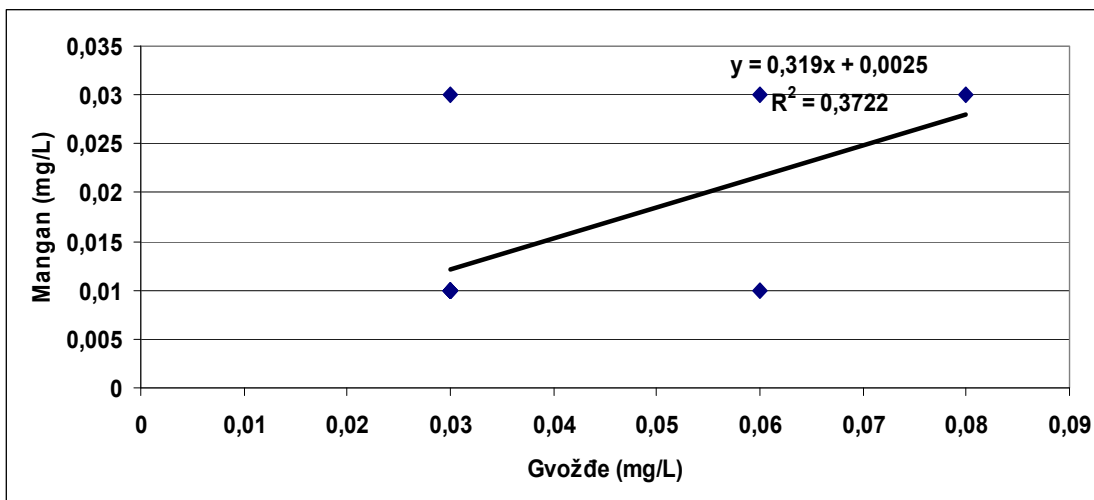
Tabela 34. Sadržaj amonijum jona, sulfata, nitrata i gvožđa u vodi izvorišta Kriškovci, Maglajani i Laktaši i u vodi reke Vrbas na profilima Razboj Ljevčanski i Klašnice

Lokalitet	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Fe (mg/l)
Kriškovci	0,031	15,079	30,372	0,033
Maglajani	0,020	19,183	25,772	0,039
Laktaši	0,033	10,142	26,991	0,034
Razboj Ljevčanski	0,083	2,703	/	/
Klašnica	0,145	2,178	/	/

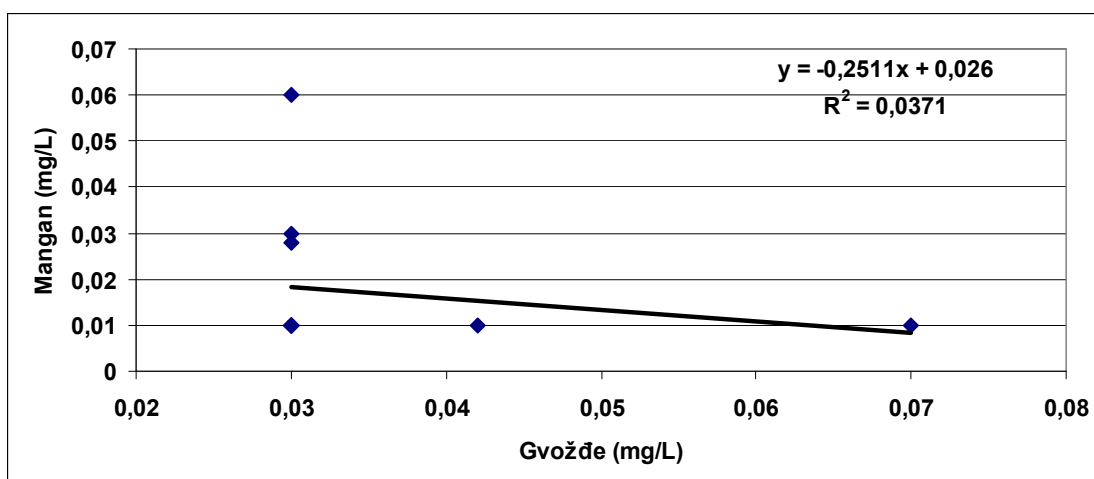
Mangan je uobičajeni pratilac gvožđa u zemljinoj kori, iako je u njoj oko 50 puta manje zastupljen od gvožđa. Oksidoredukcijske reakcije mangana su gotovo nerazdvojive od reakcija gvožđa. Na izvorištu u Kriškovcima je prisutna povećana koncentracija mangana, ali ne i gvožđa. Na izvorištima Laktaši i Maglajani ni jedan od ova dva metala nije prisutan u koncentracijama većim od MDK vrednosti propisane Pravilnikom (2003). Na Slikama 94, 95 i 96 su date korelacije između koncentracije gvožđa i mangana u vodi na sva tri izvorišta i može se videti da korelacija između ova dva metala ne postoji. Povećani sadržaj mangana u vodi izvorišta Kriškovci i Laktaši će biti razmotren u posebnim poglavljima.



Slika 94. Korelacija koncentracije mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Kriškovcima



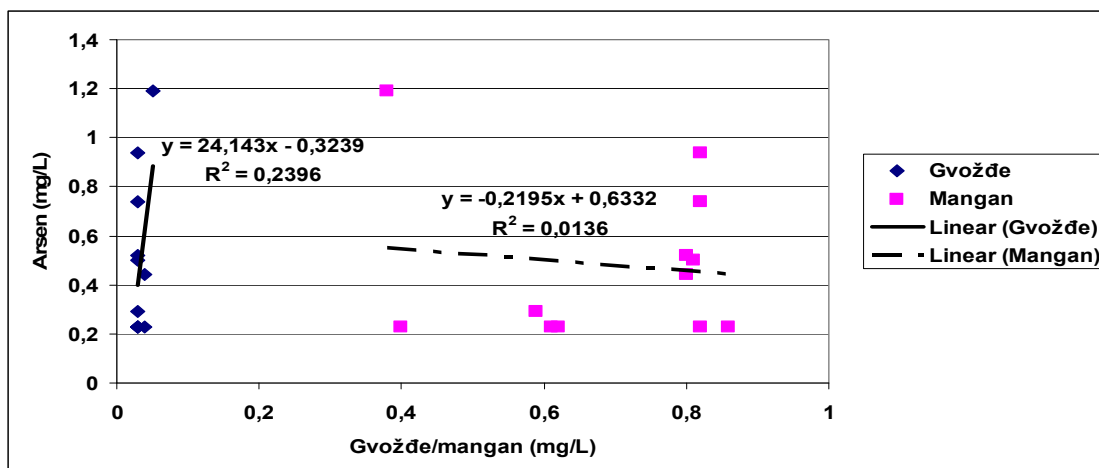
Slika 95. Korelacija koncentracije mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Maglajanima



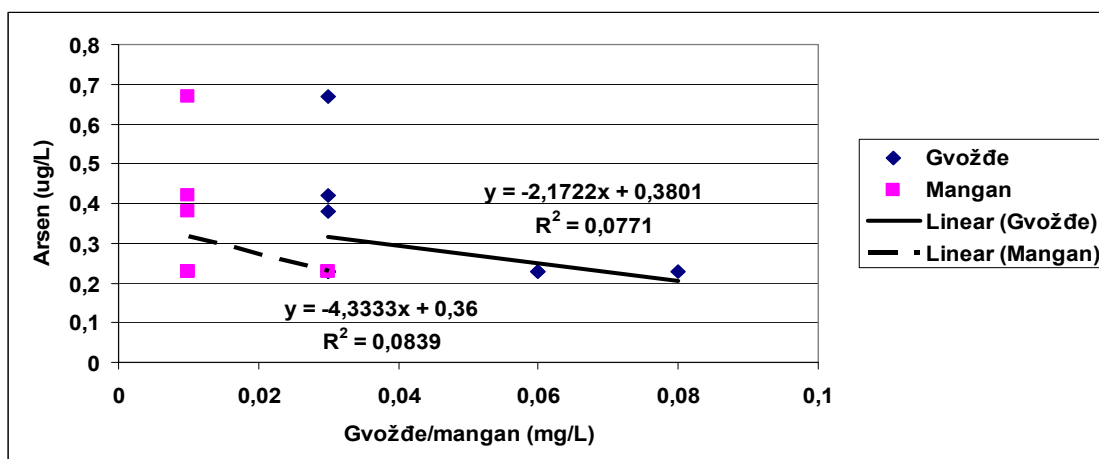
Slika 96. Korelacija koncentracije mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Laktašima

Takođe su urađene korelacije između arsena, gvožđa i mangana (Slike 97, 98 i 99). Arsen se u prirodi nalazi u obliku sulfida, u arsenidima i sulfarsenidima teških metala, oksidima i arsenatima. Nađen je u rudama bakra, olova, cinka, urana, zlata, kao i gvožđa i mangana. Arsen se u prirodi često javlja u kombinaciji sa gvožđem i manganom (Dalmacija i Agbaba, 2006), zbog čega su i izvedene korelacije prikazane na Slikama 97, 98 i 99. Međutim, sa navedenih slika se može videti da su korelacije koncentracije arsena sa koncentracijama mangana i gvožđa loše. Sadržaj arsena u podzemnim vodama će zavisiti, pored njegovog prisustva u zemljištu i od starosti akvifera, brzine protoka vode u akviferu, pH vrednosti vode i redoks potencijala (O'Brien i sar., 2003). Nizak sadržaj arsena u ispitivanim uzorcima vode ukazuje ili da ga nema u geološkim slojevima ispitivanih izvorišta ili na njegovo vezivanje za oksihidroksid gvožđa (FeOOH), za koji je i pretpostavljeno da nastaje u reakciji oksidacije Fe(II) sa MnO₂.

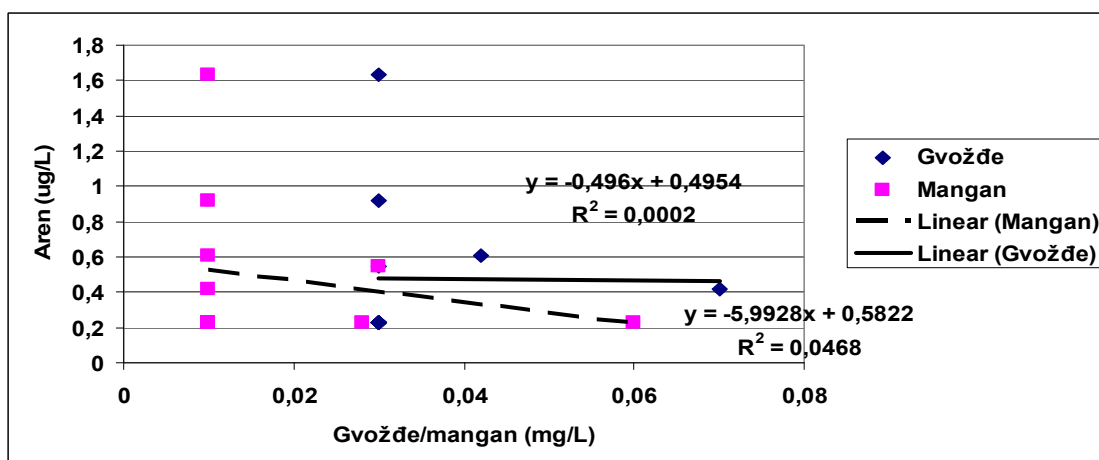
Urađene su korelacije između mangana i mutnoće kao dva parametra koji procentualno najviše puta tokom perioda ispitivanja ne zadovoljavaju kriterijume propisane Pravilnikom (2003). Korelacije između mutnoće i koncentracije mangana na sva tri izvorišta su loše (Kriškovci R²=0,088; Maglajani R²=0,0003 i Laktaši R²=0,073).



Slika 97. Korelacija koncentracije arsena sa koncentracijama mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Kriškovicima



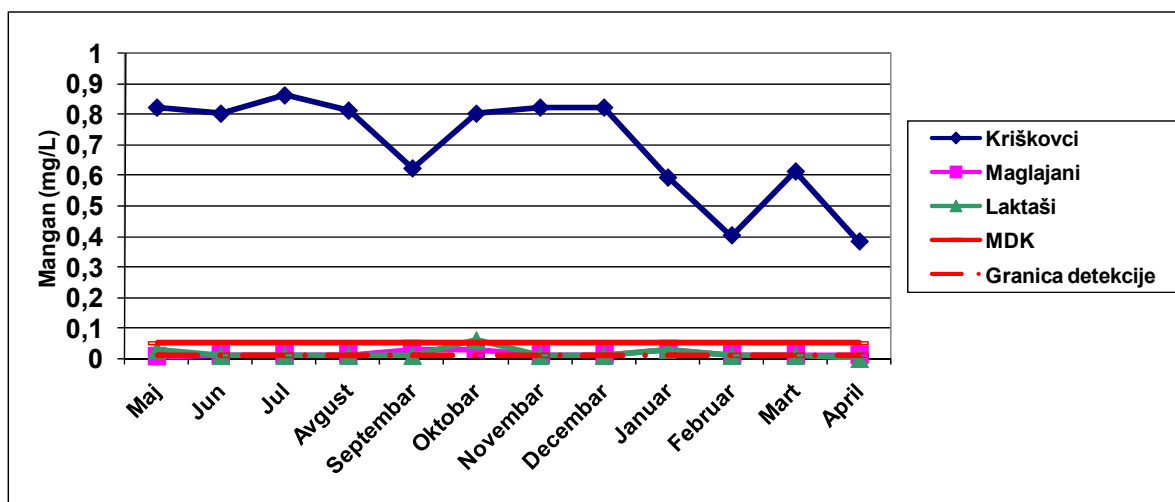
Slika 98. Korelacija koncentracije arsena sa koncentracijama mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Maglajanima



Slika 99. Korelacija koncentracije arsena sa koncentracijama mangana i gvožđa u podzemnoj vodi u Laktašima

6.3.5.1 Razmatranje povećanog sadržaja mangana na izvorištu u Kriškovcima

Mangan ne zadovoljava kriterijume propisane Pravilnikom (2003), i to prilikom svih merenja na lokalitetu Kriškovci (Slika 100). Visoke vrednosti koncentracije mangana od preko 0,80 mg/L (dozvoljena vrednost je 0,05 mg/L) zabeležena su u periodima od maja do avgusta i od oktobra do decembra. U zimskom delu godine, od januara do marta, koncentracija mangana u vodi je opala za 25 do 50%. Na izvorištu Maglajani mangan je pri svakom merenju bio u dozvoljenim granicama, a na izvorištu Laktaši je imao pri jednom merenju povišenu vrednost od 0,06 mg/L (10.10.2012.).

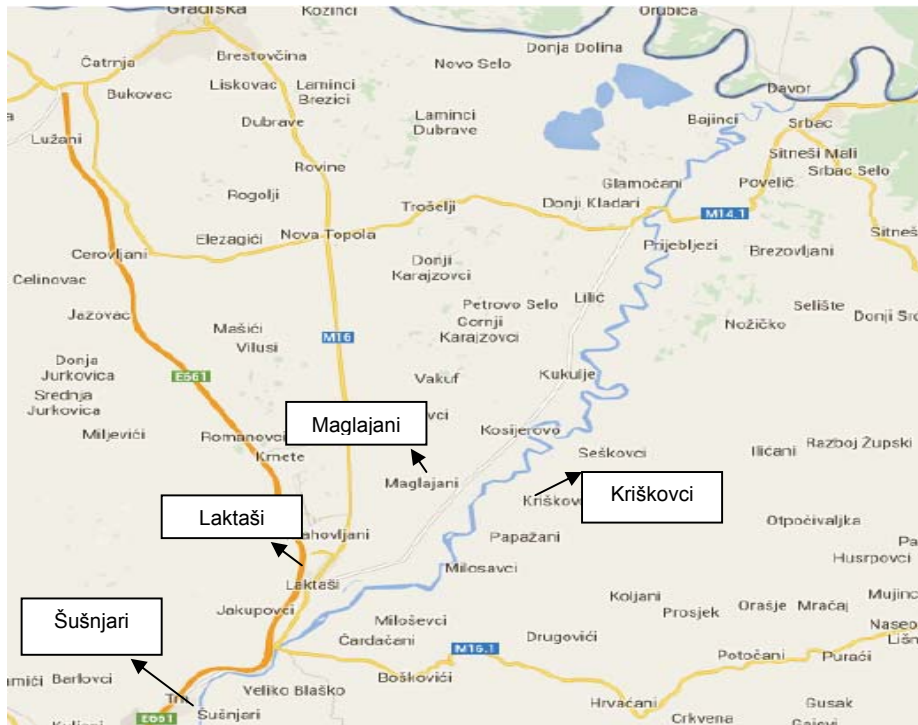


Slika 100. Koncentracija mangana u vodi na izvorištima tokom perioda ispitivanja

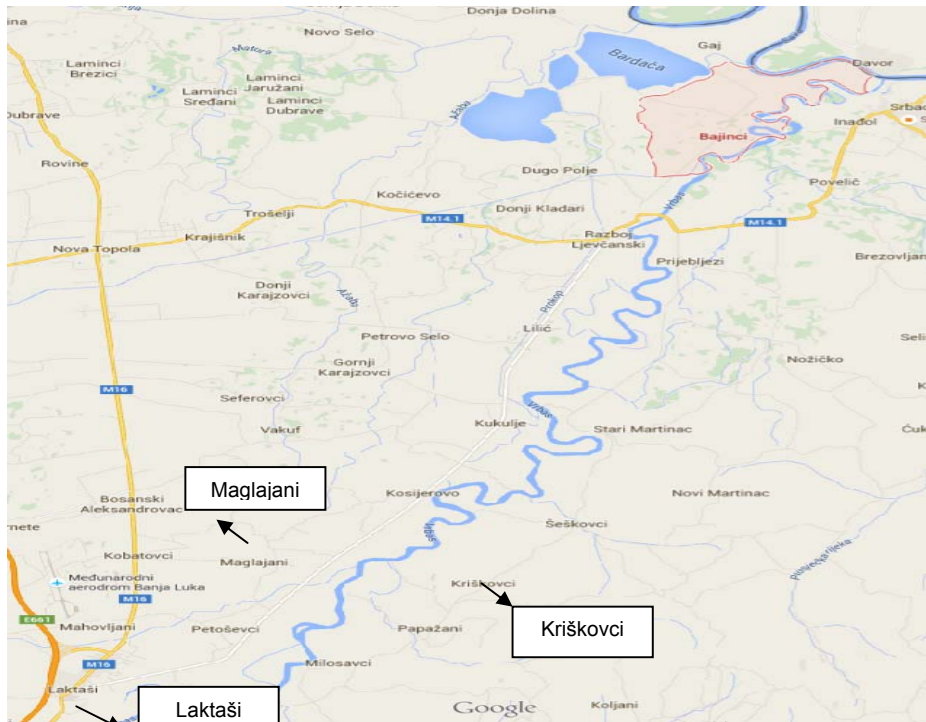
Po preporuci EU (Council Directive 98/83/EC), granična vrednost za mangan iznosi 0,050 mg/L. Izuzeci za kratkotrajno prekoračenje nisu predviđeni. Američka agencija za zaštitu okoline je postavila sekundarni maksimalni nivo kontaminanta (eng. Secondary Maximum Contaminant Level - SMCL) za mangan 0,05 mg/L (USEPA, 2009). Svetska zdravstvena organizacija je uspostavila zdravstveno-baziranu vrednost za Mn od 0,4 mg/l (WHO, 2011).

Na području banjalučke Kozare, koje obuhvata teren između Ivanjske na zapadu i Laktaša na istoku i na kojem je vršeno istraživanje u periodu od 1885-1969. godine registrovan je veliki broj nalazišta mangana. Najznačajnija su nalazišta u Šušnjarima, Bajincu i Riječanima (Slika 101). Ruda mangana na ovom području istraživana je i eksploatisana još pre Prvog svetskog rata. Stari rudarski kopovi su većinom zarušeni i nedostupni za osmatranje (Mineralne sirovine Republike Srpske, 2012). Kao što je rečeno u Poglavlju 4, mangan se nalazi u mineralima u obliku oksida, silikata i karbonata, a iz Slike 26 se može videti da geološka podloga oko izvorišta sadrži silikate. Iz svega napred navedenog se može zaključiti da je zemljište u okolini područja u kojem se nalaze ispitivana izvorišta bogato manganom.

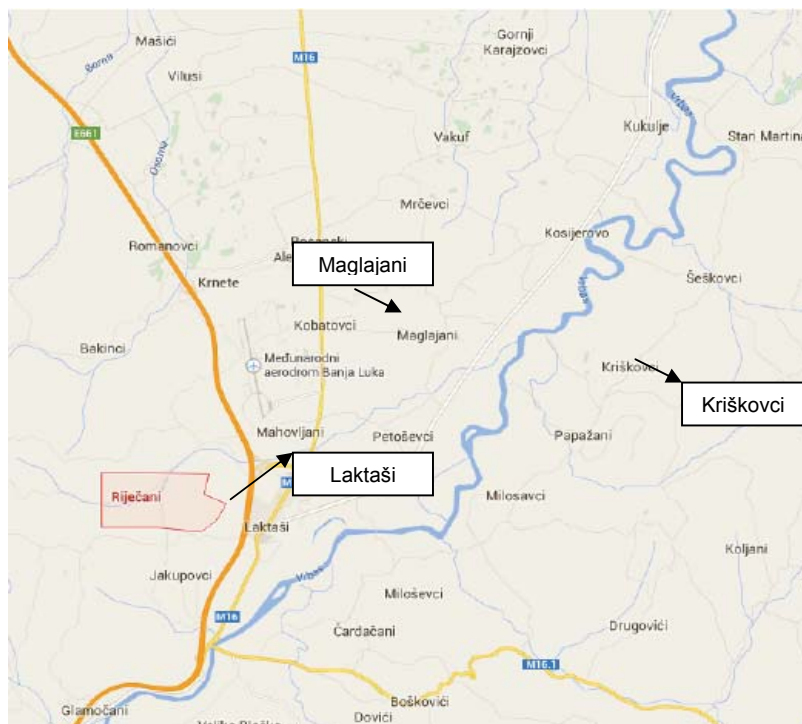
Povećan sadržaj mangana u podzemnim vodama može biti i rezultat đubrenja nekih poljoprivrednih kultura đubrivima bogatim manganom (npr. šećerna repa), međutim u regionu oko izvorišta u Kriškovcima se ne gaji šećerna repa i takođe u blizini ne postoje šećerane.



a) nalazište u Šušnjarima



b) nalazište u Bajincima



c) nalazište u Riječanima

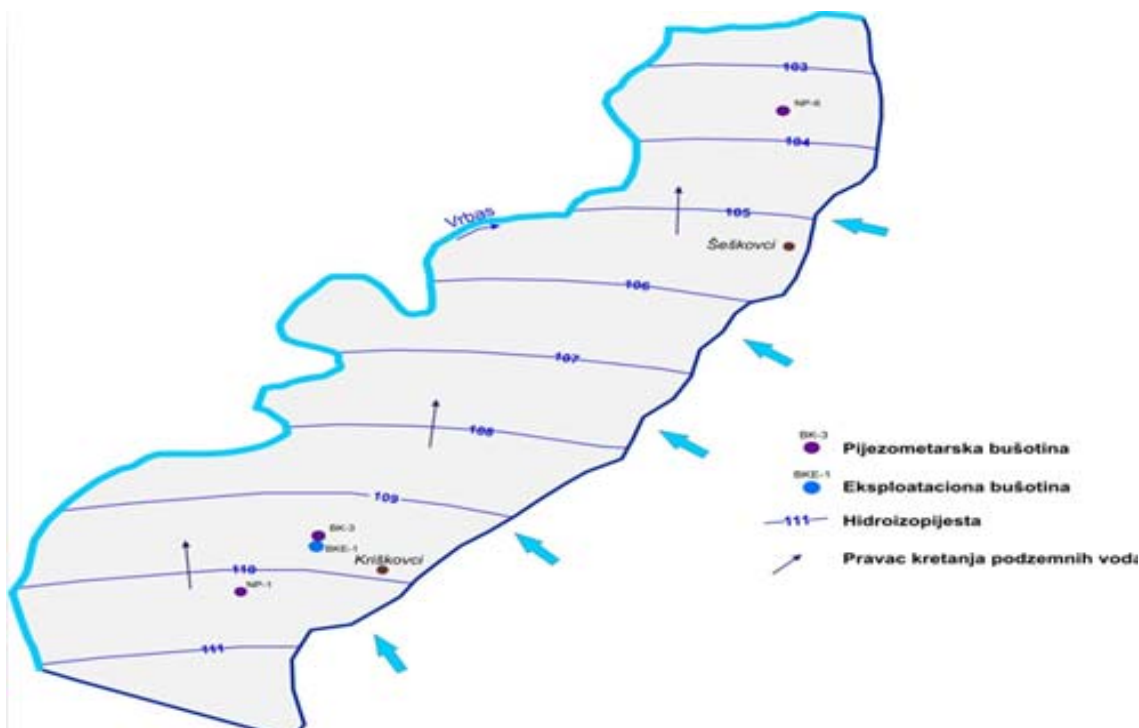
Slika 101. Položaj nalazišta mangana u odnosu na ispitivana izvorišta

U blizini ispitivanih izvorišta ne postoji izvor industrijskog zagađenja manganom. S obzirom na odsustvo industrijskog zagađenja, odsustvo povećane koncentracije mangana na druga dva izvorišta i navedeni sastav zemljišta, može se zaključiti da je veliki sadržaj mangana u vodi izvorišta Kriškovci posledica sastava zemljišta, odnosno rasporeda geoloških slojeva i vezano za to strujanja podzemnih voda u tom regionu. Na slici 102 je prikazana strujna slika izdani južnog dela Lijeve polja, sa desne strane reke Vrbas, na kojoj se vidi da podzemne vode teku od jugoistoka ka severozapadu, ka reci Vrbas.

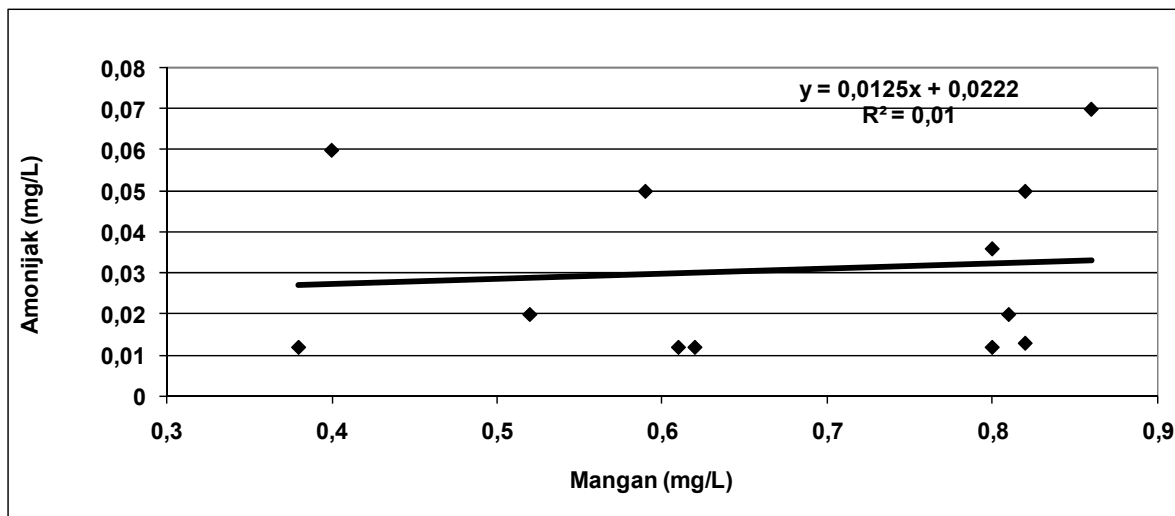
Na osnovu položaja izvorišta u odnosu na položaj napuštenih kopova rudnika (Slika 101) kao i na osnovu toka podzemne vode (Slika 102) može se zaključiti da napušteni kop u Šušnjariima može da ima najveći uticaj na vode na izvorištu u Kriškovcima, jer se nalazi uzvodno od reke Vrbas u odnosu na izvorište u Kriškovcima, za koje je određeno da zapadnu granicu izdani čini sama reka Vrbas.

Postoje tri mogućnosti (detaljnije objašnjenje u Poglavlju 4.2) u kojima može doći do oslobađanja mangana iz zemljišta u podzemnu vodu i samim tim njegove pojave u rastvorenom obliku:

1. redukcija MnO_2 – amonijak kao redukciono sredstvo je u vodi sa izvorišta u Kriškovcima u jako niskim koncentracijama i korelacija koncentracije mangana i amonijaka (Slika 103) je loša, pa se može smatrati da povećan sadržaj mangana nije posledica ovog procesa.



Slika 102. Strujna slika izdani južnog dela Lijeve polja (Jolović, 2013)



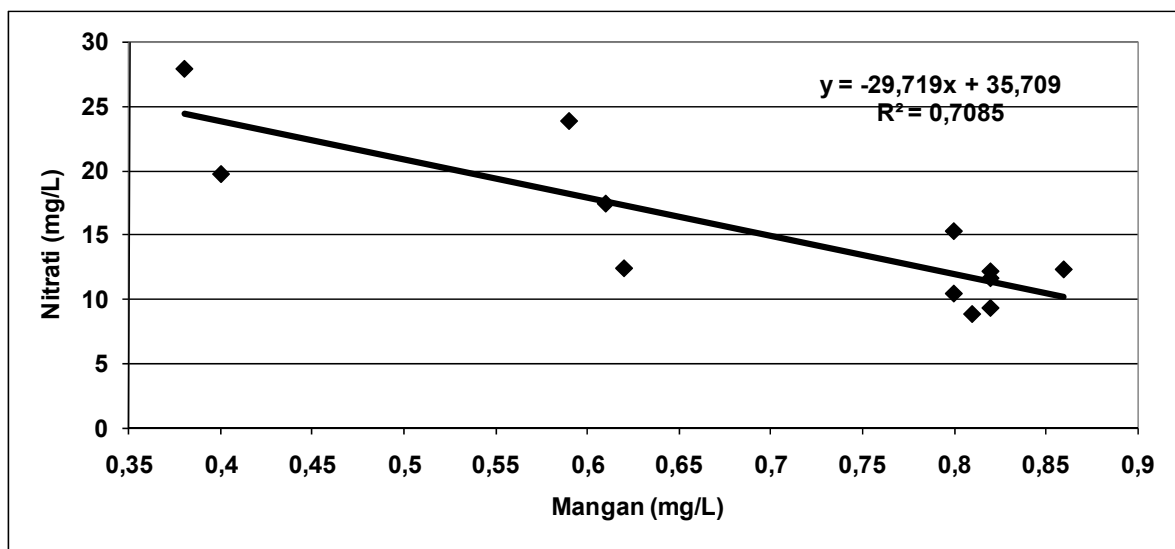
Slika 103. Korelacija koncentracije mangana i amonijaka u vodi na izvorištu Kriškovec

2. oksidacija mangan-sulfida nitratima - u ovom procesu prvo se vrši denitrifikacija gvožđe- i mangan-sulfida u podzemlju bez prisustva kiseonika, a potom se gvožđe eliminiše oksidacijom sa nitratima u formi taloga oksihidrata, dok mangan ostaje u rastvoru. Na Slici 104 je pokazana korelacija između mangana i nitrata. Takođe u ovim procesima korelacija između koncentracije mangana i sulfata može da da verodostojne rezultate (Slika 105).

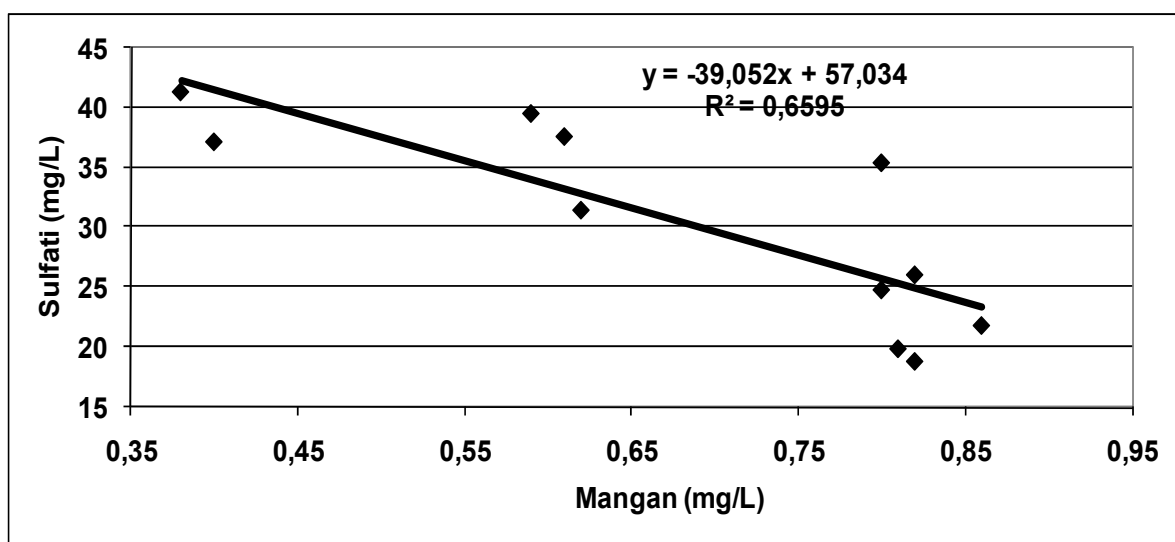
Anoksične reakcije između Mn-oksida minerala „birnessite” $((Na_{0,3}Ca_{0,1}K_{0,1})(Mn^{4+}, Mn^{3+})_2O_4 \cdot 1,5 H_2O)$ i Fe(II) rezultiraju u nastanku Mn(II) preko Fe(II) oksidacije u Fe(III) (Postma, 1985). Mn(II) i Fe(II) imaju afinitet da se

readsorbuju sopstvenim oksidima (Thamdrup, 2000), pa je moguće da se Fe(II) adsorbuje na površinu Mn-oksida, što rezultira prenosom elektrona i na kraju i oksidacije Fe(II). Ova sekundarna reakcija može biti važna tamo gde postoji neredukovani Mn(III, IV)-oksid mineral koji oksiduju otpušteni Fe(II) (Lovley i Phillips, 1988) ili gde je Mn(II) oksidovan sa nitratima, a Mn(III, IV)-oksid može oksidirati Fe(II). Ove reakcije mogu biti objašnjenje za prisustvo mangana i male koncentracije gvožđa u vodi izvorišta u Kriškovcima.

Sa Slika 104 i 105 se vidi da koncentracija sulfata i nitrata imaju zadovoljavajuće korelaciju sa koncentracijom mangana usled čega se može pretpostaviti da je povišena koncentracija mangana u podzmenim vodama sa izvorišta u Kriškovcima posledica procesa oksidacije mangan-sulfida nitratima.



Slika 104. Korelacija koncentracije mangana i nitrata u vodi na izvorištu Kriškovci



Slika 105. Korelacija koncentracije mangana i sulfata u vodi na izvorištu Kriškovci

3. rastvaranje jedinjenja mangana pod uticajem kiseonika - podzemna voda na izvorištu u Kriškovcima nije u kontaktu sa kiseonikom i sa obzirom na to pretpostavlja se da mangan nije poreklom iz ovog procesa.

Iz svega gore navedenog se može zaključiti da je povećana koncentracija mangana u vodi na izvorištu u Kriškovcima posledica sastava zemljišta oko izvorišta, odnosno njegovom povećanom sadržaju mangana i da se mangan iz zemljišta oslobađa u podzemnu vodu usled procesa oksidacije mangan sulfida nitratima.

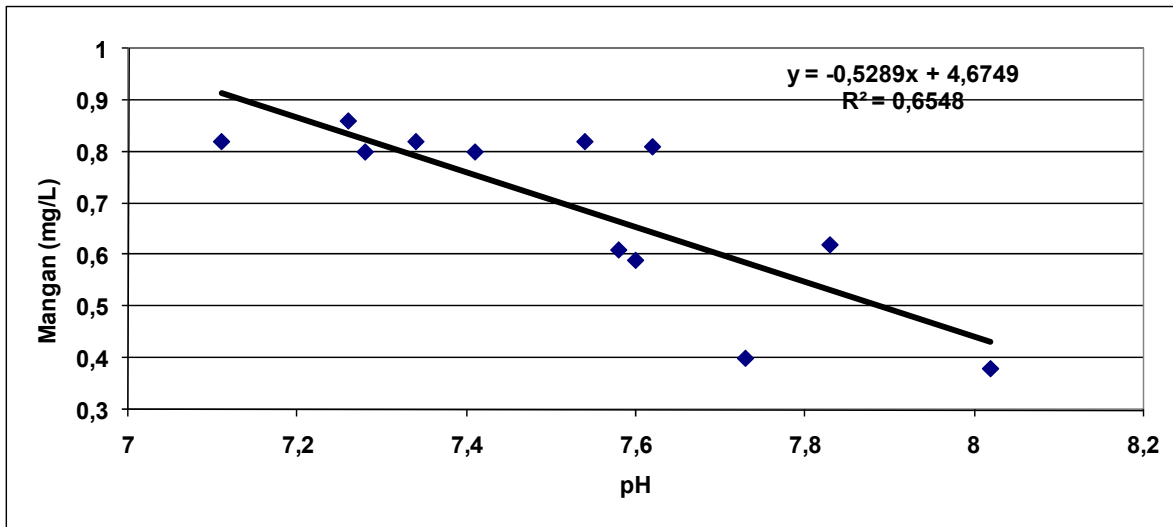
Kao što je već razmatrano u poglavlju 6.3.4, povećane koncentracije nitrata u podzemnim vodama su uzrokovane povećanjem unosa azota iz okoline kao rezultat ljudske aktivnosti. Azotne materije u vodu mogu dospeti iz nekoliko izvora:

- iz atmosfere,
- leguminoznih biljaka,
- biljnog otpada,
- životinjskih ekskremenata,
- kanalizacije,
- azotnih đubriva,
- industrijske otpadne vode,
- emisija iz motora sa sagorevanjem, itd.

Svi navedeni izvori mogu direktno ili indirektno biti izvor zagađenja nitratima. U našem slučaju na izvorištu u Kriškovcima sa Slika 77 i 78 se može zaključiti da za povećanu koncentraciju nitrata nisu odgovorni doprinosi iz septičkih jama. Dakle, sa obzirom na sve gore navedeno i pretpostavke izvedene iz odnosa fosfora i hlorida u vodi (Slika 69) na izvorištu u Kriškovcima može se doneti zaključak da na ovo izvorište ima uticaj đubrenje i da su nitrati u vodi ovog izvorišta poreklom iz poljoprivrede. Sa Slika 80, 81 i 82 može se videti da koncentracije sulfata i nitrata dobro koreliraju samo u vodi izvorišta Kriškovci, što je potvrda pojave mangana u ovoj vodi uzrokovane oksidacijom mangan sulfida nitratima.

Rastvorljivost mangana je pod kontrolom redoks potencijala (Eh) i pH vrednosti zemljišta. Nizak pH ili nizak Eh pogoduje redukciji nerastvorljivog mangan oksida i povećava rastvorljivost Mn^{2+} . Mn^{2+} jon se oslobađa iz zemljišta spontanom raspadom ili katjonskom izmenom, naročito u kiselim ili redoks uslovima. Čak i male promene redoks potencijala ili pH u tlu mogu pomeriti Mn^{2+} - Mn oksid reakciju. Kao rezultat toga, mangan u vodi u bilo kojem zemljištu može izrazito varirati sa vremenom, ponekad u rasponu od deficita mangana do toksičnih nivoa. Dakle, mobilnost mangana izuzetno je osetljiva na stanje zemljišta (kiselost, vlagu, biološke aktivnosti, itd).

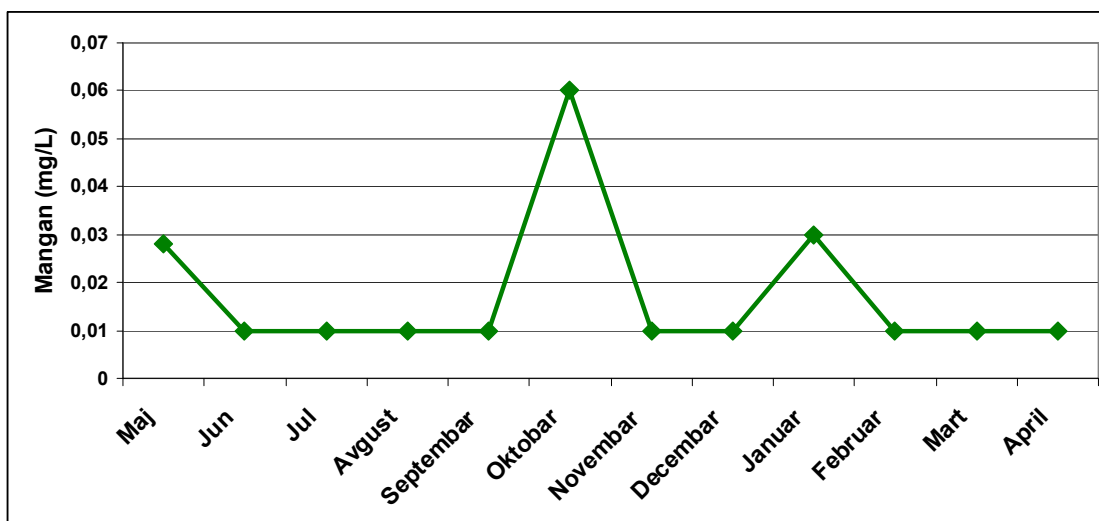
pH je jedan od ključnih faktora u konverziji mangana. Veće pH vrednost dovode do niže koncentracije mangana u vodi, jer OH^- joni reaguju sa manganom i on se taloži kao MnO_2 (Youjun i sar., 2015). Dakle promene pH će direktno dovesti do povećanja ili smanjenja konverzije mangana iz nerastvorenog u rastvoreni oblik i obrnuto. Na Slici 48 se može videti promena pH vode na izvorištu Kriškovci, a na Slici 100 promena koncentracije mangana u vodi ovog izvorišta, iz čega se može zaključiti da promene pH vrednosti imaju uticaj na promenu koncentracije mangana, što se dokazuje i korelacijom prikazanom na Slici 106.



Slika 106. Korelacija koncentracije mangana i pH vrednosti vode na izvorištu u Kriškovicima

6.3.5.2 Razmatranje povećanog sadržaja mangana na izvorištu u Laktašima

Sadržaj mangana je pri jednom merenju na izvorištu u Laktašima bio iznad maksimalno dozvoljene koncentracije prema Pravilniku (2003). Ako se pogleda promena pH vrednosti na izvorištu u Laktašima (Slika 48) i promena koncentracije mangana (Slika 107), može se videti da se povećanje koncentracije mangana u oktobru i januaru poklapa sa padom pH na tom izvorištu u prethodnom mesecu. Dakle, može se izvesti zaključak da je do povećane koncentracije mangana na izvorištu Laktaši došlo usled promene uslova okoline, odnosno usled smanjenja pH vrednosti vode.



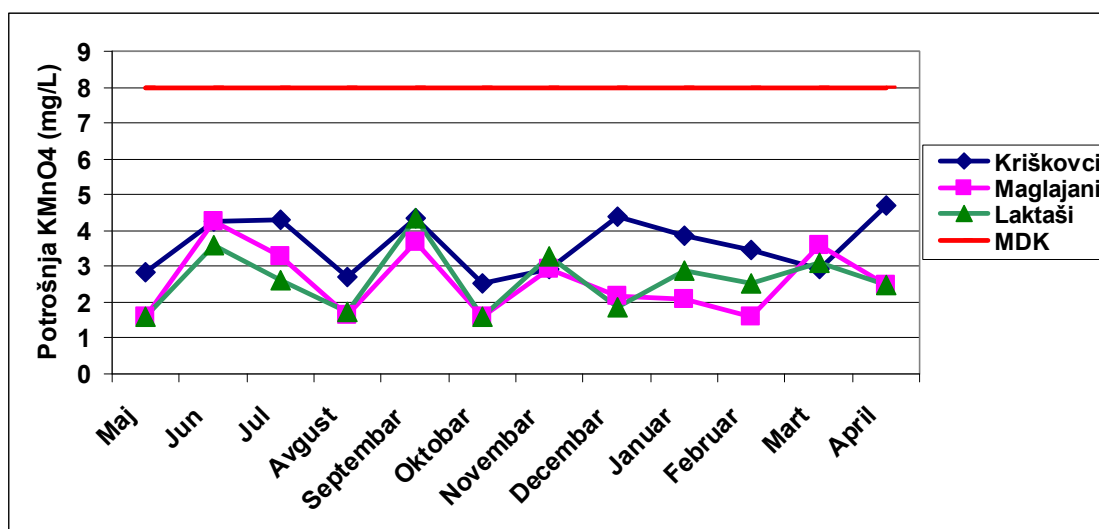
Slika 107. Promena koncentracije mangana u vodi na izvorištu u Laktašima

6.4 Organske materije

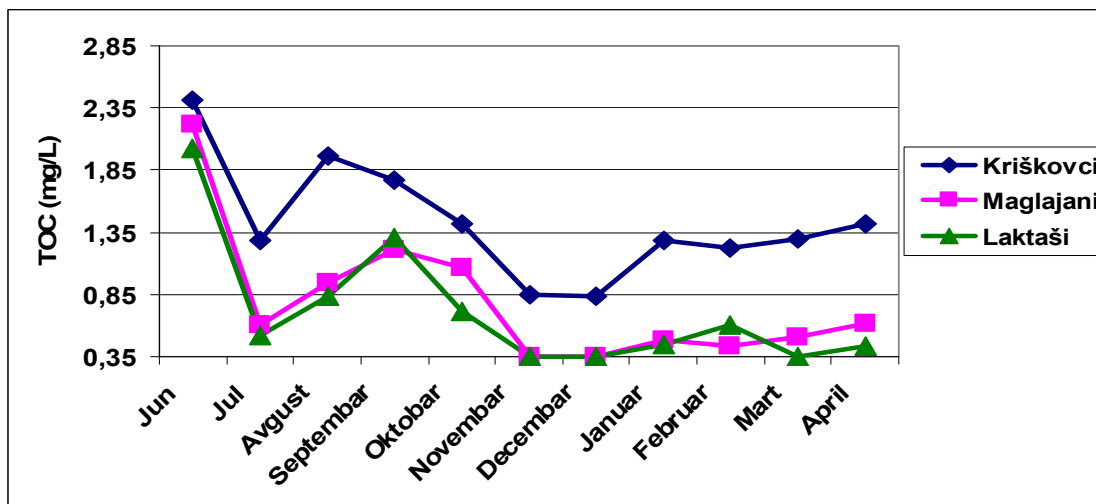
Pored neorganskih parametara, u vodi ispitivanih izvorišta je određen ukupni sadržaj organskih materija, ulja i masti, deterdženata, kao i sadržaj pojedinih toksičnih organskih materija iz grupe PAH, PCB i pesticida.

6.4.1 Ukupne organske materije

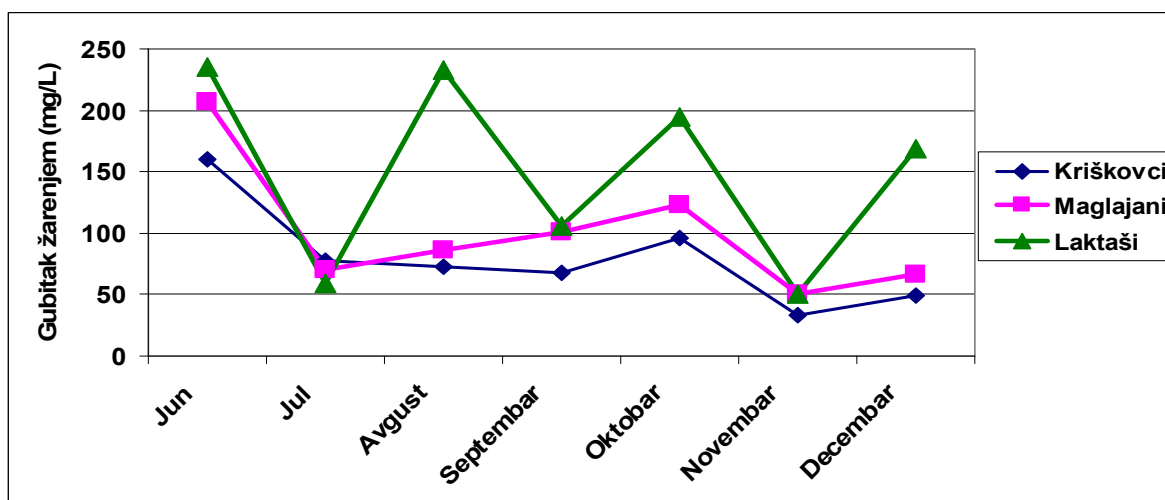
Parametri karakterizacije opterećenja vode ukupnim organskim materijama koji su određivani su: **potrošnja KMnO_4** (Slika 108), **ukupni organski ugljenik (Total Organic Carbon - TOC)** (Slika 109) i **gubitak žarenjem suvog ostatka** (Slika 110). Sa Slika 108 i 109 se može videti da su koncentracije organskih materija i njihove promene u vodi izvorišta u Maglajanima i Laktašima jako bliske, a da se promene za izvorište u Kriškovcima nešto razlikuju. U vodi izvorišta Kriškovci potrošnja KMnO_4 je malo veća, a TOC je značajno veći u odnosu na vrednosti u druga dva izvorišta. Sa druge strane, prema vrednosti gubitka žarenjem suvog ostatka, vode izvorišta u Kriškovcima i Maglajanima su slične, a voda izvorišta Laktaši odstupa i po značajnom variranju i vrednostima ovog parametra. Ustanovljeno je da varijacije sadržaja organske materije nisu u korelaciji sa varijacijama padavina (Slika 23) i vodostajem Vrbasa (Slika 25) u tom periodu. Sa Slike 110 se može videti da je vrednost gubitka žarenja bila povećana u junu mesecu, što se poklapa i sa povećanom vrednosti ukupnog organskog ugljenika u ovom mesecu. Vrednosti potrošnje KMnO_4 su značajno manje od MDK propisanog Pravilnikom (2003) (8,0 mg/L). Maksimalno dozvoljene koncentracije za ukupni organski ugljenik i gubitak žarenjem suvog ostatka nisu propisane Pravilnikom (2003). Po preporuci EU ovaj parametar se ne mora meriti za vodosnabdevanje ispod 10 000 m³/dan (Council Directive 98/83/EC). Dozvoljena vrednost ukupnog organskog ugljenika nije propisana ni od strane Svetske zdravstvene organizacije (WHO, 2005). Potrošnja KMnO_4 i ukupni organski ugljenik (TOC) međusobno pokazuju slabu zavisnost, naročito na izvorištu Kriškovci (Slike 111, 112 i 113).



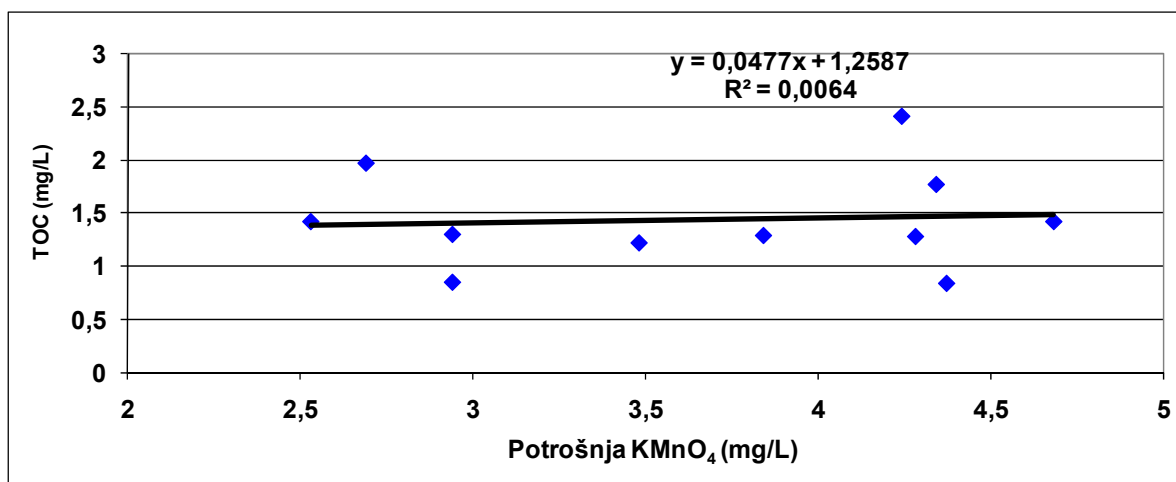
Slika 108. Vrednost potrošnje KMnO_4 u vodi izvorišta



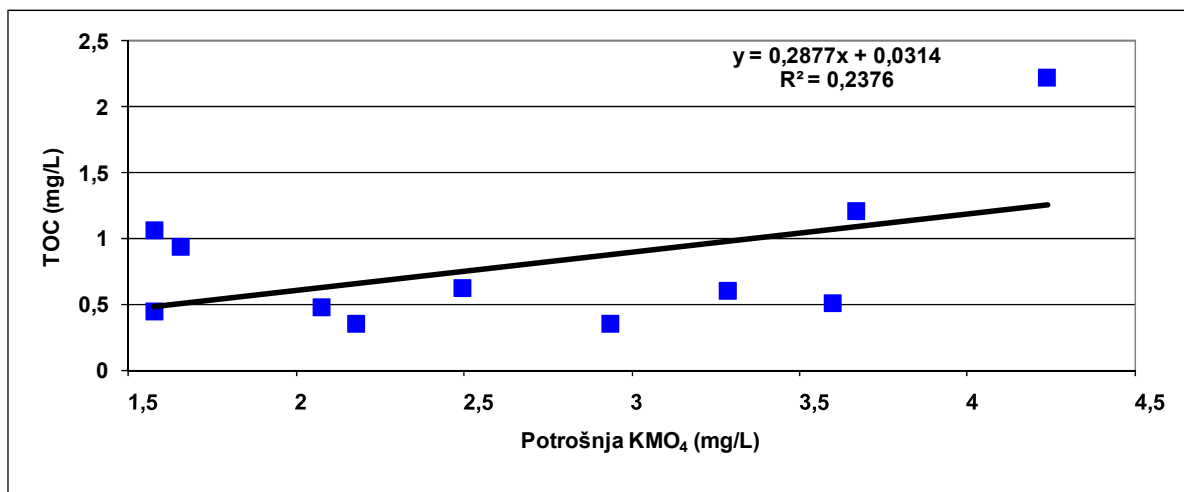
Slika 109. Vrednost totalnog organskog ugljenika (TOC) u vodi izvorišta



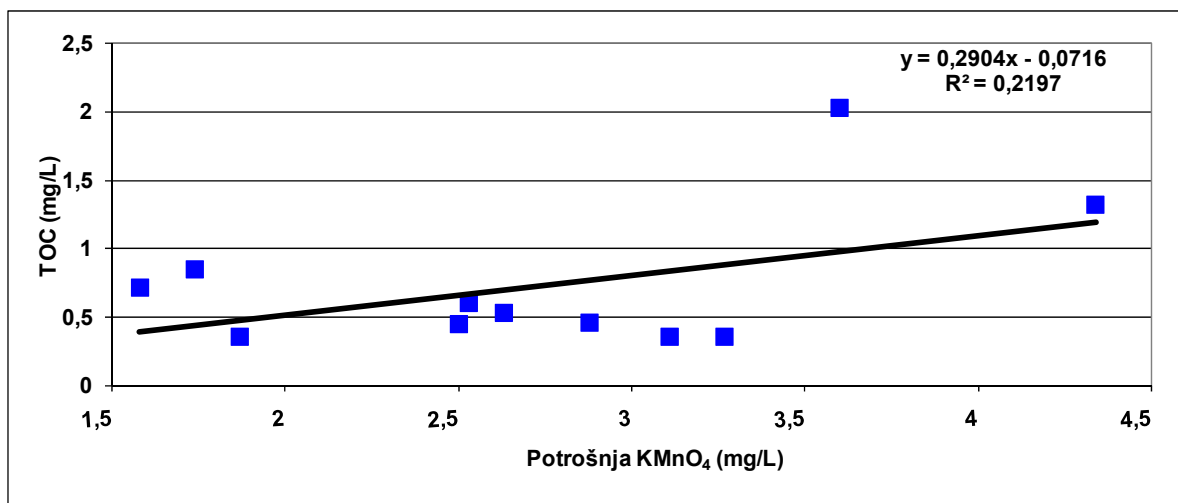
Slika 110. Vrednost gubitka žarenjem suvog ostatka u vodi izvorišta



Slika 111.. Međusobna zavisnost potrošnje KMnO₄ i TOC-a u vodi izvorišta Kriškovci



Slika 112. Međusobna zavisnost potrošnje KMnO₄ i TOC-a u vodi izvorišta Maglajani

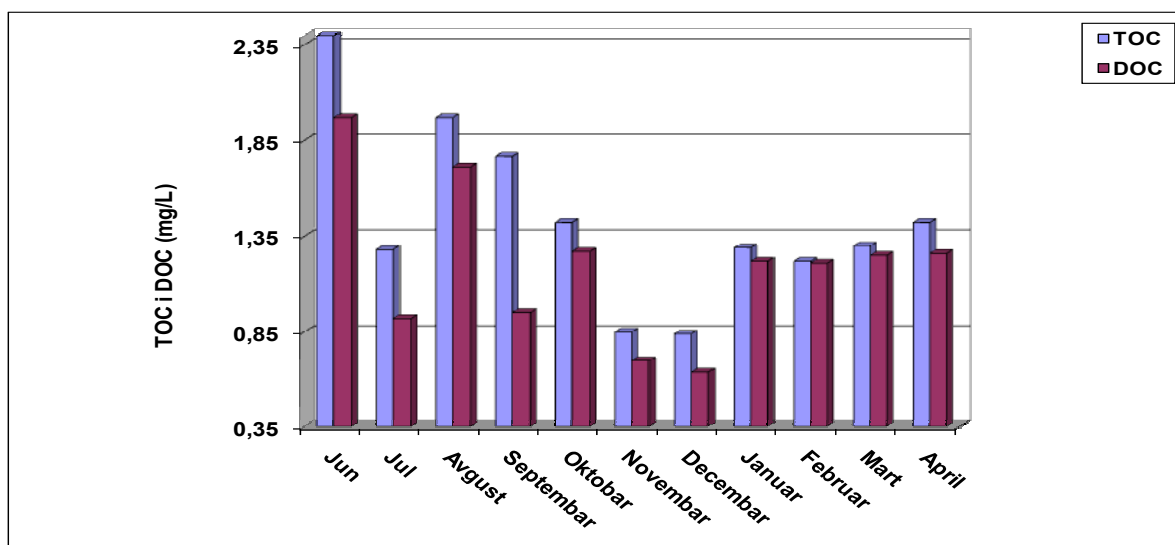


Slika 113. Međusobna zavisnost potrošnje KMnO₄ i TOC-a u vodi izvorišta Laktaši

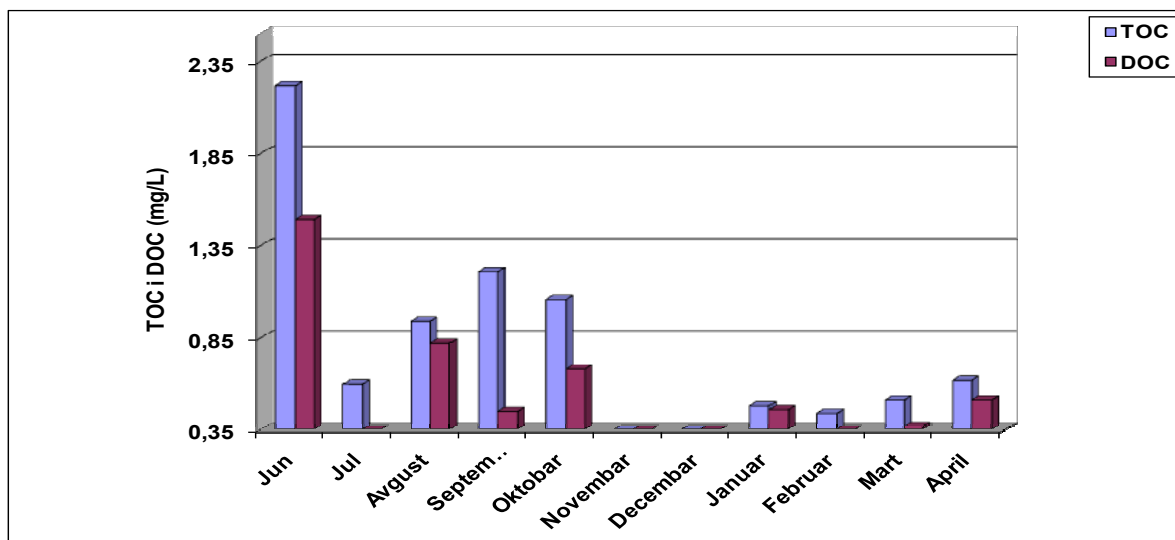
S obzirom da TOC omogućava određivanje svih prisutnih organskih materija, sagledavanjem vrednosti ovog parametra na Slici 109, može se izvesti zaključak da je generalno u toku letnjeg perioda sadržaj organskih materija u vodi sva tri izvorišta veći nego u zimskom periodu. Međutim, u svim slučajevima se radi o relativno malim vrednostima, koje su u skladu sa vrednostima karakterističnim za čiste podzemne vode.

Prilikom razgradnje organske materije pod anaerobnim uslovima, dešavaju se redoks procesi u vodi, posredovani dejstvom mikroorganizama, koji uzrokuju pojavu, mobilnost i toksičnost mnogih elemenata u vodi (Fe, Mn, C, P, N, S, Cr, Cu, Co, As, Sb, Se, Hg, itd.). Pod anaerobnim uslovima mikroorganizmi kao zamenu za kiseonik, kao elektron akceptor najradije koriste nitrata, a zatim Mn⁴⁺. U tom slučaju se mangan redukcijom prevodi iz nerastvornog oblika MnO₂ u rastvorni Mn²⁺, i to mnogo pre redukcije gvožđa, arsena ili sulfata (Behr, 2011). Ova dešavanja takođe mogu doprineti povećanim koncentracijama nitrita i mangana u vodi izvorišta Kriškovci, koja istovremeno ne sadrži povećane koncentracije gvožđa i sumporvodonika.

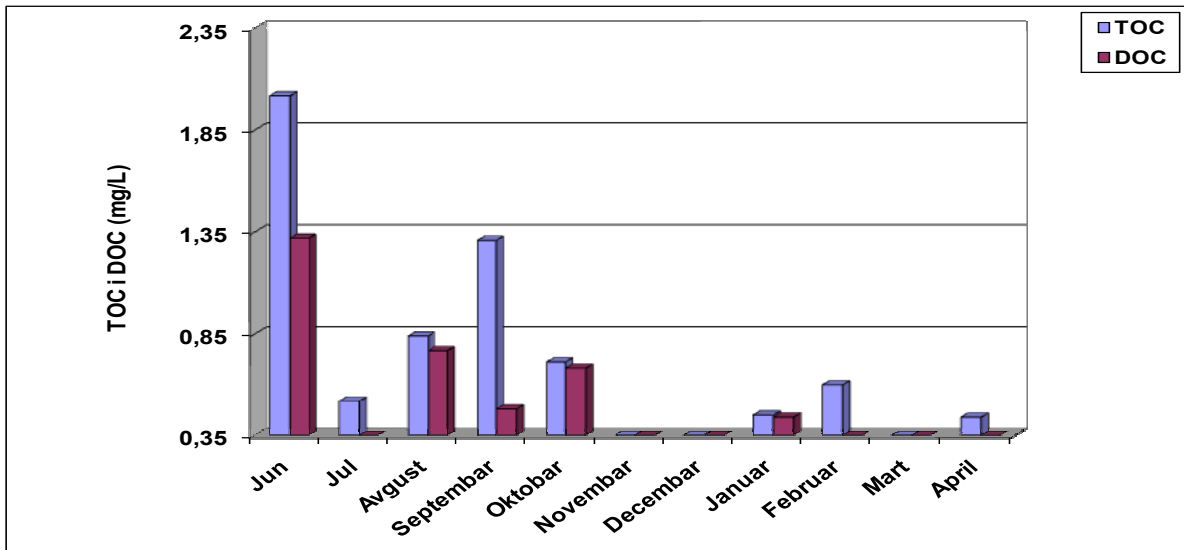
Pored ukupnog organskog ugljenika određivan je i **rastvoreni organski ugljenik (Dissolved Organic Carbon - DOC)** koji predstavlja frakciju TOC koja prolazi kroz filter od 0,45 µm, odnosno rastvorenu organsku materiju. Kako se može videti na Slikama 114, 115 i 116, procenat DOC-a u TOC-u se kreće od 53,67% do 99,18% u vodi na izvorištu Kriškovci, od 37,19% do 95,83% u vodi na izvorištu Maglajani i od 36,64% do 97,78% u vodi na izvorištu Laktaši (ako se izuzmu meseci u kojima su oba parametra bila ispod granice detekcije, koja iznosi 0,35 mg/l). Dakle, može se konstatovati da je procenat rastvorenog organskog ugljenika u odnosu na ukupni organski ugljenik približan na izvorištima Maglajani i Laktaši, a da je nešto veći udeo zabeležen u vodi na izvorištu Kriškovci, gde rastvoreni organski ugljenik čini najveći postotak ukupnog organskog ugljenika.



Slika 114. Međusobna zavisnost TOC i DOC vrednosti u vodi na izvorištu u Kriškovcima

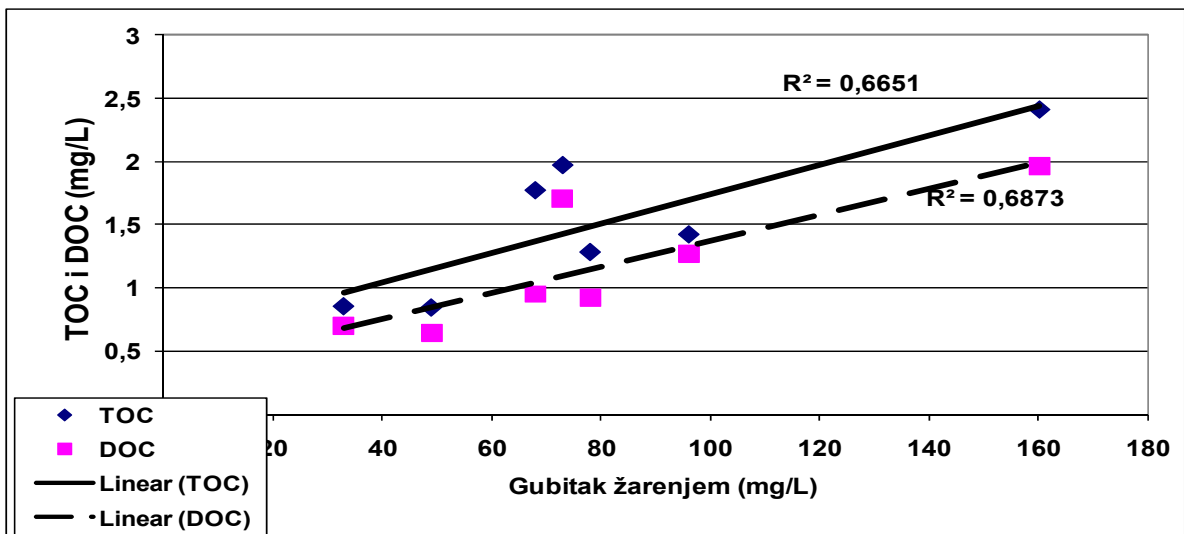


Slika 115. Međusobna zavisnost TOC i DOC vrednosti u vodi na izvorištu u Maglajanima

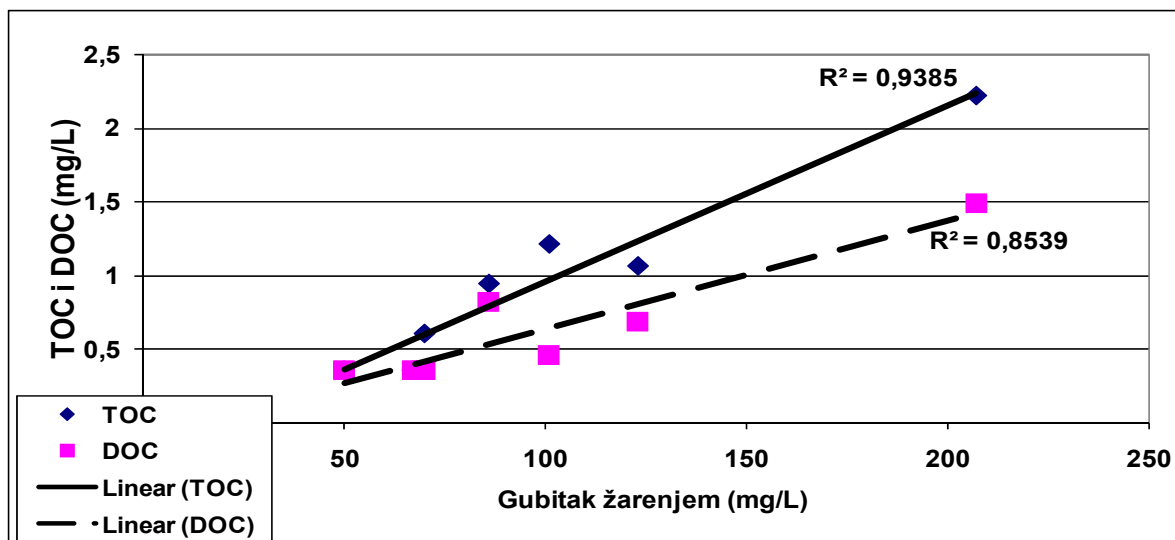


Slika 116. Međusobna zavisnost TOC i DOC vrednosti u vodi na izvorištu u Laktašima

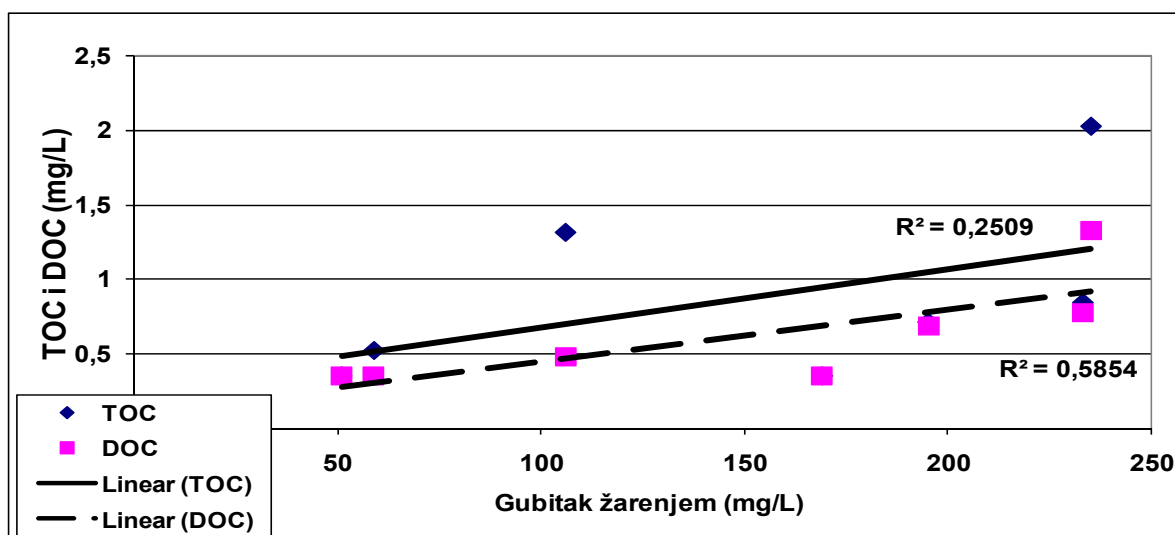
Od svih pomenutih parametara za određivanje ukupnog sadržaja organskih materija u vodi, najbolje linearno koreliraju gubitak žarenjem suvog ostatka i ukupni i rastvoreni organski ugljenik u vodi izvorišta Maglajani (Slika 118), zatim u vodi izvorišta Kriškovci (Slika 117) i najslabije u vodi izvorišta Laktaši (Slika 119).



Slika 117. Odnos gubitka žarenjem suve materije i vrednosti TOC-a i DOC-a u vodi na izvorištu u Kriškovcima



Slika 118.. Odnos gubitka žarenjem suve materije i vrednosti TOC-a i DOC-a u vodi na izvorištu u Maglajanima



Slika 119. Odnos gubitka žarenjem suve materije i vrednosti TOC-a i DOC-a u vodi na izvorištu u Laktašima

6.4.2 Specifične (opasne) organske materije

Pored saznanja o ukupnom sadržaju organskih materija, koji u glavnom čine prirodne organske materije, od velikog značaja je i određivanje različitih opasnih organskih materija antropogenog porekla koje se mogu naći u vodama u prirodi.

Do kontaminacije vode **policikličnim aromatičnim ugljovodonicima (PAH)** može doći izlučivanjem PAH iz prevlaka vodovodnih cevi i spojeva sa katranom iz uglja. PAH-ovi koji su određivani, nisu klasifikovani Pravilnikom (2003), osim benzo(a)pirena čije su utvrđene vrednosti bile ispod propisane MDK vrednosti koja iznosi 0,01 µg/L. Treba istaći da se benzo(a)piren smatra najopasnijim po zdravlje od svih policikličnih aromatičnih ugljovodonika (veoma je kancerogen). Po preporuci EU granična vrednost za ukupne

PAH-ove iznosi 0,10 µg/L (Council Directive 98/83/EC). Ukupni PAH-ovi po Evropskoj direktivi (Council Directive 98/83/EC) su suma benzo(b)fluorantena, benzo(k)-fluorantena, benzo(ghi)perilena i indeno(1,2,3-cd)pirena. Suma benzo(b)fluorantena, benzo(k)fluorantena, benzo(ghi)perilena i indeno(1,2,3-cd)pirena u ispitivanim podzemnim vodama je ispod ove propisane vrednosti. WHO propisuje dozvoljenu vrednost za benzo(a)piren od 0,7 µg/L (WHO, 2005).

PCB (polihlorovani bifenili) su sintetska organska hemijska jedinjenja hlora vezanog za bifenil grupu. Zabrinutost zbog toksičnosti PCB se uglavnom odnosi na jedinjenja u ovoj grupi koja imaju strukturne sličnosti dioksinu, kao i sličnost sa njegovim toksičnim delovanjem. Maksimalno dozvoljeni nivo u vodi za piće u Sjedinjenim Američkim Državama je nula, ali zbog ograničenja tehnologije prečišćavanje vode, nivo od 0,5 delova na milijardu je *de facto* nivo (USEPA, 2009). Prilikom ovih ispitivanja vršeno je određivanje 2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorbifenila, 2,2',3,4',4',5'-heptahlorbifenila, 2,2',4,4',5,5'-heptahlorbifenila, 2,2',5,5'-tetrahlorbifenila i 2,4,4'-trihlorbifenila. Ispitivanja PCB su vršena četiri puta u toku perioda merenja i pri svim merenjima vrednosti svih PCB-a su bile ispod granice detekcije odnosno manje od <0,01 µg/L. Pravilnikom (2003) nisu propisane maksimalno dozvoljene koncentracije za PCB-e.

Opšte je poznato da su ostaci **pesticida** opasni po zdravlje i da mogu dospeti u vodu za piće. Najmanje dopuštene koncentracije po Smernicama WHO (2006) su za pesticide: aldrin/dieldrin (0,03 µg/l), lindan (2 µg/l), metoksihlor (20 µg/l) i endrin (0,6 µg/l), što bez sumnje govori i o njihovom negativnom uticaju na zdravlje. Za heptahlor/heptahlorepoksid i endosulfan nisu date dopuštene granice jer se u pitkim vodama javljaju u koncentracijama ispod one koja prouzrokuje zdravstvene probleme. Aldrin i dieldrin, kao i heptahlor i heptahlorepoksid, napadaju u prvom redu centralni nervni sistem i jetru. Proizvodi razgradnje pesticida takođe mogu izazvati probleme u vodi za piće. Međutim, u najvećem broju slučajeva toksičnost tih produkata razgradnje nije uzeta u obzir u Smernicama WHO, zato što nema odgovarajućih podataka o njihovom prisustvu, identitetu i biološkoj aktivnosti. U ispitivanim uzorcima vode su svi određivani pesticidi bili uvek ispod granice detekcije i samim tim ispod maksimalno dozvoljene vrednosti propisanih Pravilnikom (2003). Ovo može ukazivati na to da kvalitet voda ispitivanih izvorišta nije ugrožen poljoprivrednom aktivnošću u okolini izvorišta, ali to ne može predstavljati i dokaz ove tvrdnje. Iako je ispitivanjima određivan veći broj pesticida, moguće je da oni nisu korišćeni pri poljoprivrednoj proizvodnji ili da su primenjavani u propisanim dozama koje ne dovode do ugrožavanja životne sredine.

Pored napred pomenutih organskih materija, u uzorcima vode su određivana i **ulja i masti**. Određivana ulja i masti obuhvataju masne materije životinjskog i biljnog porekla, ugljovodonike naftnog porekla i svih lakših destilata nafte, osim benzina i smetnji koje potiču od sumpornih jedinjenja, organskih boja, i hlorofila (Standard Methods, 2005). Efekti na zdravlje koji su zajednički za sve ugljikovodike koji potiču iz nafte su neurološke prirode (Pawlak i sar., 2008).

Maksimalno dozvoljena koncentracija ulja i masti po Pravilniku (2003) je 0,10 mg/L. Ova vrednost je prekoračena u vodi na izvorištu Laktaši kod dva merenja i to u avgustu (0,20 mg/L) i septembru mesecu (0,24 mg/L). U avgustu i septembru mesecu su izmerene i najveće vrednosti ukupnog organskog ugljenika (TOC) na ovom izvorištu u toku perioda merenja od 0,84 mg/L i 1,31 mg/L, sledstveno. Takođe, u septembru mesecu je u vodi na izvorištu Laktaši izmerena i povećana vrednost za potrošnju permanganata (4,34 mg/L). Dakle u ovim mesecima je na izvorištu Laktaši bio povećan sadržaj organskih materija, a s obzirom da je upravo u tim mesecima utvrđen povećan sadržaj ulja i masti moguće je da je došlo da zagađenja izvorišta vode upravo ovim supstancama sa površine zemljišta. Dozvoljeni sadržaj ukupnih ulja i masti nije propisan Evropskom direktivom za vodu za piće

(Council Directive 98/83/EC), kao ni Secondary Maximum Contaminant Level USEPA standardima i smernicama WHO. WHO konkretno propisuje dozvoljeni sadržaj naftnih derivata u vodi za piće (WHO, 2005).

Ulja i masti mogu dospeti do podzemnih voda iz aktivnosti na površini zemljišta, kao što su prosipanje industrijskog otpada, saobraćaja i iz izvora ispod površine zemlje, ali iznad nivoa vode, kao što su septičke jame ili curenje nafte iz podzemnih skladišta (Baedecker i sar., 1993)

Kao što je napred navedeno, deo stambenih objekata u užoj i široj okolini izvorišta Laktaši nije povezan na centralni kanalizacioni sistem opštine i u okolini izvorišta se nalazi veći broj privatnih kuća sa septičkim jamama. Poreklo ulja i masti u podzemnoj vodi eventualno može biti iz septičkih jama u koje se odlažu ulja od kuhanja i motorna ulja. Takođe, podzemni i nadzemni rezervoari se obično koriste za skladištenje naftnih derivata. Na primer, neki domovi imaju podzemne rezervoare za ulje za grijanje. Ako podzemni rezervoar počne curiti njegov sadržaj može migrirati kroz tlo i doći do podzemnih voda. Takođe i nadzemni spremnici mogu predstavljati opasnost za podzemne vode ukoliko dođe do prosipanja ili curenja i ako nisu postavljene adekvatne barijere.

Potencijalnu opasnost od zagađivanja uljima i mastima predstavljaju i magistralni putevi u blizini izvorišta u Laktašima jer sa puteva mogu dospeti benzin, dizel gorivo i motorna ulja. Kamioni i cisterne za prevoz goriva i njihovo slučajno prevrtanje predstavljaju još jednu opasnost od ovog zagađenja. Zaštita podzemnih voda od zagađenja naftnim derivatima predstavlja poseban problem u gusto naseljenim delovima sa magistralnim putevima (Schwille, 1971).

Uzevši u obzir prisustvo i debljinu povlatnog sloja na najvećem delu izdani u Laktašima duž saobraćajnica realno je očekivati da ovaj vid zagađenja nije od posebnog značaja, osim u slučaju ako je došlo do prevrtanja cisterini sa gorivom ili akcidentnih kvarova. S obzirom da je samo dva puta u toku godine utvrđen povećan sadržaj ulja i masti pretpostavka je da je to posledica neke akcidentne situacije koja je otklonjena i već u mesecu oktobru nije bio povećan sadržaj masti i ulja u vodi ovog izvorišta.

U toku perioda ispitivanja u vodi izvorišta je izvršeno i određivanje **deterdženata** četiri puta i svaki put je koncentracija deterdženata bila ispod granice detekcije (<0,02 mg/L). Dakle, sa obzirom da deterdženti nisu prirodnog porekla, i dospevaju u prirodnu sredinu daleko najčešće putem otpadnih voda, a da nisu otkriveni ni jednom u toku perioda merenje to može dokazati dobru izolaciju izvorišta od otpadnih voda.

Sa obzirom na sve gore navedeno vezano za toksične organske materije može se zaključiti da je voda ispitivanih izvorišta dobrog kvaliteta što se tiče toksičnih organskih materija.

6.5. Hemometrijska analiza fizičko-hemijskih i hemijskih parametara kvaliteta podzemnih voda ispitivanih bunara

U Tabeli 35 su dati akronimi za fizičko-hemijske parametre ispitivanih podzemnih voda radi lakšega prikaza i tumačenja podataka hemometrijske analize.

Tabela 35. Skraćenice parametara od interesa korišćenih u statističkoj obradi podataka

Skraćenice	Srpski naziv	Engleski naziv
t_a	Temperatura vazduha	Air temperature
t_w	Temperatura vode	Water temperature
pH	pH vrednost	Potential of hydrogen
EC	Elektroprovodljivost	Electrical conductivity
KMnO ₄ cons.	Utrošak kalijum-permanganata	Consumption of potassium permanganate
TB	Mutnoća	Turbidity
Alk	Alkalitet	Alkalinity
NO ³⁻	Nitrati	Nitrates
TH	Ukupna tvrdoća	Total Hardness
Ca	Kalcijum	Calcium
Mg	Magnezijum	Magnesium
TDS	Ukupne čvrste materije	Total dissolved solids
K	Kalijum	Potassium
Na	Natrijum	Sodium
Cl ⁻	Hloridi	Chlorides
SO ₄ ²⁻	Sulfati	Sulphates
TP	Ukupan fosfor	Total phosphorus
TOC	Ukupni organski ugljenik	Total organic carbon
DOC	Rastvoreni organski ugljenik	Dissolved Organic Carbon
Al	Aluminijum	Aluminum
Zn	Cink	Zinc
Ni	Nikl	Nickel
Pb	Olovo	Lead
Cu	Bakar	Copper
ΣPAH ₁₃	Ukupan zbir koncentracije 13 prioriternih policikličnih aromatičnih ugljovodonika	Sum of 13 priority PAHs

U Tabelama 18 i 19 su prikazane metode fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih analiza vode sa korišćenim tehnikama. Detalji primenjenih metoda analize, potrebni za izvođenje PSA/FA, su prikazani u Tabelama 36 i 37.

Tabela 36. Najvažnije karakteristike korištenih analitičkih metoda: granica detekcije, granica kvantifikacije i vrednost RSD (preciznost) za fizičko-hemijske parametre, masti i ulja i anjonske deterdžente u ispitivanim uzorcima podzemnih voda

Parametar	Analitička tehnika	Metoda	Jedinica	Granica detekc.	Granica kvantifikacije	Precizn. RSD (%)
pH	Elektrohemijska	BAS ISO 10523:2013	/	/	/	0,57
Elektroprovodljivost	Konduktometrijska	BAS EN 27888:2002	μS/cm	/	/	0,38
Suspendovane materije (TSS)	Gravimetrijska	BAS ISO 11923:2002	mg/L	1	3	5,33
Ukupne čvrste materije	Gravimetrijska	Standard methods 2540 (B)	mg/L	8	26	1,17
Ostatak posle žarenja	Gravimetrijska	Standard methods 2540 (E)	mg/L	10	30	6,47
Gubitak žarenjem	Gravimetrijska		mg/L	10	30	6,47
Ukupni organski ugljenik (TOC)	TOC analizator	BAS ISO 8245:2003	mg/L	0,35	1,05	6,29
Potrošnja KMnO ₄	Volumetrijska	Standardne metode za ispitivanje hemijske ispravnosti, 1990.	mg/L	0,8	2,6	1,64
Amonijak	Spektrofotometrijska	BAS ISO 7150-1:2002	mgN/L	0,012	0,036	13,0
Nitrati	Spektrofotometrijska	BAS EN ISO 10304-1:2010	mgN/L	0,06	0,18	2,45
Nitrati	Spektrofotometrijska	BAS EN 26777:2002	mgN/L	0,007	0,021	2,87
Ukupni fosfor	Spektrofotometrijska	BAS ISO 6878:2002	mgP/L	0,003	0,009	5,08
Ortofosfor	Spektrofotometrijska	BAS ISO 6878:2002	mgP/L	0,003	0,009	5,08
Alkalitet	Volumetrijska	BAS EN ISO 9963-1:2000	mmol/L	4	12	2,01
Bikarbonati	Računski	Računski	mgHCO ₃ ⁻ /L	4	12	2,01
Ukupna tvrdoća	Volumetrijska	BAS ISO 6059:2000	mgCaCO ₃ /L	1	3	1,46
Hloridi	Jonski hromatograf	BAS EN ISO 10304-1:2002	mgCl ⁻ /L	0,06	0,2	8,24
Sulfati	Jonski hromatograf	BAS EN ISO 10304-1:2002	mgSO ₄ ²⁻ /L	0,08	0,26	2,70
Sulfidi	Jodometrijska	Standard methods 4500-S ²⁻ (F)	mgS ²⁻ /L	0,04	0,12	/
Anjonski deterdženti	Spektrofotometrijska	Standard Methods 5540-C	mg/L	0,02	0,1	3,84
Ulja i masti	FTIR	Standard Methods 5520-C.	mg/L	0,10	0,30	2,06

Tabela 37. Najvažnije karakteristike korištenih analitičkih metoda: granica detekcije, granica kvantifikacije i vrednost RSD za teške metale i policiklički aromatske ugljovodonike (PAH) u ispitivanim uzorcima podzemnih voda

Parametar	Analitička tehnika	Metoda	Granica detekcije (µg/L)	Granica kvantifikacije (µg/L)	Preciznost RSD (%)	
Teški metali						
Gvožđe	Plamena - AAS	Standard Methods 3111-B	30	90	5,72	
Mangan	Plamena - AAS		10	30	5,73	
Nikl	Grafitna - AAS		0,5	1,6	4,50	
Cink	Grafitna - AAS		0,5	1,8	2,69	
Kadmijum	Grafitna - AAS		0,03	0,09	2,97	
Bakar	Grafitna - AAS		0,4	1,15	4,43	
Olovo	Grafitna - AAS		0,05	0,15	4,76	
Arsen	Grafitna - AAS		0,23	0,70	3,68	
Hrom	Grafitna - AAS	BAS ISO 9174:2002	1	3	8,11	
Živa	Živin analizator - AAS	AMA 254, Advanced Mercury Analyser, Operating Manual	0,04	0,12	3,00	
Policiklički aromatski ugljikovodici (PAH)						
Parametar	Aromatični prsten	Analitička tehnika	Metoda	Granica detekcije (ng/L)	Granica kvantifikacije (ng/L)	Preciznost RSD (%)
Antracen	3	HPLC	EPA 550.1:1994	13	39	3,32
Fenantren	3			10	30	3,40
Fluoren	3			12	36	3,40
Acenaftilen	3			10	30	4,22
Piren	4			15	45	3,42
Benzo(a)antracen	4			15	45	3,41
Hrizen	4			10	30	2,27
Benzo(k)fluoranten	5			8	24	2,57
Benzo(a)piren	5			15	45	2,57
Benzo(b)fluoranten	5			8	24	2,17
Benzo(g,h,i)perilen	6			1	3	2,29
Indeno(1,2,3-cd)piren	6			1	3	2,38
Dibenzo(a,h)antracen	6			12	36	3,32

Napomena: Plamena AAS– plamena atomska apsorpciona spektrofotometrija, Grafitna AAS- grafitna atomska apsorpciona spektrofotometrija, Živin analizator AAS– atomska apsorpciona spektrofotometrija na živinom analajzeru, HPLC – tečna hromatografija visokih performansi

Kao već dobro poznate metode u obradi ulaznih parametara iz životne sredine (Zhiyuan i sar., 2011) korištene su analiza glavnih komponenti (eng. *Principal Component*

Analysis) i faktorska analiza (eng. *Factor Analysis*) (PCA/FA) na skupu normalizovanih podataka (z-skala transformacije) kako bi se izbegle reklasifikacije zbog velike razlike u dimenzionalnosti podataka. Takođe primenjen je Ward metod koji je korišten za kvadrate Euklidove razdaljine, kao mera sličnosti za procenu međusobnih relacija ispitivanih lokacija. Verimaks faktori analizirani su dalje u radu za eigen vrednosti > 1 (eng. *eigenvalues*) na osnovu Kajzerovog kriterijuma (Kaiser, 1960). Poseban akcenat je dat vrednostima sa stepenom značajnosti većom od 60% od najvećeg koeficijenta za svaki faktor, koje se definišu kao varijable sa jakim uticajem (Kaiser i Rice, 1974).

Pirsonov koeficijent korelacije je korišten kako bi se identifikovao odnos između parametara zagađenja vode ispitivanih izvorišta. U ovom istraživanju dati koeficijent korelacije je korišten za merenje snage odnosa između parametara u uzorcima (pozitivno ili negativno) i u vezi sa statističkim značajem podešen u skladu sa vrednostima $p < 0,05$ (Prilog - Tabela XI) ili $p < 0,01$ (Prilog – Tabela XII).

Analiza varijanse (ANOVA) je izvedena da bi se analizirale značajne prostorne i vremenske razlike ($p < 0,05$). Henri i sar. (1984) sugerišu da minimalan broj uzoraka (n) za FA treba biti takav da je $N > 30 + (V + 3)/2$, gde V predstavlja broj varijabli. Nakon uklanjanja *out-layera*, 25 varijabli i 47 uzoraka su uzeti u obzir za analizu faktora.

6.5.1. Rezultati hemometrijske analize

Nakon postupaka iteracije PCA/FA analize, u ovom delu korišteni su rezultati korelacionih analiza iz Tabela XI i XII (Prilog) u cilju selekcije parametara od interesa. Kako bi se dobili parametri koji su ključni za opis korelacije i kompleksiranja, odnosno grupisanja fizičko-hemijskih parametara podzemnih voda na sva tri ispitivana izvorišta (Laktaši, Maglajani i Kriškovci, Slika 29) izvršena je njihova redukcija i selekcija na osnovu stepena značajnosti svakog od njih. Korelaciona i faktorska analiza podataka je takođe pokazala da vrednosti parametara padavina, kao i protoka reke Vrbas u periodu ispitivanja, osim u izvesnoj meri sa temperaturom vazduha (rezultati nisu prikazani), nemaju vrednosti koje bi bile značajne za hemometrijsku obradu tih podataka.

Parametri koji su pokazali stepen značajnosti veći od 60% od najvećeg koeficijenta za svaki faktor, prikazani su masnim slovima u Tabeli 38.

U cilju lakšeg tumačenja rezultata, vrednosti faktora (F1, F2 i F3) su prikazane u 3D prostoru sa grupisanjem selektovanih parametara (Slika 120).

6.5.2. Tumačenje rezultata hemometrijske analize

Podaci statističke obrade podataka za ispitivane lokalitete, za faktore F1, F2, F3 i F4 opisani su sa 78% od ukupne varijanse celog skupa podataka.

Prva i najznajčajnija komponenta (F1) opisuje 35,9% ukupne varijanse, sa vrednostima iznad 0,542 (60% od najveće vrednosti ovog faktora, (Kaiser i Rice, 1974)) i čine je TH, Alk, Na, Ca, Mg, EC, TDS (Tabela 38), što je i potvrđeno 3D grupisanjem (Slika 120). Ovaj faktor se može nazvati „hidrohemijski faktor” koji opisuje pojavu karbonatnih formacija (laporaca, glina, a moguće je i kalcita, magnezita, anhidrita, gipsa), što potvrđuju značajne vrednosti TH (0,903), Alk. (0,899), Ca (0,851) i Mg (0,656), kao i pojavu saliniteta podzemnih voda, što potvrđuju značajne vrednosti faktora za Na (0,887) i EC (0,833) u ovoj grupi podataka (F1). Sve ovo indicira geohemijsko poreklo ovih komponenti, odnosno rastvaranje u podzemnoj vodi sedimentnih stena u dolini reke Vrbas, što potvrđuju i srednje ulazne vrednosti ovih parametara koje su ispod MDK vrednosti (Tabele I-III, Prilog). Ako se

pogledaju koeficijenti varijacije za te parametre u Tabelama 21-23, može se uočiti da faktori koji opisuju prisustvo karbonatnih frakcija, TH i Alk., malo variraju u toku godine, nešto više variraju EC i Ca, još više TDS i Na, dok Mg ima najveće oscilacije, pogotovo u vodi izvorišta Kriškovci. Iako se na Slici 87 može videti da tokom godine ima relativno malo promena osnovnih pokazatelja sastava vode (osnovnih jona) pojedinih izvorišta, ipak je korelacijama pojedinih parametara obuhvaćenih faktorom F1 sa prosečnim mesečnim padavinama za ispitivani period (Slika 23) i protokom reke Vrbas (Slika 24) ustanovljeno da protok reke Vrbas ima uticaj na EC i TDS, a da nema uticaj na Alk. i TH. Uticaj padavina na ove parametre nije utvrđen.

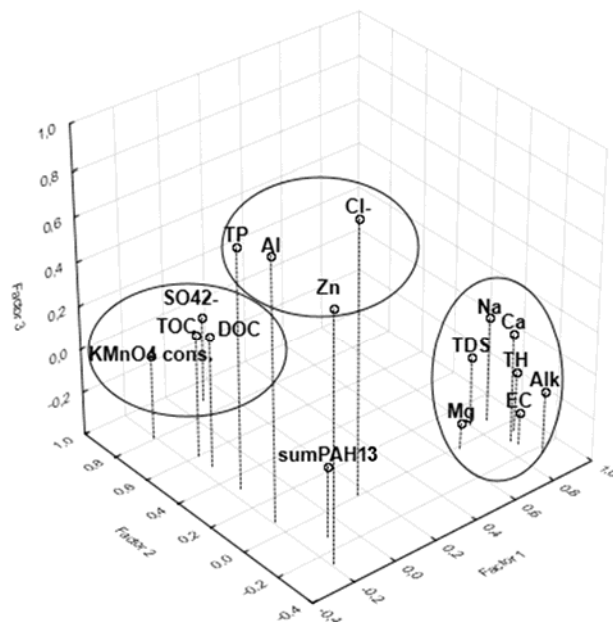
Tabela 38. Redukovana, konačna verzija skorova faktora, rezultata PCA/FA analize

Varijable	F1	F2	F3	F4
EC	0,833	0,155	-0,251	-0,194
KMnO ₄ cons.	-0,190	-0,827	-0,019	0,101
Alk.	0,899	0,229	-0,111	-0,175
TH	0,903	0,058	-0,123	-0,249
Ca	0,851	0,091	0,101	0,095
Mg	0,656	0,020	-0,278	-0,459
TDS	0,806	-0,091	-0,084	-0,130
Na	0,887	-0,087	0,072	0,196
Cl ⁻	0,134	0,017	0,846	-0,067
SO ₄ ²⁻	0,073	-0,868	-0,008	-0,035
TP	-0,170	-0,318	0,695	0,300
TOC	-0,151	-0,601	0,152	0,675
DOC	-0,180	-0,494	0,189	0,697
Al	-0,173	-0,092	0,781	0,279
Zn	-0,159	0,245	0,737	-0,253
∑PAH ₁₃	-0,100	0,128	-0,082	0,921
Eigen vrednosti	6,12	3,49	2,25	1,38
Ukupna varijansa (%)	35,94	20,57	13,26	8,13
Kumulativno - varijansa (%)	35,94	56,51	69,77	77,90

Faktor F2 opisuje 20,57% od ukupne varijanse i izdvaja se grupisanje SO₄²⁻ (-0,868), KMnO₄ cons. (-0,827) i TOC (-0,601) parametara. Dati parametri imaju vrednost veću od 0,521 (60% od najveće vrednosti ovog faktora, (Kaiser i Rice, 1974)). Kao što se primeti, ove promenljive imaju negativan koeficijent, što ih izdvaja od drugih parametara kao nosioce sličnih unutar grupe, ali različitih u skupu fizičko-hemijskih osobina ostalih promenljivih. U trodimenzionalnom prikazu ovoj grupi je priključen i DOC. DOC nema visok skor (Tabela 38), ali ipak samo nešto malo manji od 0,521, iako dobro korelira sa TOC ($r = 0,907$, Tabela XI), što je i očekivano. Podzemne vode mogu imati povećan sadržaj organske materije koja

dominantno može biti geohemijskog, odnosno nativnog porekla. Sa druge strane, ovaj faktor se može nazvati faktor tačkastog zagađenja poreklom od rastvorene organske materije, većim delom iz komunalnih otpadnih voda (prisutnost septičkih jama u većem obimu), otpadnih voda ili deponija različitih industrija, intenzivne poljoprivredne proizvodnje i upotrebe pesticida, što se detektuje kao organski ugljenik (TOC i DOC).

Sadržaj sulfata može biti posledica difuznih pritisaka sulfatnog jona. Kao jak kiseli anjon njegovo prisustvo u većim koncentracijama može biti posledica ispiranja okolnih poljoprivrednih površina ili je geohemijskog porekla. Najčešći autigeni minerali sulfati su anhidrit (CaSO_4), gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) i barit (BaSO_4). Sulfati u vodi takođe mogu biti posledica mikrobiološke razgradnje aminokiselina koje u svojoj strukturi sadrže sumpor ili sumporne komponente (cistein, cistin, metionin). S obzirom da voda sa sva tri izvorišta spada u veoma tvrdu vodu, da ima dosta veliku koncentraciju kalcijuma, a da je sadržaj organske materije mali, može se zaključiti da su sulfati uglavnom geohemijskog porekla. Ipak, prisustvo sulfata i TOC u okviru istog faktora ukazuje da oni delimično potiču i od razgradnje organske materije u zemljištu.



Slika 120. Trodimenzionalni prikaz grupisanih podataka dobijenih PCA/FA analizom

Vrednost faktora F3 je opisana sa 13,26% od ukupne varijanse, što implicira manju značajnost ovog faktora od prethodna dva (F1 i F2), ali dovoljnog za tumačenje nosioca ove grupe podataka. U ovu grupu spadaju parametri koji imaju vrednost veću od 0,508 (60% od najveće vrednosti ovog faktora, (Kaiser i Rice, 1974)). Cl^- , Al, Zn i TP čine reprezentativne parametre ovog faktora što potvrđuje i njihovo grupisanje na Slici 120.

Ovaj faktor može predstavljati tipično antropogeni, tačkasti izvor zagađenja. Al i Zn mogu biti mineralnog porekla, ali mogu biti i posledica zagađenja od strane industrije ili okolnih iskopina ruda. Cink se koristi u poljoprivrednoj proizvodnji u obliku insekticida na bazi cinka ili đubriva sa dodatkom cinka. Neki pesticidi sadrže i do 25% cinka, a u đubrivima se cink može nalaziti u količinama od 15 do 1450 mg/kg (Andersson, 1981). Iz tog razloga se može objasniti pojava Zn i TP u okviru istog faktora F3. Sadržaj hlorida može da upućuje

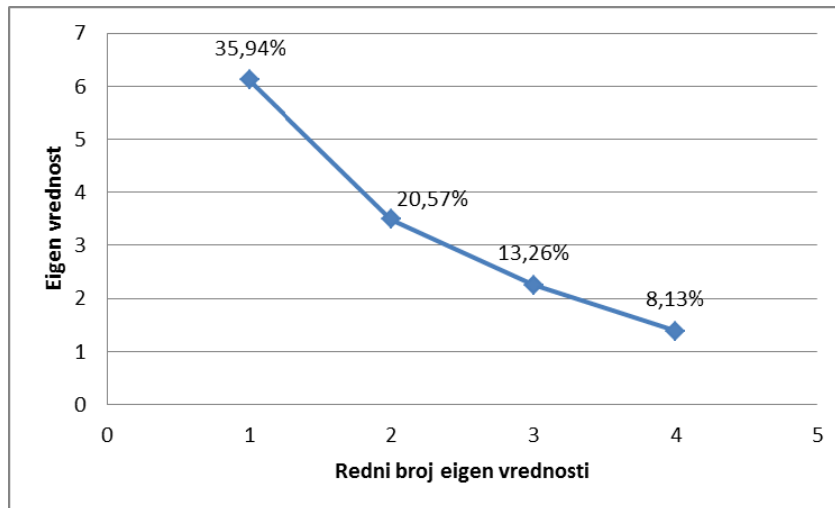
na neprečišćene otpadne vode, vode iz okolnih komunalnih ili industrijskih sistema za prečišćavanje otpadnih voda, ali i hloridi naravno mogu biti geohemijskog porekla. Sadržaj fosfora može da ima dvojako poreklo, antropogeno od organskih i mineralnih đubriva ili fosfornih pesticida, ali i prirodno poreklo od mineralizacije organske materije u zemljištu ili dominantno od minerala apatita i fosforita prisutnih u geološkim slojevima. Povezivanje Cl i TP u okviru faktora F3 može biti objašnjeno njihovim zajedničkim prisustvom u apatitu ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$). Apatit može biti prirodno prisutan u sedimentnim naslagama, ali takođe ima veliku primenu kao veštačko đubrivo. Stoga se smatra da, ako se povećani sadržaj hlorida poklapa sa povećanim sadržajem fosfata, to može biti indikacija zagađenja usled primene veštačkih đubriva. Na Slici 69 se vidi visoka korelacija između koncentracije ukupnih fosfata i hlorida u vodi izvorišta Kriškovci, pa se za ovo izvorište može pretpostaviti uticaj proceđivanja vode sa površine zemljišta iznad izvorišta na kome je primenjeno veštačko đubrivo. Na druga dva izvorišta su ove korelacije vrlo slabe. Međutim, to ne može biti dovoljan dokaz da su fosfati i hloridi antropogenog, a ne prirodnog porekla.

Većina fosfornih jedinjenja su prilično nerastvorljiva u vodi i čvrsto vezana za površinu čestica zemlje (Tan, 1996). Pored komponenata koje su direktno uključene u fiksaciju fosfora: u najvećoj meri oksidi Fe i Al, zatim minerali gline, karbonati i organska materija, postoje brojni faktori koji utiču na retenciju ovog elementa (reakcija zemljišta, pH, katjoni u zemljišnom rastvoru, anjoni, temperatura) (Power i Prasad, 1997). Prisustvo Al i TP u okviru istog faktora F3 očigledno ukazuje na njihovu interakciju u zemljištu. Fiksacija fosfora izraženija je u glinovitim zemljištima, nego u onim sa grubljom teksturom, kao što je pesak i šljunak (Huffman i sar., 1996). Litološki sastav na mestu bušenja bunara na istražnim izvorištima je različit. Smenjuju se slojevi gline, peska, šljunka i lapora (poglavlje 5.1.3), ali uglavnom gornji sloj čini glina debljine 2-4 m koja bi trebalo, zbog vrlo sitnih čestica i prisustva aluminijuma, da predstavlja dobru prepreku migraciji fosfata sa površine u dublje slojeve zemljišta. U ispitivanju uticaja unošenja stajnjaka na kretanje fosfora po dubini zemljišnog profila Vetter i Steffens (1980) navode da je samo 13% od ukupno unetog fosfora prešlo u sloj zemljišta 60-90 cm. Sa druge strane, novijim istraživanjima je dokazana vrlo slaba adsorpcija fosfata na glinene minerale, uprkos njihovoj velikoj površini (Borgnino i sar., 2009.; Yin i sar., 2011). U neutralnim i alkalnim uslovima fosfati su vrlo slabo rastvorni u vodi, za razliku od kiselih uslova. Dokazano je da, osim niskog pH i organska materija prisutna u zemljištu može povećati rastvorljivost fosfata (Delgado i sar., 2002). U vodi ispitivanih izvorišta je sadržaj organske materije mali, a pH je neutralan do blago alkalni (od 7,06 do 8,25) (Tabele 21-23), što ne pogoduje dobroj rastvorljivosti, a time i migraciji fosfata. U podzemnoj vodi ispitivanih izvorišta je sadržaj ortofosfata mali i u dozvoljenim granicama prema Pravilniku (2003). Sve ovo ukazuje da je mala verovatnoća da su fosfati u podzemnim vodama ispitivanih izvorišta poreklom iz đubriva korištenih na poljoprivrednim površinama u blizini izvorišta vodosnabdevanja.

Suma vrednosti koncentracija 13 selektovanih EPA PAH-ova ($\sum\text{PAH}_{13}$) ima vrlo visoku vrednost za varijablu u okviru faktora F4 (0,921), koji opisuje 8,13% od ukupne varijanse. Iako ovaj faktor opisuje mali procenat ukupne varijanse, on se može uzeti u razmatranje kao značajan s obzirom da na dijagramu zavisnosti eigen vrednosti od njihovog rednog broja nema oštrog pregiba krive (Slika 121).

Vrednostima iznad 0,553 (60% od najveće vrednosti faktora F4, (Kaiser i Rice, 1974)) se, osim $\sum\text{PAH}_{13}$, priključuju i TOC i DOC (Tabela 38). Iako ne dominantan, ovaj faktor opisuje klasično antropogeno zagađenje. Ono potiče iz sredstava za zaštitu bilja (Nam i sar., 2003) ili na primer, iz kanalizacionog mulja koji se koristi u poljoprivrednoj proizvodnji, a čiji sastojci, između ostalog i PAH-ovi, posredstvom mehanizma gubitka u zemljištu, kao što su isparavanje, abiotička degradacija, biorazgradnja, prenos preko useva (Moreda i sar., 1998) dospevaju u zemljište. Takođe, PAH-ovi mogu biti i posledica nepotpunog sagorevanja organske materije. Emituju se u atmosferu sa izduvnim gasovima vozila, a u najvećem

obimu iz procesa spaljivanja i uništavanja posležeštenih ostataka sa poljoprivrednog zemljišta ili šumskih požara (Yunker i sar., 2002). Depoziciju iz vazduha čestičnih materija koje sadrže adsorbovane PAH-ove potvrđuje i korelacija sa TOC i DOC parametrima (Tabela XI i XII, Prilog). Iako je poznato da su PAH-ovi široko rasprostranjeni u životnoj sredini, vrlo mali sadržaj ovih materija u vodi ispitivanih izvorišta ukazuje da razmere ovog problema u oblasti ispitivanih izvorišta nisu velike.



Slika 121. Zavisnosti eigen vrednosti od njihovog rednog broja

6.5.3. Korelaciona analiza

Iako ne velika, korelacija DOC i TP ($r = 0,501$, Tabela XII, Prilog) ukazuje na vezu organskih jedinjenja i TP koje može poticati iz difuznog zagađenja od mineralnih đubriva pre svega fosfornih koja su sintetičkog ili prirodnog porekla i koja mogu imati primese metala (Al, Cd, As, Hg, Zn i Ni). Ustanovljena je izvesna korelacija DOC sa Al, i obrnuta sa Zn i Cu, dok je korelacija sa Ni vrlo slaba. TP u izvesnoj meri koreliše sa Al, Zn i Ni, dok je korelacija sa Cu vrlo slaba.

Iako nije dobijena značajnija statistička korelacija ispitivanih faktora sa pH vrednostima, trebalo bi napomenuti da promena ovog parametra može značajno da utiče (pozitivno i negativno) na kvalitet kako podzemnih voda tako i zemljišta. Zakišeljavanjem dolazi do mobilizacije nekih neophodnih elemenata i teških metala, dok povećanje pH dovodi do vezivanja nekih jona iz vode za zemljište ili mobilizacije nekih elemenata, kao što su, na primer molibden, kalcijum i magnezijum (Slika 122). Takođe usled zakišeljavanja zemljišta može doći do izdvajanja i mobilizacije aluminijuma iz zemljišta i ocednih voda do akvatičnih sistema (Ritchie, 1995). Al i TP imaju nešto veću korelaciju ($r = 0,572$, Tabela XII, Prilog), što može da ukazuje da je došlo do remobilizacije Al iz prirodnih matriksa i njegovog kompleksiranja sa fosforom dominantno iz organskog mineralnog đubriva (Power i Prasad, 1997), ali je moguće i prirodno prisustvo fosfata u zemljištu.

Ukoliko se posmatra pH vrednost podzemne vode, može se konstatovati njen mali korelacioni faktor i to isključivo sa sadržajem nitrata ($r = 0,427$, Tabela XII, Prilog). Ova zavisnost, iako mala, može da implicira posledice difuznih pritisaka na zemljište i vodna tela kao što su spiranje sa poljoprivrednih površina i neadekvatno upravljanje zemljištem pod šumskom vegetacijom. Nitratni jon u akvatičnim sistemima predstavlja „jak kiseli anjon” pa samim tim njegovo prisustvo u višim koncentracijama može da ima za posledicu povećanje

kiselosti vode (Aber i sar., 1989). Ovakve promene u kvalitetu vode mogu biti izraženije u toku dužih i češćih, ali obilnih padavina kojima su vodna tela izložena u ranom prolećnom i kasnom jesenjem periodu godine. Iako nije primećen visok stepen korelacije za količinu padavina i protok, frekventnije merenje svih gore opisanih parametara bi dalo značajnije rezultate i dalje aproksimacije.

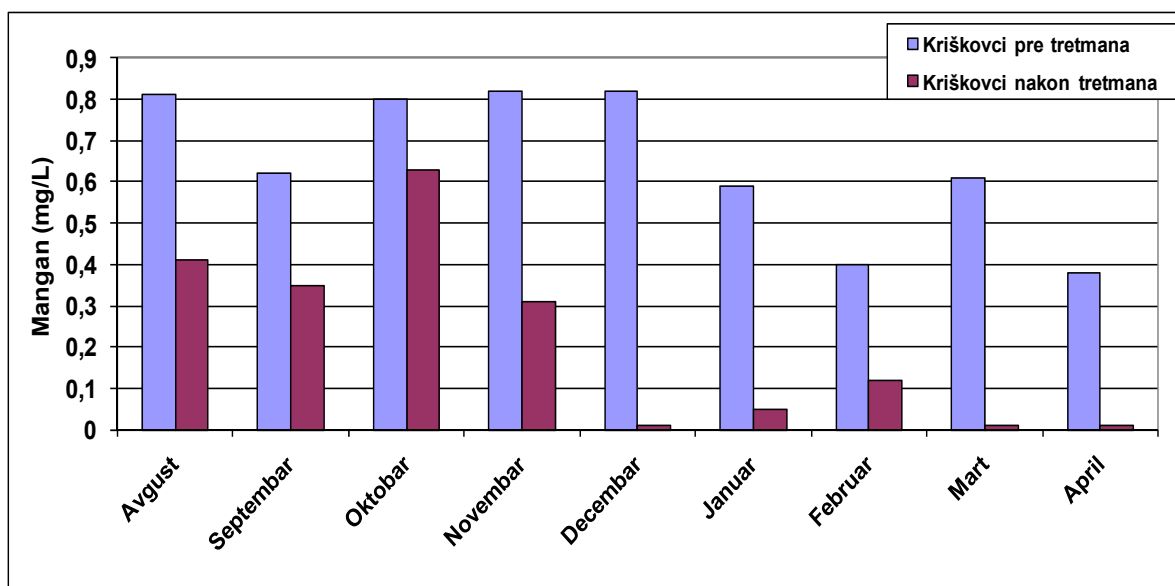
Korelisanje Na i K ($r = 0,645$, Tabele XI i XII) kao i dobro korelisanje Na sa ostalim parametrima: EC, Alk. i Ca sa $r > 0,7$ i sa TDS ($r = 0,574$, Tabela XII, Prilog) impliciraju prisustvo geološke sone formacije u ovoj regiji čiji donji slojevi imaju slane uslove taloženja (Grba i sar. 2014; Pamić i sar., 2013).



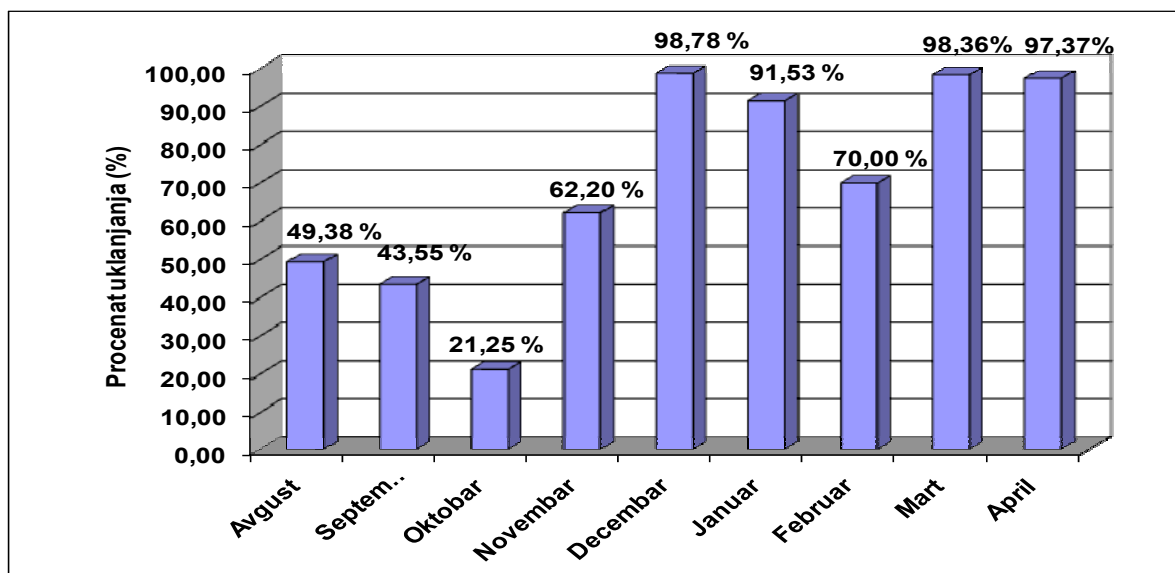
Slika 122. Efekat pH vrednosti zemljišta na rastvorljivost hranljivih materija (http://cms.optimus.ba/Avanti_ApplicationFiles/122/Documents/kiselost_zemljista.pdf)

6.6. Uklanjanje mangana iz vode izvorišta Kriškovci

Zbog česte pojave povećane koncentracije mangana u vodi na izvorištu u Kriškovcima, instalirana je kolona za uklanjanje mangana. Kolona je napunjena Greensand-om (zapremina Greensand-a 5,5 L; R x h=18,8cm x 20 cm) čije su karakteristike prikazane u Tabeli 17. Izvršeno je određivanje koncentracije mangana u vodi ovog izvorišta pre i nakon tretmana, u periodu od avgusta 2012. do aprila 2013. godine. U Tabeli IV u Prilogu su prikazani rezultati analize nekih parametara u vodi nakon tretmana vode u koloni za demanganizaciju. Na Slici 123 je prikazana koncentracija mangana u sirovoj i obrađenoj vodi, a na Slici 124 je prikazan procenat uklanjanja mangana Greensand-om.



Slika 123. Koncentracija mangana pre i nakon tretmana vode sa izvorišta Kriškovci



Slika 124. Procenat uklanjanja mangana pomoću kolone za uklanjanje mangana iz vode sa izvorišta Kriškovci

Sa Slike 124 se može videti da na početku rada kolona za demanganizaciju nije davala dobre rezultate, pa se u novembru mesecu izvršilo ispitivanje uklanjanja mangana na laboratorijskom nivou.

U laboratoriji je Greensand-u (250 gr) u koloni dodat 2,5% rastvor KMnO_4 u cilju formiranja katalitičkog sloja MnO_2 (Slika 125). Nakon 12 sati je rastvor KMnO_4 ispušten iz kolone. Kroz ovako pripremljen Greensand su propušteni uzorci vode sa izvorišta u Kriškovcima sa protokom od 100 mL/min. U uzorcima obrađene vode je određivana koncentracija mangana i dobijene vrednosti su prikazane u Tabeli 39. Za proces demanganizacije, odnosno da bi se dvovalentni mangan izdvojio iz vode kao četverovalentni manganoksihidrat $\text{MnO}(\text{OH})_3$, preporuka je da voda na ulazu u kolonu ima pH vrednost veću od 9, zbog čega je u određenom broju uzoraka podešena pH vrednost na 9, 9,5, 10 i 10,5. Međutim, ukoliko voda sadrži visoku karbonatnu tvrdoću (kao što je slučaj na izvorištu Kriškovci), produvanjem vazduha kroz vodu odstrani se jedan dio slobodne ugljene kiseline, usled čega alkalitet vode poraste, pa je tada povoljno područje demanganizacije između pH 7,8 i 8. Zbog svega gore navedenog je izvršen tretman sirove vode u laboratoriji bez podešavanja pH vrednosti, ali kroz koju je vršeno produvanje vazduha (aeracija), zatim sirove vode bez podešavanja pH vrednosti i vode u kojoj je pH vrednost podešena pomoću 2M rastvora NaOH na gore navedene vrednosti.



Slika 125. Obogaćivanje greensand-a u laboratoriji sa KMnO_4

Naredni dan je nakon dodatnog obogaćivanja Greensand-a sa KMnO_4 ponovljen eksperiment i dobijeni rezultati su prikazani u Tabeli 40.

Na osnovu rezultata dobijenih u laboratoriji (Tabela 39 i 40), došlo se do zaključka da se na izvorištu nije izvodilo adekvatno obogaćivanje Greensand-a sa KMnO_4 . Takođe, ustanovljeno je da nije potrebna regulacija pH vode pre demanganizacije, jer je uočeno bolje uklanjanje mangana u vodi u kojoj nije podešavana pH vrednost. Takođe je iz dobijenih rezultata uočeno da aeracija nema efekat na uklanjanje mangana i da je nije potrebno izvoditi što je sve vrlo povoljno sa ekonomskog stanovišta. Dakle, pretpostavlja se da se u vodi na izvorištu Kriškovci nije vršila demanganizacija prema uputstvu proizvođača. Na izvorištu Kriškovci se zbog toga pokušalo sa dodatkom 2% rastvora KMnO_4 u Greensand i njegovo zadržavanje u koloni u trajanju od 24 sata, bez upotrebe aeracije. Ovo

obogaćivanje je rađeno jednom mesečno, u decembru i januaru mesecu. Međutim, kao što se vidi iz Slike 124, efikasnost uklanjanja mangana je nastavila da opada. Nakon toga se u februaru mesecu, uz konsultacije sa proizvođačem Greensand-a, pokušalo sa korištenjem rastvora natrijum hipohlorita kao oksidansa pre početka procesa demanganizacije. Očigledno da u pogonskim uslovima kiseonik u vodi nije bio dovoljno jak oksidant za oksidaciju Mn^{2+} jona. U vodi posle ovakvog tretmana su se dobijali rezultati za koncentraciju mangana koji su mnogo ispod MDK vrednosti propisane Pravilnikom (2003). Takođe, nakon procesa demanganizacije u vodi je koncentracija rezidualnog hlora iznosila 0,6 mg/L. Zbog toga je isključeno hlorisanje gasnim hlorom, koje se ranije izvodilo na ovom izvoru, s obzirom da je na ovaj način prilikom demanganizacije urađena i dezinfekcija vode.

Tabela 39. Rezultati za uklanjanje mangana iz vode sa izvorišta u Kriškovcima

Uzorak	Koncentracija Mn (mg/L)			Procenat uklanjanja %
	I merenje	II merenje	Srednja vrednost	
Uzorak sirove vode pre tretmana	0,7462	0,7313	0,7388	
Voda posle tretmana na izvorištu Kriškovci	0,3545	0,3495	0,3520	52,35
Voda posle tretmana u laboratoriji bez podešavanja pH (pH=7,34)	0,0215	0,0284	0,0250	96,62
Voda posle tretmana u laboratoriji bez podešavanja pH (pH=7,34) i izvršenom aeracijom	0,0246	0,0238	0,0242	96,72
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH =10,5	0,0682	0,0721	0,0702	90,50
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH=10,0	0,0680	0,0783	0,0732	90,10
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH=9,5	0,0338	0,0457	0,0398	94,62
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH=9,0 i izvršenom aeracijom	0,0330	0,0384	0,0357	95,17

Tabela 40. Rezultati za uklanjanje mangana iz vode sa izvorišta u Kriškovcima nakon dodatnog obogaćivanja Greensand-a sa $KMnO_4$

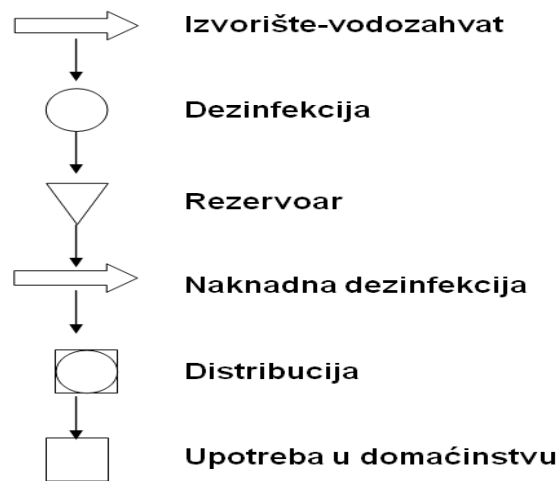
Uzorak	Koncentracija Mn (mg/L)			Procenat uklanjanja %
	I merenje	II merenje	Srednja vrednost	
Voda posle tretmana u laboratoriji bez podešavanja pH	0,0238	0,0276	0,0257	96,52
Voda posle tretmana u laboratoriji bez podešavanja pH i izvršenom aeracijom	0,0233	0,0287	0,0260	96,48
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH =10,5	0,5477	0,5362	0,5420	26,64
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH=10,0	0,2112	0,2243	0,2178	70,52
Voda posle tretmana u laboratoriji sa pH=9,5	0,1325	0,1421	0,1373	81,41

Nakon faze uhadavanja filter za demanganizaciju se stabilizovao, tako da se moglo nastaviti sa regeneracijom po preporuci proizvođača, to jest jednom u dve godine (s obzirom da voda nema povećani sadržaj gvožđa i vodoniksulfida) i nastavljeno je sa korištenjem natrijum hipohlorita kao oksidansa.

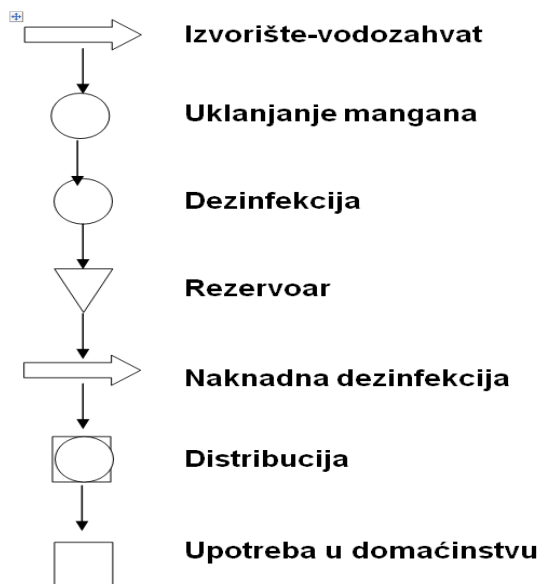
Neophodno je izvršiti uporednu detaljnu analizu ekonomske održivosti procesa demanganizacije u odnosu na eventualno izmeštanje izvorišta i bušenje novog bunara čija lokacija, pre svega u pogledu obezbeđenja adekvatnog kvaliteta vode, mora biti potkrepljena rezultatima detaljnih hidrogeoloških istraživanja.

6.7. Analiza procene rizika

Najvažniji deo procene rizika u vodovodnom sistemu je identifikovanje opasnosti (hazarda), a to su patogene bakterije i hemijske supstance koje imaju potencijal da prouzrokuju opasni događaj na svakoj tački blok-šeme dijagrama toka. Opasni događaj je akcident ili situacija koja može dovesti do opasnosti po zdravlje. Na Slikama 126 i 127 su date blok-šeme dijagrama toka sa izvorišta u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima.



Slika 126. Blok-šema dijagrama toka za izvorište u Laktašima i Maglajanima



Slika 127. Blok-šema dijagrama toka za izvorište u Kriškovcima

Drugi korak u identifikaciji i rangiranju rizika je utvrđivanje kontrolnih mera (Tabela 41).

Na sastav podzemne vode veliki uticaj ima dubina bunara, sastav zemljišta i dešavanja na površini. U Tabeli 42 se može videti da je bunar u Kriškovcima bunar najmanje dubine. Na osnovu analize temperature vode i temperature vazduha na ovom izvorištu, može se zaključiti da je ovo izvorište fizički zaštićeno od sezonskih promena temperature. Takođe se iz analize hlorida, sulfata i amonijaka može zaključiti da aktivnosti na površini iznad izvorišta (stočarstvo i poljoprivreda) i septičke jame nemaju uticaj na kvalitet vode izvorišta u Kriškovcima. Međutim, povišen sadržaj nitrita može biti posledica jesenjeg đubrenja obradivih površina, pogotovo što je u oktobru mesecu u vodi utvrđen i povećani sadržaj ukupnog fosfora, a takođe i septičke jame predstavljaju potencijalnu opasnost za kvalitet vode izvorišta povećanjem nivoa nitrita. Osim toga, analizom prisustva ortofosfata i fosfata u vodi izvorišta u Kriškovcima je otkriven mogući uticaj đubrenja zemljišta. Sa druge strane, može se pretpostaviti da je povećana koncentracija nitrita na ovom izvorištu u izvesnoj meri posledica kako jesenjeg đubrenja zemljišta, tako i povećane koncentracije nitrita u reci Vrbas. Takođe je i pri analizi mikrobioloških parametara zaključeno da mikrobiološki kvalitet vode izvorišta može biti posledica različitih aktivnosti na površini, ali i posledica lošeg mikrobiološkog kvaliteta reke Vrbas. Dakle, ne može se sa sigurnošću zaključiti u kolikoj meri je kvalitet vode izvorišta u Kriškovcima podložan uticajima sa površine.

Tabela 41. Mogući hazardi i hazardni događaji na izvorištima i kontrolne mere

Hazard	Kontrolne mere
Mikrobiološki (M) npr. bakterije, virusi i protozoe	<i>Zaštita izvorišta od pristupa ljudi i stoke Zaštita izvorišta od priliva otpadnih voda Prekid crpljenja za vreme perioda kontaminacije, npr. nakon oluje i poplave</i>
Hemijski (H) npr. dezinfekcioni nusprodukti, hemijske nečistoće, agensi za čišćenje, pesticidi	<i>Izolacija sistema od mogućih izlivanja sredstava za obradu vode Optimizacija hlorisanja radi smanjenja THM-a Novi materijali za cevi i rezervoare Nove procedure ili oprema za doziranje hemikalija</i>
Fizički (F) Npr. čestice sedimenta, produkti korozije	<i>Poboljšano čišćenje glavnih cevovoda Zamena cevi i fittinga Uvođenje flokulacije i filtracije</i>

Tabela 42. Dubine bunara na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima

Laktaši		Maglajani		Kriškovci	
Bunar	Dubina	Bunar	Dubina	Bunar	Dubina
B-1	18 m	BM-1	30 m	BKE-1	12 m
B-2	14 m	BM-2	30 m		
B-8	22 m				
B-9	19 m				

Prema oceni rizika datih u Poglavlju 3.4.1 (Procena rizika) i Tabelama 3 i 4, a prema procentu neispravnih uzoraka na izvorištima može se oceniti rizik, što je prikazano u Tabeli 43 za fizičko-hemijske parametre i u Tabeli 44 za mikrobiološke parametre.

Tabela 43. Ocena rizika izvorišta u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima za fizičko-hemijske parametre

Izvorište	Procenat neispravnosti	Opis	Uzrok
Laktaši	2,70 %	Prihvatljiv	mutnoća, mangan, ulja i masti
Maglajani	1,26 %	Prihvatljiv	mutnoća, nitriti
Kriškovci	0,72 %	Prihvatljiv	mutnoća, nitriti, mangan

Iz Tabele 43 se može zaključiti da podzemne vode izvorišta Laktaši, Maglajani i Kriškovci (Lijeve polje) nisu lošeg hemijskog statusa kako se očekivalo iz zaključaka datih u Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015). Takođe, iz Tabele 44 se može videti da su, što se tiče mikrobioloških parametara, vode ispitivanih izvorišta zadovoljavajućeg kvaliteta.

Tabela 44. Ocena rizika izvorišta u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima za mikrobiološke parametre

Izvorište	Procenat neispravnosti	Opis	Uzrok
Laktaši	9,09 %	Mali	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> Sulfito-redukujuće klostridije
Maglajani	13,0 %	Umeren	Aerobni heterotrofi na (22±2)°C u toku (68±4) h Aerobni heterotrofi na (36±2)°C u toku (44±4) h <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
Kriškovci	20,0 %	Umeren	Aerobni heterotrofi na (36±2)°C u toku (44±4) h <i>E.coli</i> i koliformnih bakterija (37°C/48h) Intestinalne (fekalne) streptokoke <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Sulfito-redukujuće klostridije

Kao što je navedeno u poglavlju 3.4, zemljišta bogata glinom su sklona formiranju pukotina dok su lakša zemljišta (peskovita i sa ilovačom) manje podložna stvaranju pukotina. U Tabeli 45 su uporedo prikazani podaci o sastavu zemljišta po dubini za bunare koji su bili u eksploataciji u toku istražnog perioda. Iz Tabele 45 se može videti da se zemljišta oko izvorišta u Laktašima i Kriškovcima mogu svrstati u lakša zemljišta i samim tim se može pretpostaviti da nisu sklona stvaranju pukotina. Bunari sa najvećim procentom gline su bunari BM-1 i BM-2 u Maglajanima i moglo bi se pretpostaviti da je zemljište oko ovih bunara eventualno podložno stvaranju pukotina. Smatra se da je režim akumulacije podzemnih voda u ispitivanom području u zavisnosti od režima reke Vrbas, prema Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015). Do istog zaključka se došlo i analizom nekih parametara (elektroprovodljivost i hloridi). Međutim neki parametri nisu u korelaciji sa kvalitetom vode reke Vrbas (organske materije), pa se ne može sa sigurnošću utvrditi veza između vode reke Vrbas i vode ispitivanih izvorišta.

Bitan korak u planu za sigurno vodozahvatanje je razvrstavanje rizika po prioritetu pri čemu je važno odlučiti koji od hazarda predstavlja značajan rizik i treba mu posvetiti pažnju.

U ovom radu će se koristiti semi-kvantitativni prilaz određivanju procene rizika. Primer semi-kvalitativne matrice je dat u poglavlju 3.4.1.2. U Tabeli 46 je dato kvantitativno iskazivanje verovatnoće pojave (P), a u Tabeli 47 kvantitativno iskazivanje posledica pojave (C) – ozbiljnost.

Tabela 45. Uporedni sastav zemljišta bunara na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima

izvorište Laktaši			izvorište Maglajani		izvorište Kriškovci
bunari B-1 i B-2	bunar B-8	bunar B-9	bunar BM-1	bunar BM-2	bunar BKE-1
0 - 2 m glina	0 - 2,80m glina	0 - 2,80 m glina	0 – 4,0 m gline	2,4 – 3,0m šljunak,slabo zaglinjeni, suv	0 - 3,10 m glina i humus
2-4 m i od 9,5-12,8 m sitnozrni do srednjezrni peskovi sa šljunkom	2,8 – 7 m šljunak, pesak, sitni, zbijeni	2,80 - 7, 00 šljunak, pesak, sitni, zbijeni	4,0 – 9,5m krupnozrni šljunak, suvi	3,0 – 3,6m šljunak, čist, krupnozrni	3,10-3,60m peskovita glina
4,0-9,5 m srednjezrn do krupnozrn šljunak sa peskom	7,00 - 12, 0m šljunak, krupni	7,00 - 12, 0m šljunak, krupni	9,5 – 10,5m glina	3,6 - 7,5m šljunak, krupnozrni, čist, suv	3,60-7,20m šljunak srednjezrn do krupnozrn
13 m pa naniže glinoviti sedimenti	12,0 - 14, 9 m šljunak, peskoviti, zaglinjeni	12,0 - 14, 0 m šljunak, u bazi zaglinjen	10,5 – 24 m krupnozrni šljunak, slabo zaglinjen	7,5 – 16,4m šljunak, jako zaglinjeni, vlažan	
	14,9 – 15,2 m glina, prašinasta	14,0 – 14,5 m šljunak, trošan, glinovit	24,0 – 26 m zaglinjeni šljunkovi	16,4 – 18 m šljunak, slabije zaglinjeni	
	15,2 – 16,3 m šljunak, peskoviti, zaglinjeni	14,5 – 16,0m lapor	26,0 – 27,0 m sitnozrni šljunkovi	18,0 – 20,5 m šljunak, krupnozrni, dosta čist	
	16,3 – 22,0 m lapor, sivi i crvenkasti	16,0 – 17,0 m pješčanjak	27,0 – 29,0 m sitni zaglinjeni šljunkovi, peskoviti	20,5 – 21 m gline, žute boje	
		17,0 – 18,0 m lapor	29,0 – 35,0 m glina	21 – 29,5 m šljunak, slabo zaglinjeni, nejednorodan, peskovit	
		18,0 – 18,5m pješčanjak		29,5 – 30,6 m pesak, krupnozrn	
		18,5 – 20, 0m lapor		30,6 – 32 m pesak, sitnozrn	
				32,0 – 36,5 m peskovi, laporoviti, sitnozrni (zaglinjeni)	
				36,5 – 54 m lapori	

U Tabelama 48, 49 i 50 je dat semi-kvantitativni prikaz procene rizika za izvorište u Laktašima, Maglajanima i Kriškovicima gde je verovatnoća pojave određenog hazarda ili hazardnog događaja procenjena na osnovu rezultata iz ovog rada, a posledica pojave je data kao ozbiljnost. Množenjem vrednosti verovatnoće i ozbiljnosti je dobijena vrednost na osnovu koje se rizik od hazarda ili hazardnog događaja ocenjuje kao visok (iznad 10- narančasta boja), srednji (od 6 do 10 – žuta boja), i nizak (od 1 do 5 - plava boja) rizik.

Tabela 46. Kvantitativno iskazivanje verovatnoće pojave (P)

Verovatnoća pojave (P)	
Pretnja postoji – mala verovatnoća	1
Pretnja postoji – postoji srednja verovatnoća	3
Pretnja postoji – postoji velika verovatnoća	5

Tabela 47. Kvantitativno iskazivanje posledica pojave (C)

Posledice pojave (C)		
Normalno snabdevanje ispravnom vodom	Zadovoljene su sve potrebe za zdravstveno bezbednom vodom	1
Odgovarajuće snabdevanje ispravnom vodom	Zadovoljene su hitne potrebe za zdravstveno bezbednom vodom	2
Neadekvatno snabdevanje ispravnom vodom	Delovi sistema su bez vode	3
Nema snabdevanja ispravnom vodom	Kontaminirana voda je dostupna za protivpožarna dejstva i sanitarnu svrhu	4
Voda nije dostupna	Sistem je ugašen	5

Laktaši (Tabela 48):

Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada – Okolina izvorišta u Laktašima predstavlja deo stambenog bloka samog grada Laktaši. U ovom delu je uređeno redovno odvoženje čvrstog otpada iz domaćinstava i u blizini ne postoji deponija. Opština Laktaši odvozi čvrsti otpad iz domaćinstava na regionalnu deponiju koja se nalazi u Banja Luci. Naselje nema rešen problem pravilnog odlaganja stajskog otpada, ali stanovništvo oko ovog izvorišta se ne bavi intezivno stočarstvom. Dakle, iz navedenih razloga verovatnoći ovog hazardnog događaja je dodeljen broj jedan. U slučaju da dodje do datog hazardnog događaja voda ne bi bila ispravna za piće zbog toga se sa brojem četiri ocenjuje ozbiljnosti datog hazardnog događaja.

Porozne septičke jame – Samo dio stambenih objekata u okolini izvorišta Laktaši (koji se ne nalaze u užoj zoni zaštite izvorišta, ali se nalaze u široj zoni zaštite) nije povezan na centralni kanalizacioni sistem opštine Laktaši (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) zbog čega je verovatnoći ovog hazardnog događaja dodeljen broj tri. U slučaju datog hazardnog događaja posledice po zdravlje stanovnika su jako loše (dakle, voda ne bi bila za piće) i zbog toga se sa brojem četiri ocenjuje ozbiljnosti datog hazardnog događaja.

Ispuštanje kanalizacione vode – Većina stambenih objekata u okolini izvorišta Laktaši je povezana na centralni kanalizacioni sistem opštine Laktaši (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta). Kanalizaciona voda opštine Laktaši se ispušta u reku Vrbas bez prethodne obrade, odnosno prečišćavanja. Međutim, tokom ispitivanja je

ustanovljeno da se ne može sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Laktašima ali zbog udaljenosti datog izvorišta od reke Vrbas (Slika 30) i debljine zaštitnog glinovitog sloj (2,8 m) verovatnoća zagađenja ovog izvorišta neprečišćenim kanalizacionim vodama koje se ispuštaju u Vrbas je mala. Zbog svega napred navedenog verovatnoća da dođe do ispuštanja vode iz kanalizacione mreže je ocenjena kao 1, a posledica ovog hazardnog događaja je da se distribuiše voda koja nije ispravna za piće, pa je ozbiljnost ocenjena sa 4.

Industrijski otpadni tokovi – Iz ranijih razmatranja (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) se može videti da je najveći broj potencijalnih industrijskih zagađivača (Slika 33) smešten oko izvorišta u Laktašima, i to unutar uže zone zaštite izvorišta. Međutim, najveći zagađivači iz ove opštine d.o.o.Tulumović, i d.o.o Marbo (Tabela 16) se ne nalaze unutar zona zaštita ovog izvorišta. U industrijskoj zoni u neposrednoj blizini izvorišta u Laktašima se nalaze sledeći industrijski objekti:

“GrafoMark“ (štampanija) – Štampanija ne koristi vodu u proizvodnji iz čega proizilazi da se verovatnoća da može doći do zagađenja podzemne vode od strane štampanije ocenjuje sa 1, a kao ozbiljnost hazardnog događaja prolivanja štamparske boje je usvojen broj 4.

“Latin-Mont“ (proizvodnja aluminijskih proizvoda) i “Bob“ (završna obrada metala) - Postoji mogućnost da dođe do zagađenja podzemnih voda jonima metala. Ali iz istraživanja se može videti da u podzemnoj vodi nije bila povećana koncentracija ni jednog od ispitivanih metala, u toku perioda praćenja. Međutim, u toku ispitivanja izvorišta nisu urađene analize na sve metale. Zbog svega gore navedenog verovatnoća da može doći do zagađenja podzemne vode od strane ovog zagađivača je ocenjena sa tri, a ozbiljnosti datog hazardnog događaja se dodeljuje broj 4.

“Clustre Tech International“ (proizvodnja delova za aparate za igre na sreću), “Poli Pol“ (proizvodnja gumenih proizvoda) i “Zorex-PVC“ (proizvodnja kupatilske opreme) - Postoji mogućnost da dođe do zagađenja podzemnih voda usled aktivnosti u postrojenju. Dakle, velika je verovatnoća da može doći do zagađenja podzemne vode, ali se ne zna kojim zagađujućim materijama, pa je verovatnoća ovog hazardnog događaja ocenjena sa tri, a ozbiljnosti datog hazardnog događaja se dodeljuje broj 4.

Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju – Na Slici 33 se može videti da u neposrednoj blizini izvorišta u Laktašima ima više benzinskih pumpi što povećava mogućnost od zagađenja ovog izvorišta usled curenja tankova benzina ukopanih u zemlju. Zbog toga je verovatnoći ovog hazarda data vrednost 3. Posledice ovog hazarda su ozbiljne i dugotrajne zbog čega je ozbiljnost posledica ocenjena sa 4.

Napuštene šljunkare – koje su ukopane u šljunkoviti sloj reke Vrbas skoro do vodonosnog sloja. Prema razmatranjima i zaključcima do kojih se došlo analizom rezultata u poglavlju 5.1.4. moguć je određen uticaj šljunkare na vode bunara B-9, ali tok vode od šljunkare do izvorišta u Laktašima koji je izmeren tokom rada na ispitivanju izvorišta je dosta dug, pa se usvaja verovatnoća od 3, a ozbiljnost 4.

Drenaža sa puteva – Kao što je ranije navedeno (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta), izvorište u Laktašima se nalazi u neposrednoj blizini magistralnog puta što povećava verovatnoću ovog hazardnog događaja, ali prisustvo i debljina povlatnog sloja na najvećem delu izdani duž saobraćajnica smanjuje ovu verovatnoću. Dakle, dati hazardni događaj može da se desi ali se ne zna kada ni gde, pa je verovatnoća ocenjena sa 1. Ozbiljnost ovog hazardnog događaja je 4.

Poljoprivredna proizvodnja (stočarstvo ili obrada/upotreba zemljišta) – Oko izvorišta u Laktašima se ne nalaze veće obradive površine, a stanovništvo se ne bavi intenzivno stočarstvom. Pored toga, s obzirom da je zaštitni glinoviti sloj debljine 2,8 m, datoj verovatnoći je data vrednost 1, a ozbiljnost ovog hazardnog događaja je 4.

Režim reke Vrbas – Prema Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015), glavni vid prihranjivanja akvifera sva tri ispitivana izvorišta je infiltracija površinskih voda, dominantno reke Vrbas. Na Slici 28 se može videti da je reka Vrbas ocenjena kao jako izmenjeno vodno telo. Što se tiče izvorišta u Laktašima analizom elektroprovodljivosti (Poglavlje 6.2 Fizičko-hemijski parametri vode za piće) i hlorida (Poglavlje 6.3.3 Anjoni (hloridi, sulfati, sulfidi)) je ustanovljena moguća veza sa vodom reke Vrbas. Međutim, ustanovljeno je takođe, da varijacije sadržaja organske materije nisu u korelaciji sa vodostajem Vrbasa u istom periodu (Poglavlje 6.4.1 Ukupne organske materije). Dakle, kako je u predhodnom tekstu napomenuto, ustanovljeno je da se ne može sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Laktašima. Zbog udaljenosti datog izvorišta od reke Vrbas (Slika 30) i debljine zaštitnog glinovitog sloja (2,8 m), za uticaj režima reke Vrbas na ovo izvorište data je verovatnoća 1, a ozbiljnost je 4.

Padavine – Iz razmatranja u Poglavlju 6, odnosno analize varijacija pojedinih parametara se moglo zaključiti da padavine nemaju uticaj na kvalitet vode ovog izvorišta, pa je verovatnoća 1, a pak ozbiljnost posledica 4, jer iznad površine nema obradivih površina niti deponija otpada, ali postoji industrijska proizvodnja.

Prirodno zagađenje – u toku istraživanja nije otkriveno ni jedno zagađenje prirodnog porekla. Međutim, postoji veliki spektar materija prisutnih u zemljinoj kori koje mogu dospeti u podzemne vode, a samo jedan deo ovih materija je ispitan ovim istraživanjem. Međutim, u okviru istraživanja izvršeno je ispitivanje svih parametara koji su propisani Pravilnikom (2003) a koji mogu biti prirodnog porekla osim selena. Zbog svega gore navedenog verovatnoća pojavljivanja je ocenjena sa 1. Međutim, ako bi došlo do promene u uslovima sredine neki od prirodnih zagađenja bi mogli da se oslobode iz zemljišta u podzemnu vodu, i izazovu određene posledice po potrošače zbog čega se ozbiljnost ovog hazarda ocenjuje sa 3.

Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu vode – Ukoliko dođe do curenja hemikalija koje se koriste za dezinfekciju vode, to može prouzrokovati velike posledice po zdravlje potrošača zbog čega je ozbiljnost 4. S obzirom da datim hemikalijama upravljaju obučeni ljudi i vrši se njihovo adekvatno skladištenje, verovatnoći je data vrednost 1.

Stvaranje trihalometana (THM) – U vodi u izvorištu u Laktašima, kao i u druga dva izvorišta, ima vrlo malo organske materije, pa prilikom hlorisanja može doći do stvaranja vrlo male količine THM zbog toga je verovatnoća 1. Ipak, ako bi došlo do stvaranja THM ozbiljnost posledica je velika pa je usvojena ocena 4.

Zagađenje vode u rezervoarima patogenima – Do zagađenja patogenima u rezervoarima može doći zbog lošeg održavanja rezervoara i neodgovarajuće dezinfekcije vode, ali brigu o rezervoarima vodi stručno osoblje i rezervoari su zaštićeni od spoljnog uticaja. Zbog toga je verovatnoća 1, a pojava patogena u rezervoarima bi prouzrokovala neispravnost vode, pa je ozbiljnost 4.

Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena – Verovatnoća ovih događaja je 1, a prodor patogena u distributivni sistem bi dovelo do nastanka neispravne vode, pa je ozbiljnost 4.

Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu – Verovatnoća zbog starih vodovodnih cevi je ocenjena sa 3, a ozbiljnost se ocenjuje sa 3 jer bi dati hazardni događaj mogao dovesti do toga da određeni delovi vodovodnog sistema ostanu bez vode.

Tabela 48. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za vodu za piće u Laktašima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbljnost	Rizik	Osnova	
Izvorište	Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada	M H F	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštite izvorišta	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta mikroorganizmima i hazardnim materijama poreklom iz odloženog čvrstog otpada, u toku padavina	
	Porozne septičke jame	M H	Priključenje naselja Jelića Brdo, na kanalizacionu mrežu.	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.	
	Ispuštanje kanalizacione vode	M H	Redovno održavanje kanalizacione mreže	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama poreklom iz kanalizacije.	
	Industrijski otpadni tokovi	Štamparija	M H	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštite izvorišta	1	4	4 Nizak	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
		Završna obrada metala i proizvodnja aluminijumskih proizvoda	M H	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštite izvorišta	3	4	12 Visok	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
		Proizvodnja delova za aparate za sreću, gumenih proizvoda i kupatilske opreme	M H	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštite izvorišta	3	4	12 Visok	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
	Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	3	4	12 Visok	Potencijalnu opasnost od zagađenja vode benzinom, dizel gorivom i motornim uljima.	
	Napuštene šljunkare	M H F	Sprečiti dalje uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja.	3	4	12 Visok	Napuštene šljunkare koje omogućavaju brzi protok polutantima mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta od opasnih i teško razgradivih materija	
	Drenaža sa puteva	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	1	4	4 Nizak	Opasnost od ovog zagađenja predstavljaju: teški metali iz izduvnih gasova, nafta i naftni derivati, različita ulja i masti, te zasoljavanje terena u toku zimskog perioda, kao i slučajno prevrtanje kamiona i cisterni.	
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	Određivanje zona zaštite oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	1	4	4 Nizak	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) - moguć ulaz patogena i nutrijenata pri kišnom vremenu.	
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	Određivanje zona zaštite oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	1	4	4 Nizak	Za kvalitet podzemnih voda eksploatazione izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.	

Nastavak Tabela 48. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za izvorište u Laktašima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbiljnost	Rizik	Osnova
Izvorište	Režim reke Vrbas	H, M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	1	4	4 Nizak	Režim ovog izvorišta delom zavisi od režima reke Vrbas.
	Padavine	H, M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	1	4	4 Nizak	Prodor zagađenja sa površine u podzemnu vodu pomoću infiltracije kišnice
	Prirodno zagađenje	H	Ugradnja postrojenja za uklanjanje zagađenja.	1	4	4 Nizak	Zagađenja usled lokalne geologije i/ili tipa zemljišta i u vezi sa hemijskim rastvaranjem minerala i organske materije
Dezinfekcija	Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda	1	3	3 Nizak	Postoji mogućnost izlivanja hemikalija koje se koriste za tretman vode, kao što je hlor.
	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	4	4 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Rezervoar za distribuciju vode	Zagađenje vode u rezervoarima patogenima.	M	Smanjenje vremena zadržavanja u rezervoarima. Redovno čišćenje rezervoara. Održavanje rezidualne koncentracije hlora.	1	4	4 Nizak	Ugroženost javnog zdravlja patogenima.
Naknadna dezinfekcija	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	5	5 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Distribucija	Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena	M	Kontrola od strane vodovoda. Uključivanje zakonodavstva.	1	4	4 Nizak	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode
	Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu	M H F	Kontrola od strane vodovoda. Održavanje procedura popravki	3	3	9 Srednji	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode

Maglajani (Tabela 49):

Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada – Okolina izvorišta u Maglajanima predstavlja ruralno područje. U Maglajanima je uređeno redovno odvoženje čvrstog otpada iz domaćinstava i u blizini ne postoji deponija, ali se pretpostavlja da većina individualnih kuća ima baštenski otpad i stajnjak (koji će biti razmatran kasnije u okviru uticaja stočarstva). Za baštenski otpad se može pretpostaviti mala verovatnoća hazarda 1, a ozbiljnosti posledica 4 (posledica je neispravna voda za piće).

Porozne septičke jame – U sklopu naselja u neposrednoj blizini izvorišta Maglajani nije urađena vodonepropusna kanalizacija nego se koriste porozne septičke jame (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) zbog čega se verovatnoći ovog hazardnog događaja dodeljuje broj tri. U slučaju da dođe do datog hazardnog događaja posledice po zdravlje stanovnika bi bile jako loše (voda ne bi bila za piće) i zbog toga se sa broj četiri ocenjuje ozbiljnosti datog hazardnog događaja.

Ispuštanje kanalizacione vode – Kao što je ranije u tekstu rečeno, u sklopu naselja u neposrednoj blizini izvorišta Maglajani nije urađena vodonepropusna kanalizacija. Kanalizaciona voda opštine Laktaši se ispušta u reku Vrbas bez predhodne obrade, odnosno prečišćavanja. Međutim, tokom ispitivanja je ustanovljeno da se ne može sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Maglajanima ali zbog udaljenosti datog izvorišta od reke Vrbas (Slika 31) i debljine zaštitnog glinovitog sloj verovatnoća da dođe do zagađenja vode izvorišta usled ispuštanja vode iz kanalizacione mreže je ocenjena kao 2, a posledica ovog hazardnog događaja je da se distribuiše voda koja nije ispravna za piće, pa je ozbiljnost ocenjena sa 4.

Industrijski otpadni tokovi – Iz ranijih razmatranja (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) i sa Slike 34 se može videti da u blizini izvorišta u Maglajanima ne postoje potencijalni industrijski zagađivači zbog čega se verovatnoći ovog hazardnog događaja dodeljuje broj jedan. Ozbiljnosti datog hazardnog događaja se dodeljuje broj 4.

Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju – Prema Slici 34 se može videti da u neposrednoj blizini izvorišta u Maglajanima nema benzinskih pumpi što smanjuje mogućnost od zagađenja ovog izvorišta curenjem tankova benzina, međutim neki domovi mogu imati podzemne rezervoare za ulje za grijanje, ali to nije utvrđeno, zbog čega je verovatnoći ovog hazarda data vrednost 1. Posledice ovog hazarda su ozbiljne i dugotrajne zbog čega je ozbiljnost ocenjena sa 4.

Napuštene šljunkare – Prema razmatranjima u Poglavlju 5.1.4 (Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) može se videti da ne postoji šljunkare u blizini izvorišta u Maglajanima, pa se usvaja verovatnoća od 1, a ozbiljnost 3.

Drenaža sa puteva – Okolina izvorišta u Maglajanima predstavlja ruralno područje i ne nalazi se u neposrednoj blizini magistralnog puta zbog čega se usvaja verovatnoća od 1, a ozbiljnost je 4, kao i kod izvorišta u Laktašima.

Poljoprivredna proizvodnja (stočarstvo) – Okolno stanovništvo poseduje manje stočarske farme. Opasnost od stočno fekalnog zagađenja delom je umanjena pošto je zaštitni glinoviti sloj na izvorištu Maglajani debljine oko 1,3 m. Zbog svega gore navedenog usvaja se verovatnoća od 3, a ozbiljnost 4.

Poljoprivredna proizvodnja (obrada/upotreba zemljišta) – U blizini izvorišta u Maglajanima se nalaze obradive površine Instituta za poljoprivredu RS. Dakle, poljoprivredna proizvodnja odvija se na znatnoj površini neposredno uz eksploatacione objekte. Opasnost od ove vrste zagađenja delom je umanjena zato što se poljoprivrednom proizvodnjom u okviru Instituta za poljoprivredu RS bave obučeni ljudi. Zbog svega gore navedeno usvojena je verovatnoća od 3, a ozbiljnost posledica 4.

Režim reke Vrbas – Prema Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015), glavni vid prihranjivanja akvifera sva tri izvorišta je infiltracija

površinskih voda, dominantno reke Vrbas. Na Slici 28 se može videti da je reka Vrbas jako izmenjeno vodno telo. Što se tiče izvorišta u Maglajanima analizom elektroprovodljivosti (Poglavlje 6.2 Fizičko-hemijski parametri vode za piće) i hlorida (Poglavlje 6.3.3 Anjoni (hloridi, sulfati, sulfidi)) je otkrivena moguća veza sa rekom Vrbas. Međutim, ustanovljeno je da varijacije sadržaja organske materije nisu u korelaciji sa vodostajem Vrbasa u istom periodu (Poglavlje 6.4.1 Ukupne organske materije). Dakle ne može se sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Maglajanima. Zbog blizine datog izvorišta reci Vrbas (Slika 31) i debljine zaštitnog glinovitog sloja (1,3 m) koja je na ovom izvorištu najmanja, za ovo izvorište data je verovatnoća 3, a ozbiljnost je 4.

Padavine – Iz razmatranja u Poglavlja 6 (Rezultati), odnosno analize varijacija pojedinih parametara se moglo zaključiti da padavine nemaju uticaj na kvalitet vode ovog izvorišta, međutim analizom sastava zemljišta ovog izvorišta je otkriveno da je dato zemljište podložno stvaranju pukotina koji se koriste kao „vodovi“ za transport zagađujućih materija do podzemnih voda pa je verovatnoća ovog hazardnog događaja ocenjena sa 3, a ozbiljnost posledica 4, jer iznad površine nema industrijske proizvodnje, ali postoje obradive površine i manje farme.

Prirodno zagađenje – u toku istraživanja nije otkriveno ni jedno zagađenje prirodnog porekla. Međutim, postoji veliki spektar materija prisutnih u zemljinoj kori koje mogu dospeti u podzemne vode, a samo jedan deo ovih materija je ispitan ovim istraživanjem. Međutim, u okviru istraživanja izvršeno je ispitivanje svih parametara koji mogu biti prirodnog porekla a koji su propisani Pravilnikom (2003), osim selena. Zbog svega gore navedenog verovatnoća pojavljivanja je ocenjena sa 1. Međutim, ako bi došlo do promene u uslovima sredine neki od prirodnih zagađenja bi mogli da se oslobode iz zemljišta u podzemnu vodu, i izazovu određene posledice po potrošače zbog čega se ozbiljnost ovog hazarda ocenjuje sa 3.

Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu vode – Ukoliko dođe do curenja hemikalija koje se koriste za dezinfekciju vode, to može proizrokovati velike posledice po zdravlje potrošača zbog čega je ozbiljnost 4. Kako datim hemikalijama upravljaju obučeni ljudi i vrši se njihovo adekvatno skladištenje, verovatnoća je 1.

Stvaranje trihalometana (THM) – U vodi izvorišta u Maglajanima, kao i u druga dva izvorišta, ima vrlo malo organske materije, pa prilikom hlorisanja može doći do stvaranja vrlo male količine THM i zbog toga je verovatnoća 1. Ipak, ako dođe do stvaranja THM ozbiljnost posledica je velika pa je usvojena ocena 4.

Zagađenje vode u rezervoarima patogenima – Do zagađenja patogenima u rezervoarima može doći zbog lošeg održavanja rezervoara ali brigu o rezervoarima vodi stručno osoblje i rezervoari su zaštićeni od spoljnog uticaja, zbog čega je verovatnoća 1, a pojava patogena u rezervoarima bi prouzrokovala nastanak neispravne vode pa je ozbiljnost 4.

Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena – Verovatnoća ovakvih događaja je 1, a prodor patogena u distributivni sistem bi doveo do nastanka neispravne vode pa je ozbiljnost 4.

Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu – Verovatnoća zbog starih vodovodnih cevi je ocenjena sa 3, a ozbiljnost se ocenjuje sa 3 jer bi dati hazardni događaj mogao dovesti do toga da određeni delovi vodovodnog sistema ostanu bez vode.

Tabela 49. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za izvorište u Maglajanima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbljnost	Rizik	Osnova
Izvorište	Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada	M H F	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštite izvorišta	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta mikroorganizmima i hazardnim materijama poreklom iz odloženog čvrstog otpada, u toku padavina
	Porozne septičke jame	M H	Priključenje naselja na kanalizacionu mrežu.	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Ispuštanje kanalizacione vode	M H	Ne postoje za ove hazardne događaje	2	4	8 Srednji	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Industrijski otpadni tokovi	M H	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar definisanih oblasti zahvata.	1	4	4 Nizak	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
	Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	1	4	4 Nizak	Potencijalnu opasnost od zagađenja vode benzinom, dizel gorivom i motornim uljima.
	Napuštene šljunkare	M H F	Sprečiti dalje uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja.	1	3	3 Nizak	Napuštene šljunkare koje omogućavaju brzi protok polutantima mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta od opasnih i teško razgradivih materija
	Drenaža sa puteva	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	1	4	4 Nizak	Opasnost od ovog zagađenja predstavljaju: teški metali iz izduvnih gasova, nafta i naftni derivati, različita ulja i masti, te zasoljavanje terena u toku zimskog perioda, kao i slučajno prevrtanje kamiona i cisterni.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	Određivanje zona zaštita oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	3	4	12 Visok	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) - moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	Određivanje zona zaštita oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	3	4	12 Visok	Za kvalitet podzemnih voda eksploatazione izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.
	Režim reke Vrbas	H,M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	3	4	12 Visok	Režim ovog izvorišta delom zavisi od režima reke Vrbas.
	Padavine	H, M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	3	4	12 Visok	Prodor zagađenja sa površine u podzemnu vodu pomoću infiltracije kišnice
	Prirodno zagađenje	H	Ugradnja postrojenja za uklanjanje zagađenja.	1	3	3 Nizak	Zagađenja usled lokalne geologije i/ili tipa zemljišta i u vezi sa hemijskim rastvaranjem minerala i organske materije

Nastavak Tabela 49. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za izvorište u Maglajanima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbljilnost	Rizik	Osnova
Dezinfekcija	Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda	1	4	4 Nizak	Postoji mogućnost izlivanja hemikalija koje se koriste za tretman vode, kao što je hlor.
	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	4	4 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Rezervoar za distribuciju vode	Zagađenje vode u rezervoarima patogenima	M	Smanjenje vremena zadržavanja u rezervoarima. Redovno čišćenje rezervoara. Održavanje rezidualne koncentracije hlora.	1	4	4 Nizak	Ugroženost javnog zdravlja patogenima.
Naknadna dezinfekcija	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	5	5 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Distribucija	Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena	M	Kontrola od strane vodovoda. Uključivanje zakonodavstva.	1	4	4 Nizak	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode
	Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu	M H F	Kontrola od strane vodovoda. Održavanje procedura popravki	3	3	9 Srednji	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode

Kriškovci (Slika 50):

Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada – Okolina izvorišta u Kriškovcima predstavlja ruralno područje. U Kriškovcima je uređeno redovno odvoženje čvrstog otpada iz domaćinstava i u blizini ne postoji deponija, ali se pretpostavlja da većina individualnih kuća ima baštenski otpad i stajnjak (koji će biti razmatran kasnije u okviru uticaja stočarstva) a za baštenski otpad se može pretpostaviti mala verovatnoća od 1, a ozbiljnosti posledica 4 (u slučaju da dodje do datog hazardnog događaja voda ne bi bila ispravna za piće).

Porozne septičke jame – U sklopu naselja u neposrednoj blizini izvorišta Kriškovci nije urađena vodonepropusna kanalizacija i koriste se porozne septičke jame (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) zbog čega se verovatnoći ovog hazardnog događaja dodeljuje broj tri. U slučaju da dođe do datog hazardnog događaja posledice po zdravlje stanovnika bi bile jako loše i voda ne bi bila za piće i zbog toga se sa broj četiri ocenjuje ozbiljnosti datog hazardnog događaja.

Ispuštanje kanalizacione vode – Kao što je ranije u tekstu rečeno u sklopu naselja u neposrednoj blizini izvorišta u Kriškovcima nije urađena vodonepropusna kanalizacija. Kanalizaciona voda opštine Laktaši se ispušta u reku Vrbas bez predhodne obrade, odnosno prečišćavanja. Međutim, tokom ispitivanja je ustanovljeno da se ne može sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Kriškovcima ali zbog udaljenosti datog izvorišta od reke Vrbas (Slika 32) i debljine zaštitnog glinovitog sloj verovatnoća da dođe do zagađenja vode izvorišta usled ispuštanja vode iz kanalizacione mreže je ocenjena sa 1, a posledica ovog hazardnog događaja je da se distribuiše voda koja nije ispravna za piće, pa je ozbiljnost ocenjena sa 4.

Industrijski otpadni tokovi – Iz ranijih razmatranja (Poglavlje 5.1.4. Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta) i sa Slike 35 se može videti da u blizini izvorišta u Kriškovcima ne postoje potencijalni industrijski zagađivači zbog čega je verovatnoći ovog hazardnog događaja dodeljen broj jedan. Ozbiljnosti datog hazardnog događaja se dodeljuje broj 4.

Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju – Prema Slici 35 se može videti da u neposrednoj blizini izvorišta u Kriškovcima nema benzinskih pumpi što smanjuje mogućnost od zagađenja ovog izvorišta curenjem tankova benzina, međutim neki domovi mogu imati podzemne rezervoare za ulje za grijanje, ali to nije utvđeno, zbog čega je verovatnoći ovog hazarda data vrednost 1. Posledice ovog hazarda su ozbiljne i dugotrajne zbog čega je ozbiljnost ocenjena sa 4.

Napuštene šljunkare – Prema razmatranjima u Poglavlju 5.1.4. (Pregled potencijalnih zagađivača izvorišta), može se videti da ne postoje šljunkare u blizini izvorišta u Kriškovcima, pa se usvaja verovatnoća od 1, a ozbiljnost 3.

Drenaža sa puteva – Okolina izvorišta u Kriškovcima predstavlja ruralno područje i ne nalazi se u neposrednoj blizini magistralnog puta, zbog čega se usvaja verovatnoća od 1, a ozbiljnost 4.

Poljoprivredna proizvodnja (stočarstvo ili obrada/upotreba zemljišta) – oko izvorišta u Kriškovcima se nalazi veći broj manjih privatnih parcela obradivog zemljišta. Takođe, okolno stanovništvo poseduje manje stočarske farme. Dakle, poljoprivredna proizvodnja (gajenje biljaka i manje farme) odvija se neposredno uz eksploatacione objekte, te na znatnoj površini u okviru zone uticaja na vodozahvat. Opasnost od ove vrste zagađenja delom je umanjena pošto je zaštitni glinoviti sloj na izvorištu Kriškovci debljine 2,5-3 m. Zbog svega gore navedenog, i za uticaj stočarstva i obradu/upotrebu zemljišta je usvajana verovatnoća od 3, a ozbiljnost 4.

Režim reke Vrbas – Prema Planu upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015), glavni vid prihranjivanja akvifera sva tri izvorišta je infiltracija površinskih voda, dominantno reke Vrbas. Na Slici 28 se može videti da je reka Vrbas jako

izmenjeno vodno telo. Što se tiče izvorišta u Kriškovcima, analizom elektroprovodljivosti (Poglavlje 6.2 Fizičko-hemijski parametri vode za piće) i hlorida (Poglavlje 6.3.3 Anjoni (hloridi, sulfati, sulfidi)) je utvrđena moguća veza sa rekom Vrbas. Međutim, ustanovljeno je da varijacije sadržaja organske materije nisu u korelaciji sa vodostajem Vrbasa u istom periodu (Poglavlje 6.4.1 Ukupne organske materije). Dakle ne može se sa sigurnošću utvrditi veza između reke Vrbas i izvorišta u Kriškovcima. Zbog udaljenosti datog izvorišta od reke Vrbas (Slika 32) i debljine zaštitnog glinovitog sloja (2,5-3 m), data je verovatnoća 1, a ozbiljnost je 4.

Padavine – Iz razmatranja u poglavlju 6 (Rezultati), odnosno iz analize varijacija pojedinih parametara se moglo zaključiti da padavine nemaju uticaj na kvalitet vode ovog izvorišta pa je verovatnoća ovog hazardnog događaja ocenjena sa 1, a pak ozbiljnost posledica 4, jer iznad površine nema industrijske proizvodnje, ali postoje obradive površine i manje farme.

Prirodno zagađenje – na ovom izvorištu se u celom istražnom periodu pojavljuje mangan u značajno povećanim koncentracijama, pa je pojava mangana u podzemnoj vodi ocenjena sa najvišom vrednosti verovatnoće 5. Smatra se da povišena koncentracija mangana u vodi za piće nema loše posledice po zdravlje potrošača, ako se voda sa povišenom koncentracijom mangana ne koristi duže vreme. Stoga je ozbiljnost posledica ocenjena sa 2, jer se mogu zadovoljiti hitne potrebe za zdravstveno bezbednom vodom za piće. Nakon što je na ovom izvorištu instalirana kolona za uklanjanje mangana, verovatnoća događaja je smanjena na 2 (usled verovatnoće da dođe do neispravnosti u radu kolone), a ozbiljnost se ocenjuje sa 2, jer i ako opet dodje do povećane koncentracije mangana ipak će se održavati odgovarajuće snabdevanje ispravnom vodom.

Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u procesu uklanjanja mangana – Ukoliko dođe do curenja hemikalija koje se koriste za uklanjanje mangana mogu se javiti ozbiljne posledice po zdravlje potrošača zbog čega je ozbiljnost 4. S obzirom da datim hemikalijama upravljaju obučeni ljudi i vrši se njihovo adekvatno skladištenje usvojena je verovatnoća 1.

Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu – Ukoliko dođe do curenja hemikalija koje se koriste za dezinfekciju mogu se javiti ozbiljne posledice po zdravlje potrošača zbog čega je ozbiljnost 4, ali kako datim hemikalijama upravljaju obučeni ljudi i vrši se njihovo adekvatno skladištenje verovatnoća je 1.

Stvaranje trihalometana (THM) – U vodi izvorišta u Kriškovcima, kao i u druga dva izvorišta, ima vrlo malo organske materije pa prilikom hlorisanja može doći do stvaranja vrlo male količine THM, zbog toga je verovatnoća 1. Ipak, ako bi došlo do stvaranja THM ozbiljnost posledica je velika, pa je usvojena ocena 4.

Zagađenje vode u rezervoarima patogenima – Do zagađenja patogenima u rezervoarima može doći zbog lošeg održavanja rezervoara, ali brigu o rezervoarima vodi stručno osoblje i rezervoari su zaštićeni od spoljnog uticaja pa je zbog toga verovatnoća 1. Pojava patogena u rezervoarima bi prouzrokovala nastanak neispravne vode, pa je ozbiljnost 4.

Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena – Verovatnoća je ocenjena sa 1, a prodor patogena u distributivni sistem bi doveo do nastanka neispravne vode, pa je ozbiljnost 4.

Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu verovatnoća – Verovatnoća zbog starih vodovodnih cevi je ocenjena sa 3, a ozbiljnost se ocenjuje sa 3 jer bi dati hazardni događaj mogao dovesti do toga da određeni delovi vodovodnog sistema ostanu bez vode.

Tabela 50. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za izvorište u Kriškovcima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbljnost	Rizik	Osnova
Izvorište	Neadekvatno odlaganje čvrstog otpada	M H F	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar oblasti zona zaštita izvorišta	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta mikroorganizmima i hazardnim materijama poreklom iz odloženog čvrstog otpada, u toku padavina
	Porozne septičke jame	M H	Priključenje naselja na kanalizacionu mrežu.	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Ispuštanje kanalizacione vode	M H	Ne postoje za ove hazardne događaje	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Industrijski otpadni tokovi	M H	Postavljanje zabrana na hazarde i hazardne aktivnosti unutar definisanih oblasti zahvata.	1	4	4 Nizak	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
	Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	1	4	4 Nizak	Potencijalnu opasnost od zagađenja vode benzinom, dizel gorivom i motornim uljima.
	Napuštene šljunkare	M H F	Sprečiti dalje uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja.	1	3	3 Nizak	Napuštene šljunkare koje omogućavaju brzi protok polutantima mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta od opasnih i teško razgradivih materija
	Drenaža sa puteva	H	Uključivanje strategije zaštite podzemnih voda u zakonodavstvo zaštite životne sredine.	1	4	4 Nizak	Opasnost od ovog zagađenja predstavljaju: teški metali iz izduvnih gasova, nafta i naftni derivati, različita ulja i masti, te zasoljavanje terena u toku zimskog perioda, kao i slučajno prevrtanje kamiona i cisterni.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	Određivanje zona zaštita oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	3	4	12 Visok	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) - moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	Određivanje zona zaštita oko izvorišta u okviru kojih bi bilo zabranjeno bavljenje poljoprivredom.	3	4	12 Visok	Za kvalitet podzemnih voda eksploatazione izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.
	Režim reke Vrbas	H, M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	1	4	4 Nizak	Režim ovog izvorišta delom zavisi od režima reke Vrbas.
	Padavine	H, M F	Ne postoje za ove hazardne događaje	1	4	4 Nizak	Prodor zagađenja sa površine u podzemnu vodu pomoću infiltracije kišnice
	Prirodno zagađenje	H	Ugradnja postrojenja za uklanjanje zagađenja.	2	2	4 Nizak	Zagađenja usled lokalne geologije i/ili tipa zemljišta i u vezi sa hemijskim rastvaranjem minerala i organske materije

Nastavak Tabela 50. Prikaz hazardnih procena i prioritizacija rizika za izvorište u Kriškovicima

Procesni korak	Hazardni događaji	Tip hazarda	Kontrolne mere tekuće i/ili planirane	Verovatnoća	Ozbljilnost	Rizik	Osnova
Uklanjanje mangana	Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda	1	4	4 Nizak	Mogućnost izlivanja rastvora permanganata koji se koristi za tretman vode. Zagađenje primesama iz hemikalija za uklanjanje mangana.
Dezinfekcija	Kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda	1	4	4 Nizak	Postoji mogućnost izlivanja hemikalija koje se koriste za tretman vode, kao što je hlor.
	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	4	4 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Rezervoar za distribuciju vode	Zagađenje vode u rezervoarima patogenima.	M	Smanjenje vremena zadržavanja u rezervoarima. Redovno čišćenje rezervoara. Održavanje rezidualne koncentracije hlora.	1	4	4 Nizak	Ugroženost javnog zdravlja patogenima.
Naknadna dezinfekcija	Stvaranje trihalometana	H	Kontrola kvaliteta vode od strane vodovoda. Ugradnja automatskih dozatora hlora i merača hlora. Optimizacija hlorisanja.	1	5	5 Nizak	Stvaranje trihalometana kao nusprodukata hlorisanja vode.
Distribucija	Nelegalni priključci koji rezultiraju prodorom patogena	M	Kontrola od strane vodovoda. Uključivanje zakonodavstva.	1	4	4 Nizak	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode
	Curenje na glavnom vodu i distributivnom sistemu	M H F	Kontrola od strane vodovoda. Održavanje procedura popravki	3	3	9 Srednji	Curenja su potencijalni izvor patogena i doprinose visokim procentima gubitaka vode

U Tabeli 51 su izdvojeni hazardni događaji koji imaju visok i srednji nivo rizika na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovicima. Iz tabele se može videti da je izvorište u Maglajanima izvorište sa najvećim brojem hazardnih događaja koji imaju visok nivo rizika. Ako se na data izvorišta primene kontrolne mere date u Tabelama 48, 49 i 50 dobija se Tabela 52, to jeste:

- Ako se na kanalizaciju priključe naselja koja nisu priključena na sistem kanalizacije, verovatnoća zagađenja od strane poroznih septičkih jama će biti 1.
- Ako se postave zabrane na hazarde i hazardne aktivnosti unutar definisanih oblasti zahvata, verovatnoća za hazardne događaje od strane industrijskih otpadnih tokova će se smanjiti na 1.
- Ako se u zakonodavstvo zaštite životne sredine uključi strategija zaštite podzemnih voda onda će verovatnoća curenje tankova benzina ukopanih u zemlju biti smanjena na 1, jer će se zakonom zabraniti ukopavanje tankova benzina u zemlju u zonama zaštite oko izvorišta.
- Ako se spreči dalje uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja zbog eksploatacije šljunka, verovatnoća zagađenje podzemnih voda od strane šljunkara će se smanjiti takođe na 1.
- Ako se odrede zone zaštite oko izvorišta u okviru kojih bi bilo za zabranjeno bavljenje poljoprivredom i stočarstvom, verovatnoća zagađenje podzemnih voda od strane stočno fekalnog zagađenja i agrohemijskih sredstva bi se smanjila na 1.

Iz Tabele 52 se može videti da visok i srednji nivo rizika i dalje imaju hazardni događaji: režim reke Vrbas i padavine, jer za ova dva hazardna događaja ne postoji propisane kontrolne mere.

Tabela 51. Prikaz hazardnih događaja koji imaju visok i srednji nivo rizika na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovcima

Izvorište	Hazardni događaji	Tip hazarda	Verovatnoća	Ozbiljnost	Rizik	Osnova
Laktaši	Porozne septičke jame	M H	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Industrijski otpadni tokovi	M H	3	4	12 Visok	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
	Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju	H	3	4	12 Visok	Potencijalnu opasnost od zagađenja vode benzinom, dizel gorivom i morotnim uljima.
	Napuštene šljunkare	M H F	3	4	12 Visok	Napuštene šljunkare koje omogućavaju brzi protok polutantima mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta od opasnih i teško razgradivih materija
Maglajani	Porozne septičke jame	M H	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Ispuštanje kanalizacione vode	M H	2	4	8 Srednji	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	3	4	12 Visok	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) zbog neograđenog prostora izaziva moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	3	4	12 Visok	Za kvalitet podzemnih voda eksploatisane izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.
	Režim reke Vrbas	H, M F	3	4	12 Visok	Režim ovog izvorišta delom zavisi od režima reke Vrbas.
	Padavine	H, M F	3	4	12 Visok	Prodor zagađenja sa površine u podzemnu vodu pomoću infiltracije kišnice
Kriškovci	Porozne septičke jame	M H	3	4	12 Visok	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	3	4	12 Visok	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) zbog neograđenog prostora izaziva moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	3	4	12 Visok	Za kvalitet podzemnih voda eksploatisane izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.

Tabela 52. Prikaz hazardnih događaja nakon sprovedenih kontrolnih mera na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovicima

Izvorište	Hazardni događaji	Tip hazarda	Verovatnoća	Ozbiljnost	Rizik	Osnova
Laktaši	Porozne septičke jame	M H	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Industrijski otpadni tokovi	M H	1	4	4 Nizak	Rizik od zagađenja podzemnih voda od komercijalnih ili industrijskih aktivnosti.
	Curenje tankova benzina ukopanih u zemlju	H	1	4	4 Nizak	Potencijalnu opasnost od zagađenja vode benzinom, dizel gorivom i morotnim uljima.
	Napuštene šljunkare	M H F	1	4	4 Nizak	Napuštene šljunkare koje omogućavaju brzi protok polutantima mogu predstavljati opasnost po kvalitet vode izvorišta od opasnih i teško razgradivih materija
Maglajani	Porozne septičke jame	M H	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Ispuštanje kanalizacione vode	M H	2	4	8 Srednji	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	1	4	4 Nizak	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) zbog neograđenog prostora izaziva moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	1	4	4 Nizak	Za kvalitet podzemnih voda eksploatisane izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.
	Režim reke Vrbas	H M F	3	4	12 Visok	Režim ovog izvorišta delom zavisi od režima reke Vrbas.
	Padavine	H M F	3	4	12 Visok	Prodor zagađenja sa površine u podzemnu vodu pomoću infiltracije kišnice
Kriškovići	Porozne septičke jame	M H	1	4	4 Nizak	Kontaminacije izvorišta patogenima, nutrijentima i drugim hazardnim materijama.
	Poljoprivredna proizvodnja - Stočarstvo	M H	1	4	4 Nizak	Stočno fekalno zagađenje (stajnjak) zbog neograđenog prostora izaziva moguć ulaz patogena pri kišnom vremenu.
	Poljoprivredna proizvodnja - Obrada ili upotreba zemljišta	M H	1	4	4 Nizak	Za kvalitet podzemnih voda eksploatisane izdani moguću opasnost predstavljaju agrohemijska sredstva koja se primenjuju u sklopu poljoprivrednih aktivnosti.

7. ZAKLJUČAK

Istraživanja u okviru ove disertacije koncipirana su na osnovu definisanih ciljeva, analize literaturnih podataka iz oblasti istraživanja o vodama i vodnim resursima, geohemijskih karakteristika voda jedinstvenog istražnog kompleksa centralne ofiolitske zone Dinarida neogene starosti, održivog korišćenja i eksploatacije vode za piće i zaštite zdravlja, planova za sigurno vodosnabdevanje, posmatranja i prikupljanja podataka, njihovog sistematizovanja, grupisanja i obrade primenom statističke analize u oblasti kontrole voda. Detaljno dizajnirana laboratorijska istraživanja i planiran eksperimentalni deo ove disertacije predstavlja polaznu osnovu u rešavanju kompleksne problematike iz oblasti upravljanja kvalitetom voda za piće istražnog područja. Poseban doprinos nauci u oblasti zaštite voda predstavlja integrisan pristup u analizi selektovanih organskih, neorganskih i fizičko-hemijskih parametara podzemnih voda i definisanje osnovnih i specifičnih zavisnih varijabli hemometrijskom analizom podataka kao i kreiranje eksperimentalnih i laboratorijskih uslova za demanganizaciju vode kritičnih izvorišta. Ovaj sveobuhvatni pristup u skeniranju opštih i specifičnih varijabli i definisanje veza između elemenata, grupisanje na osnovu njihovih sličnosti ili razlika u specijalne klase prema karakterističnim fizičko-hemijskim svojstvima i sposobnosti ka kompleksiranju, ukazuje na način pojavljivanja promenljivih, njihovo poreklo u vodi i definiše uzroke njihove varijabilnosti (antropogeni (tačkasti ili difuzni) ili nativni, dominantno geološki).

Data ispitivanja su bazirana na osnovnim zahtevima okvirne direktive o vodama (EU Water Framework Directive (WFD)) na prvom mestu izboru prioritetnih i ostalih supstanci od interesa u cilju praćenja i definisanja indikatora pritiska i uticaja na vodna tela. Dobijeni podaci će poslužiti za razvoj strategija i planova kontrole i sprečavanja zagađenja, definisanje programa za praćenje kvaliteta podzemnih voda i vode za piće, upravljanja rečnim slivom, dostupnost informacijama u cilju poboljšanja kvaliteta vode za piće.

Primarni naučni cilj doktorske disertacije je usmeren i ka jedinstvenoj karakterizaciji voda u sistemu sediment-voda, klasifikaciji, analizi parametara kvaliteta, izboru optimalnih promenljivih, kojima bi se definisala, objasnila i predvidela vremenska i prostorna varijacija kvaliteta podzemne i vode za piće i pravovremeno otkrili trendovi zagađenja istih. U tom smislu su objedinjeni rezultati analiza kvaliteta podzemnih voda na istražnom prostoru (izvorišta Laktaši, Maglajani i Kriškovci) za vodosnabdevanje u opštini Laktaši primenom hemometrijskih metoda i metodologije procene rizika, uz isticanje značaja ovakvog pristupa snabdevanju vodom izvorišta.

Izvorišta koju su predmet ovog ispitivanja se nalaze na teritoriji Lijevče polja (deo opštine Laktaši) čiji teren najvećim delom obuhvata rečne sedimente Vrbasa, a u manjoj meri Save i Jablanice. U Planu upravljanja obalskim rečnim slivom rijeke Save Republike Srpske (2015) prema klasifikaciji ekološkog potencijala je navedeno da su Vrbas i Sava jako izmenjena vodna tela sa većim oscilacijama parametara kvaliteta. Zbog toga je izvršeno uzorkovanje i analiza vode reke Vrbas na dva profila, uzvodno i nizvodno od ispitivanih izvorišta kako bi se izvršio presek stanja i komparativna analiza dobijenih podataka.

U radu je pored uticaja reke Vrbas na istražno područje ispitana i zavisnost kvaliteta izvorišta od atmosferskih padavina, kao i uticaj različitih aktivnosti na površini iznad akvifera. U smislu iskorišćenja Lijevče polja kao dragocene akumulacije kvalitetnih podzemnih voda, konstatovana je neophodnost zaštite izvorišta od antropogenog faktora, ali i potreba utvrđivanja heterogenih procesa koji mogu dovesti do pogoršanja statusa kvaliteta ove akumulacije. Mapiranje dominantnih zagađivača koji mogu imati uticaj na ova izvorišta je

urađen u skladu sa dobijenim i postojećim podacima (položajem tačkastih i difuznih zagađivača i vrsti polutanata koji se prate, rasprostiranju izvora zagađenja, topografije i litološkog profila terena, hidrogeoloških karakteristika itd.). Detaljnim uvidom u litološki sloj i prostiranje vodnih tela, zaključeno je da je potrebno sprečiti uklanjanje površinskog zaštitnog glinovitog sloja sa niskom propusnosti (hidraulička provodljivost) da ne bi došlo do nepoželjnih uticaja vode reke Vrbas na izvorišta.

Dodatni problem narušavanja kvaliteta ispitivanih izvorišta, predstavlja i nerešena infrastruktura naselja prvenstveno neregulisano odvođenje i prečišćavanje kanalizacionih voda (izvorište u Maglajanima sa povišenim koncentracijama amonijaka i nitrata), kao i dominantno zagađenja poreklom od poljoprivredne proizvodnje. U okolini izvorišta u Kriškovcima zabeležen je povećan sadržaj nitrata i ukupnog fosfora (ortofosfata i fosfata). Usled značajno povećanog sadržaja mangana u vodovodskoj vodi, izvedena su obimna hidrohemijska ispitivanja podzemnih voda koje se koriste za vodosnabdevanje u naselju Kriškovci. U radu je detaljno opisana problematika hemizma nastajanja i uklanjanja mangana prilikom vodosnabdevanja i predložene su metode za demanganizaciju.

Kvantitativno predstavljeno rezultati analize kvaliteta podzemnih voda ispitivanih bunara obuhvatili su ukupno 180 analiziranih *in situ* parametara. Svih 180 zadovoljava kriterijum propisan važećim Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (2003). Od ukupno 1632 merenja u laboratoriji (72 parametara), 26 merenja (1,59%) nisu zadovoljavala kriterijume propisane ovim Pravilnikom. Prostorno posmatrajući 15 merenja je u vodi sa izvorišta Kriškovci (57,6%), 7 sa izvorišta Maglajani (26,9%) i 4 sa izvorišta Laktaši (15,4%). Parametri koji odstupaju od kriterijuma datih Pravilnikom (2003) su mutnoća, nitriti, mangan, ulja i masti. Povećana mutnoća je ustanovljena u 8 merenja, od toga šest u uzorcima sa izvorišta Maglajani i po jedno merenje na izvorištima u Kriškovcima i Laktašima. Nitriti ne zadovoljavaju MDK vrednost propisanu Pravilnikom (2003) u Maglajanima u julu mesecu i u Kriškovcima u oktobru i novembru mesecu. Mangan ne zadovoljava kriterijume propisane Pravilnikom (2003) prilikom svih merenja na lokalitetu Kriškovci (12 puta) i u Laktašima jedan put. Maksimalno dozvoljena koncentracija ulja i masti po Pravilniku (2003) je prekoračena u vodi na izvorištu Laktaši prilikom dva merenja.

Iz analize vrednosti mutnoće, sadržaja hlorida i nitrata, kao i temperature izvorišta Maglajani i režima reke Vrbas, nameće se zaključak da je izvorište Maglajani povezano (komunicira) sa rečnom vodom Vrbasa sedimentima koji imaju veću vodopropusnost. Pri analizi hlorida, sulfata i amonijaka je zaključeno da postoji sumnja da porozne septičke jame mogu imati uticaj na kvalitet podzemne vode na ovom izvorištu. Iz analize fosfata i nitrata, i odnosa nitrata i hlorida se može potvrditi moguća veza između podzemne vode ovog izvorišta i površine zemljišta. Dakle, za izvorište u Maglajanima ostaje sumnja da pored reke Vrbas na kvalitet vode imaju uticaj, osim đubrenja, i nerešeni infrastrukturni problemi vezani za nedostatak sistemskog rešenja kanalizacionih voda.

Pri analizi sadržaja hlorida, sulfata i amonijaka je zaključeno da aktivnosti na površini iznad izvorišta (na primer stočarstvo) i porozni sistem septičkih jama nemaju uticaj na kvalitet vode izvorišta u Laktašima. Međutim, povećanje koncentracije fosfata potvrđuje moguću vezu između podzemne vode ovog izvorišta i površinskog sloja lokalnog zemljišta, kao i odnos hlorida i azota zbog kojeg se može reći da su za povećanu koncentraciju nitrata u izvorištu u Laktašima odgovorni doprinosi iz datih jama. Dakle, ostaje sumnja na uticaj septičkih jama na vode izvorišta u Laktašima i zato se predlaže usvajanje plana sistemskog monitoringa i praćenja kvaliteta ovih voda i postavljanje ukupne mreža podzemnih i nadzemnih provodnika u naselju.

Iz analize sadržaja nitrata, sulfata, amonijaka, hlorida, ukupnog fosfora, i odnosa ukupni fosfor - ortofosfor, ukupni fosfor - hloridi, hloridi – azot, na izvorištu u Kriškovcima, kao i odnosa fekalnih koliforma i fekalnih streptokoka i velikog broja vrsta bakterija utvrđenih u maju mesecu može se doneti zaključak da na ovom izvorištu, osim uticaja reke Vrbas postoji i uticaj povećane poljoprivredne aktivnosti i otpadnih voda naselja.

Svi navedeni zaključci impliciraju na postojanje zavisnosti kvaliteta vode ispitivanih izvorišta i reke Vrbas. Međutim neki parametri nisu u korelaciji sa kvalitetom vode reke Vrbas (na primer organske materije), tako da je potrebno izvršiti dodatna geološka ispitivanja da bi se sa sigurnošću utvrdila veza između vode reke Vrbas i vode svih ispitivanih izvorišta. S druge strane, zaključuje se da na izvorište u Kriškovcima ima uticaj biološko podubravanje zemljišta i otpadne vode okolnog naselja, dok za druga dva izvorišta nije dokazana sumnja da dešavanja na površini iznad izvorišta utiču na samo izvorište. Tokom istraživanja korelacija vrednosti padavina sa ispitivanim parametrima otkriveno je da padavine nemaju značajan uticaj na iste.

Na datim izvorištima rađeni su i mikrobiološki parametri četiri puta u toku godine kao prateći pokazatelji kvaliteta voda. Može se zaključiti da je voda izvorišta u Laktašima sa zdravstvenog aspekta ispravna, dok je voda izvorišta u Kriškovcima mikrobiološki u najlošijem stanju. Na izvorištu u Maglajanima je u maju mesecu utvrđen veliki broj aerobnih heterotrofa i na $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ i na $36\pm 2^{\circ}\text{C}$, ali nisu detektovane bakterije indikatori fekalnog zagađenja. Međutim, *Pseudomonas aeruginosa* se javlja na sva tri izvorišta u toku celog perioda merenja, osim u julu mesecu na izvorištu u Laktašima. Prisustvo *Pseudomonas aeruginosa* se podudara sa variranjem mutnoće na izvorištima i može se pretpostaviti da je njegovo poreklo biofilm u konstrukciji bunara, a ne sama voda.

Mikrobiološkom analizom vode reke Vrbas otkriveno je da je jako lošeg kvaliteta i da ovo može imati uticaj na mikrobiološki kvalitet vode ispitivanih izvorišta.

Voda iz izvorišta Laktaši je izvanrednog hemijskog kvaliteta i može se koristiti za piće. Sve analizirane komponente hemijskog sastava su znatno ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK), osim povišene koncentracije ulja i masti u ovom izvorištu u dva merenja i jednom izmerene povišene mutnoće vode i sadržaja mangana pri jednom merenju (usled smanjenja pH vrednosti vode). Na osnovu rezultata koji su proistekli iz ove doktorske disertacije, na ovom izvorištu je napravljena adekvatna zona zaštite izvorišta od akcidentnih slučajeva pri kojima bi došlo do ponovnog rasta koncentracije ulja i masti. Iz svega gore navedenog se može zaključiti da nije potreban nikakav tehnološki tretman ove vode u cilju dorade ili popravljanja njenog kvaliteta.

Na izvorištu Maglajani, od svih analiziranih parametara, iznad MDK su bili mutnoća, u 50% uzoraka, i nitriti u jednom uzorku. Pojava mutnoće na izvorištu Maglajani se smatra da je prvenstveno posledica loše urađene konstrukcije bunara. Međutim, utvrđen je i uticaj reke Vrbas na ovo izvorište kao i uticaj *Pseudomonas aeruginosa* na mutnoću ovog izvorišta. Voda na izvorištu Maglajani je zbog visoke mutnoće estetski neprihvatljiva i rizična za zdravlje ljudi usled čega je nepodobna za piće bez dodatnog tretmana. Potrebno je da se daljim ispitivanjima otkrije i otkloni razlog za pojavu povećane mutnoće na ovom izvorištu.

Od svih analiziranih parametara kvaliteta vode izvorišta Kriškovci, Pravilnik (2003) ne zadovoljavaju mutnoća u jednom uzorku, nitriti (u 40% uzoraka) i mangan. Mangan predstavlja veliki problem za kvalitet vode ovog izvorišta jer je konstantno povišen. Kreće se u intervalu 0,38-0,86 mg/L, što znači da je veći od MDK vrednosti za 7 do 17 puta. Na osnovu analize rezultata može se zaključiti da je ovo posledica sastava zemljišta oko izvorišta i da se mangan iz zemljišta oslobađa u podzemnu vodu usled procesa oksidacije mangan-sulfida nitratima. Na osnovu laboratorijskog ispitivanja hemijskog kvaliteta vode na

izvoru Kriškovci može se zaključiti da se voda ovog izvorišta ne može koristiti za piće, zbog povećane koncentracije mangana. U cilju dorade ili popravljivanja njenog kvaliteta zaključeno je da je potreban tehnološki tretman vode.

Dobijeni rezultati laboratorijskih istraživanja primenom načela Dobre laboratorijske prakse, poslužili su kao polazni model za konstrukciju i optimizaciju postrojenja za prečišćavanje vode na izvoru u Kriškovcima. Razrađen je metod demanganizacije vode Greensand-om uz dodatak natrijum hipohlorita, na laboratorijskom nivou. Na osnovu dobijenih rezultata laboratorijskih istraživanja i ostvarene optimizacije radnih parametara procesa ustanovljeno je sledeće: a) da nije potrebna regulacija pH vode pre demanganizacije, b) da aeracija nema efekat na uklanjanje mangana i c) da treba isključiti hlorisanje gasnim hlorom s obzirom da je na ovaj način urađena i dezinfekcija vode što je sve vrlo povoljno sa ekonomskog stanovišta. Konstatovano je da je neophodno izvoditi stalnu kontrolu vode nakon demanganizacije.

Veliki broj izlaznih varijabli do kojih se došlo analizom fizičko-hemijskih i hemijskih parametara vode ispitivanih izvorišta je podvrgnut multiparametarskoj hemometrijskoj obradi korištenjem analize glavnih komponenti (eng. Principal Component Analysis - PCA) i faktor analize (eng. Factor Analysis - FA). PCA/FA analizom se došlo do sledećih zaključaka:

- Prva i najznajčajnija komponenta (F1) opisuje 35,9% ukupne varijanse, i čine je ukupna tvrdoća, alkalitet, natrijum, kalcijum, magnezijum, elektroprovodljivost i ukupne čvrste materije što indicira geohemijsko poreklo ovih komponenti. Ustanovljeno je da protok reke Vrbas ima uticaj na elektroprovodljivost i ukupne čvrste materije, a da nema uticaj na alkalitet i ukupnu tvrdoću, dok uticaj padavina na ove parametre nije utvrđen.

- Faktor F2 opisuje 20,57% od ukupne varijanse i izdvaja se grupisanje sulfata, potrošnje KMnO_4 i ukupnog organskog ugljenika. U trodimenzionalnom prikazu ovoj grupi je priključen i rastvoreni organski ugljenik. Može se zaključiti da su sulfati uglavnom geohemijskog porekla. Ipak, prisustvo sulfata i ukupnog organskog ugljenika u okviru istog faktora ukazuje da oni delimično potiču i od razgradnje organske materije u zemljištu.

- Vrednost faktora F3 je opisana sa 13,26% od ukupne varijanse, što implicira manju značajnost ovog faktora od prethodna dva (F1 i F2), ali sa hemometrijskog aspekta dovoljno interesantnu u rasvetljavajućim putevima praćenja i definisanja indikatora pritisaka i uticaja na vodna tela. U ovu grupu spadaju hloridi, aluminijum, cink i ukupni fosfor. Aluminijum i cink mogu biti mineralnog porekla, ali mogu biti i posledica zagađenja od strane industrije ili okolnih iskopina ruda. Neki pesticidi i đubriva sadrže cink što može objasniti pojavu cinka i ukupnog fosfora u okviru istog faktora F3. Sadržaj hlorida može da upućuje na neprečišćene otpadne vode, vode iz okolnih komunalnih ili industrijskih sistema za prečišćavanje otpadnih voda, ali i hloridi, naravno, mogu biti geohemijskog porekla. Povezivanjem hlorida i ukupnog fosfora u okviru faktora F3 i njihova korelacija u vodi izvorišta, može se izvući pretpostavka uticaja proceđivanja vode sa površine zemljišta iznad izvorišta na kome je primenjeno veštačko đubrivo. Na druga dva izvorišta su ove korelacije vrlo slabe. Međutim, to ne može biti dovoljan dokaz da su fosfati i hloridi antropogenog, a ne prirodnog porekla. Prisustvo aluminijuma i ukupnog fosfora u okviru istog faktora F3 očigledno ukazuje na njihovu interakciju u zemljištu. Analizom F3 faktora se došlo do zaključka da je mala verovatnoća da su fosfati u podzemnim vodama ispitivanih izvorišta poreklom iz đubriva korišćenih na poljoprivrednim površinama u blizini izvorišta vodosnabdevanja.

- Suma vrednosti koncentracija 13 selektovanih EPA PAH-ova ($\sum\text{PAH}_{13}$) ima vrlo visoku vrednost za varijablu u okviru faktora F4. Vrlo mali sadržaj PAH-ova u vodi ispitivanih izvorišta ukazuje da razmere ovog problema u oblasti ispitivanih izvorišta nisu velike.

PCA/FA analiza upućuje i na sledeće zaključke:

- Iako ne velika, korelacija rastvorenog organskog ugljenika i ukupnog fosfora ukazuje na vezu organskih jedinjenja i ukupnog fosfora koji mogu poticati iz difuznog zagađenja od mineralnih đubriva pre svega fosfornih, koja su sintetičkog ili prirodnog porekla i koja mogu imati primese metala (Al, Cd, As, Hg, Zn i Ni). Ustanovljena je izvesna korelacija rastvorenog organskog ugljenika sa aluminijumom, i obrnuta sa cinkom i bakrom, dok je korelacija sa niklom vrlo slaba. Ukupni fosfor u izvesnoj meri koreliše sa aluminijumom, cinkom i niklom, dok je korelacija sa bakrom vrlo slaba.

- Aluminijum i ukupni fosfor imaju nešto veću korelaciju, što može da ukazuje da je došlo do remobilizacije aluminijuma iz prirodnih matriksa i njegovog kompleksiranja sa fosforom dominantno iz organskog mineralnog đubriva, ali je moguće i prirodno prisustvo fosfata u zemljištu.

- Ukoliko se posmatra pH vrednost podzemne vode, može se konstatovati njen mali korelacioni faktor i to isključivo sa sadržajem nitrata. Ova zavisnost, iako mala, može da implicira posledice difuznih pritisaka na zemljište i vodna tela kao što su spiranje sa poljoprivrednih površina i neadekvatno upravljanje zemljištem pod šumskom vegetacijom.

- Nije primećen visok stepen korelacije ispitivanih parametara sa količinom padavina i protokom reke Vrbas.

- Korelisanje natrijuma i kalijuma, kao i dobro korelisanje natrijuma sa ostalim parametrima: elektroprovodljivosti, alkalitetom, kalcijumom i ukupnim čvrstim materijama implicira prisustvo geološke sone formacije u ovoj regiji.

Prethodno navedeni zaključci pokazuju veliki značaj multivarijacionih statističkih tehnika za analizu i interpretaciju složenih skupova podataka. Hemometrijskom analizom su na kvalitativno novi način sagledani rezultati obimnih merenja koja su izvršena u cilju utvrđivanja rizika po kvalitet voda ispitivanih izvorišta.

Rezultati analize različitih uticaja na kvalitet voda ispitivanih izvorišta su omogućili procenu rizika, odnosno sigurnosti u korištenju ovih podzemnih voda u budućnosti. Procena rizika je izvršena semi-kvantitativnim pristupom. Ispitani su sledeći hazardni događaji: neadekvatno odlaganje čvrstog otpada, porozne septičke jame, ispuštanje kanalizacione vode, industrijski otpadni tokovi, curenje tankova benzina ukopanih u zemlju, napuštene šljunkare, drenaža sa puteva, poljoprivredna proizvodnja (stočarstvo ili obrada/upotreba zemljišta), režim reke Vrbas, padavine, prirodno zagađenje, kontaminacija hemikalijama koje se koriste u tretmanu vode, stvaranje trihalometana (THM), zagađenje vode u rezervoarima patogenima i nelegalni priključci. Ustanovljeno je da je izvorište u Maglajanima izvorište sa nešto većim brojem hazardnih događaja koji imaju visok nivo rizika, u odnosu na druga dva izvorišta. Ako se na hazardne događaje koji imaju visok i srednji nivo rizika na izvorištima u Laktašima, Maglajanima i Kriškovicima primene odgovarajuće kontrolne mere, zaključeno je da i dalje visok i srednji nivo rizika imaju hazardni događaji: režim reke Vrbas i padavine, jer za ova dva hazardna događaja ne postoje odgovarajuće kontrolne mere.

U okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u otkrivanju i razumevanju međusobnih odnosa pojedinih elemenata i parametara u složenom sistemu kakav je voda posebno imajući u vidu analizu organskog i neorganskog kompleksiranja, što predstavlja značajan doprinos u ovom polju imajući u vidu ograničen broj literaturnih referenci. Iz rada se može doneti zaključak da se rezultati ispitivanih parametara na izvorištima menjaju u toku godine. Dakle, ističe se bitnost kontinualnog uzorkovanja vode izvorišta jer bi frekventnije merenje svih gore opisanih parametara dalo značajnije rezultate i dalje aproksimacije. Takođe, može se zaključiti da su pomenuta zagađenja na izvorištima

rezultat nerešenog odvoženja otpada, nerešenog odvođenja i obrade kanalizacione vode u naseljima oko izvorišta, kao i nepostojanja urbanističkih planova, loših urbanističkih planova ili problema koji nastaju kao posljedica nekontrolisane gradnje.

Imajući u vidu stanje izvorišta na teritoriji opštine Laktaši neophodno je provesti sledeće aktivnosti:

- izrada i primena monitoringa kao osnova za zaštitu i poboljšanje kvaliteta; na bazi monitoringa izradila bi se detaljnija hidrobiološka karta kvaliteta podzemnih voda i uticaja na njihov kvalitet i odredili pravci delovanja,

- preduzimanje mera da se postojeći izvori zagađenja uklone ili svedu na mogući minimum kako bi se poboljšao kvalitet vode,

- potrebno je hitno poduzeti odgovarajuće mere na izvorima zagađenja u cilju redukcije unosa tereta zagađenja u površinske vode, kako bi se popravilo postojeće stanje kvaliteta voda vodotoka Vrbas, a time i udovoljilo propisanim zahtevima kvaliteta površinskih voda i samim tim kvaliteta voda samih izvorišta,

- održavanje sanitarno-tehničkog stanja samih vodnih objekata i kontrola zona sanitarne zaštite.

Za realizaciju predloženih aktivnosti potrebno je donošenje odgovarajućih lokalnih propisa i formiranje efikasnog stručnog tela koje će sačiniti i realizovati program revitalizacije vodenih resursa regiona i donošenje akcionog plana na zaštitu i poboljšanje stanja izvorišta. Međutim, i pored navedenih manjkavosti u sistemima snabdevanja vodom za piće, zdravstvena bezbednost snabdevanja vodom za piće u opštini Laktaši je sa aspekta osnovnih analiza na zadovoljavajućem nivou. Ova doktorska disertacija je takođe imala za cilj da ponudi složen analitički i tehničko-tehnološki pristup i rešenje u problematici upotrebe vode za piće i time da ukaže na mogućnost identifikacije i realizacije osnovnih smernica i zahteva okvirne direktive o vodama.

8. LITERATURA

Abdi, H. and Williams, L.J., Principal component, Wiley Interdisciplinary Reviews, Computational Statistics, 2010. 2: 433–459.

Aber, J.D., Nadelhoffer, K.J., Steudler, P. and Melillo, J.M., Nitrogen saturation in Northern forest ecosystems: Excess nitrogen from fossil fuel combustion may stress the biosphere, *BioScience*, 1989. 39: 378–386.

Adamu, M. and Aris, A.Z., Spatial aspect of surface water quality using chemometric analysis, *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 2011. 6 :411–426.

Agbaba, J., Dalmacija, B., Bečelić-Tomin, M. i Tubić, A., Kvalitet vode za piće, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultete, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2014.

Aller, R. C., Bioturbation and manganese cycling in hemipelagic sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1990. 331: 51-68.

Anderson, J.P.E., Bodenbiologie and Bodenfruchtbarkeit. In: Haug, G. (Ed.): Pflanzenproduktion im Wandel. Neue Aspekte der Agrarwissenschaften. VCV Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, S. 1990. 167-193.

Andersson, A., Mercury in soils, In: Nriagu J. O. (Ed.): The Biogeochemistry of Mercury in the Environment, Elsevier, Amsterdam, 1979.

Arauzo, M., Díez, J. A. and Hernáiz, P., Estimación de balances hídricos y lixiviación de nitratos en sistemas agrícolas. In *Estudios de la zona no saturada del suelo*. J. Álvarez-Benedí & P. Marinero. (Eds.), Instituto Técnico Agrario de Castilla León, Universidad Europea Miguel de Cervantes. Valladolid, 2003. 6: 39-44.

Arnscheidt, J., Jordan, P., Li, S., McFaul, R., McGrigan, H.J., Neal, M., and Sims, J.T., Defining the sources of low-flow phosphorus transfers in complex catchments, *Science of the Total Environment*, 2007. 382: 1-13.

ATSDR, Toxicological profile for manganese, United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, 2000.

Bačelić-Tomin, M. i Dalmacija, B. (Urednici), Kontrola kvaliteta vode za piće od izvorišta do potrošača, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine, Novi Sad, 2015.

Baedecker, M.J., Cozzarelli, I.M and Eganhouse, R.P., Crude oil in a shallow sand and gravel aquifer—III. Biogeochemical reactions and mass balance modeling in anoxic groundwater, *Applied Geochemistry*, 1993. 8: 569-586.

Barrett, M.H. Hiscock, K.M. Pedley, S. Lerner, D.N. Tellam, J.H. and French, M.J., Marker species for identifying urban groundwater recharge sources. A review and case study in Nottingham, UK.- *Water Research*, 1999.

Bartmam, J.,Corrales, L., Davison, A., Deer, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. and Stevens, M., *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*, WHO, Geneva, 2009.

BAS EN 26461-2:2003; Water quality – Detection and enumeration of spores of sulfite-

reducing anaerobes (Clostridia) – Part 2, Method by membrane filtration.

BAS EN 26777, European standard for water quality, Determination of nitrite, Molecular absorption spectrometric method, Brussels, 2002.

BAS EN 27888, European standard for water quality, Determination of electrical conductivity, Brussels, 2002.

BAS EN ISO 10304-1:2010, International organization for standardization, International standard for water quality, Water quality - Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions - Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate

BAS EN ISO 11923, International organization for standardization, International standard for water quality, Determination of suspended solids by filtration through glass-fibre filters, Geneva, 2002.

BAS EN ISO 5667-1:2008, Water quality - Sampling - Part 1: Guidance on the design of sampling programmes and sampling techniques

BAS EN ISO 5667-3:2014, Water quality - Sampling - Part 3: Preservation and handling of water samples

BAS EN ISO 9963-2:1994, International organization for standardization, International standard for water quality, Water quality - Determination of alkalinity - Part 2: Determination of carbonate alkalinity

BAS ISO 10523, International organization for standardization, International standard for water quality, Determination of pH, Geneva, 2002.

BAS ISO 16266:2009; Water quality – Detection and enumeration of *Pseudomonas aeruginosa* – Method by membrane filtration.

BAS ISO 5667-11:2010 , Water quality - Sampling - Part 11: Guidance on sampling of groundwaters

BAS ISO 6222:2003; Water quality – Enumeration of culturable micro-organisms – Colony count by inoculation in a nutrient agar culture medium.

BAS ISO 7027, International organization for standardization, International standard for water quality, Determination of turbidity, Geneva, 2002.

BAS ISO 7150-1, International organization for standardization, International standard for water quality, Determination of ammonium, Part 1: Manual spectrometric method, Geneva, 2002.

BAS ISO 7899-2:2003; Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci – Part 2: Membran filtration method.

BAS ISO 9174, International organization for standardization, International standard for water quality, Determination of chromium, Atomic absorption spectrometric methods, Geneva, 2002.

BAS ISO 9308-1:2003; Water quality – Detection and enumeration of *Escherichia coli* and coliform bacteria – Part 1: Membrane filtration method.

BAS ISO 9308-2:2004; Water quality – Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive *Escherichia coli* – Part 2: Multiple tube

(most probable number) method.

BAS ISO 9964-1:2002; International organization for standardization, International standard for water quality, Water quality - Determination of sodium and potassium - Part 1: Determination of sodium by atomic absorption spectrometry

BAS ISO 9964-2:2002; International organization for standardization, International standard for water quality, Water quality - Determination of sodium and potassium - Part 2: Determination of potassium by atomic absorption spectrometry

Behr, R., How organic carbon leached to groundwater significantly increases manganese concentration, 2011 Northeast Private Well Water Symposium, November 14-15, Southbury, 2011.

BGS, CNA, SAPAL and UACH. Effects of wastewater reuse on urban groundwater resources of León, Mexico. British Geological Survey Technical Report WD/95/64, Keyworth. 1996.

Borgnino, L., Avena M.J., De Pauli, C.P., Synthesis and characterization of Fe(III)-montmorillonites for phosphate adsorption. *Colloids Surfaces A*, 2009. 341: 46–52.

Boyacioglu, H. and Boyacioglu, H., Surface water quality assessment by environmental methods, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007. 31: 371–376.

Breach, B., Drinking water quality management from catchment to consumer, A practical guide for utilities based on water safety plan, IWA Publishing, London, 2012.

Burt, T.P., Howden, N.J.K., Worrall, F. and Whelan, M.J., Long-term monitoring of river water nitrate: How much data do we need? *Journal of Environmental Monitoring*, 2010. 12: 71-79.

Council Directive 98/83/EC: on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of the European Communities, 1998.

Cvetanović, S., Integralni model sistemskog pristupa upravljanju rizikom od hemijskih udesa na lokalnom nivou, Univerzitet u Nišu, Zaštita na radu, Doktorska teza, Niš, 2015.

Dalmacija, B. (Urednik), Kontrola kvaliteta voda u okviru upravljanja kvalitetom, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Novi Sad, 2000.

Dalmacija, B. i Agbaba, J. (Urednici), Kontrola kvaliteta vode za piće. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Novi Sad, 2006.

Dalmacija, B. i Agbaba, J. (Urednici), Zagađujuće materije u vodenom ekosistemu i remedijacioni procesi. Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Centar izvrsnosti za hemiju okoline i procenu rizika, Novi Sad, 2008.

Dalmacija, B. i Ivančev-Tumbas, I. (Urednici), Analiza vode – kontrola kvaliteta, tumačenje rezultata, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, Novi Sad, 2004.

Das, J., Sahoo, K.R. and Sinha, B.K., Urban groundwater pollution: A case study in Cuttack city, India. *Ground Water Monitoring & Remediation*, 2002. 22(3):95-103.

De Miguel, F. C., and Vasquez, T. M., Origen de los nitratos y su influencia en la potabilidad de las aguas subterráneas. *Minería y Geología*, 2006. 22 (3):1-9.

Delgado, A. Madrid, A., Kassem, S., Audrea L. and del Carmen del Campillo, M.,

Phosphorus fertilizer recovery from calcareous soils amended with humic and fulvic acids, *Plant and Soil*, 2002. 245: 277-286.

Detay, M., *Water well: implementation, maintenance and restoration*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, Masson, 1997.

Dieter, H.H., Manganese in natural mineral waters from Germany, *Die Nahrung*, 1992. 36: 477-484.

Ebermann, J., Eichorn. D., Macheleidt. W. and Grischek. T., Field tests for subsurface iron removal at a dairy farm in Saxony, XXXVIII IAH Congress, Krakow, 12 to 17 September 2010. *Proceedings* 895-901.

EC European Communities (Drinking Water) (No.2) Regulations 2007, *Statutory Instruments* No. 278 of 2007

EPA Method 508.1, Determination of chlorinated pesticides, herbicides, and organohalides by liquid-solid extraction and electron capture gas chromatography - Revision 2.0.

EPA Method 525.1, Determination of organic compounds in drinking water by liquid-solid extraction and capillary column gas chromatography/mass spectrometry

EPA Method 550.1, Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in drinking water by liquid-solid extraction and HPLC with coupled ultraviolet and fluorescence detection.

Feigenbaum, S., Bielorai, H., Erner, Y., and Dasberg, S., The fate of N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *Plant and Soil Journal*, 1987. 97:179-187.

Filipović, B., Simić, M., Lazić, M., Stevanović, Z., Dragišić, V. i Vujasinović, S., Mesto i uloga hidrogeologije, odnosno podzemnih voda u vodoprivredi Srbije, Konferencija "Podzemne vode kao izvorišta", Beograd, 5-7.novembar 1997. *Zbornik radova*, 151-156.

Finley, J.W., Does environmental exposure to manganese pose a health risk to healthy adults, *Nutrition Reviews* 2004. 62:148-153.

Foster, S.S.D., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. and Paris, M., *Groundwater quality protection: A guide for water utilities, municipal authorities and environment*, The World Bank, Washington DC, 2002.

Friberg, L., Nordberg, G.F. and Vouk, V.B., Manganese, in *Handbook on the toxicology of metals, specific metals*, 2nd ed., Elsevier Science Publishing Co, New York, 1986. 354-386.

Gag, B., Dennis, H. and Williams, P., Biological iron and manganese removal - pilot and full scale applications, Ontario Water Works Association Conference, Ontario, 03. May 2001., *Proceedings*.

Gao, S., Tanji, K.K. and Scardac, S.C., Incorporating straw may induce sulfide toxicity in paddy rice. *California Agriculture*, 2003. 57: 55-59.

Gilles, G., An in depth look into iron and manganese treatment, 23th Annual Practical Membrane / Filtration & Separations Technologies Short Course, Food Protein R&D Center / Texas A&M University , Bryan, February 07, 2012.

Grba, N., Neubauer, F., Šajnović, A. and Jovančičević, B., Heterogeneous sources of marlstone in a piggy-back basin: the Neogene Lopare basin in Dinarides. *Geophysical Research Abstracts*, 2014. 16, EGU2014-10850

Henry, R.C., Lewis, C.W., Hopke, P.K. and Williamson, H.J., Review of receptor model fundamentals. *Atmospheric Environment*, 1984. 18:1507–1515.

Howard, A.G., *Water Supply Surveillance, A Reference Manuel*, WEDC, Loughborough University, Loughborough, 2002a.

Howden, N.J.K., Burt, T.P., Mathias, S.A., Worrall, F., Whelan, M.J. and Biezora, M., Modelling long-term diffuse nitrate pollution at the catchment-scale: data, parameter and epistemic uncertainty, *Journal of Hydrology*, 2011. 406: 337-351

HSDB (Hazardous Substances Data Bank), Manganese compounds, National Library of Medicine, Hazardous Substances Data Bank, Bethesda, 2001.

http://cms.optimus.ba/Avanti_ApplicationFiles/122/Documents/kiselost_zemljista.pdf

http://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrolo%C5%A1ki_ciklus

http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/GW_Chart/GW_Chart.html

<http://www.cecra.dh.pmf.uns.ac.rs/pdfww2009/Uklanjanje%20Fe%20i%20Mn.pdf>

<http://www.lenntech.com/calculators/accuracy/accuracy-water-analysis.htm>

<http://www.slavol.rs/sites/default/files/img/products/all/unistart/unistart-nacin.png>

<http://www.waterworkshop.pmf.uns.ac.rs/dokumenti/ww2013/3/novipristupprocenirizika.pdf>

<http://www.zdravlje-prehrana.com/22-03-svjetski-dan-voda/porijeklo-vode-pice/>

<https://www.docsity.com/sr/deskriptivne-velicine-slajdovi-statistika-medicina/389500>

Huffman, S.A., Cole, C.V. and Scott, N.A., Soil texture and residue addition effects on soil phosphorus transformations, *Soil Science Society of America Journal*, 1996. 60(4): 1095-1101.

Iannacchione, A, Varley, F. and Brady, T., The application of major hazard risk assessment (MHRA) to eliminate multiple fatality occurrences in the U.S. Minerals Industry, Department of Health and Human Services, Spokane, 2008

Ikeda, S., Yamaguchi, Y., Sera, Y., Ohshiro, H., Uchino, S. and Yamashita, Y., Manganese deposition in the globus pallidus in patients with biliary atresia. *Transplantation*, 2000. 69: 2339-2343.

Ilavský, J., Barloková, D. and Biskupič, F., *Chémia vody a hydrobiológia*, Slovenská technická univerzita, Bratislava, 2008. 4: 148-201.

Innes, J.E., Connick, S. and Booher, D., Informality as a planing strategy, collaborative water management in the CALFED Bay-delta program, *Journal of the American Planing Association*, 2007. 73(2): 195-210.

ISO 6059:1984 International organization for standardization, Intrenational standard for water quality, Water quality - Determination of the sum of calcium and magnesium - EDTA titrimetric method

ISO 6878:2004, International organization for standardization, Intrenational standard for water quality, Water quality - Determination of phosphorus - Ammonium molybdate spectrometric method

ISO 8245:1999, International organization for standardization, Intrenational standard for

water quality, Water quality - Guidelines for the determination of total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC)

Jolović, B., Elaborat o zonama zaštite vodozahvata u Opštini Laktaši, Laktaši, 2013.

Josipović, J., Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji BiH, Geološki glasnik 15, Geološki zavod, Sarajevo, 1970. 233-275.

Junta, J.L., Hochella, M.F., Harris, D.W. and Edgell, M., Manganese oxidation at mineral-water interfaces. In Kharaka, Y. and Maest, A. (Eds.), Water-Rock Interaction WRI-7, A.A. Balkema, Amsterdam, 1992. 163-166.

Kaiser, H.F. and Rice, J., Little Jiffy, Mark IV., Journal of Educational and Psychological Measurement, 1974. 34:111-117.

Kaiser, H.F., The application of electronic computers to factor analysis. Journal of Educational and Psychological Measurement, 1960. 20:141-151.

Kehew, A.E., Applied chemical hydrogeology: Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 2000

Kölle, W., Wasseranalysen – richtig beurteilt, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2001

Korać, V., Tehnologija vode za potrebe industrije, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd, 1975. 9-60.

Kovenya, S. V., Mel'nikova, M. K. and Frid, A. S., Study of the role of mechanical forces and geometric conditions in the movement of highly dispersed particles in soil columns, Soviet Soil Science, 1972. 4(5):605-612.

Ledoux, E. Gomez, E. Monget, J.M. Viavattene, C. Viennot, P. Ducharne, A. Benoit, M. Mignolet, C. Schott, C. and Mary, B., Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. Science of the Total Environment, 2007. 375(1-3): 33-47.

Lindhö, A., Risk assessment and decision support for managing drinking water systems, Thesis for the degree of doctor, Gothenburg, 2010.

Ljubisavljević, D.S. i Rajaković-Ognjenović, V.N., Uklanjanje nitrata iz vode za piće primenom biološke denitrifikacije, Vodoprivreda, 2012. 44: 163-167

Lovley, D.R. and Phillips, E.J.P., Manganese inhibition of microbial iron reduction in anaerobic sediments. Geomicrobiology Journal 1988. 6: 145-155.

Luther, G. W., Sundby, B., Lewis, B.L., Brendel, P.J., and Silverberg, N., Interactions of manganese with the nitrogen cycle: Alternative pathways to dinitrogen. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1997. 61(19): 4043-4052.

Lynam, D.R., Environmental effects and exposures to manganese from use of methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl (MMT) in gasoline. NeuroToxicology, 1999. 20: 145-150.

Matthess, G., Lehrbuch der hydrogeologie band 2, Die beschaffenheit des grundwassers, Gebrüder Bornträger Berlin Stuttgart, 1990.

McDonald, A.T., Chapman, P.J., Fukasawa, K., The microbiological status of natural waters in a protected wilderness area, Journal of Environmental Management, 2008. 16, 600-608.

Mesić, M., Bašić, F., Grgić, Z., Igrc-Barčić, J., Kisić, I., Petošić, D., Posavi, M., Romić, D.

and Šimunić, I., Procjena stanja, uzorka i veličine pritiska poljoprivrede na vodne resurse i more na području Republike Hrvatske. Studija., 2002.

Mesić, M., Bašić, F., Kisić, I. Butorac, A. and Gašpar, I., (2007.): Influence of mineral nitrogen fertilization on corn grain yield and nitrogen leaching. *Cereal Research Communications*, 2007: 35(2):773-776.

Metodologija za izradu procene ugroženosti i planova zaštite i spasavanja u vanrednim situacijama, Smjernice za označavanje i pakiranje u skladu s uredbom (EZ) br. 1272/2008, Europska agencija za kemikalije, 2011.

Mihalić, S., Osnove inženjerske geologije. Interna skripta RGN fakulteta, Zagreb, 2007.

Milanović, P., Pavlović, M. i Gligorić, M., Analiza korozivnosti i stabilnosti geotermalne vode u cilju izbora materijala grejnog sistema, 8.YUCORR, Tara, maj 2006. Knjiga radova, 255-259.

Mineralne sirovine Republike Srpske, Ministarstvo industrije, energetike i rudarstva, Republički zavod za geološka istraživanja, Zvornik, 2012.

Mkandawire, T., Quality of groundwater from shallow wells of selected villages in Blantyre District, Malawi, *Physics and Chemistry of the Earth*, 2008: 33(8–13):807–811.

Momodu, M.A. and Anyakora, C.A., Heavy metal contamination of groundwater: The surulere case study. *Research Journal Environment and Earth Sciences* 2010. 2: 39-43.

Moody, W., Sources and extent of groundwater contamination. U. S. Geological survey. 1996. <http://infohouse.p2ric.org/ref/01/00065.htm>

Moreda, J.M., Arranz, A., Fdez De Betoño, S., Cid, A. and Arranz, J.F., Chromatographic determination of aliphatic hydrocarbons and polyaromatic hydrocarbons (PAHs) in a sewage sludge, *Science of the Total Environment* , 1998. 220:33–43.

Muhammad, S., Shah, T.M. and Khan, S., Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, Northern Pakistan, *Microchemical Journal*, 2011. 98: 334-343.

MWH, Water Treatment: Principles and Design, 2nd edition, Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J. and Tchobanoglous, G., (Eds.), Hoboken, John Wiley & Sons Inc., New York, 2005.

Nagatomo, S., Umehara, F., Hanada, K., Nobuhara, Y., Takenaga, S. and Arimura, K., Manganese intoxication during total parenteral nutrition: Report of two cases and review of the literature. *Journal of the Neurological Sciences*, 1999. 162: 102-105.

Nam, J.J., Song, B.H., Eom, K.C., Lee, S.H. and Smith, A., Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in agricultural soils in South Korea, *Chemosphere*, 2003. 50:1281–1289.

Nazari, M.M, Burston, M.W, Bishop, P.K. and Lerner, D., Urban ground-water pollution: A case study from convery, *Groundwater*, 1993. 31(3): 417-424.

Nightingale, H.I. and Bianchi, W.C., Ground-water turbidity resulting from artificial recharge, *Groundwater*, 1977. 15(2): 146-152.

Nikolaeva, S. A. and Eremina, A. M., The oxidation-reduction status of periodically waterlogged chernozemic soils, *Eurasian Soil Science*, 2005. 38(3): 289-296.

O'Brien, G., Jolley, D. and Morrison, J., Evolution of chemical contaminant and toxicology studies, part 2- Case studies of Selenium and Arsenic. *South Pacific Journal of Natural Science*, 2003. 21(1): 6-14.

Okvirni plan razvoja vodoprivrede Republike Srpske, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, Republička direkcija za vode, Bijeljina, 2006.

Otto, M., *Chemometrics statistics and computer application in analytical chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 1999.

Pamić, J., Tomljenović, B. and Balen, D., Geodynamic and petrogenetic evolution of Alpine ophiolites from the central and NW Dinarides: an overview. *Lithos*, 2002. 65, 1-2: 113-142.

Pauwels, H. Lachassagne, P. Bordenave, P. Foucher, J.C. and Martelat, A., Temporal variability of nitrate concentration in a schist aquifer and transfer to surface waters, *Applied Geochemistry*, 2000. 583-596.

Pawlak, Z., Rauckyte, T. and Oloyede, A., Oil, grease and used petroleum oil management and environmental economic issues, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2008. 26(1): 11-17.

Philips, S., Hendrikus, J. L. and Verstraete, W., Origin, causes and effects of increased nitrite concentrations in aquatic environments, *Environmental Science & BioTechnology*, 2002. 1: 115-141.

Piper, A.M., A graphic procedure in the geo-chemical interpretation of water analyses, *American Geophysical Union Transactions*, 1944. 25, 914-923.

Plan upravljanja oblasnim riječnim slivom rijeke Save Republike Srpske, Nacrt pratećeg dokumenta #4, Podzemne vode, 2015.

Pollard, S.J.T., *Risk Management for water and wastewater utilities*, IWA Publishing, London, 2008.

Postma, D., Concentration of Mn and separation from Fe in sediments--I. Kinetics and stoichiometry of the reaction between birnessite and dissolved Fe (II) at 10°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985. 49(4): 1023-1033.

Power, J.F. and Prasad, R., Phosphorus, Chapter 9, *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*, 1997. 1 edition: 171-208, CRC Press.

Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, *Službeni glasnik Republike Srpske*, 40, 2003.

Pyzola, S., Nitrate reduction coupled to iron (II) and manganese (II) oxidation in an agricultural soil, *Theses and Dissertations, Plant and Soil Sciences, University of Kentucky*, 2013

Ramaswamy, J.N., Turbidity penetration in infiltration galleries. *Water & Sewage Works*, 1971. 118(6): 194-196.

Rausch, D. L. and Curry, R.B., Effect of viscosity and zeta potential of bentonite suspensions of flow through porous media. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1963. 6: 167-169.

Raveenrdan, R., Ashworth, B. and Chatelier, B., Manganese removal in drinking water systems. 64th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference,

Bendigo/Australia, 5-6. September 2001. Proceedings, 92-100.

Rayner-Canham, G., Descriptive inorganic chemistry, W.H. Freeman, New York, 1996.

Ritchie, G.S.P., Soluble aluminium in acidic soils: Principles and practicabilities, in Date R.A., Grundon N.J., Rayment, G.E. and Probert M.E. (Eds.), Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1995.

Rose'n, L., Hoksad, P., Lindhe, A., Sklet, S. And Røstum, J., Generic framework and methods for integrated risk management in water safety plans, Deliverable no.D 4.1.3, D 4.2.1, D 4.2.2, D 4.2.3.TECHNEAU, 2007.

Salem, M.H., Eweida, A.E. and Farag, A., Heavy metals in drinking water and their environmental impact on human health, International Conference for Environmental Hazard, Cairo, 9-12 September 2000. Proceedings, 542-556.

Sanjoy, M. L. and Rakesh, K., A comparative study of the ground and surface water quality with reference to heavy metal concentrations in the Imphal valley Manipur – India, International Journal of Environmental Sciences, 2013. 3(6): 1857- 1867.

Schmalz, B. Springer, P. and Fohrer, N., Interactions between near-surface groundwater and surface water in a drained riparian wetland, Groundwater–Surface Water Interactions: Process Understanding, Conceptualization and Modelling, 2008. 321: 21–29.

Schroeder, H.A., Balassa, J.J. and Tipton, H., Essential trace metals in man: Manganese. A study in homeostasis, Journal of Chronic Diseases, 1966. 19: 545–571.

Schulz, H.D., Dahmke, A., Schinzel, U., Wallmann, K., and Zabel, M., Early diagenetic processes, fluxes, and reaction rates in sediments of the South Atlantic. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994. 58(9): 2041-2060.

Schwille, F., Groundwater pollution by mineral oil products, Moscow Symposium, Groundwater Pollution, August 1971. Proceedings, 226-240.

Sharma, S.K., Adsorptive iron removal from groundwater. PhD Thesis. UNESCO-IHE, Institute for Water Education and Wageningen University, Wageningen, 2002.

Singer, P.C., Borchardt, J.H. and Colthurst, J.M., The effects of permanganat pretreatment on trihalomethane formation in drinking water, Journal of American Water Works Association, 1980. 10: 573-578.

Stahr, K., Rück, F. and Gaiser, T., Soil nitrogen-reserves and mineralisation as affected by climate, soil and land use.- In: Köhler, W. (Ed.): The terrestrial nitrogen cycle as influenced by man. Nova Acta Leopoldina. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale), 1994. 288(70):213-235.

Standard Methods, Standard methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, Baltimore, Maryland: 2005.

Stevens, M., Howard, G., Davison, A., Bartram, J. and Deere, D., Risk management for distribution systems, In: „Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution System“ (ed. Ainsworth, R,) IWA Publishing, London, UK, 2004.

Sung, W. and Morgan, J.J., Oxidative removal of Mn(II) from solution catalyzed by the γ -FeOOH (lepidocrocite) surface. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981. 45: 2317-2383.

Tan, K.H., Soil sampling, preparation and analysis: Determination of available, Marcel Dekker, New York, 1996. 157-167

Tebo, B. M., Manganese(II) oxidation in the suboxic zone of the Black Sea. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers 38, Supplement 1991. 2(0): S883-S905.

Thamdrup, B., Bacterial manganese and iron reduction in aquatic sediments. Advances in Microbial Ecology. B. Schink. New York, New York, Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000. 41-84.

Tredoux, G., Israel, S. and Cave, L.C., The feasibility of in situ groundwater remediation as robust low-cost water treatment option. Water Research Commission Report No 1325/1/04, 2004.

UNESCO, Groundwater resources of the world and their use. Edited by Zekster S, Everett G., 2004.

Upmanu, L., Punjab: A tale of prosperity and decline, Columbia Water Center, New York, 2009.

Uredba o klasifikaciji voda i kategorizaciji vodotoka, Službeni glasnik Republike Srpske, 42/01, 2001.

Urumović, K., Duić, Ž. i Prelogović, E., Hidrogeološki uvjeti oblikovanja Kopačkog rita. Konferencija Hrvatske vode u 21. stoljeću, Osijek, 28-31. maj 2003., Zbornik radova, 131-141.

USEPA, Drinking water criteria document for manganese, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1994.

USEPA, Handbook for Developing Watershed Plans to Restore and Protect Our waters, EPA 841-B-08-002, Washington DC, 2008.

USEPA, Safe Drinking Water Act. Retrieved July 1, 2009, from United States Environmental Protection Agency, 2009.

Vandeginste, B., Massart, D., Buydens, L., Jong, S., Lewi, P. and Smeyers-Verbeke, J., Chapter 31, Handbook of Chemometrics and Qualimetrics: Part B, Elsevier, 1998. 87-158.

Varner, D., Skipton, S., Hay, D. and Jasa, P., Drinking Water: Iron and manganese (G96-1280-A) cooperative extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln, Lincoln, 1996.

Vastag, G., Apostolov, S., Perišić-Janjić, N. and Matijević, B., Multivariate analysis of chromatographic retention data and lipophilicity of phenylacetamide derivatives, Analytica Chimica Acta, 2013. 767(1): 44-49.

Veljković, N. Unapređenje kvaliteta vode kod lokalnih vodovoda i kanalizacije manjih mesta u Srbiji, Poglavlje – *Upravljanje rizicima u lokalnim vodovodnim sistemima*, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 2010. 38-57.

Vetter, H. and Steffens, G., Phosphorus accumulation in soil profiles and phosphorus losses after the application of animal manures. In Hucker, T.W.G. and Catroux C. (Eds), Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries, Proceedings of the EEC Seminar organized jointly by the CEC and the Institute for Soil Fertility. D. Reidel Publishing Co., London, 1980. 309-331.

- Voda za piće, Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti, Savezni zavod za zaštitu zdravlja, NIP Privredni pregled, Beograd, 1990.
- Voznaja, N.F., Hemija vode i mikrobiologija (prevod), Savezni centar za zaštitu i obrazovanje u rudarstvu i industriji, Tuzla, 1973. 111-132.
- Wakida, F.T. and Lerner, D.N., Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. *Water Research*, 2005. 39(1), 3–16.
- WHO, Guidelines for Drinking-water Quality, Guidelines for Drinking-water Quality, 2011.
- WHO, Petroleum Products in Drinking-water, 2005.
- WHO, Pharmaceuticus in Drinking water, WHO/HSE/WSH/11.05., 2011b.
- WHO, World Health Report, Working together for health , 3rd edition, 2006.
- Yang, Y. Lerner, D.N. Barrett, M.H. and Tellam, J.H., Quantification of groundwater recharge in the city of Nottingham, *Environmental Geology*, 1999. 38(3):183-198.
- Yin, H., Yun, Y., Zhang, Y., and Fan C., Phosphate removal from wastewaters by a naturally occurring, calcium-rich sepiolite, *Journal of Hazardous Materials*, 2011. 198: 362–369.
- Youjun, C., Feng. X. and Yongkang. L., Occurance and control of manganese in a large scale water treatment plant, *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2015. 9(1): 66-72.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D. and Sylvestre, S., PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition, *Organic Geochemistry*, 2002. 33:489–515.
- Zakon o vodama, Službeni glasnik Republike Srpske, 50, 2006.
- Zamxaka, M., Pironcheva, G. and Muyima, N.Y.O., Microbiological and physico-chemical assessment of the quality of domestic water sources in selected rural communities of the Eastern Cape Province - South Africa, *Water SA*, 2004. 30(3): 333-340.
- Zhiyuan, W., Dengfeng, W., Huiping, Z. and Zhiping, Q., Assessment of soil heavy metal pollution with Principal Component Analysis and Geoaccumulation Index, *Procedia Environmental Sciences* 10, Part C, 2011. 1946-1952.

PRILOG

Tabela I Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	12,0	28,5	25,0	26,0	24,5	10,0	/
Temperatura vode	°C	12,5	12,0	12,7	14,0	16,0	13,8	/
pH	pH	7,54	7,28	7,26	7,62	7,83	7,41	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	638	658	561	639	524	585	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	2,84	4,24	4,28	2,69	4,34	2,53	8
TOC	mg/L	/	2,41	1,28	1,97	1,77	1,42	/
DOC	mg/L	/	1,97	0,92	1,71	0,95	1,27	/
Mutnoća	mg/L	0,21	0,30	0,41	0,37	0,09	0,20	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	397	523	495	403	440	416	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	/	363	417	330	372	320	/
Gubitak žarenjem	mg/L	/	160	78	73	68	96	/
Suspendovane materije	mg/L	/	<1,0	5	2,2	<1,0	1	/
Alkalitet	mg/L	/	289	293	305	299	296	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	/	365	348	323	324	326	/
Bikarbonati	mg/L	/	353	357	372	365	361	/
Hloridi	mg/L	15,67	16,4	17,22	6,85	4,01	55,7	200
Sulfidi	mg/L	/	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	/	35,45	21,82	19,87	31,48	24,8	250
Nitriti	mg/L	0,016	0,026	0,026	0,030	0,026	0,039	0,03
Nitrati	mg/L	11,6	15,26	12,28	8,81	12,37	10,4	50
Orto fosfati	mg/L	/	0,014	0,033	0,038	0,040	0,043	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	0,021	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	/	0,031	0,050	0,045	0,049	0,094	/
Amonijak	mg/L	0,02	<0,012	0,07	0,02	<0,012	0,036	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	/	129	121	122	117	122	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	/	10,6	11,1	4,8	8,0	5,0	/
Kalijum	mg/L	/	3,66	2,42	2,79	3,64	1,47	12
Natrijum	mg/L	/	7,64	6,93	10,66	9,36	8,89	150
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,04	0,3
Mangan	mg/L	0,82	0,8	0,86	0,81	0,62	0,8	0,05
Aluminijum	µg/L	/	58,73	118,7	31,44	31,6	138,0	200
Arsen	µg/L	0,74	0,52	<0,23	0,50	<0,23	0,44	10
Cink	µg/L	/	5,78	21,46	11,98	17,09	36,75	3000
Nikl	µg/L	9,07	0,5	6,93	1,91	1,20	3,27	20
Kadmijum	µg/L	0,03	0,64	0,48	0,12	0,08	<0,03	3

Nastavak **Tabele I** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	13,0	3,0	11,0	2,0	6,0	12,0	/
Temperatura vode	°C	13,5	9,2	13,1	12,2	12,2	12,2	/
pH	pH	7,34	7,11	7,60	7,73	7,58	8,02	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	635	677	698	706	691	677	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	2,94	4,37	3,84	3,48	2,94	4,68	8
TOC	mg/L	0,85	0,84	1,29	1,22	1,30	1,42	/
DOC	mg/L	0,7	0,64	1,22	1,21	1,25	1,26	/
Mutnoća	mg/L	0,13	3,01	0,05	0,20	0,20	0,14	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	440	393	/	/	/	/	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	407	344	/	/	/	/	/
Gubitak žarenjem	mg/L	33	49	/	/	/	/	/
Suspendovane materije	mg/L	1,8	<1,0	/	/	/	/	/
Alkalitet	mg/L	306	294	292	288	294	286	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	360	318	348	353	359	316	/
Bikarbonati	mg/L	373	359	356	351	359	349	/
Hloridi	mg/L	19,06	27,86	26,12	9,12	16,95	13,98	200
Sulfidi	mg/L	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	18,81	26,07	39,57	37,20	37,64	41,38	250
Nitriti	mg/L	0,033	0,030	0,027	0,026	0,026	0,030	0,03
Nitrati	mg/L	12,13	9,28	23,83	19,70	17,40	27,89	50
Orto fosfati	mg/L	0,045	0,038	0,039	0,010	0,039	0,050	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	/	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	0,051	0,046	0,054	0,036	0,041	0,053	/
Amonijak	mg/L	0,05	0,013	0,05	0,06	<0,012	<0,012	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	115,5	118	137	130	130	94,4	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	19,9	5,7	25,8	7,1	8,6	19,6	/
Kalijum	mg/L	2,22	2,41	2,23	/	1,96	0,95	12
Natrijum	mg/L	9,81	10,25	10,51	/	8,91	5,89	150
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,3
Mangan	mg/L	0,82	0,82	0,59	0,40	0,61	0,38	0,05
Aluminijum	µg/L	12,44	11,99	11,35	5,11	8,57	13,35	200
Arsen	µg/L	0,94	<0,23	0,29	<0,23	<0,23	1,19	10
Cink	µg/L	15,41	12,06	15,51	12,5	17,48	14	3000
Nikl	µg/L	3,09	2,40	2,97	3,39	2,59	2,37	20
Kadmijum	µg/L	<0,03	0,07	<0,03	<0,03	0,03	0,03	3

Nastavak **Tabele I** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Pravilnik
Hrom	µg/L	<1,0	<1,0	5,53	<1,0	<1,0	1,06	50
Olovo	µg/L	0,96	1,24	0,33	1,37	0,56	1,61	10
Bakar	µg/L	5,68	0,6	4,98	4,36	4,94	7,12	2000
Živa	µg/L	/	0,07	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1
Ulja i masti	mg/L	/	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Deterdženti	mg/L	/	<0,02	<0,02	<0,02	/	/	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/
Benzo(a)piren	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	/	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	/	<0,001	0,006	0,017	0,003	0,020	/
Antracen	µg/L	/	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	/
Hrizen	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	/	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	0,017	/
Acenaftilen	µg/L	/	0,136	<0,010	0,348	<0,010	<0,010	/
Piren	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/
Fenantren	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,017	/
Fluoren	µg/L	/	0,018	<0,012	0,023	<0,012	<0,012	/
*2,2` ,3,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
*2,2` ,3 ,4` ,4` ,5` - heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
*2,2` ,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
*2,2` ,5 ,5` - tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
*2, 4 ,4` - trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/

Nastavak **Tabele I** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Hrom	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	50
Olovo	µg/L	0,18	3,33	0,93	0,42	0,73	1,28	10
Bakar	µg/L	1,81	2,05	3,47	2,47	5,73	1,5	2000
Živa	µg/L	/	<0,04	/	/	/	/	1
Ulja i masti	mg/L	/	<0,10	/	/	/	/	0,10
Deterdženti	mg/L	/	<0,02	/	/	/	/	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	<0,008	<0,008	<0,008	/	/	/	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	<0,008	<0,008	<0,008	/	/	/	/
Benzo(a)piren	µg/L	<0,015	<0,015	<0,015	/	/	/	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	<0,001	<0,001	0,005	/	/	/	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	0,014	<0,001	0,003	/	/	/	/
Antracen	µg/L	<0,013	<0,013	<0,013	/	/	/	/
Hrizen	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	/	/	/	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	<0,012	<0,012	<0,012	/	/	/	/
Acenaftilen	µg/L	<0,010	0,021	<0,010	/	/	/	/
Piren	µg/L	<0,015	<0,015	<0,015	/	/	/	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	<0,015	<0,015	<0,015	/	/	/	/
Fenantren	µg/L	<0,010	<0,010	<0,010	/	/	/	/
Fluoren	µg/L	<0,012	0,013	<0,012	/	/	/	/
*2,2` ,3,4,4` ,5,5` - heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,3 ,4` ,4` ,5` - heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,5 ,5` - tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2, 4 ,4` - trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Nastavak Tabele I Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	<0,01	<0,01	/	/	/

Nastavak Tabele I Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovicima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Tabela II Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoibar	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	20,0	32,5	32,5	24,5	24,0	7,0	/
Temperatura vode	°C	14,9	13,9	14,4	13,5	15,1	12,6	/
pH	pH	7,70	7,62	7,16	7,37	7,60	7,46	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	645	628	679	652	560	596	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	5	< 5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	1,58	4,24	3,29	1,66	3,67	1,58	8
TOC	mg/L	/	2,22	0,6	0,94	1,21	1,06	/
DOC	mg/L	/	1,49	<0,35	0,82	0,45	0,68	/
Mutnoća	mg/L	0,51	2,53	3,07	0,40	0,37	2,39	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	520	570	512	426	447	452	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	/	363	442	340	346	329	/
Gubitak žarenjem	mg/L	/	207	70	86	101	123	/
Suspendovane materije	mg/L	/	2,6	5,8	3,2	<1,0	2	/
Alkalitet	mg/L	/	339	328	335	317	309	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	/	405	377	371	356	362	/
Bikarbonati	mg/L	/	414	400	409	387	377	/
Hloridi	mg/L	7,86	10,5	8,52	3,74	1,84	28,5	200
Sulfidi	mg/L	/	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	/	44,99	29,18	21,68	31,64	27,3	250
Nitriti	mg/L	<0,007	0,01	0,086	<0,007	<0,007	<0,007	0,03
Nitrati	mg/L	20,8	20,8	24,62	12,18	9,93	14,9	50
Orto fosfati	mg/L	/	<0,003	0,005	0,007	0,007	0,013	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	<0,003	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	/	<0,003	0,013	0,01	0,013	0,023	/
Amonijak	mg/L	0,04	<0,012	0,05	<0,012	<0,012	0,013	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	/	131	118	118±4	116	122	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	/	19,1	20,3	18,5	16,1	14,1	/
Kalijum	mg/L	/	2,64	2,07	1,22	1,69	1,13	12
Natrijum	mg/L	/	6,68	6,93	6,15	5,38	4,86	150
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	<0,03	0,3
Mangan	mg/L	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,03	0,05
Aluminijum	µg/L	/	27,3	6,73	6,02	43,80	60,20	200
Arsen	µg/L	0,42	<0,23	<0,23	0,38	<0,23	<0,23	10
Cink	µg/L	/	5,85	20,43	10,50	29,50	36,50	3000
Nikl	µg/L	1,68	0,87	6,93	0,75	6,34	1,64	20
Kadmijum	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,13	<0,03	3

Nastavak **Tabele II** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	13,5	4,0	10,5	1,0	4,0	10,0	/
Temperatura vode	°C	11,0	10,4	13,4	11,0	14,2	13,4	/
pH	pH	7,37	7,14	7,67	8,25	7,62	7,87	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	666	656	698	689	659	661	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	< 5	5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	2,94	2,18	2,08	1,58	3,60	2,50	8
TOC	mg/L	0,35	<0,35	0,48	0,44	0,51	0,62	/
DOC	mg/L	<0,35	<0,35	0,46	<0,35	0,37	0,51	/
Mutnoća	mg/L	0,56	0,05	1,09	2,24	0,85	1,60	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	439	425	/	/	/	/	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	389	358	/	/	/	/	/
Gubitak žarenjem	mg/L	50	67	/	/	/	/	/
Suspendovane materije	mg/L	2,6	<1,0	/	/	/	/	/
Alkalitet	mg/L	311	313	315	320	317	308	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	367	348	397	376	369	351	/
Bikarbonati	mg/L	379	382	384	390	387	376	/
Hloridi	mg/L	9,96	8,17	19,6	3,74	8,81	7,94	200
Sulfidi	mg/L	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	23,61	27,15	28,68	4,77	21,34	23,15	250
Nitriti	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	0,03
Nitrati	mg/L	20,24	19,33	23,4	17,2	16,8	30,0	50
Orto fosfati	mg/L	0,024	<0,003	0,006	<0,003	0,005	<0,003	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	/	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	0,034	0,009	0,019	0,007	0,009	0,013	/
Amonijak	mg/L	0,02	<0,012	<0,012	0,02	0,02	<0,012	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	117	117	126	122	116	114	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	18,4	13,6	20,5	17,8	19,4	16,0	/
Kalijum	mg/L	0,58	0,95	1,11	/	1,14	0,85	12
Natrijum	mg/L	4,76	4,14	6,05	/	5,14	4,46	150
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	0,08	0,06	<0,03	<0,03	0,3
Mangan	mg/L	<0,01	<0,01	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,05
Aluminijum	µg/L	17,40	8,81	11,52	6,51	2,60	10,52	200
Arsen	µg/L	0,67	<0,23	<0,23	<0,23	<0,23	<0,23	10
Cink	µg/L	18,07	5,38	12,12	23,51	17,36	20,08	3000
Nikl	µg/L	0,52	3,35	1,18	0,92	0,60	0,57	20
Kadmijum	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	3

Nastavak **Tabele II** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoabar	Pravilnik
Hrom	µg/L	1,22	<1,0	1,46	1,83	1,70	2,07	50
Olovo	µg/L	0,46	<0,05	0,35	2,01	1,39	4,31	10
Bakar	µg/L	3,57	1,96	3,60	5,40	3,82	3,82	2000
Živa	µg/L	/	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	1
Ulja i masti	mg/L	/	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	0,10
Deterdženti	mg/L	/	<0,02	<0,02	<0,02	/	/	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/	/
Benzo(a)piren	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	/	<0,001	0,001	0,001	0,002	/	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	/	0,012	0,004	0,01	0,002	/	/
Antracen	µg/L	/	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	/	/
Hrizen	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	/	0,02	<0,012	<0,012	<0,012	/	/
Acenaftilen	µg/L	/	0,012	0,013	0,048	<0,010	/	/
Piren	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/	/
Fenantren	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/	/
Fluoren	µg/L	/	<0,012	<0,012	0,023	<0,012	/	/
*2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',3,4',4',5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',4,4',5,5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',5,5'-tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,4,4'-trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/

Nastavak **Tabele II** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Hrom	µg/L	1,91	1,65	1,46	<1,0	1,20	<1,0	50
Olovo	µg/L	0,19	0,98	0,78	0,61	1,43	0,94	10
Bakar	µg/L	3,20	5,38	0,70	4,79	3,90	2,41	2000
Živa	µg/L	/	<0,04	/	/	/	/	1
Ulja i masti	mg/L	/	<0,10	/	/	/	/	0,10
Deterdženti	mg/L	/	<0,02	/	/	/	/	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	/	<0,008	/	/	/	/	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	/	<0,008	/	/	/	/	/
Benzo(a)piren	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	/	<0,001	/	/	/	/	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	/	<0,001	/	/	/	/	/
Antracen	µg/L	/	<0,013	/	/	/	/	/
Hrizen	µg/L	/	<0,010	/	/	/	/	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	/	<0,012	/	/	/	/	/
Acenaftilen	µg/L	/	0,011	/	/	/	/	/
Piren	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	/
Fenantren	µg/L	/	<0,010	/	/	/	/	/
Fluoren	µg/L	/	<0,012	/	/	/	/	/
*2,2` ,3,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,3 ,4` ,4` ,5` - heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,5 ,5` - tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2, 4 ,4` - trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Nastavak Tabele II Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/

Nastavak Tabele II Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Maglajanima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Tabela III Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoibar	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	10,0	28,5	26,5	25,5	24,0	7,0	/
Temperatura vode	°C	17,4	19,2	19,1	18,4	15,9	13,6	/
pH	pH	7,47	7,39	7,39	7,26	7,06	7,36	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	828	812	811	834	694	748	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	1,58	3,6	2,63	1,74	4,34	1,58	8
TOC	mg/L	/	2,02	0,52	0,84	1,31	0,71	/
DOC	mg/L	/	1,32	<0,35	0,77	0,48	0,68	/
Mutnoća	mg/L	0,68	0,25	0,50	0,33	0,19	0,06	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	501	692	562	543	516	612	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	/	457	417	310	410	417	/
Gubitak žarenjem	mg/L	/	235	59	233	106	195	/
Suspendovane materije	mg/L	/	2,4	5,8	3,6	<1,0	2,4	/
Alkalitet	mg/L	/	407	416	415	384	408	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	/	454	430	445	421	438	/
Bikarbonati	mg/L	/	497	508	506	468	498	/
Hloridi	mg/L	9,37	14,3	10,35	5,34	4,11	44,3	200
Sulfidi	mg/L	/	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	/	41,7	30,7	22,94	32,79	25,3	250
Nitriti	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	0,03
Nitrati	mg/L	7,82	8,73	10,31	4,64	8,29	7,45	50
Orto fosfati	mg/L	/	0,005	0,021	0,015	0,022	0,019	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	0,008	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	/	0,011	0,024	0,024	0,030	0,025	/
Amonijak	mg/L	0,02	0,04	0,1	0,05	<0,012	<0,012	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	/	134,4	133	132	133	135	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	/	28,9	23,8	27,9	21,4	24,8	/
Kalijum	mg/L	/	3,66	2,63	2,12	4,69	2,37	12
Natrijum	mg/L	/	14,1	14,32	14,72	11,76	12,17	150
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,042	0,07	<0,03	0,3
Mangan	mg/L	0,028	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,05
Aluminijum	µg/L	/	17,06	16,4	10,72	45,0	24,12	200
Arsen	µg/L	<0,23	<0,23	<0,23	0,61	0,42	<0,23	10
Cink	µg/L	/	3,08	19,65	12,68	22,66	33,2	3000
Nikl	µg/L	0,90	0,49	0,59	6,08	0,66	0,68	20
Kadmijum	µg/L	<0,03	0,51	0,08	0,03	0,14	<0,03	3

Nastavak **Tabele III** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Temperatura vazduha	°C	13,0	4,0	10,5	1,0	3,0	9,0	/
Temperatura vode	°C	12,4	12,8	16,9	15,0	17,2	11,5	/
pH	pH	7,40	7,40	7,71	7,69	7,36	8,05	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	845	866	850	866	835	861	1000
Boja	°PtCo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	5
Miris		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Ukus		Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez	Bez
Utrošak KMnO ₄	mg/L	1,87	2,88	2,53	3,11	2,50	1,87	8
TOC	mg/L	<0,35	0,45	0,60	<0,35	0,44	<0,35	/
DOC	mg/L	<0,35	0,44	<0,35	<0,35	<0,35	<0,35	/
Mutnoća	mg/L	0,77	0,24	0,08	1,60	0,50	0,77	1
Ukupne čvrste materije	mg/L	565	/	/	/	/	565	/
Ostatak posle žarenja	mg/L	396	/	/	/	/	396	/
Gubitak žarenjem	mg/L	169	/	/	/	/	169	/
Suspendovane materije	mg/L	1,2	/	/	/	/	1,2	/
Alkalitet	mg/L	418	408	395	401	398	418	/
Ukupna tvrdoća	mg/L	420	432	447	409	438	420	/
Bikarbonati	mg/L	510	498	482	489	486	510	/
Hloridi	mg/L	14,07	15,59	10,51	21,07	20,8	14,07	200
Sulfidi	mg/L	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	bez
Sulfati	mg/L	26,02	31,52	19,63	21,73	24,09	26,02	250
Nitriti	mg/L	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	<0,007	0,03
Nitrati	mg/L	12,17	13,86	11,70	9,27	16,59	12,17	50
Orto fosfati	mg/L	0,006	0,035	<0,003	0,019	0,011	0,006	0,15
Rastvoreni fosfor	mg/L	/	/	/	/	/	/	/
Ukupni fosfor	mg/L	0,020	0,046	0,014	0,020	0,026	0,020	/
Amonijak	mg/L	0,05	0,03	<0,012	<0,012	<0,012	0,05	0,1
Kalcijum (kao joni)	mg/L	138	133	135	133	135	138	/
Magnezijum (kao joni)	mg/L	18,5	24,5	27,0	19,0	24,8	18,5	/
Kalijum	mg/L	2,3	1,98	3,13	/	1,96	1,52	2,3
Natrijum	mg/L	12,77	11,18	16,59	/	12,32	11,22	12,77
Gvožđe	mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Mangan	mg/L	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Aluminijum	µg/L	28,22	7,06	9,74	10,75	1,66	17,41	28,22
Arsen	µg/L	0,92	<0,23	0,55	<0,23	<0,23	1,63	0,92
Cink	µg/L	17,79	13,33	15,65	13,3	14,13	12,85	17,79
Nikl	µg/L	0,66	4,97	0,84	0,35	1,54	1,59	20
Kadmijum	µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	3

Nastavak **Tabele III** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktoabar	Pravilnik
Hrom	µg/L	1,20	<1,0	2,36	1,48	6,08	2,51	50
Olovo	µg/L	0,69	0,05	1,6	4,86	1,61	1,39	10
Bakar	µg/L	5,3	2,69	5,16	5,26	5,91	11,34	2000
Živa	µg/L	/	<0,04	0,42	<0,04	<0,04	<0,04	1
Ulja i masti	mg/L	/	<0,10	<0,10	0,2	0,24	<0,10	0,10
Deterdženti	mg/L	/	<0,02	<0,02	<0,02	/	/	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	/	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	/	/
Benzo(a)piren	µg/L	/	0,016	<0,015	<0,015	<0,015	/	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	/	0,002	0,003	0,001	0,001	/	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	/	<0,001	0,004	0,027	0,005	/	/
Antracen	µg/L	/	<0,013	<0,013	<0,013	<0,013	/	/
Hrizen	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	/	<0,012	<0,012	<0,012	<0,012	/	/
Acenaftilen	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/	/
Piren	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	/	<0,015	<0,015	<0,015	<0,015	/	/
Fenantren	µg/L	/	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	/	/
Fluoren	µg/L	/	<0,012	0,013	0,015	<0,012	/	/
*2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',3,4',4',5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',4,4',5,5'-heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,2',5,5'-tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
*2,4,4'-trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/

Nastavak **Tabele III** Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
Hrom	µg/L	2,05	1,51	2,63	1,85	1,87	1,43	50
Olovo	µg/L	0,50	1,86	0,82	1,11	2,15	2,1	10
Bakar	µg/L	4,16	3,87	5,08	5,76	4,98	4,08	2000
Živa	µg/L	/	<0,04	/	/	/	/	1
Ulja i masti	mg/L	<0,10	/	/	/	/	<0,10	0,10
Deterdženti	mg/L	<0,02	/	/	/	/	<0,02	0,1
Benzo(b)fluoranten	µg/L	/	<0,008	/	/	/	/	/
Benzo(k)fluoranten	µg/L	/	<0,008	/	/	/	/	/
Benzo(a)piren	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	0,01
Benzo(ghi)perilen	µg/L	/	<0,001	/	/	/	/	/
Indeno(1,2,3-cd)piren	µg/L	/	<0,001	/	/	/	/	/
Antracen	µg/L	/	<0,013	/	/	/	/	/
Hrizen	µg/L	/	<0,010	/	/	/	/	/
di-Benzo(ah) Antracen	µg/L	/	<0,012	/	/	/	/	/
Acenaftilen	µg/L	/	<0,010	/	/	/	/	/
Piren	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	/
Benzo(a) Antracen	µg/L	/	<0,015	/	/	/	/	/
Fenantren	µg/L	/	0,01	/	/	/	/	/
Fluoren	µg/L	/	<0,012	/	/	/	/	/
*2,2` ,3,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,3 ,4` ,4` ,5` - heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,4,4` ,5,5` -heptahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2,2` ,5 ,5` - tetrahlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
*2, 4 ,4` - trihlorbifenil	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
α-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
γ-BHC- Linda	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,2
β – BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Aldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Dieldrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	0,03
Endrin	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan I	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
δ-BHC	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Heptahlor epoksid (izomer B)	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDE	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
4,4'-DDD	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan II	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Nastavak Tabele III Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Maj	Jun	Jul	Avgust	Septembar	Oktobar	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	/	<0,01	/	<0,01	/

Nastavak Tabele III Rezultati analize vode u periodu od maja 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Laktašima

Parametar	Jedinica	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	Pravilnik
4,4'-DDT	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endrin aldehid	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Endosulfan sulfat	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/
Metoksihlor	µg/L	/	<0,01	/	/	/	/	/

Tabela IV Rezultati analize vode u periodu od avgusta 2012. do aprila 2013. na izvorištu u Kriškovci nakon tretmana vode

Parametar	Jedinica	Avgust	Septembar	Oktobar	Novembar	Decembar	Januar	Februar	Mart	April	MDK
Temp. vazduha	°C	/	24,5	10,0	13,5	3,0	11,0	2,0	6,0	12,0	/
Temperatura vode	°C	/	15,3	13,8	13,4	9,4	12,5	12,0	12,1	12,0	/
pH		/	7,82	7,34	7,3	7,05	7,39	7,40	7,48	7,68	6,8-8,5
Elektroprovodljivost	µS/cm	/	552	589	558	646	663	675	701	700	1000
Utrošak KMnO ₄	mg/L	/	3,67	2,21	/	/	/	22	22	23	8
Gvožđe	mg/L	<0,03	0,04	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	/	/	/	0,3
Mangan	mg/L	0,41	0,35	0,63	0,31	0,01	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05

Tabela V Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode reke Vrbas, na profilu Razboj Ljevčanski

Parametri		Koncentracija					
		23.05.2012.	14.06.2012.	17.07.2012	06.08.2012.	25.09.2012.	09.10.2012.
Protok	m ³ /sek	113,72	38,20	29,92	19,7	39,40	17,31
*Vodostaj	cm	0	-20	-60	-90	-20,0	-30
Temperatura vazduha	°C	8,0	24,0	24,0	39,0	25,5	16,0
Temperatura vode	°C	11,3±0,3	18,1±0,3	20,0±0,3	25,0±0,3	22,6±0,3	17,4±0,3
Rastvoreni kiseonik	mg/L	11,72±0,23	7,20±0,14	7,61±0,15	20,60±0,41	9,00±0,18	9,98±0,20
*% zasićenja kiseonikom	%	106,4	100,0	84,6	247	95,0	166,4
pH		8,18±0,21	7,96±0,21	8,01±0,21	7,81±0,21	8,02±0,21	8,51±0,21
Elektroprovodljivost	µS/cm	354±24	400±24	362±24	370±24	372±24	392±24
*HPK(O ₂ iz KMnO ₄)	mg/L	2,08	1,86	2	1,65	1,79	1,76
HPK(O ₂ bihromatni)	mg/L	<5,0	<5,0	8,9 ± 1,0	<5,0	<5,0	7,54±0,82
BPK ₅	mg/L	1,15±0,19	3,86±0,64	1,59 ± 0,2	0,94±0,16	1,09±0,18	1,98±0,33
Suspendovane materije	mg/L	16,4±1,7	14,6±1,5	9,6 ± 1,0	7,8±0,8	9,6±1,0	6,2±0,6
Ukupni alkalitet kao CaCO ₃	mg/L	173±8	190±9	192 ± 9	184±9	187±9	190±0,6
Suma Ca i Mg (CaCO ₃)	mg/L	200±6	206±7	227 ± 7	220±7	235±7	244±8
Hloridi	mg/L	2,42±0,13	3,57±0,33	4,57 ± 0,42	4,73±0,43	27,3±2,50	23,8±2,2
NO ₂ -N	mg/L	0,008±0,001	0,020±0,002	0,093 ± 0,007	0,015±0,001	0,021±0,002	0,017±0,002
NO ₃ -N	mg/L	1,51±0,14	0,20±0,02	0,45 ± 0,04	0,42±0,04	0,49±0,04	0,57±0,05
Ortofosfati	mg/L	0,013±0,001	0,020±0,002	0,027 ± 0,002	0,010±0,001	0,013±0,001	0,038±0,003
Ukupni fosfor rastvoreni	mg/L	0,050±0,005	0,048±0,005	0,032 ± 0,003	0,026±0,003	0,025±0,003	0,048±0,005
Ukupni fosfor	mg/L	0,060±0,006	0,053±0,006	0,064 ± 0,007	0,045±0,005	0,057±0,006	0,056±0,006
NH ₄ -N	mg/L	0,06±0,004	0,03±0,002	0,14 ± 0,01	0,05±0,003	0,05±0,003	0,05±0,003
Ukupni N po Kjeldalu	mg/L	<0,50	0,62±0,14	<0,5	<0,50	<0,50	<0,50
Ukupni N	mg/L	2,02	0,84	0,98	0,93	1,01	1,09
*Kalcijum	mg/L	66,4±2,2	70,1±2,3	69,7 ± 2,3	69,6±2,3	71,2±2,4	76,0±2,5
*Magnezijum	mg/L	8,3	7,6	13,0	11,3	13,7	13,4
Arsen	µg/L	<0,23	0,49±0,04	0,80 ± 0,06	0,72±0,06	0,73±0,06	0,47±0,04
Cink	µg/L	12,55±0,74	10,21±0,61	13,74 ± 0,79	5,78±0,34	9,71±0,58	10,92±0,65
Hrom	µg/L	1,88±0,11	<1,0	1,93 ± 0,11	<1,0	1,14±0,06	1,22±0,07
Bakar	µg/L	2,78±0,25	3,20±0,29	1,32 ± 0,12	4,09±0,37	2,15±0,19	1,16±0,10

*Metoda za koju laboratorija nije akreditovan

Nastavak **Tabela V** Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode reke Vrbas, na profilu Razboj Ljevčanski

Parametri		Koncentracija					
		07.11.2012	05.12.2012.	30.01.2013.	19.02.2013.	21.03.2013.	16.04.2013.
Protok	m ³ /sek	46,17	37,88	150,03	47,3	234,93	122,3
*Vodostaj	cm	0	-30	20	-20	115	160
Temperatura vazduha	°C	19,0	-2	10	1,0	6,0	20,0
Temperatura vode	°C	14,1±0,3	7,2±0,3	6,8±0,3	6,34±0,3	8,4±0,3	12,0±0,3
Rastvoreni kiseonik	mg/L	6,88±0,14	7,00±0,22	11,7	9,74	9,72	11,90
*% zasićenja kiseonikom	%	68,2	60,0	104,2	76,7	89,4	106,0
pH		8,07±0,21	8,36±0,21	8,3±0,21	8,3±0,21	8,4±0,21	8,49±0,21
Elektroprovodljivost	µS/cm	429±24	434±24	440±24	379±24	377±24	350±24
*HPK(O ₂ iz KMnO ₄)	mg/L	2,81	2,00	1,2	1,60	1,84	1,50
HPK(O ₂ bihromatni)	mg/L	5,8±0,6	<5,0	5,6±0,4	<5,0	<5	<5,0
BPK ₅	mg/L	1,16±0,19	2,05±0,34	3,79±0,63	2,76±0,46	2,32±0,39	1,67±0,28
Suspendovane materije	mg/L	13,0±1,3	14,0±1,4	7,2±0,7	13,0±1,3	33,2±3,4	9,8±1,0
Ukupni alkalitet kao CaCO ₃	mg/L	188±9	195±9	190±9	175±8	180±9	185±9
Suma Ca i Mg (CaCO ₃)	mg/L	233±10	244±10	217±9	200±6	215±9	217±9
Hloridi	mg/L	8,75±0,8	6,22±0,57	2,16±0,20	3,30±0,30	3,06±0,28	2,12±0,19
NO ₂ -N	mg/L	0,032±0,003	0,014±0,001	0,015±0,001	0,011±0,001	0,006±0,0005	0,006±0,0005
NO ₃ -N	mg/L	1,17±0,11	0,64±0,06	1,28±0,12	0,06±0,01	0,77±0,07	0,53±0,05
Ortofosfati	mg/L	0,038±0,003	0,028±0,002	0,033±0,002	0,007±0,0005	0,008±0,0006	0,046±0,004
Ukupni fosfor rastvoreni	mg/L	0,046±0,005	0,034±0,004	0,039±0,004	0,018±0,002	0,016±0,002	0,064±0,005
Ukupni fosfor	mg/L	0,056±0,006	0,044±0,005	0,048±0,005	0,039±0,004	0,028±0,003	0,148±0,012
NH ₄ -N	mg/L	0,11±0,01	0,08±0,005	0,10±0,01	0,07±0,004	0,05±0,003	0,21±0,01
Ukupni N po Kjeldalu	mg/L	<0,50	0,79±0,17	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Ukupni N	mg/L	1,70	1,44	1,8	0,57	1,30	1,04
*Kalcijum	mg/L	75,3±2,5	81,4±2,6	75,9±2,5	67,5±2,3	72,7±2,7	66,0±2,2
*Magnezijum	mg/L	11,1	10,00	6,9	7,70	10,84	12,70
Arsen	µg/L	0,51±0,04	0,47±0,04	1,24±0,10	0,56±0,04	<0,23	0,78±0,06
Cink	µg/L	8,67±0,51	12,86±0,76	9,91±0,59	14,0±0,83	5,92±0,35	13,48±0,80
Hrom	µg/L	1,23±0,07	1,24±0,07	2,83±0,19	<1,0	<1,0	<1,0
Bakar	µg/L	1,96±0,18	3,41±0,31	3,13±0,28	1,93±0,17	3,03±0,27	1,44±0,13

*Metoda za koju laboratorija nije akreditovana

Tabela VI Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode reke Vrbas, na profilu Klačnice

Parametri		Koncentracija					
		23.05.2012.	14.06.2012.	17.07.2012.	06.08.2012.	25.09.2012.	09.10.2012.
Protok	m ³ /sek	51,50	18,52	38,73	26,84	20,65	14,89
*Vodostaj	cm	85	52	60	66	42,0	42,0
Temperatura vazduha	°C	10,0	26,0	21,0	19,3	27,0	17,0
Temperatura vode	°C	19,9 ± 0,3	19 ± 0,3	18 ± 0,3	17,3 ± 0,3	19,3±0,3	15,0±0,3
Rastvoreni kiseonik	mg/L	11,27 ± 0,23	13,46 ± 0,27	6,02 ± 0,12	7,21 ± 0,14	8,66	5,20
*% zasićenja kiseonikom	%	101,6	191,0	64,0	71,4	95,9	57,3
pH		8,07 ± 0,21	8,63 ± 0,21	7,96 ± 0,21	8,49 ± 0,21	7,90±0,21	8,03±0,3
Elektroprovodljivost	µS/cm	374 ± 24	490 ± 24	368 ± 24	380 ± 24	366±23,3	461±24
HPK(O ₂ bihromatni)	mg/L	12,0±1,30	6,00±0,65	<5	<5,0	<5,0	<5,0
BPK ₅	mg/L	2,89±0,48	1,61±0,27	0,96±0,16	1,98±0,33	3,31±0,43	2,14±0,28
Suspendovane materije	mg/L	4,6±0,5	11,6±1,2	2,6 ± 0,3	1,0±0,1	1,4±0,2	2,4±0,9
Ukupni alkalitet kao CaCO ₃	mg/L	195±9	192±9	185 ± 9	188±9	196±5	187±9
Suma Ca i Mg (CaCO ₃)	mg/L	228±7	226±7	217 ± 7	216±7	224±6	234±10
NO ₂ -N	mg/L	0,011±0,008	0,024±0,002	0,018 ± 0,001	0,029±0,003	0,027±0,002	0,017±0,001
NO ₃ -N	mg/L	0,48±0,04	0,40±0,03	0,09 ± 0,01	0,12±0,01	1,41±0,12	0,71±0,06
Ortofosfati	mg/L	0,052±0,004	0,034±0,003	0,018 ± 0,001	0,040±0,003	0,014±0,001	0,033±0,003
Ukupni fosfor	mg/L	0,055±0,006	0,066±0,007	0,029 ± 0,003	0,079±0,009	0,033±0,003	0,049±0,005
NH ₄ -N	mg/L	0,17±0,01	0,19±0,01	0,37 ± 0,03	0,16±0,01	0,27±0,03	0,15±0,02
Ukupni N po Kjeldalu	mg/L	<0,50	1,41±0,31	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Ukupni N	mg/L	0,99	1,83	0,61	0,65	1,92	1,23
*Kalcijum	mg/L	75,2±2,5	70,2±2,3	68,1 ± 2,3	69,7±2,3	70,4±2,0	72,8±2,4
*Magnezijum	mg/L	9,9	12,4	11,5	10,3	11,70	12,90
Arsen	µg/L	0,83±0,06	0,62±0,05	0,56±0,04	0,77±0,06	0,55±0,05	<0,23
Cink	µg/L	16,0±1,54	3,35 ± 0,2	32,06±1,91	24±1,40	12,79±1,23	8,36±0,81
Hrom	µg/L	<1,0	<1,0	1,19±0,06	<1,0	<1,0	<1,0
Bakar	µg/L	2,22±0,19	3,24±0,31	5,47±0,49	2,97±0,27	1,56±0,14	2,01±0,18

*Metoda za koju laboratorija nije akreditovan

Nastavak **Tabela VI** Rezultati ispitivanja fizičko-hemijskih parametara vode reke Vrbas, na profilu Klašnice

Parametri		Koncentracija					
		07.11.2012.	05.12.2012.	30.01.2013.	19.02.2013.	21.03.2013.	16.04.2013.
Protok	m ³ /sek	58,27	80,19	113,08	45,98	87,38	25,55
*Vodostaj	cm	76	90	120	70	100	58
Temperatura vazduha	°C	24,7	18,0	10,0	24,0	18,0	28,0
Temperatura vode	°C	14,1±0,3	13,0±0,3	13,2 ± 0,3	12,5 ± 0,3	14,0 ± 0,3	15,9 ± 0,3
Rastvoreni kiseonik	mg/L	6,88±0,14	11,21±0,22	7,50	11,50	9,08	12,64
*% zasićenja kiseonikom	%	71,8	112	74,80	118,0	90,15	134,8
pH		7,92±0,21	8,23±0,21	8,42 ± 0,21	7,81 ± 0,21	8,40 ± 0,21	7,93 ± 0,21
Elektroprovodljivost	µS/cm	376±24	361±24	374 ± 23,3	376 ± 23,5	379 ± 23,5	385 ± 23,5
HPK(O ₂ bihromatni)	mg/L	<5	<5,0	8,0 ± 0,8	<5,0	<5,0	<5,0
BPK ₅	mg/L	0,99±0,16	1,29±0,21	1,74 ± 0,29	2,64 ± 0,44	1,11± 0,35	1,49 ±0,25
Suspendovane materije	mg/L	1,8 ± 0,2	1,2±0,1	5,6 ± 0,6	15,2 ± 1,6	<1	3,6 ± 0,4
Ukupni alkalitet kao CaCO ₃	mg/L	188 ± 9	190±9	184 ± 9	187 ± 9	191 ± 9	192 ± 9
Suma Ca i Mg (CaCO ₃)	mg/L	227 ± 7	228±7	196 ± 6	199 ± 6	219 ± 7	207 ± 7
NO ₂ -N	mg/L	0,013 ± 0,001	0,007±0,0006	0,011 ± 0,001	0,020 ± 0,002	0,002± 0,0001	0,007 ± 0,0006
NO ₃ -N	mg/L	0,33 ± 0,02	0,49±0,05	1,11 ± 0,10	0,34 ± 0,03	0,58 ± 0,03	0,54 ± 0,04
Ortofosfati	mg/L	<0,003	<0,003	0,015 ± 0,001	<0,003	<0,003	<0,003
Ukupni fosfor	mg/L	0,014 ± 0,002	0,041±0,004	0,036 ± 0,004	0,060 ± 0,006	0,011 ± 0,001	0,009 ± 0,001
NH ₄ -N	mg/L	0,06 ± 0,003	<0,10	0,07 ± 0,004	0,10 ± 0,01	0,04 ± 0,003	0,06 ± 0,003
Ukupni N po Kjeldalu	mg/L	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,5	<0,50
Ukupni N	mg/L	0,84	0,99	1,62	0,86	1,08	1,05
*Kalcijum	mg/L	71,2 ± 2,3	72,8±2,4	67,5 ± 2,3	67,1 ± 2,2	62,8 ± 2,1	66,2 ± 2,2
*Magnezijum	mg/L	12,0	11,3	6,70	7,70	15,0	10,30
Arsen	µg/L	0,43±0,04	0,67±0,05	<0,23	<0,23	<0,23	0,30 ± 0,02
Cink	µg/L	31,17±1,86	29,9±1,78	8,54 ± 0,51	16,66 ± 0,99	7,52±0,45	15,27 ± 0,90
Hrom	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Bakar	µg/L	4,37±0,39	1,62±0,14	2,68 ± 0,24	3,78 ± 0,34	2,94±0,26	4,04 ± 0,36

*Metoda za koju laboratorija nije akreditovana

Tabela VII Rezultati mikrobioloških ispitivanja Pour-plate tehnikom

Parametar	Jedinica	KRIŠKOVCİ				MAGLAJANI				LAKTAŠI				MDK
		11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	
Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (22±2)°C u toku (68±4) h	cfu/ml	85	25	78	81	501	16	66	18	12	Organizam detektovan	57	Organizam detektovan	300
Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (36±2)°C u toku (44±4) h	cfu/ml	740	14	23	18	1200	6	18	Organizam detektovan	Organizam detektovan	Organizam detektovan	42	Organizam detektovan	100

Boldom i italicom označene su vrednosti koje ne zadovoljavaju kriterijume propisane Pravilnikom (2003)

Tabela VIII Rezultati mikrobioloških ispitivanja MPN - tehnikom

Parametar	Jedinica	KRIŠKOVCİ				MAGLAJANI				LAKTAŠI				MDK
		11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	
Najverovatniji broj koliformnih bakterija	MPN/100ml	Organizam nije detektovan	4	Organizam nije detektovan	∞	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	4	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	10
Najverovatniji broj termotolerantnih bakterija	MPN/100ml	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	0
Najverovatniji broj koliformnih bakterija fekalnog porijekla	MPN/100ml	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	0

Tabela IX Rezultati mikrobioloških ispitivanja tehnikom membranske filtracije

Parametar	Jedinica	KRIŠKOVCi				MAGLAJANI				LAKTAŠI				MDK
		11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	11.05.'12	28.06.'12	31.07.'12	29.08.'12	
Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> i koliformnih bakterija ((37°C/48h)	cfu/100ml	Organizam nije detektovan	3	22	75	2	8	5	Organizam nije detektovan	1	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	10
Detekcija i određivanje brojnosti <i>E.coli</i> i koliformnih bakterija (44°C/24h)	cfu/100ml	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	0
Detekcija i određivanje brojnosti intestinalnih (fekalnih) streptokoka	cfu/100ml	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	36	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	0
Detekcija i određivanje brojnosti <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	cfu/100ml	43	15	1	23	20	23	4	2	2	3	Organizam nije detektovan	1	0
Izolacija i određivanje brojnosti sulfito-redukujućih klostridija	cfu/100ml	6	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	0	1	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	9	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	Organizam nije detektovan	1
Određivanje prisustva <i>Proteus</i> vrsta*	prisutno/odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	odsutno	0

Boldom i italikom označene su vrednosti koje ne zadovoljavaju kriterijume propisane Pravilnikom (2003)

*-metode za koje laboratorija nije akreditovana

Tabela X Rezultati mikrobioloških ispitivanja na Vrbasu na profilu Klašnice za 2012 i 2013 godine

Datum	Vodotok	Profil	Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (22±2)°C	Utvrđena klasa vodotoka	Određivanje ukupnog broja aerobnih heterotrofa na (36±2)°C	Ukupan broj koliformnih bakterija kao najverovatniji broj MPN/100 ml	Utvrđena klasa vodotoka	Ukupan broj termo-tolerantnih bakterija određen kao najverovatniji broj MPN/100 ml	Ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla određen kao MPN/100ml	Utvrđena klasa vodotoka	Određivanje ukupnog broja fekalnih streptokoka, MF cfu/100ml	Utvrđena klasa vodotoka
26.06.2012.	Vrbas	Klašnice	$3.63 \cdot 10^6$	V	$4.06 \cdot 10^7$	$2.4 \cdot 10^4$	III	$2.4 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^4$	IV	$2.3 \cdot 10^3$	III
19.09.2012.	Vrbas	Klašnice	$2,4 \cdot 10^4$	III	$1,2 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^4$	III	$2,4 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$	IV	$9,7 \cdot 10^4$	V
11.06.2013.	Vrbas	Klašnice	$2.3 \cdot 10^5$	IV	$1.6 \cdot 10^5$	$4.6 \cdot 10^3$	II	$4.6 \cdot 10^3$	$4.6 \cdot 10^3$	III	850	II
18.08.2013.	Vrbas	Klašnice	$3.3 \cdot 10^4$	III	$2.1 \cdot 10^4$	$1.5 \cdot 10^4$	III	$1.5 \cdot 10^3$	280	II	740	II

Tabela XI. Pearson-ovi koeficijenti korelacije fizičko-hemijskih parametara sa stepenom značajnosti $p < 0,05$

Varijable	Markiran stepen značajnosti parametara $p < 0,05$																										
	Sr. vre.	Std.Dev.	ta	tw	pH	EC	KMnO ₄ cons.	TB	Alk	NO ³⁻	TH	Ca	Mg	TDS	K	Na	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	TP	TOC	DOC	Al	Zn	Ni	Pb	Cu	Sum PAH ₁₃
ta	-0,055	0,964	1,000	0,476	-0,334	-0,228	0,292	-0,032	0,035	-0,212	0,010	-0,071	0,068	0,201	0,475	0,093	-0,323	0,259	0,010	0,527	0,329	0,260	-0,103	0,233	-0,074	-0,093	0,452
tw	-0,001	1,016	0,476	1,000	-0,122	0,321	-0,002	-0,047	0,572	-0,426	0,501	0,325	0,485	0,625	0,483	0,597	-0,182	0,197	-0,124	0,125	-0,025	-0,049	-0,021	-0,037	0,086	0,217	0,038
pH	-0,012	1,014	-0,334	-0,122	1,000	0,035	-0,103	0,113	-0,142	0,427	-0,071	-0,180	0,048	-0,254	-0,320	-0,138	-0,163	-0,115	-0,027	-0,035	0,005	-0,220	0,040	-0,269	-0,203	-0,148	-0,145
EC	0,024	1,006	-0,228	0,321	0,035	1,000	-0,287	-0,072	0,844	-0,203	0,796	0,676	0,641	0,624	0,155	0,724	0,003	-0,033	-0,302	-0,454	-0,362	-0,477	-0,353	-0,222	0,138	0,121	-0,223
KMnO ₄ cons.	-0,040	0,989	0,292	-0,002	-0,103	-0,287	1,000	-0,304	-0,344	0,100	-0,294	-0,254	-0,240	-0,089	0,447	-0,017	-0,125	0,516	0,363	0,497	0,350	0,181	-0,208	0,087	-0,306	-0,387	0,025
TB	-0,071	0,927	-0,032	-0,047	0,113	-0,072	-0,304	1,000	-0,064	0,344	-0,066	-0,154	0,030	0,015	-0,348	-0,364	-0,108	-0,331	-0,420	-0,316	-0,359	-0,118	0,293	0,129	0,126	-0,157	-0,146
Alk	0,001	1,016	0,035	0,572	-0,142	0,844	-0,344	-0,064	1,000	-0,508	0,823	0,671	0,683	0,788	0,320	0,757	-0,014	-0,124	-0,359	-0,411	-0,471	-0,263	-0,080	-0,176	0,208	0,410	-0,190
NO ³⁻	-0,029	1,001	-0,212	-0,426	0,427	-0,203	0,100	0,344	-0,508	1,000	-0,265	-0,445	-0,028	-0,419	-0,532	-0,599	-0,136	0,221	-0,067	-0,142	-0,023	-0,253	-0,104	-0,017	-0,367	-0,482	-0,274
TH	-0,015	1,012	0,010	0,501	-0,071	0,796	-0,294	-0,066	0,823	-0,265	1,000	0,796	0,851	0,716	0,306	0,678	0,024	0,048	-0,359	-0,309	-0,335	-0,308	-0,134	-0,182	0,083	0,274	-0,284
Ca	-0,019	1,010	-0,071	0,325	-0,180	0,676	-0,254	-0,154	0,671	-0,445	0,796	1,000	0,362	0,569	0,460	0,709	0,192	0,035	-0,122	-0,124	-0,104	-0,071	-0,089	-0,148	0,081	0,331	-0,055
Mg	-0,007	1,015	0,068	0,485	0,048	0,641	-0,240	0,030	0,683	-0,028	0,851	0,362	1,000	0,608	0,077	0,437	-0,124	0,028	-0,440	-0,373	-0,426	-0,425	-0,137	-0,154	0,038	0,122	-0,386
TDS	-0,037	0,993	0,201	0,625	-0,254	0,624	-0,089	0,015	0,788	-0,419	0,716	0,569	0,608	1,000	0,426	0,574	0,046	0,105	-0,396	-0,085	-0,183	-0,104	-0,128	-0,128	0,015	0,257	-0,195
K	-0,018	1,011	0,475	0,483	-0,320	0,155	0,447	-0,348	0,320	-0,532	0,306	0,460	0,077	0,426	1,000	0,645	-0,076	0,315	0,161	0,509	0,305	0,148	-0,180	-0,123	-0,095	0,129	0,275
Na	0,022	1,008	0,093	0,597	-0,138	0,724	-0,017	-0,364	0,757	-0,599	0,678	0,709	0,437	0,574	0,645	1,000	0,145	0,089	0,142	-0,014	-0,025	-0,126	-0,177	-0,148	0,135	0,324	0,059
Cl ⁻	0,013	1,013	-0,323	-0,182	-0,163	0,003	-0,125	-0,108	-0,014	-0,136	0,024	0,192	-0,124	0,046	-0,076	0,145	1,000	0,050	0,562	0,027	0,185	0,478	0,454	-0,052	0,155	0,312	-0,114
SO ₄ ²⁻	-0,065	0,941	0,259	0,197	-0,115	-0,033	0,516	-0,331	-0,124	0,221	0,048	0,035	0,028	0,105	0,315	0,089	0,050	1,000	0,220	0,499	0,470	-0,015	-0,209	0,060	-0,119	-0,242	-0,091
TP	0,000	1,000	0,010	-0,124	-0,027	-0,302	0,363	-0,420	-0,359	-0,067	-0,359	-0,122	-0,440	-0,396	0,161	0,142	0,562	0,220	1,000	0,395	0,501	0,572	0,246	0,136	-0,063	0,043	0,201
TOC	-0,064	0,944	0,527	0,125	-0,035	-0,454	0,497	-0,316	-0,411	-0,142	-0,309	-0,124	-0,373	-0,085	0,509	-0,014	0,027	0,499	0,395	1,000	0,907	0,429	-0,088	0,013	-0,083	-0,178	0,529
DOC	-0,049	0,975	0,329	-0,025	0,005	-0,362	0,350	-0,359	-0,471	-0,023	-0,335	-0,104	-0,426	-0,183	0,305	-0,025	0,185	0,470	0,501	0,907	1,000	0,351	-0,170	0,011	-0,058	-0,187	0,564
Al	-0,002	1,016	0,260	-0,049	-0,220	-0,477	0,181	-0,118	-0,263	-0,253	-0,308	-0,071	-0,425	-0,104	0,148	-0,126	0,478	-0,015	0,572	0,429	0,351	1,000	0,518	0,251	0,036	0,199	0,188
Zn	0,042	0,985	-0,103	-0,021	0,040	-0,353	-0,208	0,293	-0,080	-0,104	-0,134	-0,089	-0,137	-0,128	-0,180	-0,177	0,454	-0,209	0,246	-0,088	-0,170	0,518	1,000	0,133	0,175	0,491	-0,205
Ni	0,021	1,009	0,233	-0,037	-0,269	-0,222	0,087	0,129	-0,176	-0,017	-0,182	-0,148	-0,154	-0,128	-0,123	-0,148	-0,052	0,060	0,136	0,013	0,011	0,251	0,133	1,000	0,122	-0,026	0,048
Pb	0,036	0,994	-0,074	0,086	-0,203	0,138	-0,306	0,126	0,208	-0,367	0,083	0,081	0,038	0,015	-0,095	0,135	0,155	-0,119	-0,063	-0,083	-0,058	0,036	0,175	0,122	1,000	0,128	0,073
Cu	0,033	0,997	-0,093	0,217	-0,148	0,121	-0,387	-0,157	0,410	-0,482	0,274	0,331	0,122	0,257	0,129	0,324	0,312	-0,242	0,043	-0,178	-0,187	0,199	0,491	-0,026	0,128	1,000	-0,051
SumPAH ₁₃	-0,006	1,015	0,452	0,038	-0,145	-0,223	0,025	-0,146	-0,190	-0,274	-0,284	-0,055	-0,386	-0,195	0,275	0,059	-0,114	-0,091	0,201	0,529	0,564	0,188	-0,205	0,048	0,073	-0,051	1,000

Tabela XII. Pearson-ovi koeficijenti korelacije fizičko-hemijskih parametara sa stepenom značajnosti $p < 0,01$

Varijable	Markiran stepen značajnosti parametara $p < 0,01$																										
	Sr. vre.	Std.Dev.	ta	tw	pH	EC	KMnO ₄ cons.	TB	Alk	NO ³⁻	TH	Ca	Mg	TDS	K	Na	Cl	SO ₄ ²⁻	TP	TOC	DOC	Al	Zn	Ni	Pb	Cu	Sum PAH ₁₃
ta	-0,055	0,964	1,000	0,476	-0,334	-0,228	0,292	-0,032	0,035	-0,212	0,010	-0,071	0,068	0,201	0,475	0,093	-0,323	0,259	0,010	0,527	0,329	0,260	-0,103	0,233	-0,074	-0,093	0,452
tw	-0,001	1,016	0,476	1,000	-0,122	0,321	-0,002	-0,047	0,572	-0,426	0,501	0,325	0,485	0,625	0,483	0,597	-0,182	0,197	-0,124	0,125	-0,025	-0,049	-0,021	-0,037	0,086	0,217	0,038
pH	-0,012	1,014	-0,334	-0,122	1,000	0,035	-0,103	0,113	-0,142	0,427	-0,071	-0,180	0,048	-0,254	-0,320	-0,138	-0,163	-0,115	-0,027	-0,035	0,005	-0,220	0,040	-0,269	-0,203	-0,148	-0,145
EC	0,024	1,006	-0,228	0,321	0,035	1,000	-0,287	-0,072	0,844	-0,203	0,796	0,676	0,641	0,624	0,155	0,724	0,003	-0,033	-0,302	-0,454	-0,362	-0,477	-0,353	-0,222	0,138	0,121	-0,223
KMnO ₄ cons.	-0,040	0,989	0,292	-0,002	-0,103	-0,287	1,000	-0,304	-0,344	0,100	-0,294	-0,254	-0,240	-0,089	0,447	-0,017	-0,125	0,516	0,363	0,497	0,350	0,181	-0,208	0,087	-0,306	-0,387	0,025
TB	-0,071	0,927	-0,032	-0,047	0,113	-0,072	-0,304	1,000	-0,064	0,344	-0,066	-0,154	0,030	0,015	-0,348	-0,364	-0,108	-0,331	-0,420	-0,316	-0,359	-0,118	0,293	0,129	0,126	-0,157	-0,146
Alk	0,001	1,016	0,035	0,572	-0,142	0,844	-0,344	-0,064	1,000	-0,508	0,823	0,671	0,683	0,788	0,320	0,757	-0,014	-0,124	-0,359	-0,411	-0,471	-0,263	-0,080	-0,176	0,208	0,410	-0,190
NO ³⁻	-0,029	1,001	-0,212	-0,426	0,427	-0,203	0,100	0,344	-0,508	1,000	-0,265	-0,445	-0,028	-0,419	-0,532	-0,599	-0,136	0,221	-0,067	-0,142	-0,023	-0,253	-0,104	-0,017	-0,367	-0,482	-0,274
TH	-0,015	1,012	0,010	0,501	-0,071	0,796	-0,294	-0,066	0,823	-0,265	1,000	0,796	0,851	0,716	0,306	0,678	0,024	0,048	-0,359	-0,309	-0,335	-0,308	-0,134	-0,182	0,083	0,274	-0,284
Ca	-0,019	1,010	-0,071	0,325	-0,180	0,676	-0,254	-0,154	0,671	-0,445	0,796	1,000	0,362	0,569	0,460	0,709	0,192	0,035	-0,122	-0,124	-0,104	-0,071	-0,089	-0,148	0,081	0,331	-0,055
Mg	-0,007	1,015	0,068	0,485	0,048	0,641	-0,240	0,030	0,683	-0,028	0,851	0,362	1,000	0,608	0,077	0,437	-0,124	0,028	-0,440	-0,373	-0,426	-0,425	-0,137	-0,154	0,038	0,122	-0,386
TDS	-0,037	0,993	0,201	0,625	-0,254	0,624	-0,089	0,015	0,788	-0,419	0,716	0,569	0,608	1,000	0,426	0,574	0,046	0,105	-0,396	-0,085	-0,183	-0,104	-0,128	-0,128	0,015	0,257	-0,195
K	-0,018	1,011	0,475	0,483	-0,320	0,155	0,447	-0,348	0,320	-0,532	0,306	0,460	0,077	0,426	1,000	0,645	-0,076	0,315	0,161	0,509	0,305	0,148	-0,180	-0,123	-0,095	0,129	0,275
Na	0,022	1,008	0,093	0,597	-0,138	0,724	-0,017	-0,364	0,757	-0,599	0,678	0,709	0,437	0,574	0,645	1,000	0,145	0,089	0,142	-0,014	-0,025	-0,126	-0,177	-0,148	0,135	0,324	0,059
Cl	0,013	1,013	-0,323	-0,182	-0,163	0,003	-0,125	-0,108	-0,014	-0,136	0,024	0,192	-0,124	0,046	-0,076	0,145	1,000	0,050	0,562	0,027	0,185	0,478	0,454	-0,052	0,155	0,312	-0,114
SO ₄ ²⁻	-0,065	0,941	0,259	0,197	-0,115	-0,033	0,516	-0,331	-0,124	0,221	0,048	0,035	0,028	0,105	0,315	0,089	0,050	1,000	0,220	0,499	0,470	-0,015	-0,209	0,060	-0,119	-0,242	-0,091
TP	0,000	1,000	0,010	-0,124	-0,027	-0,302	0,363	-0,420	-0,359	-0,067	-0,359	-0,122	-0,440	-0,396	0,161	0,142	0,562	0,220	1,000	0,395	0,501	0,572	0,246	0,136	-0,063	0,043	0,201
TOC	-0,064	0,944	0,527	0,125	-0,035	-0,454	0,497	-0,316	-0,411	-0,142	-0,309	-0,124	-0,373	-0,085	0,509	-0,014	0,027	0,499	0,395	1,000	0,907	0,429	-0,088	0,013	-0,083	-0,178	0,529
DOC	-0,049	0,975	0,329	-0,025	0,005	-0,362	0,350	-0,359	-0,471	-0,023	-0,335	-0,104	-0,426	-0,183	0,305	-0,025	0,185	0,470	0,501	0,907	1,000	0,351	-0,170	0,011	-0,058	-0,187	0,564
Al	-0,002	1,016	0,260	-0,049	-0,220	-0,477	0,181	-0,118	-0,263	-0,253	-0,308	-0,071	-0,425	-0,104	0,148	-0,126	0,478	-0,015	0,572	0,429	0,351	1,000	0,518	0,251	0,036	0,199	0,188
Zn	0,042	0,985	-0,103	-0,021	0,040	-0,353	-0,208	0,293	-0,080	-0,104	-0,134	-0,089	-0,137	-0,128	-0,180	-0,177	0,454	-0,209	0,246	-0,088	-0,170	0,518	1,000	0,133	0,175	0,491	-0,205
Ni	0,021	1,009	0,233	-0,037	-0,269	-0,222	0,087	0,129	-0,176	-0,017	-0,182	-0,148	-0,154	-0,128	-0,123	-0,148	-0,052	0,060	0,136	0,013	0,011	0,251	0,133	1,000	0,122	-0,026	0,048
Pb	0,036	0,994	-0,074	0,086	-0,203	0,138	-0,306	0,126	0,208	-0,367	0,083	0,081	0,038	0,015	-0,095	0,135	0,155	-0,119	-0,063	-0,083	-0,058	0,036	0,175	0,122	1,000	0,128	0,073
Cu	0,033	0,997	-0,093	0,217	-0,148	0,121	-0,387	-0,157	0,410	-0,482	0,274	0,331	0,122	0,257	0,129	0,324	0,312	-0,242	0,043	-0,178	-0,187	0,199	0,491	-0,026	0,128	1,000	-0,051
SumPAH ₁₃	-0,006	1,015	0,452	0,038	-0,145	-0,223	0,025	-0,146	-0,190	-0,274	-0,284	-0,055	-0,386	-0,195	0,275	0,059	-0,114	-0,091	0,201	0,529	0,564	0,188	-0,205	0,048	0,073	-0,051	1,000

Biografija

Maja Stojanović rođena u Sarajevu 1982. godine. Živela u Sarajevu i Beogradu, gde je i započela školovanje, a osnovnu školu završila u Bijeljini. Nakon završene srednje farmaceutske škole u Bijeljini, 2001. godine je nastavila školovanje na Tehnološkom fakultetu Univerziteta u Novom Sadu, smer Farmaceutsko inženjerstvo. Diplomirala je 2007. godine sa diplomskim radom iz predmeta Tehnologija vode i otpadnih voda, sa temom "Delimično prečišćavanje prirodnih koagulanata iz zrna pasulja pomoću katjonskih izmenjivača jona". U toku osnovnih studija je ostvarila prosečnu ocenu 8,13.

Od jula 2007. godine radi u Institutu za vode u Bijeljini kao analitičar na fizičko hemijskim ispitivanjima kvaliteta površinskih voda (reke, jezera i akumulacije), podzemnih, otpadnih voda, vode za piće i hrane (voće i povrće, proizvodi od voća i povrća, med, mleko, brašno i pekarski proizvodi) i rečnog sedimenta. Od 2016. godine u Institutu za vode u Bijeljini vrši poslove rukovodioca sektora laboratorije.

Upisala doktorske studije 2010. godine na Tehnološkom fakultetu Novi sad, Univerziteta u Novom Sadu, na studijskom programu Biotehnologija. Položila je sve ispite predviđene planom i programom sa prosečnom ocenom 10,0.

Udata i sa suprugom živi u Bijeljini.

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET NOVI SAD**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:
RBR

Identifikacioni broj:
IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija
TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal
TZ

Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): Doktorska teza
VR

Ime i prezime autora: Maja Stojanović
AU

Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): dr Marina Šćiban, redovni profesor
MN

Naslov rada: Identifikacija spoljnih pritisaka i uticaja na kvalitet podzemne vode izvorišta opštine Laktaši
NR

Jezik publikacije: srpski
JP

Jezik izvoda: srp. / eng.
JI

Zemlja publikovanja: Srbija
ZP

Uže geografsko područje: Vojvodina
UGP

Godina: 2017
GO

Izdavač: Autorski reprint
IZ

Mesto i adresa: 21000 Novi Sad, Bulevar Cara Lazara 1
MA

Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja - 8 / stranica - 230 / slika - 127 / tabela – 64 / referenci -181 / priloga - 1)
Naučna oblast: NO	Biotehnologija
Naučna disciplina: ND	Tehnologija vode
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Podzemne vode, kvalitet
UDK	551.444:556.11 (497.6)
Čuva se: ČU	Biblioteka Tehnološkog fakulteta Novi Sad, Novi Sad
Važna napomena: VN	nema
Izvod: IZ	

Cilj rada je ispitivanje kvaliteta podzemnih voda tri izvorišta na teritoriji opštine Laktaši u naseljima Kriškovci, Maglajani i Laktaši, kao i uticaja prirodnih uslova i antropogenih dešavanja u okolini izvorišta na kvalitet ispitivanih podzemnih voda. Detaljno dizajnirana laboratorijska istraživanja i planiran eksperimentalni deo ove disertacije predstavlja polaznu osnovu u rešavaju kompleksne problematike iz oblasti upravljanja kvalitetom voda za piće istražnog područja. Poseban doprinos nauci u oblasti zaštite voda predstavlja integrisan pristup u analizi selektovanih organskih, neorganskih i fizičko-hemijskih parametara podzemnih voda i definisanje osnovnih i specifičnih zavisnih varijabli hemometrijskom analizom podataka kao i kreiranje eksperimentalnih i laboratorijskih uslova za demanganizaciju vode kritičnih izvorišta. Ovaj sveobuhvatni pristup u skeniranju opštih i specifičnih varijabli i definisanje veza između elemenata, grupisanje na osnovu njihovih sličnosti ili razlika u specijalne klase prema karakterističnim fizičko-hemijskim svojstvima i sposobnosti ka kompleksiranju, ukazuje na način pojavljivanja promenljivih, njihovo poreklo u vodi i definiše uzroke njihove varijabilnosti (antropogeni - tačkasti ili difuzni, ili nativni, dominantno geološki).

Svi analizirani *in situ* parametri zadovoljavaju kriterijum propisan važećim Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (2003). Od 1632 merenja u laboratoriji (72 parametara), 26 merenja (1,59%) nisu zadovoljavala kriterijume propisane ovim Pravilnikom (15 merenja u vodi sa izvorišta Kriškovci (57,6%), 7 sa izvorišta Maglajani (26,9%) i 4 sa izvorišta Laktaši (15,4%)). Parametri koji odstupaju od kriterijuma datih Pravilnikom (2003) su mutnoća, nitriti, mangan, ulja i masti. Sa mikrobiološkog aspekta voda izvorišta u Laktašima je zdravstveno ispravna, dok je voda izvorišta u Kriškovcima u najlošijem stanju, na izvorištu u Maglajanima nisu detektovane bakterije indikatori fekalnog zagađenja, dok je voda reke Vrbas jako lošeg kvaliteta.

U okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u otkrivanju i razumevanju međusobnih odnosa pojedinih elemenata i parametara u složenom

sistemu kakav je voda posebno imajući u vidu analizu organskog i neorganskog kompleksiranja, što predstavlja značajan doprinos u ovom polju imajući u vidu ograničen broj literaturnih referenci. Iz rada se može doneti zaključak da se rezultati ispitivanih parametara na izvorštima menjaju u toku godine, da je potrebno izvršiti dodatna geološka ispitivanja da bi se sa sigurnošću utvrdila veza između vode reke Vrbas i vode izvorišta, da na izvorište u Kriškovcima ima uticaj biološko pođubavanje zemljišta i otpadne vode okolnog naselja, dok za druga dva izvorišta nije dokazana sumnja da dešavanja na površini iznad izvorišta utiču na samo izvorište i da padavine nemaju značajan uticaj na iste.

Data ispitivanja su bazirana na osnovnim zahtevima okvirne direktive o vodama (EU Water Framework Directive (WFD)) na prvom mestu izboru prioriternih i ostalih supstanci od interesa u cilju praćenja i definisanja indikatora pritiska i uticaja na vodna tela. Dobijeni podaci će poslužiti za razvoj strategija i planova kontrole i sprečavanja zagađenja, definisanje programa za praćenje kvaliteta podzemnih voda i vode za piće, upravljanja rečnim slivom, dostupnost informacijama u cilju poboljšanja kvaliteta vode za piće.

Datum prihvatanja teme od strane 21.04.2016.

Senata:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

(ime i prezime / titula / zvanje /
naziv organizacije / status)

KO

Predsednik: dr Jelena Prodanović, docent,
Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad,
predsednik

Član: dr Marina Šćiban, redovni profesor,
Tehnološki fakultet Novi Sad, Novi Sad, mentor

Član: dr Dejan Krčmar, vanredni profesor,
Prirodno matematički fakultet, Departman za
hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine,
Novi Sad, član

University of Novi Sad
Faculty of Technology Novi Sad

Key word documentation

Accession number:
ANO
Identification number:
INO
Document type: Monograph documentation
DT
Type of record: Textual printed material
TR
Contents code: PhD Thesis
CC
Author: Maja Stojanović
AU
Mentor: PhD Marina Šćiban, Professor
MN
Title: Identification of external pressures and impacts
TI on the groundwater quality of the sources in the
municipality of Laktaši

Language of text: Serbian
LT
Language of abstract: eng. / srp.
LA
Country of publication: Serbia
CP
Locality of publication: Vojvodina
LP
Publication year: 2017
PY
Publisher: Author's reprint
PU
Publication place: 21000 Novi Sad, Bulevar Cara Lazara 1
PP

Physical description: (chapters - 8 / pages - 230 / figures - 127 /
PD tables - 64 / references -181 / attachments - 1)

Scientific field Biotechnology
SF

Scientific discipline Technology of water
SD

Subject, Key words Groundwater, Quality
SKW

UC 551.444:556.11 (497.6)

Holding data: Library of Faculty of Technology Novi Sad,
HD Novi Sad, Serbia

Note: No
N

Abstract:
AB

The aim of this paper is to examine the quality of groundwater of three springs on the territory of the municipality of Laktaši in the Kriškovci, Maglajani and Laktaši settlements, as well as the influence of natural conditions and anthropogenic activities in the spring areas on the quality of examined groundwater. Detailed designed laboratory research and the planned experimental part of this dissertation represent the starting point for solving of complex problems in the field of quality management of drinking water in the investigated area. The special contribution to water protection science is an integrated approach to the analysis of selected organic, inorganic and physicochemical parameters of groundwater, as well as the definition of basic and specific dependent variables, by chemometric data analysis, and the creation of experimental and laboratory conditions for the demanganization of water from critical sources. This is a comprehensive approach to scanning general and specific variables and defining links between elements – grouping them on the basis of their similarities or differences in special classes according to the characteristic physicochemical properties and their ability to complex, which indicates the way of change, its origin in water and defines the causes of their variability (anthropogenic -pointic or diffuse, or native, predominantly geological).

All analyzed in situ parameters meet the criterion prescribed by the relevant Regulation on Hygienic Quality of Drinking Water (2003). Out of the 1632 measurements in the laboratory, only 72 parameters and 26 measurements (1.59%) did not meet the criteria prescribed by this Regulation: 15 water measurements from sources Kriškovci (57.6%), 7 from Maglajani sources (26.9%) and 4 from the sources of Laktaši (15.4%). Parameters that deviated from the criteria given in the Regulation (2003) were turbidity, nitrite, manganese, oil and fat. From the microbiological aspect, water source in Laktaši is health safety, while the source of water in Kriškovci is in the worst condition. In water from sources in Maglajani did not detect bacterial indicators

of fecal pollution, while the water of the river Vrbas is of very poor quality.

Within this doctoral dissertation, a significant contribution was made in the discovery and understanding of the mutual relations of certain elements and parameters in a complex system such as water, especially in the view of the analysis of organic and inorganic complexation. Keeping in mind the limited number of literary references, these results represent a significant contribution in this field. It can be concluded from the dissertation that the findings of the tested parameters at the sources change during the year. Therefore, it is necessary to carry out additional geological investigations in order to establish with certainty that there is a connection between the water of the river Vrbas and the water sources. From the dissertation can be concluded that the biological fertilization of the soil and the waste water of the surrounding settlement has an impact on the spring in Kriškovci. For the sources of other two settlements there no has proven that surface activities above the sources affect the source itself and that precipitation does not have a significant impact on them.

Conducted tests was based on the basic requirements of the EU Water Framework Directive (WFD) and in the first place on the selection of priority and other substances of interest for the purpose of monitoring and defining pressure indicators and impacts on water bodies. The obtained data will: (1) serve to develop strategies and plans for pollution control and prevention, (2) define programs for monitoring the quality of groundwater and drinking water, (3) enable improved river basin management, and (4) provide availability of information for improving the quality of drinking water.

Accepted on Senate on: 21. 04.2016.

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

president: PhD Jelena Prodanović, Assistant Professor, Faculty of Technology Novi Sad, Novi Sad

member: PhD Marina Šćiban, Professor, Faculty of Technology Novi Sad, Novi Sad

member: PhD Dejan Krčmar, Associate Professor, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Biochemistry and Environmental Protection, Novi Sad